



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Geología, Minas y Geofísica**

**Departamento de Minas**

**ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

**Trabajo presentado ante la  
Ilustre Universidad Central De Venezuela  
por el Prof. Miguel Antonio Castillejo Cans  
para optar a la Categoría de Profesor Asociado  
dentro del Escalafón Universitario**

**Caracas, marzo 2004**





**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Geología, Minas y Geofísica**

**Departamento de Minas**

# **ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

**Trabajo presentado ante la  
Ilustre Universidad Central De Venezuela  
por el Prof. Miguel Antonio Castillejo Cans  
para optar a la Categoría de Profesor Asociado  
dentro del Escalafón Universitario**

**Caracas, marzo 2004**

### **FICHA CATALOGRÁFICA**

<b>CASTILLEJO CANS, MIGUEL ANTONIO</b>		<b>Ascen C278.2004</b>
<b>Estabilidad de taludes en macizos en residuos sólidos urbanos, 2004.</b>		<b>624.151 C.278.2004</b>
xxii, 360p. 210mm x 297 mm (DM/EGMG/FI/UCV, Ascenso, Geotecnia, 2004)		
Ascenso a la Categoría de Profesor Asociado – Universidad Central de Venezuela		
Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas		
1. Estabilidad de Taludes	2. Residuos sólidos urbanos	
3. Rellenos Sanitarios	4. Resistencia al corte	
5. Relleno Sanitario La Bonanza	6. Geotecnia ambiental	
7. Propiedades desechos sólidos urbanos	8. Retrocálculo, back-analysis	
9. Casos históricos de rellenos sanitarios		

### **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

**Castillejo C., M.A. (2004), Estabilidad de taludes en macizos en residuos sólidos urbanos.** Trabajo de Ascenso a la Categoría de Profesor Asociado, Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 382 p.

# **DEDICATORIA**

*A DIOS*

*A mis padres*



## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Ingeniero Gerardo Sarmiento, por su apoyo y valiosa colaboración en elaboración del presente trabajo.
- Al Profesor Gianfranco Perri, sus consejos y aportes.
- Al Profesor Otello del Greco, del Politécnico de Torino, por su ayuda desinteresada
- Al Rectorado y Vicerrectorado de la Universidad Central de Venezuela, por el financiamiento del Programa GeoSlope/W, empleado en la presente investigación
- A la Profesora Mercedes Camperos, por su impulso y constante apoyo para el desarrollo de este trabajo y por su paciencia en a revisión y corrección del presente trabajo.
- A los Ingenieros Carlos Conteras y José Luis Barbieri, por su apoyo y estímulo para la culminación del presente trabajo.
- A todos mis amigos, por su presencia y apoyo en los momentos difíciles.





## RESUMEN

### ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El estado actual de la “mecánica de los residuos sólidos” no tiene teorías y modelos que representen de manera adecuada” el comportamiento de los desechos sólidos urbanos. Por lo tanto, ha sido común adoptar las teorías clásicas de la mecánica de suelos para representar su comportamiento. Esto puede conducir a situaciones conservadoras o críticas, con respecto a la inestabilidad de los taludes en macizos de residuos sólidos urbanos de los rellenos sanitarios.

Debido a la gran heterogeneidad y complejidad de las estructuras involucradas por su gran cantidad de materiales e interfaces presentes y la dificultad de realizar ensayos in situ y en el laboratorio, que nos permitan obtener valores representativos de los parámetros de resistencia al corte, se ha optado por realizar análisis en retrocálculo de los taludes fallados a fin de terminar las causas de su falla de una manera más realística.

Este estudio será realizado en el relleno Sanitario La Bonanza, el cual está ubicado a 27 km del peaje de Tazón, en la carretera que conduce a los Valles del Tuy y en se depositan los desechos sólidos urbanos (domésticos y comerciales de Caracas (Municipios Libertador, Sucre, Chacao, El Hatillo y Baruta), así como los provenientes de la zona de los Valles del Tuy (Municipios Cristóbal Rojas, Simón Bolívar, Lander, Urdaneta y Paz Castillo). Específicamente en la Celda 3 de dicho relleno sanitario, en un talud que presentó un deslizamiento en el mes de junio de 2002. El estudio consistió en la realización de un análisis por retrocálculo o back-analysis de dicho deslizamiento a fin de obtener los parámetros de resistencia al corte y compararlos con los valores obtenidos en estudios previos.

La variación de los parámetros de resistencia al corte con el tiempo es un factor fundamental para la estimación de los parámetros de resistencia al corte de los desechos sólidos urbanos, debido a que dependen directamente de la edad de los mismos.

Se determinó, que el drenaje no adecuado de los lixiviados y del biogás, afecta de manera significativa la estabilidad de los taludes en macizos de residuos sólidos urbanos, así como también los cambios de la geometría de los taludes proyectados y son un factor común en la mayoría de los taludes fallados, en los distintos rellenos analizados a nivel mundial.

**Palabras clave:** rellenos sanitarios, residuos sólidos urbanos, estabilidad de taludes, resistencia al corte, relleno Sanitario La Bonanza, geotecnia ambiental, propiedades de desechos sólidos urbanos, retrocálculo, back-analysis, casos históricos, deslizamientos rellenos sanitarios.



# INDICE DE CONTENIDO

<b>ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>I</b>
<b>ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>III</b>
FICHA CATALOGRÁFICA .....	IV
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	IV
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IX</b>
<i>ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....</i>	<i>ix</i>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.2. BIORREACTORES .....	5
1.2.1. Tipos de biorreactores.....	7
1.3. ¿QUE ES GEOTECNIA AMBIENTAL?.....	8
1.4. OBJETIVO DEL TRABAJO .....	8
<b>2. GEOTECNIA AMBIENTAL.....</b>	<b>9</b>
2.1. DESARROLLO DE LA GEOTECNIA AMBIENTAL .....	9
2.2. ORÍGENES DE LA GEOTECNIA AMBIENTAL.....	11
2.3. LA GEOTECNIA AMBIENTAL Y LA SOCIEDAD HUMANA .....	12
2.3.1. <i>Derecho Venezolano Ambiental.....</i>	<i>13</i>
2.3.1.1. La Ley Orgánica de Régimen Municipal y el Rol del Municipio en la Gestión de los Desechos y Residuos .....	16
2.3.1.2. Instrumentos y mecanismos de Gestión Ambiental .....	18
2.3.1.3. Análisis de la Normativa .....	18
2.3.1.4. Constitución Nacional.....	21
2.3.1.5. Leyes Orgánicas .....	21
2.3.1.6. Leyes Especiales .....	24
2.3.1.7. Reglamentos.....	24
2.3.1.8. Decretos .....	24
2.3.1.9. Decretos Colaterales Aplicables en Materia De Desechos .....	26
2.3.1.10. Normativa Internacional.....	27
2.3.1.11. Resoluciones .....	27
2.3.2. <i>Marco Institucional .....</i>	<i>28</i>
2.3.2.1. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (M.A.R.N.) .....	30
2.3.2.2. Ministerio de Infraestructura (MINFRA).....	30
2.3.2.3. Ministerio de Salud y Desarrollo Social (M.S.D.S.) .....	31
2.3.2.4. Ministerio de Planificación y Desarrollo.....	31
2.3.2.5. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte .....	32
2.3.2.6. Procuraduría Ambiental .....	32
2.3.2.7. Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos .....	32
2.3.2.8. Fundación para el Desarrollo de la Comunidad y el Fomento Municipal .....	33
2.3.2.9. Fondo Intergubernamental para la Descentralización (FIDES).....	33
2.3.2.10. Gobierno Estatal.....	34
2.3.2.11. Gobierno Municipal .....	34
2.3.2.12. Operadora de Servicio.....	36

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---

2.3.2.13.	Comunidad .....	38
2.3.3.	<i>Coordinación y planificación</i> .....	38
2.3.4.	<i>Disposición final</i> .....	41
2.4.	SUSTANCIAS CONTAMINANTES.....	43
2.4.1.	<i>Tipos de contaminantes</i> .....	43
2.4.1.1.	Impurezas naturales .....	43
2.4.1.2.	Contaminaciones generadas por la acción del hombre .....	43
2.4.1.3.	Contaminantes físicos .....	44
2.4.1.4.	Tipos de radiación ionizante .....	44
2.4.1.5.	El problema del Radón .....	45
2.4.1.6.	Contaminantes biológicos.....	46
2.4.1.7.	Contaminantes químicos.....	46
2.4.1.8.	Contaminantes Gaseosos .....	46
2.4.1.9.	Contaminantes Sólidos .....	47
2.4.1.10.	Contaminantes Líquidos .....	47
2.4.1.11.	Peligro de contaminantes .....	48
2.4.2.	<i>Clasificación de contaminantes químicos</i> .....	48
2.4.3.	<i>Efectos tóxicos</i> .....	49
2.4.4.	<i>La vía de entrada al organismo</i> .....	49
2.4.4.1.	Transformación y eliminación de tóxicos .....	49
2.4.4.2.	Ejemplos de efectos cancerígenos y no cancerígenos de algunas sustancias .....	52
2.4.4.3.	Dispersión de contaminantes en el medio ambiente .....	52
2.4.4.4.	Líquidos no miscibles en agua (líquidos en fase no acuosa):.....	56
2.5.	EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	57
2.5.1.	<i>Lista de Holanda para evaluar la contaminación en suelo y agua (1988)</i> .....	59
2.6.	RECUPERACIÓN DE TERRENOS .....	64
2.6.1.	<i>Medidas de descontaminación</i> .....	65
2.7.	PREVENCIÓN DE CONTAMINACIONES .....	67
2.7.1.	<i>Rellenos Sanitarios y escombreras mineras</i> .....	67
2.7.2.	<i>Tipos de Rellenos</i> .....	67
2.7.2.1.	Rellenos subterráneos .....	67
2.7.2.2.	Rellenos superficiales .....	67
2.7.3.	<i>Barreras de seguridad</i> .....	68
2.7.3.1.	Barrera Sustancial.....	69
2.7.3.2.	Barrera Geológica.....	69
2.7.3.3.	Barrera Técnica.....	70
2.8.	PROCESOS APLICABLES A LOS DESECHOS .....	71
2.8.1.	<i>Procesamientos Mecánicos</i> .....	71
2.8.2.	<i>Procesamientos Térmicos</i> .....	72
2.8.3.	<i>Procesamientos Biológicos</i> .....	72
2.9.	DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS .....	74
2.10.	CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO .....	77
2.10.1.	<i>Dimensionamiento de las capas</i> .....	77
2.10.2.	<i>Método constructivo</i> .....	78
2.10.3.	<i>Acabado superficial</i> .....	78
2.10.4.	<i>Construcción del Relleno Sanitario</i> .....	79
2.11.	SOLUCIONES.....	81
2.11.1.	<i>Incineración</i> .....	82
2.11.2.	<i>Extracción del gas de vertedero</i> .....	83
2.11.3.	<i>Aplicaciones del gas de vertedero</i> .....	84
2.11.3.1.	Generación de energía eléctrica con motores de gas.....	84
2.11.3.2.	Producción de calor con calderas.....	84
2.11.3.3.	Conversión del gas de vertedero en pseudo gas natural:.....	85
2.11.4.	<i>Proceso de Percolación</i> .....	85

2.11.5.	<i>Reciclaje</i>	87
2.11.5.1.	Papel	87
2.11.7.	<i>Compostaje</i>	89
<b>3.</b>	<b>ASPECTOS GEOTÉCNICOS EN RELLENOS SANITARIOS CONTROLADOS</b>	<b>91</b>
3.1.	INTRODUCCIÓN	91
3.2.	CONFIGURACIONES CARACTERÍSTICAS DE RELLENOS SANITARIOS	91
3.3.	CONSIDERACION PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	99
3.4.	GEOMETRIA DEL DEPÓSITO	106
3.5.	GEOSINTÉTICOS	107
3.5.1.	<i>Historia</i>	107
3.5.2.	<i>Fabricación</i>	107
3.5.3.	<i>Aplicaciones</i>	109
3.5.3.1.	Estabilización de Carreteras y Taludes	109
3.5.3.2.	Separación de pavimentos	109
3.5.3.3.	Control de Erosión	109
3.5.3.4.	Control de Inundaciones	109
3.5.3.5.	Barreras de líquidos	110
3.5.3.6.	Reservorios y Estanques	110
3.5.3.7.	Túneles	110
3.5.3.8.	Tanques de almacenamiento	110
3.5.3.9.	Canales de riego	110
3.5.3.10.	Minería	110
3.5.3.11.	Rellenos sanitarios	111
3.5.4.	<i>Producción mundial de geosintéticos</i>	111
3.5.5.	<i>Tipos de geosintéticos</i>	111
3.5.6.	<i>Geomembranas</i>	111
3.5.6.1.	Tipos de Geomembranas	112
3.5.6.2.	Propiedades de las Geomembranas	115
3.5.6.3.	Características de las Geomembranas	117
3.5.6.4.	Aplicaciones en ingeniería	117
3.5.6.5.	Procesos de Soldadura y Equipos	117
3.5.6.6.	Ensayos	120
3.5.7.	<i>Geotextiles</i>	122
3.5.7.1.	Propiedades de los Geotextiles	123
3.5.7.2.	Características de los Geotextiles	124
3.5.7.3.	Aplicaciones en ingeniería	124
3.5.8.	<i>Geocompuestos</i>	125
3.5.8.1.	Propiedades y características de los geocompuestos	125
3.5.9.	<i>Geomallas</i>	125
3.5.9.1.	Propiedades de las Geomallas	126
3.5.9.2.	Características de las Geomallas	127
3.5.9.3.	Aplicaciones en ingeniería	128
3.5.10.	<i>Barreras de geosintéticos con arcilla o GCL – Geosynstetic clay liner</i>	128
3.5.10.1.	Historia	128
3.5.10.2.	Fabricación	130
3.5.10.3.	Usos Actuales	130
3.5.10.4.	Producción mundial de geosintéticos con arcilla	131
3.5.11.	<i>Propiedades ingenieriles de los geosintéticos</i>	131
3.5.12.	<i>Comparación de Geomembranas de PVC y HDPE</i>	133
3.5.12.1.	Diferencias entre el PVC y el HDPE	136
3.5.13.	<i>Anclajes de los geosintéticos</i>	136
3.6.	GEOSINTÉTICOS EN RELLENOS SANITARIOS Y PROPIEDADES INGENIERILES	137
3.7.	SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE LOS DESECHOS EN EL VERTEDERO	138
3.7.1.	<i>Barreras de arcilla</i>	138
3.7.2.	<i>Parámetros de diseño para la impermeabilización de rellenos sanitarios</i>	139

3.7.2.1.	Impermeabilización del fondo y las paredes del relleno .....	140
3.7.2.2.	Cobertura del relleno .....	141
3.7.3.	<i>Sistemas de impermeabilización del fondo de las paredes del vertedero</i> .....	144
3.7.4.	<i>Sistemas de cobertura del vertedero</i> .....	146
<b>4.</b>	<b>PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS</b> .....	<b>149</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	149
4.2.	CLASIFICACIONES Y REGULACIONES ASOCIADAS A LOS DESECHOS .....	150
4.2.1.	<i>Clasificaciones de desechos sólidos y rellenos sanitarios</i> .....	151
4.2.2.	<i>Clasificación de los desechos sólidos</i> .....	151
4.2.2.1.	Origen de los Desechos.....	152
4.2.3.	<i>Tipos de Desechos</i> .....	152
4.2.3.1.	Principales tipos de desechos presentes en los desechos sólidos municipales .....	153
4.2.3.2.	Materiales presentes en los desechos sólidos municipales.....	154
4.2.2.	<i>Revisión de las distintas estrategias internacionales para la disposición final de desechos</i> .....	155
4.3.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES .....	156
4.3.1.	<i>Clasificación</i> .....	157
4.3.2.	<i>Composición y tamaño de la partícula</i> .....	158
4.3.3.	<i>Peso unitario</i> .....	163
4.3.4.	<i>Contenido de humedad</i> .....	164
4.3.5.	<i>Compactación</i> .....	167
4.3.6.	<i>Permeabilidad</i> .....	168
4.3.7.	<i>Temperatura de los desechos sólidos municipales en el relleno sanitario</i> .....	168
4.4.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES .....	169
4.4.1.	<i>Resistencia al corte</i> .....	170
4.4.2.	<i>Compresibilidad y asentamiento</i> .....	172
4.4.3.	<i>Capacidad de carga</i> .....	173
4.4.5.	<i>Velocidad de las ondas de corte</i> .....	174
<b>5.</b>	<b>ESTABILIDAD DE LOS RELLENOS SANITARIOS</b> .....	<b>175</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	175
5.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS .....	177
5.3.	CONSIDERACIONES EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	177
5.4.	TIPOS DE INESTABILIDADES .....	178
5.4.	ANÁLISIS DE LAS POSIBLES INESTABILIDADES EN LOS VERTEDEROS.....	180
5.4.1.	<i>Inestabilidad de la formación natural</i> .....	181
5.4.2.	<i>Inestabilidad de los desechos</i> .....	184
5.4.3.	<i>Inestabilidad a nivel de las estructuras de aislamiento</i> .....	188
5.4.4.	<i>Estabilidad del tipo de cobertura</i> .....	189
5.5.	CONSIDERACIONES SÍSMICAS.....	192
5.6.	ASENTAMIENTO DE LOS DESECHOS Y DE LA DEFORMACIÓN DE BASE .....	194
5.7.	INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS FACTORES DE INESTABILIDAD.....	203
<b>6.</b>	<b>RETROCÁLCULO O BACK ANALYSIS</b> .....	<b>205</b>
6.1.	INTRODUCCIÓN .....	205
6.2.	LINEAMIENTOS GENERALES .....	205
6.3.	CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTO POR RETROCÁLCULO .....	205
6.3.1.	<i>Requisitos mínimos</i> .....	205

6.3.2.	<i>Requisitos preferenciales</i> .....	206
6.3.3.	<i>Recolección de datos</i> .....	206
6.3.4.	<i>Posibilidades de extensión del estudio</i> .....	206
6.3.4.	<i>Limitaciones</i> .....	206
6.4.	TEORÍA.....	207
6.5.	COMO REALIZAR UN ANÁLISIS DE RETROCÁLCULO.....	208
6.6.	ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD .....	210
6.6.1.	<i>Análisis de sensibilidad una sola variable</i> .....	210
6.6.2.	<i>Análisis de Sensitividad de múltiples variables</i> .....	210
6.6.3.	<i>Análisis de sensibilidad para determinar el valor del parámetro para un factor de seguridad definido</i> .....	211
6.6	ANÁLISIS EN RETROCÁLCULO: DISEÑO DE SOSTENIMIENTO .....	212
6.7.	ANÁLISIS EN RETROCÁLCULO EMPLEANDO, ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD Y ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS .....	214
6.8.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN TALUDES DE DESECHOS SÓLIDOS .....	214
6.9.	CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA REALIZAR UN ANÁLISIS POR RETROCÁLCULO .....	218
<b>7.</b>	<b>CASOS HISTÓRICOS DE DESLIZAMIENTOS EN RELLENOS SANITARIOS.....</b>	<b>221</b>
7.1.	¿LA ESTABILIDAD DE LOS RELLENOS SANITARIOS ES UN PROBLEMA?.....	221
7.2.	DESLIZAMIENTO DEL VERTEDERO DE PAYATAS (FILIPINAS) .....	224
7.2.1.	<i>Introducción</i> .....	224
7.2.2.	<i>Características del vertedero de Payatas</i> .....	225
7.2.3.	<i>Cambios meteorológicos preceden el deslizamiento</i> .....	235
7.2.4.	<i>Características del deslizamiento</i> .....	237
7.2.5.	<i>Biogás y lixiviados del Relleno Sanitario</i> .....	239
7.2.6.	<i>Efectos posteriores al deslizamiento</i> .....	241
7.2.7.	<i>Conclusiones</i> .....	242
7.3.	DESLIZAMIENTO DE RUMPKE (ESTADOS UNIDOS) .....	243
7.4.	DESLIZAMIENTO EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA (BOGOTA, COLOMBIA) .....	248
7.4.1.	<i>Antecedentes</i> .....	248
7.4.2.	<i>Relleno sanitario Doña Juana</i> .....	250
7.4.2.1.	Operación.....	250
7.4.2.2.	Manejo actual de los lixiviados.....	254
7.4.2.3.	Manejo de los gases .....	254
7.4.3.	<i>Deslizamiento</i> .....	255
7.4.4.	<i>Medidas de emergencia</i> .....	257
7.4.4.1.	Emergencia inmediata .....	257
7.4.4.2.	Medidas a largo plazo .....	259
7.4.5.	<i>Análisis del deslizamiento de basura</i> .....	259
7.4.5.1.	Análisis del experto Ingeniero brasileño Eduardo Barbosa Cordeiro.....	259
7.4.5.2.	Análisis de GeoSyntec y LFR .....	264
7.4.6.	<i>Conclusiones de la Alcaldía Mayor de Bogotá</i> .....	267
7.4.6.1.	Causa Técnicas del Deslizamiento .....	267
7.4.6.2.	Resultados del Análisis Comparativo.....	268
7.4.6.3.	Recomendaciones.....	269
7.4.6.4.	Conclusiones .....	270

7.5.	DESGLIZAMIENTO EN EL RELLENO SANITARIO DE NAVARRO, CALI COLOMBIA.....	275
7.6.	RELLENO SANITARIO DE OPERATING INDUSTRIES INC. ....	283
<b>8.</b>	<b>RELLENO SANITARIO LA BONANZA .....</b>	<b>285</b>
8.1.	HISTORIA.....	285
8.1.1.	<i>Compagnie Générale d'Entreprises Automoviles (CGEA)</i> .....	290
8.2.	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO.....	290
8.2.1.	<i>Clima y vegetación</i> .....	290
8.2.2.	<i>Relieve</i> .....	291
8.2.3.	<i>Drenaje</i> .....	291
8.2.4.	<i>Hidrogeología e hidrología</i> .....	291
8.2.4.1.	Generalidades .....	291
8.2.4.2.	<i>Características Hidrogeológicas e Hidrológicas</i> .....	292
8.3.	GEOLOGÍA.....	294
8.3.1.	<b>GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	294
8.3.1.1.	Localidad Tipo.....	294
8.3.1.2.	Descripción Litológica.....	294
8.3.1.3.	Extensión Geográfica.....	295
8.3.1.4.	Contactos .....	296
8.3.2.	<i>Geología local</i> .....	296
8.3.2.1.	Unidad de Esquisto Cuarzo Micáceo ( <i>Ecm</i> ) .....	296
8.3.2.2.	Unidad de Esquisto Grafítico Calcáreo ( <i>Egc</i> ) .....	296
8.4.	FUNCIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO .....	297
8.4.1.	<i>Generalidades</i> .....	297
8.4.2.	<i>Descripción del Sitio de Ubicación</i> .....	297
8.4.3.	<i>Funcionamiento y Proyectos de Desarrollo</i> .....	299
8.4.3.1.	Preparación de la celda .....	299
8.4.3.2.	Colocación de los residuos sólidos .....	301
8.4.3.3.	Proyectos de desarrollo .....	302
8.4.4.	<i>Influencia Sobre el Medio Ambiente</i> .....	302
8.5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	303
8.5.1.	<i>Clasificación de los Residuos Sólidos</i> .....	304
8.5.1.1.	Residuos sólidos municipales (RSM) .....	304
8.5.1.2.	Residuos hospitalarios .....	304
8.5.1.3.	Residuos peligrosos .....	304
8.5.2.	<i>Residuos sólidos municipales (RSM)</i> .....	304
8.5.2.1.	Generación.....	304
8.5.2.2.	Composición y características.....	304
<b>9.</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE .....</b>	<b>307</b>
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	307
9.2.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE.....	307
9.2.1.	<i>Construcción del talud de basura</i> .....	307
9.2.2.	<i>Modelo del talud de basura ensayado</i> .....	310
9.2.3.	<i>Colocación de la sobrecarga</i> .....	313
9.2.4.	<i>Resultados experimentales</i> .....	317
9.2.4.1.	Determinación de los parámetros geotécnicos .....	317
9.2.5.	<i>Conclusiones</i> .....	323
9.3.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN UN TALUD FALLADO.....	327
9.3.1.	<i>Inestabilidad del talud existente entre las celdas 3 y 4</i> .....	327
9.3.1.1.	Antecedentes.....	327
9.3.1.2.	Causas.....	332



9.3.1.3.	Manejo de la situación .....	333
9.3.1.4.	Análisis de estabilidad del talud de la celda 4.....	338
9.3.4.1.	Geometría del talud .....	339
9.4.	CONCLUSIONES.....	351
9.5.	RECOMENDACIONES .....	352
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>353</b>
<b>GLOSARIO.....</b>		<b>359</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	CORTE ESQUEMÁTICO DE UN RELLENO SANITARIO .....	4
FIGURA 1.2.	BIORREACTOR ANAERÓBICO .....	5
FIGURA 1.3.	BIORREACTOR AERÓBICO .....	6
FIGURA 2.1	MARCO LEGAL-NACIONAL SOBRE EL MANEJO DE DESECHOS .....	28
FIGURA 2.2.	MARCO INSTITUCIONAL .....	29
FIGURA 2.3.	PASOS IMPORTANTES DE LA CONTAMINACIÓN.....	53
FIGURA 2.4.	MODO DE INGRESO DE LOS CONTAMINANTES AL AGUA.....	54
FIGURA 2.5.	MOVIMIENTO DE SUSTANCIAS CONTAMINANTE EN EL SUBSUELO .....	56
FIGURA 2.6.	MOVIMIENTO DE FLUIDOS LÍQUIDOS DENSOS EN EL SUBSUELO.....	56
FIGURA 2.7.	MOVIMIENTO DE FLUIDOS LÍQUIDOS LIGEROS EN EL SUBSUELO.....	57
FIGURA 2.8.	MEDIDA IN SITU DEL PROCEDIMIENTO PARA INTERRUMPIR LA VÍA DE CONTAMINACIÓN .....	67
FIGURA 2.9.	TIPOS DE RELLENOS SANITARIOS DE SUPERFICIE .....	68
FIGURA 2.10.	ESQUEMA PARA UN SISTEMA DE SELLO SIMPLE .....	70
FIGURA 2.11.	SISTEMA AVANZADO DE UN SELLO SUPERFICIAL .....	71
FIGURA 2.12.	CORTE ESQUEMÁTICO DE UN RELLENO SANITARIO .....	77
FIGURA 2.14.	EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DEPENDE DE LA TOPOGRAFÍA, DEL NIVEL FREÁTICO Y DE LA DISPONIBILIDAD DE TIERRA, PRINCIPALMENTE.....	79
FIGURA 2.15.	ESPARCIR Y COMPACTAR LOS RESIDUOS.....	80
FIGURA 2.16.	CUBRIR CON TIERRA.....	81
FIGURA 3.1.	CONFIGURACIONES CARACTERÍSTICAS DE RELLENOS SANITARIOS .....	92
FIGURA 3.2.	ALMACEMANIENTO DE LOS DESECHOS DENTRO DEL CICLO HIDROLÓGICO .....	94
FIGURA 3.3.	FASES DE COLOCACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS.....	97
FIGURA 3.4.	CONFIGURACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO EN PISOS Y EN CELDAS .....	98
FIGURA 3.5.	RELLENO SANITARIO EN TRINCHERA.....	98
FIGURA 3.6.	MÉTODO DE UN RELLENO SUPERFICIAL .....	98
FIGURA 3.7.	CONFIGURACIONES DE COVERTURA FINAL .....	99
FIGURA 3.8.	ESQUEMA FUNCIONAL DE UN RELLENO SANITARIO .....	105
FIGURA 3.9.	CONFIGURACIONES CARACTERÍSTICAS DE ANCLAJES DE GEOSINTÉTICOS.....	137
FIGURA 3.10.	BARRERAS CARACTERÍSTICAS Y SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO .....	138
FIGURA 3.11.	CONFIGURACIÓN TÍPICA DEL RECUBRIMIENTO DEL FONDO DE UN RELLENO SANITARIO.....	141
FIGURA 3.12.	SISTEMA DE SELLOS EN LA BASE DE UN RELLENO SANITARIO.....	141

FIGURA 3.13.	CONFIGURACIÓN TÍPICA DE LA COBERTURA FINAL DE UN RELLENO SANITARIO .....	143
FIGURA 3.14.	IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO Y DE LA PARED DE UN VERTEDERO. ENCIMA DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO SE ENCUENTRA EL SISTEMA DE DRENAJE Y EVACUACIÓN DEL LÍQUIDO DE PERCOLACIÓN .....	144
FIGURA 3.15.	COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD ENTRE UN SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN NO CORRECTO (A) Y UNO REALIZADO CORRECTAMENTE (B).....	145
FIGURA 3.16.	SISTEMA DE ANCLAJE DE GEOSINTÉTICO BENTONÍTICO (GS), GEOMEMBRANA (GM) Y GEOTEXTIL (GT) AL BORDE SUPERIOR DE UNA CUENCA DE DEPOSITO. SE INDICAN TAMBIÉN LAS CUNETAS DE INTERCEPTACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES QUE PROVIENEN DE LA LADERA ARRIBA DE LA CUENCA (CM) Y DE LA SUPERFICIE SUPERIOR DEL VERTEDERO (CV) .....	146
FIGURA 3.17.	ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE CIERRE DE UN VERTEDERO: C) SUELO DE COBERTURA; DA) DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES; GM) GEOMEMBRANA DE HDPE; A) CAPA DE ARCILLA; GT) GEOTEXTIL; DG) DRENAJE DE GAS; B) BASURA .....	147
FIGURA 4.1.	SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO FINAL PARA RELLENOS SANITARIOS DE DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES .....	155
FIGURA 4.2.	REQUERIMIENTOS DE LA BASE DE RELLENOS SANITARIOS DE DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES.....	156
FIGURA 4.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS EMPLEANDO DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DE CONO (MANASSERO ET AL., 1996).....	157
FIGURA 4.4.	DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (JESSBERG, 1994).....	160
FIGURA 4.5.	PESO UNITARIO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES (KAVAZANJIAN ET AL., 1995).....	164
FIGURA 4.6.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES .....	166
FIGURA 4.7.	CURVA DE COMPACTACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS (MANASSERO ET AL., 1996).....	167
FIGURA 4.8.	VARIACIONES DE TEMPERATURA DE DESECHOS CON LA PROFUNDIDAD EN EL RELLENO SANITARIO DE ANO LIOSSIA, ATENAS, GRECIA (COUMOULOS, ET AL., 1995).....	169
FIGURA 4.9.	RESISTENCIA LA CORTE MOVILIZADA BAJO VARIAS CONDICIONES (KOCKEL, 1995).....	171
FIGURA 4.10.	DISMINUCIÓN DE LA COHESIÓN CON LA HUMEDAD (GABR & VALERO, 1995).....	171
FIGURA 5.2.	INESTABILIDAD DE UN RELLENO SANITARIO QUE PASA POR EL PIE DEL TALUD CON UN SUELO DE FUNDACIÓN RÍGIDA .....	179
FIGURA 5.3.	INESTABILIDAD DE UN RELLENO SANITARIO QUE PASA POR DEBAJO DEL PIE DEL TALUD CON UN SUELO DE FUNDACIÓN BLANDO .....	180
FIGURA 5.4.	CASOS DE INESTABILIDAD POSIBLES EN LAS ESTRUCTURAS DE VERTEDEROS .....	181
FIGURA 5.5.	SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO POTENCIALES EN LA EXCAVACIÓN DE LOS TALUDES DE UN RELLENO SANITARIO.....	183
FIGURA 5.6.	SUPERFICIES POTENCIALES DE FALLA A TRAVÉS DE LOS DESECHOS DE UN RELLENO SANITARIO .....	184

---

FIGURA 5.7.	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO POTENCIAL EN DESECHOS PARA CONFIGURACIONES DE RELLENOS SANITARIOS EN FOSA Y EN TRINCHERA .....	185
FIGURA 5.8.	SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO POTENCIALES EN DESECHOS EN CONFIGURACIONES DE RELLENOS SANITARIOS EN VALLES Y EN LADERA.....	186
FIGURA 5.9.	SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO POTENCIALES EN DESECHOS EN CONFIGURACIONES DE RELLENOS SANITARIOS TIPO PIRÁMIDE.....	187
FIGURA 5.10.	ESTABILIDAD ACTIVA Y PASIVA DE BLOQUES EN RELLENOS SANITARIOS DEL TIPO FOSO Y EN LADERA .....	188
FIGURA 5.11.	SUPERFICIE POTENCIAL DE FALLA EN EL RECUBRIMIENTO FINAL DE UN RELLENO SANITARIO DEBIDO AL EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN .....	189
FIGURA 5.12.	EFECTO DE LAS CARGAS DE LOS EQUIPOS CONSTRUCTIVOS EN LA ESTABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO FINAL .....	190
FIGURA 5.13.	ESTABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO .....	191
FIGURA 5.13.	PARÁMETROS DEFORMACIONALES PARA RELLENOS SANITARIOS (SOWERS, 1973) .....	198
FIGURA 6.1.	RELACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD RESIDUAL VERSUS EL ÁNGULO DE FRICCIÓN. (VOIGHT, 1973, AND BRANDON ET AL., 1991.) .....	209
FIGURA 6.2.	RESULTADOS DE UN ANÁLISIS MÚLTIPLE POR RETROCÁLCULO (CADA CURVA ES SEÑALADA CON SU FACTOR DE SEGURIDAD RELEVANTE) .....	210
FIGURA 6.3.	GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE UN ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD DEL FACTOR DE SEGURIDAD CON RESPECTO AL COEFICIENTE SÍSMICO. ....	211
FIGURA 6.4.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD CON MÚLTIPLES VARIABLES .....	211
FIGURA 6.5.	GRÁFICO DE SENSITIVIDAD, EN LA QUE LA LÍNEA HORIZONTAL PUNTEADA INTERCEPTA LA CURVA DEL ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD PARA LA COHESIÓN. EL VALOR DE 33.69KPA NOS DA UN FACTOR DE SEGURIDAD FS=1.0. ....	212
FIGURA 6.6.	LOCALIZACIÓN DE LAS FUERZAS DE SOPORTE, PARA LA OBTENCIÓN DE UN FS=1.2 PARA LA GEOMETRÍA DADA Y LA RETÍCULA DE BÚSQUEDA DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	213
FIGURA 6.7.	DESPUÉS DE HABER REALIZADO EL ANÁLISIS, EL PROGRAMA MOSTRARÁ LAS FUERZAS IGUALES O EN EXCESO PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD DADO PARA TODAS LAS SUPERFICIES CRÍTICAS CALCULADAS. TAMBIÉN MOSTRARÁ LA SUPERFICIE QUE REQUIERE EXACTAMENTE ESTA FUERZA PARA OBTENER EL FACTOR DE SEGURIDAD REQUERIDO. LAS FUERZAS DE SOSTENIMIENTO PASIVAS YA ACTIVAS PUEDEN SER MOSTRADAS. ....	213
FIGURA 6.8.	PARÁMETROS RESISTENTES EN RELLENOS SANITARIOS (PALMA, 1995).....	216
FIGURA 6.9.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE RESIDUOS SÓLIDOS. (MANASSERO ET AL., 1990) .....	217
FIGURA 6.10.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (BACK-ANALYSIS) DE RESIDUOS SÓLIDOS (HOWLAND Y LANDVA, 1992) .....	218
FIGURA 7.1.	PLANO DE UBICACIÓN DEL POBLADO DE PAYATAS Y DEL VERTEDERO EN EL ÁREA DEL METRO DE MANILA.....	225

---

FIGURA 7.2.	SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TALUD FINAL DE DISEÑO EN 1992, DONDE LA FALLA OCURRIÓ .....	229
FIGURA 7.3.	REGISTRO DE PRECIPITACIONES EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA CIUDAD DE QUEZÓN (N14.6370° E121.0771°) PARA EL PERIODO DEL 1 MAYO DE 2000 AL 31 DE JULIO DE 2000.....	237
FIGURA 7.4.	LOCALIZACIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA .....	250
FIGURA 7.5.	ESTADO ACTUAL ZONA II, CORTE TRANSVERSAL, RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA .....	255
FIGURA 7.6.	TOPOGRAFÍA GENERAL, ÁREA DESASTRE, RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA .....	256
FIGURA 8.1.	PLANO DE SITUACIÓN DEL RELLENO SANITARIO LA BONANZA .....	285
FIGURA 8.2.	PLANO GENERAL DE LA BONANZA .....	289
FIGURA 8.3.	PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS DE VENEZUELA .....	292
FIGURA 8.4.	PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE DE LA QUEBRADA EL VEGOTE.....	293
FIGURA 8.5.	EXTENSIÓN GEOGRÁFICA DE LA FORMACIÓN LAS MERCEDES .....	296
FIGURA 9.1.	UBICACIÓN DEL TALUD ENSAYADO .....	308
FIGURA 9.2.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ORIGINAL DEL TALUD DE BASURA ENSAYADO .....	309
FIGURA 9.3.	TOPOGRAFÍA MODIFICADA DEL TALUD DE BASURA CON SOBRECARGA INICIAL (CASO I).....	310
FIGURA 9.4.	FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD DE BASURA CON SOBRECARGA INICIAL (CASO I).....	312
FIGURA 9.5.	FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD DE BASURA CON LA SOBRECARGA ADICIONAL ESTIMADA.....	312
FIGURA 9.10.	FACTOR DE SEGURIDAD EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN (CASO I).....	318
FIGURA 9.11.	FACTOR DE SEGURIDAD EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN (CASO II).....	318
FIGURA 9.12.	FACTOR DE SEGURIDAD EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN (CASO III) .....	319
FIGURA 9.13.	RESISTENCIA AL CORTE EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO NORMAL (CASO I) .....	320
FIGURA 9.14.	RESISTENCIA AL CORTE EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO NORMAL (CASO II) .....	320
FIGURA 9.15.	RESISTENCIA AL CORTE EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO NORMAL (CASO III).....	320
FIGURA 9.16.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN EL EQUILIBRIO LÍMITE (BACK-ANALYSIS) .....	322
FIGURA 9.17.	ENVOLVENTE DE FALLA OBTENIDA (CASOS I, II, III).....	322
FIGURA 9.18.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE TALUDES DE BASURA (VAN IMPE Y BOUAZZA, 1996).....	322
FIGURA 9.19.	ESQUEMA DE UN TALUD EN TIERRA ARMADA O SUELO REFORZADO.....	326
FIGURA 9.20.	HISTÓRICO DE LAS EXPLOTACIONES Y UBICACIÓN DE LAS GRIETAS. ....	327
FIGURA 9.21.	DESPLAZAMIENTO DE LAS MASAS DE DESECHOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (AL INICIO SE DESPLAZABA 1 M/DÍA, PARA SEPTIEMBRE SE DESPLAZABA TAN SOLO 1 CM/DÍA).....	332
FIGURA 9.22.	ALTURAS LIBRES Y ÁNGULOS DE INCLINACIÓN, DE LOS DISTINTOS TALUDES EN DESECHOS EN EL RELLENO.....	333
FIGURA 9.23.	CONDICIÓN INICIAL: EN ROJO LAS GRIETAS; EN AZUL EL CORRIMIENTO; EN MARRÓN LAS VÍAS INTERNAS.....	336
FIGURA 9.24.	EXPLOTACIÓN DEL PASILLO QUE INTERCONECTABA RECICLAJE CON CELDA 4. ....	336
FIGURA 9.25.	EXPLOTACIÓN SUB CELDA 4 NORTE.....	336

FIGURA 9.26.	PERFILADO DEL TALUD Y SELLADO DE GRIETAS. ....	336
FIGURA 9.27.	EXPLOTACIÓN SUB CELDA 4 SUR.....	336
FIGURA 9.28	CONFORMACIÓN DE UN TALUD 3:1 (ENTRE LA BASE DE LA CELDA 4 Y LA CRESTA DEL TALUD DE LA CELDA 3). ESTA ETAPA ESTA EN PLENO DESARROLLO .....	336
FIGURA 9.29	TALUD CON PENDIENTE 3:1, ENTRE EL FINAL DE LA CELDA 4 Y LA CRESTA DEL TALUD CELDA 3.....	338
FIGURA 9.30.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA.....	339
FIGURA 9.31.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.8 .....	340
FIGURA 9.32.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.9 .....	341
FIGURA 9.33.	PARÁMETROS RESISTENTES EN RELLENOS SANITARIOS (PALMA, 1995).....	342
FIGURA 9.34.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA, CASO II.....	342
FIGURA 9.35.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.10 .....	343
FIGURA 9.36.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA, CASO III.....	344
FIGURA 9.37.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.11 .....	345
FIGURA 9.38.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA, CASO IV .....	346
FIGURA 9.39.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.12 .....	347
FIGURA 9.40.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA, CASO V.....	347
FIGURA 9.41.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.13 .....	349
FIGURA 9.42.	GEOMETRÍA DEL TALUD, CON LA SUPERFICIE DE FALLA Y LÍNEA PIEZOMÉTRICA ASUMIDA, CASO V.....	350
FIGURA 9.43.	CURVAS DE IGUAL FACTOR DE SEGURIDAD REFERIDOS A LA TABLA 9.14.....	351

### INDICE DE FOTOS

FOTO 2.1.	CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL POR ESCAPE DE COMBUSTIBLE DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	55
FOTO 3.1.	EQUIPO DE DOBLE SOLDADURA POR FUSIÓN CON CUÑA CALIENTE .....	118
FOTO 3.2.	EQUIPO DE SOLDADURA POR EXTRUSIÓN.....	119
FOTO 3.3.	EQUIPO DE SOLDADO DE POLIETILENO.....	120
FOTO 3.4.	COMPROBACIÓN DE SOLDADURA POR EXTRUSIÓN .....	121
FOTO 3.5.	EJEMPLO DEL EMPLEO EN IMPERMEABILIZACIÓN DE ESTANQUES .....	122
FOTO 3.6.	GEOTEXILES .....	123
FOTO 3.7.	GEOCOMPUESTOS.....	125
FOTO 3.8.	COLOCACIÓN DE UNA GEOMALLA .....	126
FOTO 3.9.	GEOMALLA .....	126
FOTO 7.1.	DESLIZAMIENTO EN UN RELLENO SANITARIO .....	221
FOTO 7.2.	LA FOTO MUESTRA EL ÁREA DE RESIDENCIA DEL PUEBLO, LOCALIZADA EN EL ÁREA FRONTAL DEL VERTEDERO EN EL MES DE MARZO DE 2000, ANTES DE	

	QUE OCURRIERA EL DESLIZAMIENTO. FRECUENTEMENTE EN PAÍSES EN DESARROLLO, LA GENTE NO SOLO VIVE EN LOS ALREDEDORES DE LOS VERTEDEROS, SINO TAMBIÉN VIVEN DENTRO DE ÉL.....	226
FOTO 7.3.	VISTA NOROESTE DEL ÁREA DE PAYATAS EN LA CUAL PUEDE OBSERVARSE EL RELLENO SANITARIO EN EL CENTRO. UN SEGUNDO RELLENO QUE ESTÁ SIENDO INICIADO PUEDE VERSE EN LA ESQUINA SUPERIOR DERECHA.....	227
FOTO 7.4.	VISTA DE LOS DOS RELLENOS SANITARIOS DE PAYATAS, EL PEQUEÑO OCUPA UNA EXTENSIÓN DE 5,3 HECTÁREAS Y ESTÁ UBICADO A LA IZQUIERDA DEL PRINCIPAL QUE ESTÁ A LA DERECHA Y TIENE UNA EXTENSIÓN DE 12,7 HECTÁREAS. EL DESLIZAMIENTO PUEDE VERSE EN LA PARTE FRONTAL DEL RELLENO SANITARIO MAYOR. LOS INCENDIOS, INDICADOS POR EL HUMO EN AMBOS RELLENOS, NO FUERON EXTINGUIDOS CUANDO SE INICIARON.....	228
FOTO 7.5.	FOTO DE LA FALLA DESDE UN ÁNGULO OBLICUO MOSTRANDO EL TALUD DESPUÉS DE LA FALLA. EL TALUD REMANENTE TIENE UNA INCLINACIÓN LA CUAL ES MOSTRADA CON LA LÍNEA AMARILLA, LA CUAL ES MUY CERCANA A 1V:1.5H. ....	229
FOTO 7.6	AL FONDO SE OBSERVA PARTE DEL TALUD, EL CUAL SE MANTIENE SIN FALLAR. EN LA PARTE FRONTAL EL DESLIZAMIENTO DE 1,2 MILLONES DE METROS CÚBICOS DE DESECHOS SÓLIDOS, ESTE DESLIZAMIENTO OCURRIÓ DE IZQUIERDA A DERECHA SEPULTANDO UNA GRAN PARTE DEL PUEBLO. (ÁNGULO DERECHO). ....	230
FOTO 7.7.	VISTA DEL RELLENO SANITARIO MENOR DE 5.3 HECTÁREAS MOSTRANDO UNA CÁRCAVA PROFUNDIDAD EXCAVADA DESDE EL ÁREA CENTRAL AL BORDE. ESTO EVIDENCIA QUE LOS DESECHOS SON COLOCADOS EN EL TOPE Y CAEN POR LA LADERA. ....	231
FOTO 7.8.	VIVIENDA CONSTRUIDA CON MATERIALES EXTRAÍDOS DEL RELLENO SANITARIO. LAS VIVIENDAS SON AMPLIADAS EN EL TIEMPO CON LOS MISMOS MATERIALES DE DESECHO.....	232
FOTO 7.9.	ESTA FOTO MUESTRA VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON DESECHOS EXTRAÍDOS DEL RELLENO SANITARIO. ....	232
FOTO 7.10.	VIVIENDAS ABANDONADAS DESPUÉS DE OCURRIR LA TRAGEDIA, LAS CUALES NO FUERON DESTRUIDAS. ....	233
FOTO 7.11.	LAS FOTOS MUESTRAN LAS ACCIONES DE RESCATE DE LAS PERSONAS FALLECIDAS. EL GRUPO DE RESCATE ENCONTRÓ 216 PERSONAS FALLECIDAS, PERO SE REPORTÓ UN TOTAL DE 100 PERSONAS DESAPARECIDAS.....	233
FOTO 7.12.	EN ESTA FOTOGRAFÍA SE MUESTRA LA SITUACIÓN DEL VERTEDERO EN AGOSTO DE 2000, CASI CUATRO SEMANAS DESPUÉS DE OCURRIR LA FALLA. LOS TRABAJOS DE RESCATE FUERON SUSPENDIDOS ANTES DEL CIERRE. LA VISTA MUESTRA LA FALLA DESDE LA CRESTA DEL TALUD NO DESLIZADO ASÍ COMO EL ÁREA DESCUBIERTA POR EL DESLIZAMIENTO. ....	234
FOTO 7.13.	LA MISMA LOCALIZACIÓN DE LA FOTO 7.12, VISTA DESDE ABAJO.....	235
FOTO 7.14.	FOTO SATELITAL DEL TIFÓN KAI-TAK A LAS 0700 GTM, 8 DE JULIO DE 2000 (JAPAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 2000).....	236

FOTO 7.15.	VISTA AÉREA DEL NORTE AL SUR DEL DESLIZAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO .....	238
FOTO 7.16.	VISTA AÉREA DEL RELLENO SANITARIO DE PAYATAS MOSTRANDO EL DESLIZAMIENTO EN EL LADO NOROESTE .....	238
FOTO 7.17.	DE MANERA DE PROTEGER EL PUEBLO DE LOS LIXIVIADOS QUE CORRÍAN FUERA DEL VERTEDERO, SE ABRIÓ UNA ZANJA ALREDEDOR DEL ÁREA DESLIZADA. (N14.71798° E121.10622°; 2 DE AGOSTO DE 2000).....	240
FOTO 7.18.	ACERCAMIENTO A UNA ZONA DE ACUMULACIÓN DE LIXIVIADOS EN EL PIE DEL TALUD, MOSTRANDO LAS BURBUJAS DE BIOGÁS PRODUCIDO EN EL RELLENO SANITARIO. ....	241
FOTO 7.19.	ACUMULACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS UN MES DESPUÉS DE OCURRIR EL DESLIZAMIENTO. ÉSTA ACUMULACIÓN DE DESECHOS QUE PUEDE VERSE EN LA FOTOGRAFÍA, ES UN TERRENO PRIVADO ADYACENTE A LA ESTACIÓN DE QUEZÓN, PERTENECIENTE AL SISTEMA DE TRANSPORTE RÁPIDO DE MANILA. OBSERVE TAMBIÉN EL CAMIÓN AZUL RECOLECTOR DE BASURA, QUE ACABA DE DESCARGAR UNOS DESECHOS SÓLIDOS. ....	242
FOTO 7.20.	VISTA AÉREA DEL RELLENO SANITARIO DE RUMPKE, DESPUÉS DE OCURRIR EL DESLIZAMIENTO.....	244
FOTO 7.21.	GRIETAS DE TRACCIÓN EL MATERIAL DE RELLENO QUE SIRVE COMO COBERTURA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS, EN LA CRESTA DEL TALUD .....	245
FOTO 7.22.	FORMA DE CONCHA DEL ÁREA FALLADA .....	246
FOTO 7.23.	ÁREA DE EXPANSIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DESPUÉS DEL DESLIZAMIENTO.....	247
FOTO 7.24.	FOTOGRAFÍA DEL RELLENO DE DOÑA JUANA, EN LA CUAL SE A DELIMITADO LA ZONA EN LA CUAL OCURRIÓ EL DESLIZAMIENTO. ....	248
FOTO 7.25.	FOTOGRAFÍA ÁREA DE LA CIUDAD SANTA FE DE BOGOTA Y EL RELLENO SANITARIO DE DOÑA JUANA .....	251
FOTO 7.26.	ANTIGUO BOTADERO DE BASURA DE NAVARRO .....	275
FOTO 7.27.	PREPARACIÓN DE SITIO PARA CONVERTIR EL VERTEDERO DE BASURA DE NAVARRO EN UN RELLENO SANITARIO, COLOCACIÓN DE CAPA DE ARCILLA.....	275
FOTO 7.28.	IMPERMEABILIZACIÓN CON GEOMEMBRANAS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN .....	276
FOTO 7.29.	FASE CONSTRUCCTIVA DEL RELLENO SANITARIO .....	276
FOTO 7.29.	TODA LA BASURA DEL VERTEDERO (10.950.000 Tn) ESTAN EN EL RELLENO SANITARIO .....	277
FOTO 7.30.	VISTA AÉREA DE UNA FALLA CIRCULAR DE UN TALUD DE BASURA EN EL RELLENO SANITARIO “NAVARRO” EN CALI, COLOMBIA .....	277
FOTO 7.31.	VISTA AÉREA DE UNA FALLA CIRCULAR DE UN TALUD DE BASURA EN EL RELLENO SANITARIO “NAVARRO” EN CALI, COLOMBIA .....	278
FOTO 7.32.	VISTA AÉREA DE UNA FALLA CIRCULAR DE UN TALUD DE BASURA EN EL RELLENO SANITARIO “NAVARRO” EN CALI, COLOMBIA .....	278
FOTO 7.33.	VISTA AÉREA DE UNA FALLA CIRCULAR DE UN TALUD DE BASURA EN EL RELLENO SANITARIO “NAVARRO” EN CALI, COLOMBIA .....	279

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

FOTO 7.34.	PREPARACIÓN DEL SITIO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO RELLENO SANITARIO AL CERRO NAVARRO .....	280
FOTO 7.35.	FASE CONSTRUCTIVA DEL RELLENO SANITARIO ADJUNTO AL CERRO NAVARRO .....	281
FOTO 7.36.	VISTA LATERAL DEL RELLENO SANITARIO ADJUNTO AL CERRO NAVARRO.....	282
FOTO 7.37	FOTOGRAFÍA AÉREA DEL RELLENO SANITARIO MANEJADO POR OPERATING INDUSTRIES INC. MOSTRANDO LA AUTOPISTA DE POMONA A LA IZQUIERDA Y UN NÚMERO SIGNIFICATIVO DE VIVIENDA EN LOS OTROS LADOS DEL RELLENO SANITARIO.....	284
FOTO 8.1.	VISTA AÉREA DEL RELLENO SANITARIO LA BONANZA (1997) .....	286
FOTO 8.2.	FOTOGRAFÍA AÉREA DEL ÁREA DONDE ESTÁ UBICADO EL RELLENO SANITARIO LA BONANZA, TOMADA EL 05-04-1975, ESCALA 1:25.000, MISIÓN 030198, FOTO N° 4575. (INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA, SIMÓN BOLÍVAR) .....	287
FOTO 8.3.	FOTOGRAFÍA AÉREA DEL ÁREA DONDE ESTÁ UBICADO EL RELLENO SANITARIO LA BONANZA, TOMADA EL 04-1991, ESCALA 1:25.000, MISIÓN 0303200, FOTO N° 116 (INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR) .....	288
FOTO 8.4.	ORTOMAPA DEL ÁREA DONDE ESTÁ UBICADO EL RELLENO SANITARIO LA BONANZA, REALIZADO A PARTIR DE FOTOGRAFÍA AÉREA A COLOR, A ESCALA 1:60.000, OBTENIDA EN FEBRERO DE 1994, MISIÓN 0304184. ESCALA DEL ORTO MAPA 1:25.0000 (INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR).....	289
FOTO 8.5.	VISTA DE LOS QUEMADORES EN LA TERRAZA NORTE .....	298
FOTO 8.6.	PERFILADO DEL TALUD .....	300
FOTO 8.7.	COLOCACIÓN DE LA GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL EN EL TALUD.....	300
FOTO 8.8.	COMPACTACIÓN DE LAS CAPAS DE ARCILLA .....	300
FOTO 8.9.	COLOCACIÓN DE LA GEOMEMBRANA Y GEOTÉXTIL EN EL FONDO DE LA CELDA.....	300
FOTO 8.10.	COLOCACIÓN DE CAPA DE GRAVA .....	300
FOTO 8.11.	COLOCACIÓN DE CAUCHOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA GEOMEMBRANA.....	300
FOTO 8.12.	DESCARGA DE RESIDUOS SÓLIDOS DIRECTAMENTE EN LA CELDA.....	301
FOTO 8.13.	RECICLAJE, CARGA Y ACARREO DE RESIDUOS SÓLIDOS HACIA LA CELDA .....	301
FOTO 8.14.	ESPARCIMIENTO Y COMPACTACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	301
FOTO 8.15.	COLOCACIÓN DE LA CAPA DE RECUBRIMIENTO.....	301
FOTO 9.1.	VISTA DE LAS CELDAS 1, 2 Y 3 DEL RELLENO SANITARIO LA BONANZA.....	308
FOTO 9.2.	PERFILADO DEL TALUD DE BASURA CON SOBRECARGA INICIAL .....	309
FOTO 9.3.	TALUD DE BASURA PERFILADO CON SOBRECARGA INICIAL .....	309
FOTO 9.4.	DESCARGA DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO .....	313
FOTO 9.5.	ESPARCIMIENTO DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO.....	313
FOTO 9.6.	CONTROL DEL ESPESOR DE LA CAPA DE TIERRA.....	314
FOTO 9.7.	COMPACTACIÓN DE LA SOBRECARGA ADICIONAL.....	314
FOTO 9.8.	PERFILADO DEL TALUD DE BASURA CON SOBRECARGA ADICIONAL.....	314
FOTO 9.9.	TALUD DE BASURA SON SOBRECARGA ADICIONAL.....	314
FOTO 9.10.	CARA DEL TALUD ENSAYADO, PUEDE VERSE QUE LOS DESECHOS ESTAN ORIENTADO DE MANERA PERPENDICULAR A LA CARA.....	324



FOTO 9.11.	EFEECTO REFORZADOR DEL PLÁSTICO EN EL TALUD .....	325
FOTO 9.12.	DIRECCIÓN DE DISPOSICIÓN DE AVANCE DE LA CELDA CON LA DIRECCIÓN DE COMPACTACIÓN, TAMBIÉN PUEDE APRECIARSE QUE EL TALUD ENSAYADO ES PERPENDICULAR A ESTAS DIRECCIONES.....	325
FOTO 9.13.	DETALLE DE LOS ELEMENTOS COMPACTADORES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS, SU CONFIGURACIÓN PERMITE LA ORIENTACIÓN PREFERENCIAL. ....	326
FOTO 9.14.	GRIETA LONGITUDINAL (EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE LOS DESECHOS Y EL TALUD SUR) Y TRANSVERSAL. JUNIO, 2002. ....	328
FOTO 9.15.	GRIETAS EN LA SUPERFICIE DEL TALUD (JUNIO 2002) .....	328
FOTO 9.16.	CORRIMIENTOS EN LA BASE DEL TALUD (JULIO, 2002) .....	329
FOTO 9.17.	GRIETA TRANSVERSAL ACTUALMENTE (DE 5 A 6 METROS DE ANCHO), (AGOSTO 2002).....	329
FOTO 9.18.	ASENTAMIENTO DEL MATERIAL DESPLAZADO (DE 2 A 3 METROS), (AGOSTO 2002). ....	330
FOTO 9.19.	GRIETA SUPERIOR, A TODO LO ANCHO DE LAS CELDAS.....	330
FOTO 9.20.	ASENTAMIENTO GENERAL DE LA MASA EN MOVIMIENTO (1 M).....	331
FOTO 9.21.	EXPLOTACIÓN DEL PASILLO ENTRE RECICLADORES Y CELDA 4.....	334
FOTO 9.22.	INICIO DE LA EXPLOTACIÓN EN LA SUB CELDA 4 NORTE. ....	334
FOTO 9.23.	PERFILADO DEL TALUD Y SELLADO DE LAS GRIETAS. ....	335
FOTO 9.24.	EXPLOTACIÓN DE LA SUB CELDA 4 SUR.....	335
FOTO 9.25.	EN LA FOTO SE APRECIAN PARTE DE LAS PERFORACIONES, ASÍ COMO ALGUNAS DE LAS TRINCHERAS IMPLEMENTADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE LIXIVIADOS .....	337
FOTO 9.26.	RED DE TRINCHERAS EN EL FONDO DE LA SUB CELDA 4 SUR.....	337

### **INDICE DE TABLAS**

TABLA 2.1	INSTITUCIONES DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	39
TABLA 2.2.	EFECTOS CANCERÍGENOS Y NO CANCERÍGENOS DE ALGUNAS SUSTANCIAS	52
TABLA 2.3.	FUENTES DE CONTAMINANTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL	54
TABLA 2.3.	(CONTINUACIÓN) FUENTES DE CONTAMINANTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL	54
TABLA 2.3.	LISTA INGLESA PARA CONTENIDOS DE METALES PESADAS EN EL SUELO (1980)	58
TABLA 2.5.	LISTA DE HOLANDA CONTENIDOS DE CONTAMINANTES ES SUELOS Y AGUAS	59
TABLA 2.5.	(CONTINUACIÓN) LISTA DE HOLANDA CONTENIDOS DE CONTAMINANTES ES SUELOS Y AGUAS	60
TABLA 2.5.	(CONTINUACIÓN) LISTA DE HOLANDA CONTENIDOS DE CONTAMINANTES ES SUELOS Y AGUAS	61
TABLA 26.	NORMAS ALEMANAS Y EUROPEAS PARA AGUA POTABLE	61
TABLA 26.	NORMAS ALEMANAS Y EUROPEAS PARA AGUA POTABLE	62
TABLA 2.7	CONTENIDO MÁXIMO DE ELEMENTOS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS:	64
TABLA 2.8.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y RESTRICCIÓN A TERRENOS	65

TABLA 2.9.	MEDIDAS DE RECUPERACIÓN O SANEAMIENTO MÁS COMUNES	66
TABLA 3.1.	COMPONENTES DE COSTOS DE UN RELLENO SANITARIO	94
TABLA 3.2.	PRINCIPALES TIPOS DE GEOMEMBRASA Y SUS USOS	112
TABLA 3.3.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS GEOMEMBRANAS	114
TABLA 3.4.	RANGO CARACTERÍSTICO DE RESISTENCIA DE GEOMALLAS EN LA DIRECCIÓN DE MÁXIMA RESISTENCIA	127
TABLA 3.5.	COLOR DE GEOMALLAS	127
TABLA 3.6.	DIFERENCIAS ENTRE BARRERAS DE GEOSINTÉTICOS CON ARCILLA Y BARERRAS DE ARCILLAS COMPACTADAS	129
TABLA 3.7.	PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS GEOSINTÉTICOS	131
TABLA 3.8.	RANGO CARACTERÍSTICO DE ÁNGULOS DE FRICCIÓN REPORTADOS ENTRE SUELO/GEOTEXTIL	132
TABLA 3.9.	RANGOS CARACTERÍSTICOS DE ANGULOS DE FRICCIÓN REPORTADOS ENTRE SUELO/GEOMEMBRANA	133
TABLA 3.10.	RANGOS CARACTERÍSTICOS DE ANGULOS DE FRICCIÓN REPORTADOS ENTRE GEOSINTÉTICO/GEOSINTÉTICO	133
TABLA 3.11.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO BAJO CONDICIONES HIDRÁULICAS VARIABLES	134
TABLA 4.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS SEGÚN SU ORIGEN	152
TABLA 4.2.	PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES	154
TABLA 4.3.	VARIACIONES GEOGRÁFICAS EN LA COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES (MANASSERO ET AL, 1996)	159
TABLA 4.4.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS LANDVA Y CLARK, (1990)	159
TABLA 4.5.	COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNOS LUGARES DE VENEZUELA	160
TABLA 4.6.	COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNOS LUGARES DE AMÉRICA LATINA	160
TABLA 4.7.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNAS LOCALIDADES CON POBLACIÓN MENOR A 50 M HABITANTES	161
TABLA 4.8.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNAS LOCALIDADES CON POBLACIÓN ENTRE 50,1 Y 100 M HABITANTES	162
TABLA 4.9.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNAS LOCALIDADES CON POBLACIÓN ENTRE 100,1 Y 500 M HABITANTES	162
TABLA 4.10.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ALGUNAS LOCALIDADES CON POBLACIÓN MAYOR A 500 M HABITANTES	162
TABLA 4.11.	VALORES CARACTERÍSTICOS DE DENSIDAD DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES	165
TABLA 4.12.	VALORES TÍPICOS DE HUMEDAD - DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES	166
TABLA 4.13.	DENSIDADES DE DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES RECOLECTADOS Y COMPACTADOS (POR 1000 KG DE DESECHOS) .....	167
TABLA 4.14.	COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD PARA DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES (MANASSERO ET AL., 1996) .....	168
TABLA 4.15.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE RESIDUOS SÓLIDOS (BASURA) .....	170

---

TABLA 5.1.	ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN ENTRE MATERIALES .....	188
TABLA 8.1.	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS .....	305
TABLA 9.1.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE RESIDUOS SÓLIDOS (BASURA) 310	
TABLA 9.2.	FACTOR DE SEGURIDAD EN FUNCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (CASOS I, II Y III) .....	317
TABLA 9.3.	FACTOR DE SEGURIDAD EN FUNCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (CASOS I, II Y III) .....	317
TABLA 9.4.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN EL EQUILIBRIO LÍMITE (CASOS I, II Y III) .....	319
TABLA 9.5.	ESFUERZO NORMAL PROMEDIO PARA CADA ENVOLVENTE DE FALLA (CASOS I, II Y III) .....	321
TABLA 9.6.	RESISTENCIA AL CORTE Y ESFUERZO NORMAL (CASOS I, II Y III) 321	
TABLA 9.7.	MONITOREDO DE DESPLAZAMIENTOS ENTRE EL 02-JULIO Y 23-AGOSTO DE 2002 .....	331
TABLA 9.8.	FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $r_u = 0.25$ , $\gamma_d = 11kPa$ ) (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	339
TABLA 9.9.	GEOMETRÍA DEL TALUD SIN CONSIDERAR PRESENCIA DE LIXIVIADOS (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	340
TABLA 9.10.	FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $r_u = 0.25$ , $\gamma_d = 11kPa$ ) CASO II (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	343
TABLA 9.11.	FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $r_u = 0.25$ , $\gamma_d = 11kPa$ ) CASO III, (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	345
TABLA 9.12.	FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $r_u = 0.25$ , $\gamma_d = 11kPa$ ) CASO IV, (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	346
TABLA 9.13.	FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $r_u = 0.25$ , $\gamma_d = 11kPa$ ) CASO V, (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	348
TABLA 9.14.	FACTORES DE SEGURIDAD SIN CONSIDERAR LA PRESENCIA DE LIXIVIADOS ( $\gamma_d = 11kPa$ ) CASO VI, (MÉTODO DE MORGESTERN Y PRICE) .....	350





## 1. Introducción



generación de residuos.

Hace 30 años, la generación de residuos por persona era de unos 200 a 500 gr/hab/día, mientras que hoy se estima entre 500 y 1.000 gr/hab/día. En los países desarrollados, esta cifra es dos a cuatro veces mayor. Pero el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos.

En muchos países latinoamericanos, la producción de residuos sólidos urbanos pasó del orden de 600 gr/hab/día en 1985 a cerca de 900 gr/hab/día en 1999. El vertedero sanitario, es el medio mas ampliamente empleado como disposición final de estos residuos, es una obra de ingeniería en la que se emplean técnicas y maquinaria de movimiento de tierras para construir rellenos artificiales. Los residuos sólidos empleados como material principal del relleno, tienen un elevado potencial contaminante que se refleja principalmente en la producción de lixiviados y biogás. Las características y heterogeneidad de estos residuos, influyen en debilidades geotécnicas como alta compresibilidad, baja capacidad portante y débil estabilidad. Por ello, en la actualidad existe una creciente participación de profesionales geotécnicos en las etapas de selección del emplazamiento, diseño, construcción, cierre, sellado y reinserción de rellenos sanitarios.

A lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, pues su presencia es más evidente que otro tipo de residuos y su proximidad resulta molesta. La sociedad solucionó este problema quitándolo de la vista, arrojándolo a las afueras de las ciudades, cauces de los ríos o en el mar, u ocultándolo mediante enterramiento. El crecimiento acelerado de la población en los últimos años, así como el proceso de industrialización han aumentado la

---

Estos antecedentes permiten deducir que se está en presencia de una obra de ingeniería de importantes costos, donde la geotecnia tiene una activa participación tanto en el proyecto, como en su ejecución, operación y rehabilitación.

Estos trabajos se desarrollan dentro de la línea que se ha denominado “geotecnia o geotecnología ambiental”, que es el encuentro entre la geotecnia clásica y las ciencias ambientales, que se produce cuando se atienden cuestiones en las que por el propio material o por el método de solucionar el problema, es preciso el concurso de la geotecnia, o cuando se trata de aspectos geotécnicos en los cuales las acciones son de tipo ambiental.

Según su origen los desechos pueden clasificarse entre domésticos e industriales. A su vez los domésticos pueden tener diversos orígenes como por ejemplo: tener origen habitacional, hospitalario, provenir de actividades comerciales o de servicios, etc.

Entre los residuos más tóxicos se encuentran los generados por la industria química y los desechos de productos químicos usados en sectores urbanos. Entre ellos destacan: las dioxinas, el cloruro de vinilo y los bifenilos policlorados contenidos en el aceite de transformadores eléctricos. Además, tenemos el arsénico, el plomo, mercurio, cromo y los de carácter radioactivo.

Por otra parte, debido a la necesidad de tomar medidas sobre los residuos, ha surgido una variada legislación sobre el tema. Desde el punto de vista económico también se han establecido diversas definiciones y clasificaciones de los residuos por su distinto valor económico, según sean aprovechables en procesos posteriores a su generación.

La generación, tratamiento y confinamiento final de los residuos, han dado origen a un nuevo e importante sector en la industria, en especial en países desarrollados. Las necesidades de manejo, minimización, aprovechamiento y confinamiento de los desechos, se han convertido en uno de los factores de impulso de la investigación científica y el desarrollo de nuevas tecnologías. Incluso los procesos educativos se han visto afectados por la necesidad de crear nuevos valores y hábitos de conducta apropiados para reducir el impacto social negativo que cada uno genera con sus residuos.

Finalmente la solución del problema de los desechos, depende de la voluntad de muchas instancias de la sociedad. Debido a que el problema ha adquirido dimensiones globales, ya sea por su impacto ambiental, o por los recursos económicos y tecnológicos que moviliza, en busca de soluciones.

Los rellenos sanitarios son empleados para la disposición final de los desechos sólidos. Los rellenos sanitarios son instalaciones modernas, diseñadas de acuerdo a normativas que imponen restricciones a su localización, diseño, operación, seguimiento y financieros de manera que se puedan cumplir con las especificaciones impuestas. Las regulaciones establecen además la protección a la salud y al entorno ambiental. Estas regulaciones incluyen:

- Restricciones en la ubicación, deben localizarse en zonas alejadas de cuerpos de agua, zonas residenciales, aeropuertos, lugares destinados a la agricultura y a la cría de animales, etc.
- Debe prevenirse el flujo de lixiviados al subsuelo empleando arcillas, geosintéticos instalados en la base del relleno sanitario antes de que comience la disposición de los desechos sólidos.
- Prevenir que la basura no sea dispuesta fuera del lugar destinado, deben eliminarse los malos olores y recubrir los desechos del día con tierra a fin de mantener el relleno sanitario limpio;

- Seguimiento del agua subterránea;
- Seguimiento del relleno en la clausura y post-clausura;
- Realizar un plan de prevención de riesgos;
- Tener un plan de acción para la producción y manejo de lixiviados y biogás.

Si la humedad de los desechos, que entran a un relleno sanitario son minimizados para controlar la producción de lixiviados, la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios puede requerir décadas y a veces centurias.

### 1.1.RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios tradicionales encapsulan y almacenan los desechos sólidos (figura 1.1.). En el pasado, los rellenos sanitarios frecuentemente no recubrían bien los desechos sólidos, generando problemas de incendios y polución. Así como también se tenía poco o ningún control con la escorrentía de las aguas de lluvia y su migración al interior de los rellenos, resultando una contaminación de las aguas subterráneas. Otros problemas asociados con los rellenos sanitarios a cielo abierto y los botaderos son los incendios, los roedores, olores, lixiviados y gases explosivos, estando muy alejados del concepto de relleno sanitario.

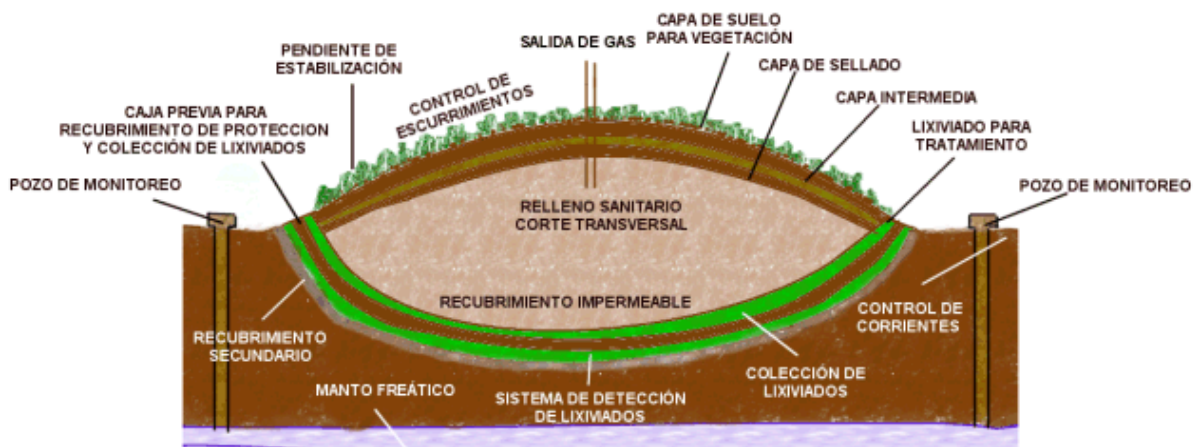


Figura 1.1. Corte esquemático de un relleno sanitario

En un relleno sanitario se trata de aislar los desechos, y controlar los lixiviados y biogás que se generan y que tienden a fluir fuera del relleno, evitando impactos ambientales adversos.

Se llaman lixiviados a los líquidos que se generan a raíz de la degradación de la materia orgánica (de origen bioquímico) y los líquidos que se originan de la infiltración de agua en el relleno (de origen hidrológico). Los gases generados a raíz de la degradación de la materia orgánica se suelen llamar "biogás", gases que cuando se forman en ambientes sin oxígeno contienen principalmente metano y dióxido de carbono.

En los rellenos sanitarios tradicionales, el manejo de los bioproductos generados, tales como los lixiviados y gases del relleno sanitario son pasivos. En ambos casos, a los lixiviados y los gases no se



les permite su migración fuera del relleno. Los lixiviados son producidos cuando las precipitaciones se infiltran en el relleno e interacciona con los desechos. En este tipo de relleno sanitario, los lixiviados son recolectados y tratados ex-situ. Por lo tanto, para reducir los costos adicionales por la disposición de los lixiviados, se trata de reducir la generación de los mismos evitando la infiltración de aguas de lluvia dentro del relleno. Los gases son generados como resultado de la biodegradación anaeróbica de la materia orgánica, la cual es del 50 – 70 % de los desecho sólidos. El principal gas producido es el metano, el cual es explosivo y es un gas que produce efecto invernadero, Otro gas producido en el relleno de manera significativa es el dióxido de carbono, que también tiene efecto invernadero.

Las zonas de operación de un relleno sanitario son diseñadas con los siguientes elementos físicos de aislamiento y de control:

Para asegurarse que los lixiviados y los gases del relleno no migren del relleno, se colocan barreras de suelo (mas de 60 cm de espesor de arcillas) o membranas de geosintéticos de HDPE (Polietileno de Alta Densidad) son empleados también como barreras.

## 1.2. BIORREACTORES

En los años 1980, se inicio la operación los rellenos sanitarios como biorreactores con el reciclamiento de los lixiviados, del tipo aeróbico (figura 1.2), del tipo anaeróbico (figura 1.3) ó híbrido

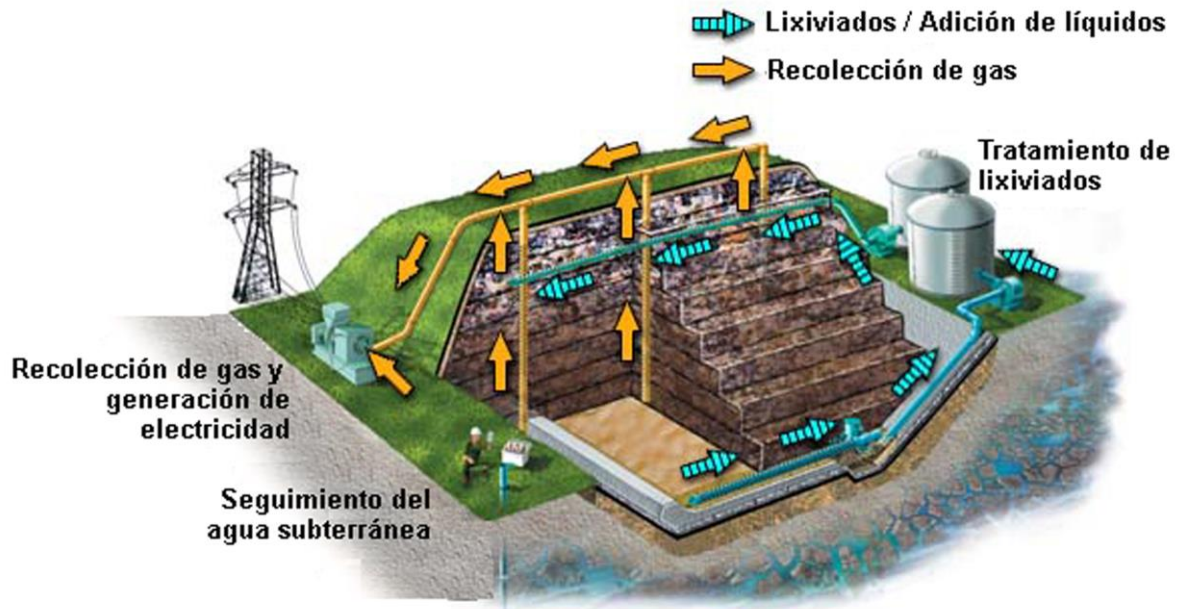


Figura 1.2. Biorreactor anaeróbico

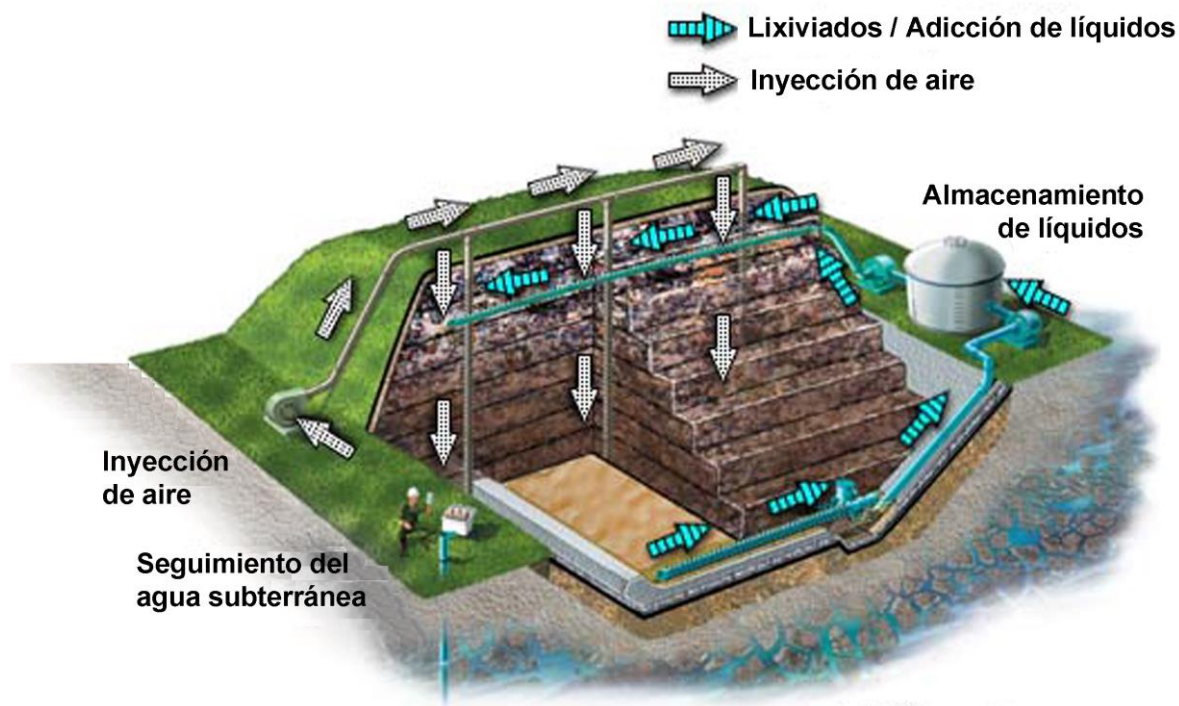


Figura 1.3. Biorreactor aeróbico

Un relleno sanitario biorreactor opera en la transformación rápida y degradación de los desechos orgánicos.

Los biorreactores son similares a los rellenos sanitarios tradicionales con la mejora del reciclaje de los lixiviados agregándole agua suplementaria y algunas veces biosólidos. El incremento del contenido de humedad y el agregar los biosólidos mejoran el ambiente para la descomposición microbiana. El contenido característico de humedad en los rellenos con reciclamiento de lixiviados es del orden del 30%, mientras que en los biorreactores es del 40 - 50%. Para acelerar la descomposición, la aireación puede ser incorporada. La aireación puede ser a corto plazo de manera de mejorar las condiciones iniciales de degradación, o puede ser a largo plazo para promover una rápida descomposición. El problema con los rellenos sanitarios aireados es que el riesgo de incendios aumenta debido al calor generado por la descomposición aeróbica.

Al incrementar el contenido de humedad y el flujo de humedad a través del relleno sanitario, el entorno para los procesos microbiológicos es óptimo y lo más importante el tiempo para estabilizarlo disminuye. También se han realizado varios estudios y ensayos que han evaluado los efectos del reciclaje de lixiviados. Los estudios han demostrado que la recirculación de lixiviados tiene las siguientes ventajas:

- Degradación acelerada de los desechos sólidos;
- Incremento de la producción de gas a corto plazo;
- Mejoramiento de la calidad de los lixiviados;

- 
- Aceleración del reuso del relleno sanitario para otros usos, es posible gracias a la biodegradación más rápida de los contaminantes.

Sin embargo la humedad introducida en el sistema algunas veces no es bien distribuida. El agua encuentra sus propias rutas y como resultado, algunas partes del relleno sanitario muestran una mayor degradación y estabilidad que otras.

A los rellenos sanitarios cerrados debe hacerse un proceso de seguimiento de 30 años después de su clausura. Esto debe incluir la extracción del metano y lixiviados generados y un seguimiento constante de las aguas subterráneas. Estos rellenos generalmente son convertidos en parques debido a que los asentamientos que puede experimentar los hacen inviables para soportar estructuras.

Para la operación de un biorreactor, se requiere tener lixiviados adicionales almacenados, tuberías, estaciones de bombeo y distribución de lixiviados. Los rellenos sanitarios que funcionen como biorreactores requieren un seguimiento muy cuidadoso y control de las condiciones dentro del relleno. En estos rellenos el operador puede ajustar varios parámetros de manera de incrementar el contenido de humedad, frecuencia de recirculación, colocación de los desechos, temperatura, adición de nutrientes, inoculación microbiana y adición de estabilizadores. El manejo apropiado puede mejorar la rápida estabilización del relleno sanitario y una alta producción de metano.

Las ventajas de los rellenos sanitarios biorreactores es que tienen más espacio disponible para la disposición de los desechos y un manejo más fácil del metano y los lixiviados, ya que requieren menos tiempo para su generación y el tiempo de postclausura disminuye. También tiene algunas desventajas tales como: requiere más energía, experticia e inversión para operar un relleno sanitario biorreactor que un relleno sanitario convencional.

### 1.2.1. Tipos de biorreactores

Existen tres diferentes configuraciones de rellenos sanitarios biorreactores:

- **Aeróbico:** En un relleno sanitario biorreactor aeróbico el lixiviado es retirado desde la capa inferior, bombeado a los tanques de almacenamiento y recirculado en el relleno sanitario de una manera controlada. El aire es inyectado en la masa de desechos, empleando pozos verticales y horizontales, de manera de promover la actividad aeróbica y acelerar la estabilización de la basura.
- **Anaeróbico:** En un relleno sanitario biorreactor anaeróbico, se agrega humedad a la masa de desechos de manera de recircular los lixiviados de manera de obtener niveles óptimos de humedad. La biodegradación ocurre en ausencia de oxígeno (anaeróbica), con la consiguiente producción de gas (principalmente metano) y su captación a fin de evitar el efecto invernadero.
- **Híbrido:** En el relleno sanitario biorreactor híbrido (Aeróbico-Anaeróbico) la degradación de los desechos se realiza por el empleo de una manera secuencial de un tratamiento aeróbico-anaeróbico de manera de degradar rápidamente la materia orgánica en las secciones superiores del relleno y recolectar el gas en las secciones inferiores.

### **1.3. ¿QUE ES GEOTECNIA AMBIENTAL?**

La Geotecnia Ambiental puede ser definida como tal parte de la Geotecnia, que estudia los problemas ecológicos e higiénicos causados por la contaminación del agua subterránea y del suelo y trata de buscar soluciones a los mismos.

Específicamente se pueden destacar los estudios de:

- Las fuentes de sustancias contaminantes y los mecanismos de su transporte en el subterráneo;
- Los daños que pueden causar estas contaminaciones a la naturaleza y al hombre;
- La prevención de contaminaciones y
- La recuperación y protección de agua y suelo, como las tareas básicas de la Geotecnia Ambiental.

La Geotecnia Ambiental, tiene un carácter predominantemente interdisciplinario. Se requiere conocimientos básicos en varias disciplinas de las ciencias naturales y la ingeniería como por ejemplo, Química, Física, Ecología, Biología, Toxicología, Geología General, Hidrogeología y Mecánica de Suelos (entre otros).

La formación de grupos de trabajo y la cooperación de profesionales de distintas disciplinas es algo esencial para resolver problemas ambientales.

### **1.4. OBJETIVO DEL TRABAJO**

El propósito de este estudio es dar una visión de la geotecnia aplicada a rellenos sanitarios, durante todo el proceso de diseño, operación y clausura de un relleno sanitario. Se hace una revisión histórica de deslizamientos ocurridos en rellenos sanitarios a nivel mundial, cuyas consecuencias en algunos casos han causado la muerte de personas y los impactos ambientales asociados a estas fallas. Se señalan las propiedades físicas y mecánicas de los desechos sólidos que deben evaluarse para realizar los análisis de estabilidad y finalmente se analizó un talud en desechos sólidos con análisis por retrocálculo o back analysis para determinar los parámetros de resistencia para ese talud en particular y en ese momento, debido a la variabilidad de las propiedades mecánicas con el tiempo.

## 2. Geotecnia Ambiental

### 2.1. DESARROLLO DE LA GEOTECNIA AMBIENTAL



Entre 1940 y 1960, los países industrializados, experimentan una enorme expansión en la capacidad de manufactura, gracias al procesamiento del petróleo y a la elaboración de nuevos químicos. Los ingenieros geotécnicos y los especialistas en ciencias de la tierra jugaron un papel muy importante en esta expansión por el descubrimiento de yacimientos de petróleo, investigación de la estratigrafía del subsuelo y las condiciones del suelo, el diseño de fundaciones para edificios y maquinas y el

desarrollo de las especificaciones de los movimientos de tierra.

Las raíces de la geotecnia se remontan al siglo XVIII. Contribuciones legendarias fueron realizadas por Coulomb, Rankine, Terzaghi y muchos otros en las dos últimas centurias. Aunque la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones (*International Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering*, ISSMFE), realizó su primer congreso en 1936, la práctica actual de la mecánica de suelos e ingeniería de fundaciones, se desarrolló después de la Segunda Guerra Mundial y particularmente se hizo mas extensiva entre los años 1950 y 1960. Las principales revistas de Ingeniería Geotecnia, como *Geotechnique*, *Canadian Geotechnical Journal* y *American Society of Engineer's (ASCE's)*, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division* (ahora *Journal of Geotechnical Engineering*), publicaron sus primeros números en la década de 1950.

Estos avances en este campo que llamamos ingeniería geotécnica en los años 1950 a 1960, prácticamente no enfatizan la materia ambiental en la práctica geotécnica durante este periodo. El papel del ingeniero geotécnico en las decisiones ambientales, fueron relativamente pequeñas hasta 1970. Las experiencias iniciales de los ingenieros geotécnicos fueron en proyectos de desechos y contaminación. Las primeras referencias específicas sobre el tema, se encuentran en la década de los setenta, con la creación de un subcomité de la ASTM, con el título de "*Geotechnics of waste management*".

---

El primer evento donde se trata mas profundamente del tema es en el IX Congreso Internacional de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMFE) (Tokio, 1977), donde se dedicó a este tema una sesión especial. En el Congreso siguiente (Estocolmo, 1981), la dedicación crece al incluir como una de las sesiones la de "*Environmental Geotechnics*". Este interés aumenta en los congresos siguientes.

Actualmente, los principales avances sobre Geotecnia de vertederos, son canalizados por el Comité Técnico TC 5 "Geotecnia Ambiental", de la *Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica* (ISSMGE), el cual fue creado el año 1994. Durante el 3er Congreso Internacional de Geotecnia Ambiental, realizado en 1998 en Lisboa, se presentó el estado del arte desagregado entre otros, en los siguientes temas: Sistemas de Monitoreo; Estabilidad de Residuos; Rellenos Sanitarios Controlados; Comportamiento de Rellenos Sanitarios bajo Condiciones de Carga Extremas (por ejemplo, Terremotos). Toda esta información está publicada en el Volumen 3 de las Memorias.

La situación anterior a los años 1970 esta caracterizada por proyectos de expansión de refinerías de petróleo, las cuales requerían nuevas estructuras, como lagunas de evaporación para el agua asociada al petróleo; aguas servidas que contienen benceno (carcinógeno) también fue bombeada a esta lagunas y así permitir su evaporación. En ese momento la evaporación era considerada como un método viable para el tratamiento de estas aguas; en la actualidad, la evaporación no es considerada como una técnica apropiada para el tratamiento o disposición de desechos peligrosos.

Los ingenieros geotécnicos en base a la información obtenida durante la fase de campo y laboratorio (ensayos de resistencia, compresibilidad, permeabilidad, para realizar las recomendaciones para el diseño de fundaciones), realizados en las áreas donde se proyectaba construir las lagunas de evaporación, recomendaban que la permeabilidad no fuera mayor de  $10^{-8}$  cm/seg, a fin de evitar o disminuir la contaminación del agua subterránea.

A partir de 1980, las agencias ambientales, han obligado la instalación de sistemas de monitoreo del agua subterránea, a fin de realizar un seguimiento de la contaminación de los acuíferos. Una cantidad apreciable traspasó la barrera. Afortunadamente, los acuíferos mas superficiales los cuales se encuentran localizados a casi los 100 m de profundidad desde la superficie, aún no han sido impactados, gracias a la baja permeabilidad o conductividad hidráulica en los estratos localizados en los primeros 75 m debajo de la superficie. Sin embargo, en lagunas fuera de servicio y como solución a los problemas de contaminación, las agencias ambientales han obligado a los propietarios de ellas, un sistema de bombeo por pozos a fin de extraer el material contaminante. Esta tarea tomará varias décadas.

Podríamos realizarnos la siguiente pregunta ¿Los ingenieros geotécnicos se equivocaron con estas recomendaciones? Subsecuentes estudios revelan que la permeabilidad de los primeros 15 m del subsuelo, no tienen una permeabilidad menor de  $10^{-8}$  cm/seg, pero es aproximadamente  $10^{-4}$  cm/seg, con estos resultados podemos decir que, los suelos localizados debajo de las lagunas de evaporación, no son impermeables. El problema radica en que este programa de ensayos iniciales de permeabilidades fue restringido a pequeñas muestras de laboratorio. Los suelos en el campo poseen numerosas grietas (probablemente causadas por el ciclo de humedecimiento y secado del suelo) que no es tomado en cuenta en los ensayos de estas pequeñas muestras de laboratorio. Hoy en día los especialistas en geotecnología ambiental saben que la permeabilidad de estas pequeñas muestras de laboratorio, no son representativas de los valores in situ, pero los ingenieros de los

años 1950 tenían poco conocimiento de que estos ensayos de laboratorio produjeron resultados errados.

El problema descrito anteriormente no es atípico. En la décadas de los años 1950 y 1960, existían pocos conocimientos de las consecuencias a largo plazo de la disposición de desechos en el terreno. Los suelos arcillosos pueden ser considerados *impermeables*. La existencia de tales materiales no garantiza la protección del ambiente. Aún no se comprende la relación entre la disposición de desechos químicos en el suelo y sus impactos a largo plazo en el agua subterránea. Muchas de las situaciones que hoy conocemos, simplemente no eran consideradas como problemas en los años 1970. Frecuentemente hoy en día, ingenieros y científicos fácilmente pueden repetir errores comunes del pasado, esto debido a que no poseen un conocimiento apropiado o comprensión de experiencias recientes y de nuevos descubrimientos.

## **2.2. ORÍGENES DE LA GEOTECNIA AMBIENTAL**

El campo práctico de lo que hoy en día llamamos “Geotecnia Ambiental” involucra un periodo de cerca de dos décadas iniciadas en 1970. En Estados Unidos nace la Geotecnia Ambiental, la cual puede ser seguida a lo largo del desarrollo de la generación de energía eléctrica en plantas nucleares. En los años 1970, una cantidad enorme de ingenieros geotécnicos focalizaron su trabajo en el diseño de plantas de energía nuclear. Una parte del proceso constructivo de una planta de energía nuclear en Estados Unidos, es cumplir las regulaciones existentes de impacto ambiental. Los permisos de construcción no eran otorgados hasta que las exigencias de impacto ambiental impuestas fueran satisfechas en su totalidad. Ya que los ingenieros geotécnicos son técnicos especialistas en la mayoría de las investigaciones de campo, fue común que ellos manejaran y coordinaran la preparación de las regulaciones de impacto ambiental. Muchos de los ingenieros geotécnicos desarrollaron las habilidades para preparar tales regulaciones trabajando conjuntamente con especialistas ambientales, es decir, biólogos y botánicos, a fin de desarrollar el trabajo técnico. Para la mayoría de los ingenieros geotécnicos este fue su primer contacto con diversos especialistas ambientales. Estas primeras experiencias fueron críticas en la comprensión de una gran cantidad de principios de ingeniería geotécnica, con otras ramas de la ciencia y de la ingeniería, que de manera conjunta permitieron resolver importantes problemas técnicos en el área ambiental.

La seguridad de las plantas nucleares siempre ha sido señalada, pero a la mitad de la década de los años 1970, la preocupación mayor se centró sobre la disposición última de los desechos altamente radioactivos. ¿Dónde debemos colocar tales desechos? Estos desechos radioactivos permanecen peligrosos por cientos de años, como podemos mantenerlos seguros? Esta interrogante condujo a que se realizaran numerosas investigaciones, principalmente en Estados Unidos y en Europa, a fin de garantizar la disposición adecuada de estos desechos altamente radioactivos. Los ingenieros geotécnicos jugaron un papel importante en las estudios iniciales a través de las investigaciones y caracterización de masas rocosas que sirvieran como depositarios de estos desechos radioactivos, el análisis de las especificaciones de las rocas sometidas a condiciones de temperatura y presión poco realísticas, evaluación de los posibles impactos a las aguas subterráneas y la evaluación de los riesgos potenciales. Para la mayoría de las grandes compañías en ingeniería geotécnica este tipo de investigaciones significó su primer contacto para realizar un análisis técnico comprensivo de las características que debe poseer un vertedero.

En Estados Unidos, el próximo evento significativo en el desarrollo de la Geotecnia Ambiental, fue la contaminación de un sitio en New York, llamado Love Canal. En este sitio, un desecho químico peligroso fue vertido en un viejo canal y posteriormente recubierto con arcillas. Los químicos lentamente se fueron filtrando fuera del canal, por un período prolongado de tiempo, hasta que a mitad de los años 1970, los daños a la salud fueron identificados. El área fue evacuada eventualmente y una publicidad sin precedentes, señaló a los residentes del área los peligros y los enormes impactos a la salud a los cuales estarían expuestos debido a los desechos tóxicos en general. Inicialmente, la atención nacional fue focalizada en los impactos adversos de la disposición inapropiada de los desechos químicos. También a finales de los años 1970 e inicio de los años 1980, se inicia una discusión importante a fin de determinar la normativa legal que controle la disposición apropiada de los desechos contaminantes. Los ingenieros geotécnicos, comienzan a ser parte importante en el diseño de los vertederos que albergarán a los desechos contaminantes.

En 1980 se inicia una gran expansión de la Geotecnia ambiental, particularmente en Estados Unidos, donde se dan dos procesos importantes simultáneamente. El primero, se dictan regulaciones referentes a los sistemas de manejo de los contaminantes con un gran nivel de sofisticación y complejidad. Sistemas de aislamiento dobles, detección de filtraciones en los estratos, barreras de geomembranas y un nuevo concepto de vertedero que se adapte a las regulaciones. Los geotecnistas ambientales son llamados para desarrollar e implementar los diseños requeridos y sistemas de contención. Las agencias reguladoras y los geotecnistas ambientales comienzan a diseñar y colocan la tecnología de manejos de desechos sólidos en unos niveles de sofisticación sin precedentes.

El segundo proceso, se inicia con la promulgación de la ley "Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA)", por el Congreso de los Estado Unidos en 1980. Esta ley permitió la descontaminación de sitios contaminados como el Love Canal y prever compensaciones económicas por descontaminación si las partes responsables no pueden ser identificadas o cuando no pueda ser costeadada la descontaminación.

Debido a la complejidad del proceso de descontaminación, los geotecnistas ambientales enfrentan una gran diversidad de problemas, teniendo que incorporar ingenieros de otras especialidades particularmente aquellos cuyas especialidades son mecánica de suelos y mecánica de rocas, ingenieros geotécnicos, ingenieros sanitarios e ingenieros ambientales, especialistas en suelos, ingenieros geólogos, hidrólogos, ingenieros de minas e ingenieros agrícolas.

### **2.3. LA GEOTECNIA AMBIENTAL Y LA SOCIEDAD HUMANA**

La sociedad humana, en su proceso evolutivo, ha ido cambiando paulatinamente sus hábitos, sobre todo en los últimos tiempos, cuando la violenta evolución de los sistemas de comunicación masiva, le permiten a los diferentes conglomerados tener acceso rápido a la información y con ésta, a patrones de conducta nuevos y paralelamente, al masivo consumo de productos derivados de tecnologías modernas, que han venido conformando una importante fuente de generación de residuos sólidos, los cuales a su vez, se han constituido en una importante fuente de contaminación del ambiente. La sociedad venezolana no está al margen de este fenómeno.

La actitud de nuestra población, ante el proceso de disposición final de esos desechos, varía de acuerdo a la idiosincrasia de las comunidades involucradas y a los niveles de educación ambiental que hayan alcanzado. De esta forma, podemos apreciar marcados contrastes en la conducta de la



población que vive en las costas del país, con la que vive en la cordillera de los Andes, entre la población que habita en los barrios perimetrales a las grandes ciudades, y que de forma genérica se denomina "marginal" con la que habita en las zonas de urbanismo controlado de "clase media y alta".

Ante esta circunstancia, el estado venezolano ha acometido la instrumentación de una serie de medidas de orden organizativo y legislativo que, entre otras cosas, establecen que la disposición final de los desechos sólidos es responsabilidad de las alcaldías. Sin embargo, este proceso tiene una serie de implicaciones ingenieriles muy especializadas, además de las económicas, que no pueden ser resueltas con facilidad por las distintas alcaldías involucradas, requiriéndose en algunas oportunidades de negociaciones y convenios mancomunados entre varias de estas organizaciones.

Por ejemplo, podemos indicar que es generalizado el rechazo de cualquier población a la ubicación de un relleno sanitario, de una estación de compactación de basura o de una planta de tratamiento de basura, en las cercanías de su área de asentamiento, y que se ha comenzado a identificar como "el efecto NIMBY" (**Not In My Back Yard – No en mi patio trasero**).

Sin embargo cuando tomamos en cuenta que los requisitos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos son determinantes en la localización definitiva del sitio puede suceder que el dictamen que se obtenga de evaluar esas variables, no sea del agrado de la población o de las autoridades involucradas y por lo tanto llegar a ser "políticamente inconveniente".

En este caso debe tenerse presente que el incumplimiento de las normas ingenieriles generales para seleccionar un sitio de relleno sanitario puede revertirse en severos y peligrosos riesgos, tanto geotécnicos como para la salud de la población, materias éstas sobre las cuales abundan numerosos ejemplos internacionales que nos señalan el camino que no debemos transitar.

Lamentablemente, en nuestro caso y en nuestra opinión, el problema se nos presenta más dramáticamente, ya que habiéndose sancionado leyes, reglamentos, decretos y otros instrumentos normalizadores y teóricamente coercitivos, la práctica consuetudinaria nos está indicando que éstos no se cumplen, pudiéndose así identificar potenciales bombas de tiempo generadas por los procesos de contaminación inducidos por "supuestos rellenos sanitarios" mal ubicados, mal diseñados, mal construidos y mal operados.

### **2.3.1. Derecho Venezolano Ambiental**

En Venezuela se han dado una serie de pasos, de orden organizativo y legislativo que, formalmente deberían generar el establecimiento y la consolidación de una cultura ambiental sólida y coherente, destacándose además que nuestro país fue uno de los primeros en el continente americano que creó un Ministerio del Ambiente, inclusive antes que muchos países del primer mundo.

Las normas legales en sus diferentes jerarquías definen y regulan las normas técnicas y administrativas, instrumentan la aplicación de las políticas y se constituyen en la principal herramienta técnica y legal para la gestión de los residuos sólidos.

La construcción de un cuerpo legal que regule las diferentes variables que intervienen, en el manejo de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incorporara los diferentes principios sanitarios, ambientales, económicos y socioculturales, a fin de darle coherencia y consistencia a la gestión de dichos residuos.

Debe establecerse claramente un cuerpo normativo orgánico que integre el conjunto de reglamentaciones específicas de los residuos sólidos, evitando su dispersión y contradicción técnica y legal, a fin de tener un marco legal eficiente y promotor de un sistema adecuado de gestión.

El marco normativo tiene elementos centrales para el ordenamiento legal, como son: definición de las competencias y funciones de los sectores e instituciones vinculados a la gestión de los residuos sólidos; mecanismos de articulación, coordinación y concertación de las instituciones; planificación; regulación; fiscalización; promoción de la inversión privada y reglamentación sistemática de los distintos procesos u operaciones técnicas que se realizan en todo el ciclo de vida de los residuos sólidos.

Desde el punto de vista legal, la gestión de los desechos y residuos sólidos en Venezuela puede ser analizada tomando en cuenta los siguientes aspectos: en primer lugar, la base o fundamento constitucional que rige la política de protección ambiental y de la salud y, el establecimiento del municipio como unidad mínima territorial descentralizada y encargada de la prestación del servicio de aseo urbano. Segundo, la creación del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS, actualmente Ministerio de Salud y Desarrollo Social, MSDS) como ente rector de las políticas en materia de la protección de la salud y saneamiento ambiental y la promulgación de la ley Orgánica de Salud, como ley marco en la materia que rige todo lo relacionado con la salud, estableciendo las directrices y bases de salud como proceso integral. Como tercer aspecto, la promulgación de la Ley Orgánica del Ambiente como ley especial marco que regula la protección ambiental en el país y, la creación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, actualmente Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, MARN), como organismo rector en materia de protección ambiental y calidad de vida. Finalmente, la existencia de un conjunto de normas que regulan el sector, desde los puntos de vista técnico, institucional, sancionador y procedimental.

La Constitución de la Republica de Venezuela, establece los deberes y derechos para los ciudadanos y prevee las atribuciones y limitaciones de los organismos públicos en cuanto a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y de la salud pública. También establece al municipio como unidad política primaria dentro de la organización nacional, que goza de autonomía política, administrativa y financiera, correspondiendo su administración y gobierno a las autoridades municipales. Igualmente, el municipio cuenta con competencia legislativa, cuyas atribuciones corresponden al Concejo Municipal, pudiendo dictar y aprobar acuerdos y ordenanzas municipales. En este sentido, la autonomía del municipio se refleja perfectamente en cuanto a la libre gestión que tiene de las materias de su competencia, por ejemplo la salubridad o aquellas que le sean atribuidas por ley. Asimismo, se establecen, en cuanto a los ingresos que percibe el municipio, las tasas por el uso de sus bienes o servicios. Finalmente, la Constitución prevee que para realizar determinados fines de su competencia los municipios podrán agruparse en mancomunidades. Estas competencias de los municipios y todo lo referente a su funcionamiento y gestión se amplió con la promulgación de la Ley Orgánica de Régimen Municipal en 1989, actualmente vigente. Esta Ley, establece en forma precisa que es competencia del municipio la protección del ambiente y la cooperación con el saneamiento ambiental y el aseo urbano y domiciliario, comprendidos los servicios de limpieza, de recolección y tratamiento de residuos (Art. 36 ordinales 10° y 12°).

Con respecto al sector salud, al MSDS le corresponden en materia de gestión de desechos y residuos sólidos los programas de saneamiento y contaminación ambiental referidos a la salud pública en coordinación con entes estatales y municipales, de conformidad con el Decreto con Rango y Fuerza de Ley Orgánica de la Administración Central.

El ejercicio de las competencias relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente hasta el año 1976 estaba distribuido entre varios organismos, por lo que cada recurso era tratado en forma aislada y fraccionada, dependiendo de los diversos criterios y políticas según su utilización. Con la promulgación en diciembre de ese año de la Ley Orgánica de la Administración Central (que reestructuró la administración, eliminando y creando ministerios) se crea el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, confiriéndosele la mayor parte de las competencias de la Administración en materia ambiental. Recientemente (en agosto y nuevamente en octubre de 1999) con la modificación de esta Ley por el Decreto con Rango y Fuerza de Ley Orgánica de la Administración Central, se han redistribuido las competencias entre nuevos ministerios (creados por la vía de fusión de varios de ellos o por la creación de otros). En ese sentido, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables pasa a ser con la nueva ley, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). En cuanto a la Ley Orgánica del Ambiente, esta constituye la ley marco en la materia, estableciendo los lineamientos y principios generales y fundamentales de la gestión ambiental. En ella se establece la creación de una serie de organismos para coadyuvar en las tareas de prevención, vigilancia y control y sanción, en aras de lograr una correcta gestión ambiental. De la misma forma y como complemento a estos organismos, se establecen instrumentos de gestión, control y sanción.

Finalmente, la gestión de los desechos y residuos sólidos cuenta con el respaldo de un conjunto de normas técnicas de índole ambiental y de salud, que desarrollan los aspectos técnicos, procedimentales, autorizatorios, mecanismos de control y sanciones.

Dentro de las normas ambientales en desarrollo de la Ley Orgánica del Ambiente fue promulgada la Ley Penal del Ambiente, la cual tipifica en líneas generales los delitos que atentan contra la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y establece las sanciones correspondientes. A su vez, como alcance de esta Ley, se han promulgado un conjunto de normas técnicas que regulan los diferentes aspectos que son objeto de la protección ambiental siendo uno de ellos la gestión de los desechos y residuos.

En este sentido, se cuenta con normas para la ordenación territorial; recolección, tratamiento, disposición final y gestión en general de los diferentes tipos de desechos; disposiciones de orden técnico para la construcción de la infraestructura necesaria para la disposición temporal y final de los desechos y finalmente requisitos para el transporte y almacenamiento.

Es importante destacar que en las normas técnicas de orden ambiental se establece la competencia tanto del MARN como del MSDS en cuanto a la vigilancia y control del cumplimiento de las disposiciones sanitarias y ambientales.

En el orden de las normas técnicas, la Resolución 230 del 10/10/1990 prevee las Normas Sanitarias para Proyecto y Operación de un Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de índole atóxico, señalando que quedan sometidas a la vigilancia del MSDS (antes Ministerio de Sanidad y Asistencia Social).

En cuanto al aspecto institucional, se cuenta con el MARN, el MSDS y los municipios, como entes principales y fundamentales en el desarrollo de esta tarea, encargados de dictar las políticas y directrices fundamentales de la gestión, así como de ejercer las funciones de vigilancia y control y, en el caso de los municipios la función de vigilancia y control y, la operación del servicio. Además, existen otros ministerios, como el de Infraestructura, a través de FUNDACOMUN que en el ámbito de sus competencias, tienen alguna injerencia en el área, así como los entes y mecanismos de coordinación creados en las leyes que regulan la materia, tales como la Procuraduría Ambiental y el

Consejo Nacional del Ambiente (Ley Orgánica del Ambiente), el Consejo Nacional de la Salud (Ley Orgánica de Salud), la Comisión Técnica Nacional de Residuos y Desechos (creada por Decreto Presidencial), entre otros. Cabe destacar que ninguno de estos ha entrado en funcionamiento.

### **2.3.1.1. La Ley Orgánica de Régimen Municipal y el Rol del Municipio en la Gestión de los Desechos y Residuos**

En cuanto a la gestión de los desechos en el ámbito local como ya se ha señalado, la Ley Orgánica de Régimen Municipal ha desarrollado en forma amplia el funcionamiento de los municipios como unidad política primaria, a los cuales corresponde ejercer como competencia exclusiva el servicio de aseo urbano y domiciliario, comprendidos en estos los servicios de limpieza y tratamiento de los residuos, bajo la dirección técnica, el establecimiento de normas administrativas y la coordinación de MSDS y del MARN.

Por otra parte, en la Ley Orgánica de Régimen Municipal, se especifican los aspectos claves de la prestación del servicio de aseo urbano que se realiza a nivel local. Así están previstas las distintas formas de gestión, contratación para la prestación del servicio de recolección y la creación de las mancomunidades como instrumento que permite prestar un servicio público (por ejemplo el aseo urbano) en una forma más ordenada, efectiva y eficiente y con mayores beneficios económicos.

En este sentido, el municipio cuenta con un conjunto de instrumentos legales y administrativos, entre los cuales se señalan los planes de Desarrollo Urbano Local para la localización de los servicios públicos, la creación de servicios de higiene y asistencia social, la potestad de determinar la localización de rellenos sanitarios (previa presentación de estudios de impacto ambiental al MARN cuando los desechos dispuestos en ellos sean iguales o mayores a 300 toneladas métricas por día), la potestad de desarrollar normativas complementarias para el manejo de los desechos de origen doméstico, comercial e industrial o de cualquier naturaleza que no sean peligrosos, la contratación y otorgamiento de concesiones y, de las formas de privatización de los servicios de aseo urbano sin desmedro de la competencia del municipio en la materia y, la creación de las mancomunidades con el objeto de prestar determinados servicios entre dos o más municipios. Igualmente, se cuenta con el financiamiento del Fondo Intergubernamental para la Descentralización (FIDES), para adelantar proyectos de desarrollo local y convenios inter-administrativos, a los fines de mejorar la efectividad y eficiencia en la prestación de determinados servicios.

Con respecto a las mancomunidades, se trata de un ente con personalidad jurídica propia, de derecho público, constituida por dos o más municipios, mediante acuerdo, con el objeto de prestar determinados servicios municipales.

La figura de la mancomunidad ofrece una serie de ventajas para los municipios que la integran:

Representa una solución efectiva para resolver los problemas crónicos del servicio de aseo urbano y domiciliario y el de disposición final.

Por sus disposiciones estatutarias, reduce la intromisión de los distintos órganos municipales al limitar sus injerencias a los representantes por cada municipio.

Representa una mejor prestación del servicio desde el punto de vista técnico, administrativo y económico.

La Ley Orgánica de Régimen Municipal, como ley marco que regula las competencias y obligaciones que tienen los municipios, establece además de los instrumentos administrativos mencionados, una serie de instrumentos jurídicos que están relacionados con el manejo de los desechos y residuos sólidos de origen municipal. Dichos instrumentos consisten en las ordenanzas municipales que constituyen leyes locales, que regulan y organizan, entre otras materias, los distintos servicios públicos considerados como municipales por la ley. En materia de aseo urbano, las ordenanzas deben contener los siguientes aspectos:

- Relación entre los usuarios y el prestador del servicio.
- Derechos y obligaciones de los usuarios y del prestador del servicio.
- Régimen tributario, constituido por la contraprestación pecuniaria que deberá pagar el usuario al municipio.

Asimismo, esta ley establece distintas formas de gestión de los servicios que utilizan los entes públicos locales para la prestación de los mismos:

- Gestión directa por el municipio.
- Gestión indirecta por Institutos Autónomos Municipales.
- Gestión indirecta por empresas, fundaciones, asociaciones civiles y otros organismos descentralizados del municipio.
- Gestión indirecta por organismos de cualquier naturaleza de carácter nacional o estatal.
- Gestión indirecta por particulares.
- Gestión de los servicios públicos municipales por mancomunidades.

En cuanto a las formas de contratación de los servicios municipales, existen tres tipos:

- (i) Contrato de Servicio
- (ii) Concesión de Servicio
- (iii) Privatización del Servicio

Finalmente, es importante resaltar que la gestión de los desechos y residuos sólidos a nivel municipal cuenta con el apoyo de FUNDACOMUN, creada en 1962 mediante Decreto Presidencial N° 688, con el fin de proporcionar un enlace entre el gobierno y las comunidades de escasos recursos, para que a través de ésta los habitantes puedan exponer sus inquietudes y necesidades utilizando la figura de las asociaciones de vecinos.

FUNDACOMUN surge como una institución de derecho privado, cuya misión es la de prestar asistencia técnica y financiera a las municipalidades con el objeto de apoyar el desarrollo integral, tanto del municipio como de las comunidades, a fin de elevar la calidad de vida de la población de menores recursos y la tecnificación de los gobiernos locales incrementando su capacidad administrativa.

### **2.3.1.2. Instrumentos y mecanismos de Gestión Ambiental**

Estos instrumentos y mecanismos están previstos en la Ley Orgánica del Ambiente, la Orgánica de Salud, el Decreto 1257 relativo a las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Están dirigidos a procurar una gestión ambientalmente racional, bajo el principio del ecodesarrollo dentro de una política del desarrollo integral de la Nación. En tal sentido, se señalan:

- La planificación ambiental que debe realizarse integralmente, a los fines de dar cumplimiento a lo establecido dentro de la política de desarrollo integral de la Nación.
- La ordenación territorial en función de los valores del ambiente.
- La orientación de los procesos educativos y culturales, a fin de fomentar la conciencia ambiental; el fomento de iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en los problemas relacionados con el ambiente (Ley Orgánica del Ambiente, Art. 3).
- La Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos.
- Los permisos, autorizaciones y evaluación del impacto ambiental (EIA), exigidos previa la ejecución de proyectos de desarrollo o actividades que por sus características puedan causar daños al ambiente. En este sentido el artículo 6° del Decreto 1257 establece las actividades para las cuales el MARN requerirá la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental: *“8.- Disposición de desechos: Rellenos sanitarios con capacidad mayor o igual a 300 toneladas métricas por día. Instalaciones para el tratamiento o la disposición final de desechos tóxicos o peligrosos”*.
- Servicios de saneamiento ambiental, los cuales deben realizar las acciones destinadas al logro, conservación y recuperación de las condiciones saludables del ambiente como el manejo de desechos y residuos sólidos y líquidos, desechos orgánicos de los hospitales y clínicas, rellenos sanitarios, materiales radiactivos y cementerios (Ley Orgánica de Salud, Art. 27, numeral 2).

Por ultimo, es importante señalar que Venezuela, como parte de la ejecución de su política ambiental, ha suscrito y ratificado una serie de tratados y acuerdos internacionales. La suscripción de estos instrumentos y la consecutiva promulgación de las leyes aprobatorias de los mismos, refuerzan las bases de la política ambiental nacional, insertando además al país en las políticas de globalización. En el área de los desechos y residuos se destacan los siguientes: Convenio de Basilea, relativo al Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación; el Convenio para Prevenir la Contaminación del Medio Marino por Buques y el Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe (Acuerdo de Cartagena).

### **2.3.1.3. Análisis de la Normativa**

En Venezuela, la Constitución de la Republica, la Ley Orgánica del Ambiente, la Ley Orgánica de Salud, La Ley Penal del Ambiente y la Ley Orgánica de Régimen Municipal establecen las bases necesarias que han dado origen a la legislación existente, así como a la dotación de la estructura

institucional y los organismos y previsiones normativas para lograr una correcta gestión de los desechos y residuos. No obstante, el sector de los desechos no ha sido definido como tal.

La normativa se encuentra dispersa en varios instrumentos (diversas leyes, decretos, resoluciones y reglamentos). Como consecuencia de este hecho, para el mismo vocablo de desecho se ha dado diferentes connotaciones dependiendo de la norma de que se trate. Así, la norma técnica referente a los desechos sólidos lo define de una forma, la que regula la clasificación y manejo de los desechos provenientes de establecimientos de salud de otra y, finalmente el decreto relativo al control de la recuperación de los materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos de otra. De estas tres normas, existen tres definiciones distintas de lo que es un desecho, además de la definición especial relativa al sector que regula cada una. La posibilidad de reunir en un solo instrumento todas esas reglas permitiría un mejor manejo de las mismas, contribuyendo con su aplicación.

Con relación a las competencias que le han sido asignadas por Ley a los diferentes organismos, a pesar que las mismas están diferenciadas, deberían ejecutarse en forma concurrente y coordinada. No obstante, pareciera existir en la práctica un divorcio entre ellas: las que ejercen el MARN y MSDS como entes rectores de las políticas en la materia, encargados de prestar la asesoría técnica necesaria y vigilar por el cumplimiento de las normas, con las correspondientes a los municipios como entes ejecutores, encargados de la gestión de los residuos y desechos sólidos. Esto trae como consecuencia la falta de coordinación entre estos organismos, lo que se traduce en la deficiente gestión de los desechos.

En virtud de lo anterior, se precisa la necesidad de un ente, legalmente constituido y fortalecido que actúe como coordinador institucional para reforzar la aplicación de las políticas de gestión en el sector.

Por otra parte, los instrumentos legales de coordinación de los distintos componentes de los servicios de aseo para lograr una gestión eficiente, incluyendo la recolección, transporte y disposición final, resultan ser débiles, inadecuados y poco efectivos.

Asimismo, la capacidad institucional en cuanto al conocimiento de la normativa existente y su alcance por parte de los funcionarios de los diferentes organismos encargados de la ejecución de la gestión es débil, particularmente en el caso de los municipios que constituyen el nivel operativo del sector. En tal sentido cabe señalar la necesidad de dar mayor y mejor uso de la ordenanza municipal, como instrumento legal que permite a cada municipio establecer los parámetros para la gestión de los desechos y residuos en su extensión territorial. Por otro lado, no se ha aprovechado suficientemente la figura de la mancomunidad como modalidad prevista en la Ley para la ejecución efectiva de las actividades relacionadas con la prestación de servicios (aseo urbano). Este aspecto se refleja en la debilidad para el ejercicio de los mecanismos e instrumentos de vigilancia y control del Estado y de los mecanismos de aplicación de la normativa en la materia y de las sanciones que se generan en consecuencia.

Se observo igualmente un limitado conocimiento de las disposiciones legales sectoriales para su aplicación, así como de las responsabilidades que tienen los diferentes actores involucrados por el incumplimiento de las mismas.

Como consecuencia de lo anterior, el cumplimiento del marco legal que regula la materia es débil en todo el país. La aplicación de los mecanismos de gestión, control y sanción no se aplican o

cuando se aplican se hace de forma incorrecta debido al desconocimiento que tienen los funcionarios a quienes competen estas labores.

Igualmente existe incumplimiento por parte de los productores o generadores de desechos en cuanto a las formas de almacenamiento, transporte y disposición final. Estos son responsables de conocer e informar a las autoridades de su gestión, así como de la adecuación de las instalaciones e infraestructura en general de su manejo y almacenamiento. También existe desconocimiento al respecto y en consecuencia no se aplican las disposiciones técnicas, ambientales y sanitarias para la construcción y operación de rellenos sanitarios.

Con respecto a la participación ciudadana, se observa una carencia de normativa que la regule (en cualquiera de sus formas comunitaria, empresarial, escolar) para la gestión del sector. Esta situación se incrementa por el desconocimiento por parte de la ciudadanía de los derechos que le confiere el ser contribuyentes del servicio de aseo urbano, en cuanto a la exigencia de una mejor y más efectiva y eficiente prestación del servicio.

Igualmente, como consecuencia del desconocimiento de la ley, la comunidad no acciona los mecanismos e instrumentos que le permiten defender sus derechos humanos de protección de la salud y calidad de vida.

Por otra parte, la legislación en la materia prevé pocos incentivos de tipo económico o fiscal que atraigan la inversión privada al sector y la de las comunidades y mancomunidades en cuanto a la prestación de los servicios de aseo urbano, comprendidos los servicios de limpieza, de recogida y tratamiento de los desechos y residuos. Recientemente han sido promulgados dos instrumentos legales en los que podría decirse se busca atraer de alguna forma la inversión privada y el estímulo a la participación de las mancomunidades en la gestión de los desechos y residuos. Así el 17 de septiembre de 1999 se dicta el Decreto N° 318, con Rango y Fuerza de Ley Orgánica que reforma el Decreto-Ley N° 138 de fecha 20/04/94, sobre concesiones de Obras Públicas y Servicios Nacionales, que pasa a ser el Decreto con Rango y Fuerza de Ley sobre Promoción de la Inversión Privada bajo el Régimen de Concesiones. Este instrumento tiene como objeto establecer reglas, garantías e incentivos dirigidos a la promoción de la inversión privada y al desarrollo de la infraestructura y de los servicios públicos, competencia del poder nacional, mediante el otorgamiento de concesiones para la construcción y explotación de nuevas obras o instalaciones de infraestructura o la explotación de un servicio público ya establecido. Se establece como ámbito de aplicación del Decreto Ley, los procedimientos mediante los cuales se otorgaran en concesión la ejecución de obras y la explotación de servicios públicos cuya titularidad o competencia se ejerce a través de los órganos o entidades que conforman la Administración Pública Nacional, con especial mención de la aplicación por parte de los estados y municipios para el otorgamiento en concesión de las obras o servicios públicos de su competencia. Por último, cabe resaltar que en este instrumento se prevee la posibilidad de celebrar convenios o la constitución de mancomunidades para el desarrollo de proyectos cuya competencia en cuanto al otorgamiento y gestión de los respectivos contratos corresponda a más de una entidad político territorial.

Asimismo, con fecha 12/09/99 mediante Decreto N° 307, se dicta el Decreto con Rango y Fuerza de Ley de Reforma de la Ley Orgánica de Impuesto sobre la Renta, publicado en la Gaceta Oficial N° 5.390 Extraordinaria del día 22/10/1999. En este instrumento se establece que están exentas de impuesto las instituciones dedicadas exclusivamente a las actividades de conservación, defensa y mejoramiento del ambiente. No obstante, las previsiones contenidas en estos instrumentos resultan insuficientes por lo que se deben incrementar y reforzar.



Finalmente, es importante señalar que la elaboración y revisión de las normas técnicas demuestran que ha existido voluntad política para solucionar el problema de la gestión de los desechos y residuos. Un reflejo de esta voluntad lo constituye la creación de la Comisión Técnica Nacional de Residuos y Desechos en 1990, con el objeto de asesorar al Ejecutivo Nacional en el establecimiento de políticas, investigación, planificación y coordinación en materia de desechos sólidos, semisólidos, peligrosos o no. Esta Comisión cumpliría un importante papel en el logro de una gestión más efectiva y eficiente de los desechos y residuos. Sin embargo, a pesar de estar creada aún no ha iniciado su funcionamiento formalmente.

El régimen jurídico venezolano en materia ambiental incluye una serie de instrumentos entre los cuales podemos distinguir los siguientes:

#### **2.3.1.4. Constitución Nacional**

Como fundamentos constitucionales establece los deberes y derechos de los ciudadanos y las atribuciones y limitaciones de los organismos públicos en cuanto a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y de la salud pública, siendo deber del Estado velar y proveer los medios de prevención y asistencia a quienes carezcan de ellos y atender a la defensa y conservación de los recursos naturales, debiendo los ciudadanos someterse a las medidas sanitarias que establezca la ley y teniendo el derecho de realizar las actividades lucrativas de su preferencia sin más limitaciones que las previstas en la Constitución y las que se establezcan en las leyes por razones de seguridad, sanidad y otras de interés social. Estos preceptos constituyen la base constitucional del desarrollo de la gestión de los desechos en el país.

#### **2.3.1.5. Leyes Orgánicas**

- **Ley Orgánica de la Administración Central.** Decreto N° 369, con Fuerza y Rango de Ley Orgánica de la Administración Central (Publicado en la Gaceta Oficial No 36.807 de fecha 14/10/99, que modifica al Decreto N° 253 del 10/087/99, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.775 del 30/08/99).

Señala en forma general la competencia de cada uno de los Ministerios, a fin de que estas sean desarrolladas mediante la creación de los organismos, comisiones, normas y cualquier otro instrumento que contribuyera a realizar una gestión efectiva de las materias que le habían sido atribuidas. En este orden de ideas, debemos destacar que la gestión de los desechos está repartida en varios Ministerios según las materias de su competencia, siendo estas concurrentes pero diferenciadas, de manera que cada organismo debe actuar en su radio de acción en forma coordinada con los demás que estén involucrados.

- **Ley Orgánica del Ambiente.** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 31.004 del 16/06/76)

Ley especial marco, que regula la protección ambiental en el país, declara por primera vez al ambiente como bien jurídico tutelado, establece además la posibilidad de demandar civilmente por daños ambientales.

Este cuerpo normativo, tiene como objeto *“establecer dentro de la política de desarrollo integral de la Nación, los principios rectores para la conservación defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida”* dando un tratamiento integral y unificador a los diversos problemas ambientales.

Se establecen como principios básicos la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, lo que a efectos de la Ley, comprende entre otros la prohibición o corrección de actividades degradantes del ambiente; el control, reducción o eliminación de factores, procesos o componentes del ambiente que sean o puedan causar perjuicios a la vida del hombre y de los demás seres; la orientación de los procesos educativos y culturales a fin de fomentar conciencia ambiental; el fomento de iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en los problemas relacionados con el ambiente. (Art. 3)

Asimismo, se señalan las actividades susceptibles de degradar el ambiente, las cuales quedan sometidas al control del Ejecutivo Nacional por órgano de las autoridades competentes (Art.19). Podemos mencionar como algunas de estas actividades las que directa o indirectamente contaminen o deterioren el aire, el agua, los fondos marinos, el suelo o el subsuelo o incidan desfavorablemente sobre la fauna o la flora; las que deterioran el paisaje; las que propenden a la acumulación de residuos, basuras, desechos y desperdicios y cualesquiera otras actividades capaces de alterar los ecosistemas naturales e incidir negativamente sobre la salud y el bienestar del hombre (Art. 20).

Cabe destacar, que en la ley se establece el concepto de daño permisible, en el sentido que aquellas actividades susceptibles de degradar el ambiente en forma no irreparable y que se consideren necesarias por cuanto reporten beneficios económicos o sociales evidentes, solo podrán ser autorizadas si se establecen garantías, procedimientos y normas para su corrección, con las condiciones, limitaciones y restricciones que sean pertinentes (Art.21).

Finalmente, es importante mencionar, que en la propia ley, se crean una serie de organismos (comisiones, consejos, procuraduría ambiental) como instrumentos para la mejor gestión de la política ambiental y de la aplicación de las normas en la materia. Igualmente se establecen los parámetros para la imposición de sanciones a los infractores de las disposiciones ambientales, que pueden consistir en multas y penas privativas de la libertad.

- **Ley Orgánica de Salud** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 36.579 del 11/11/98)

Establece las directrices y bases de salud como proceso integral. Promueve la participación ciudadana en el saneamiento ambiental. Señala como una de las atribuciones del Ministerio de la Salud, el análisis de la información epidemiológica de las entidades territoriales y la realización de estudios sobre las condiciones de un ambiente saludable y la prevención de riesgos. Asimismo prevee que los alcaldes serán responsables en sus respectivos municipios, de la gestión de los servicios de saneamiento ambiental. Establece el service de Saneamiento Ambiental (Art. 37)

- **Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 3238 Extraordinaria del día 11/08/83)

Esta ley tiene como objeto establecer las disposiciones que regirán el proceso de ordenación del territorio en concordancia con la estrategia de Desarrollo Económico y Social a largo plazo de la Nación (ART.1), entendiéndose por ordenación del territorio la regulación y promoción de la localización de los asentamientos humanos, de las actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico espacial, con el fin de lograr una armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la

explotación y uso de los recursos naturales y la protección y valorización del medio ambiente, como objetivos fundamentales del desarrollo integral.(Art.2)

La ordenación del territorio comprende entre otros aspectos la definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas; la protección del ambiente, y la conservación de los recursos naturales en función de la ordenación del ambiente y el fomento de iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en los problemas relacionados con la ordenación del territorio y la regionalización. Para alcanzar los objetivos planteados, en la ley están previstos una serie de instrumentos tales como los planes de ordenación del territorio para los diferentes niveles de organización territorial del país, los planes de ordenación urbanística, las autorizaciones y aprobaciones de ocupación del territorio y aprovechamiento de los recursos naturales, el establecimiento de áreas bajo régimen de administración especial. Finalmente, esta Ley atribuye importantes competencias a los municipios, en tal sentido, les corresponde la aprobación de los planes de ordenación urbanística y el control de su ejecución, en particular el otorgamiento de la autorizaciones y aprobaciones de actividades de ocupación del territorio en áreas urbanas y la imposición de sanciones en caso de incumplimiento.

- **Ley Orgánica de Régimen Municipal** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 4.109 ext. del 15/06/89)

Tiene por objeto desarrollar los principios constitucionales referentes a la organización, gobierno, administración, funcionamiento y control de los Municipios y demás entidades locales determinadas en la Ley.

En ella se especifican los aspectos claves de la prestación del servicio de aseo urbano que se realiza a nivel local en cuanto a formas de gestión, contratación para la prestación de servicios públicos y finalmente la creación de las Mancomunidades como instrumento que permite prestar un servicio público, como lo es por ejemplo el aseo urbano.

- **Ley Orgánica de Ordenación Urbanística** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 33.868 del 16/12/87)

Tiene por objeto la ordenación del desarrollo urbanístico en todo el territorio nacional, con el fin de procurar el crecimiento armónico de los centros poblados.

- **Ley Orgánica de Descentralización, Delimitación y Transferencia de Competencias del Poder Público** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 4.153 Ext. Del 28/12/89)

Esta Ley tiene por objeto desarrollar los principios constitucionales para promover la descentralización administrativa estableciendo los mecanismos para su ejecución abriendo posibilidades para la participación de los Gobiernos estatales y municipales en diferentes sectores de la actividad gubernamental.

- **Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 3.850 Ext. del 18/07/86)

Establece las bases para garantizar a los trabajadores permanentes y ocasionales las condiciones de seguridad, salud y bienestar, en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para la ejecución de sus facultades físicas y mentales.

#### **2.3.1.6. Leyes Especiales**

- **Ley Penal del Ambiente** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 4.358 Extraordinaria del día 03/01/1992)

Tiene por objeto tipificar como delitos aquellos hechos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece las sanciones penales correspondientes. Igualmente en ella se determinan las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar. En este instrumento, se establecen sanciones para quienes viertan, arrojen, abandonen, depositen, infiltren o emitan desechos en los cuerpos de agua, suelos, aire. Por otra parte se prevee un capítulo especial relativo a los desechos tóxicos o peligrosos.

#### **2.3.1.7. Reglamentos**

- Reglamentos parciales de la Ley Orgánica del Ambiente.

#### **2.3.1.8. Decretos**

- Decreto 2.210 del 23/04/92, relativo a las **Normas Técnicas y Procedimientos para el Manejo de Material Radiactivo**. (Publicado en la Gaceta Oficial N° 4.418 Ext. del 27/04/92)

Tiene por objeto regular el manejo de materiales radiactivos con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente. En él se establecen las previsiones para el manejo de los desechos radiactivos relativas al transporte, embalaje y disposición final. Con relación a este último, señala que en el Territorio Nacional no podrá operar simultáneamente más de un sitio para la disposición final de los desechos radiactivos y establece las condiciones mínimas bajo las cuales debe regirse el sitio.

- Decreto 2.216 del 23/04/92 relativo a las **Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean peligrosos** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 4.418 Ext. del 27/04/92)

Tiene por objeto regular las operaciones de manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza no peligrosa, con el fin de evitar riesgos a la salud y el ambiente.

Establece que las actividades relativas al manejo de desechos sólidos corresponden a las municipalidades, quienes en uso de sus atribuciones legales pueden desarrollar la normativa complementaria de este Decreto adecuada a los intereses locales.

- Decreto 2.218 del 23/04/92 sobre las **Normas para la Clasificación y Manejo de Desechos en Establecimientos de Salud** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 4.418 Ext. del 27/04/92)

Tiene por objeto establecer las condiciones bajo las cuales se debe realizar el manejo de los desechos generados en establecimientos relacionados con el sector salud humana o animal, con la finalidad de prevenir la contaminación e infección microbiana en usuarios, trabajadores y público, así como su diseminación ambiental.

Establece una clasificación por categorías para los desechos generados en los establecimientos de salud como: Comunes, potencialmente peligrosos, infecciosos, orgánicos y/o biológicos y especiales

- Decreto 2.635 del 22/07/98, contentivo de las **Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos peligrosos** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 5.245 Ext. del 03/08/98)

Tiene por objeto regular la recuperación de materiales y el manejo de desechos, cuando los mismos presenten características, composición o condiciones peligrosas representando una fuente de riesgo a la salud y al ambiente.

- Decreto 1.257, del 13/03/96 relativo a las **Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente**. (Publicado en la Gaceta Oficial N° 35.946 del 26/03/96)

El objeto de esta norma es establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente (Art. 1), a los efectos de la verificación de la viabilidad ambiental de programas y proyectos de desarrollo, del llamado daño permisible. El cumplimiento de este objetivo permite una mayor seguridad jurídica para los promotores de los programas y proyectos de desarrollo, toda vez que la autorización de la actividad propuesta se sujeta a estrictos criterios técnicos, determinados mediante la aplicación de metodologías ampliamente difundidas, los estudios de impacto ambiental y estudios ambientales específicos, implementados en el marco de procedimientos racionales y expeditos.

En materia de desechos establece la obligatoriedad de presentación, ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, de un Estudios de Impacto Ambiental para la construcción de rellenos sanitarios con capacidad mayor o igual a 300 toneladas métricas por día y para las instalaciones para el tratamiento o la disposición final de desechos tóxicos o peligrosos.

- Decreto 1.232, mediante el cual se crea una **Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 34.678 del 10/03/91)

Tiene por objeto asesorar al Ejecutivo Nacional en el establecimiento de políticas, investigación, planificación y coordinación en materia de desechos sólidos, semisólidos, peligrosos o no.

- Decreto 1.221, del 02/11/90, mediante el cual se dicta el **Reglamento sobre Guardería Ambiental** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 34.678 del 10/03/91)

Define la Guardería Ambiental como la actividad tendiente a la prevención, vigilancia, examen, control, fiscalización, sanción y represión de las acciones u omisiones que directa o indirectamente sean susceptibles de degradar el ambiente y los recursos naturales.

- Resolución 230 del 10/10/90, por la cual se dictan las **Normas Sanitarias para Proyecto y Operación de un Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Índole Atóxico** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 34.600 del 22/11/90)

Prevé las condiciones y requisitos sanitarios para el proyecto y operación de un relleno sanitario, estableciendo que el incumplimiento de esas normas podrá acarrear la paralización del trabajo según orden del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, actualmente Ministerio de Salud y Desarrollo Social.

- **Reglamento General de Plaguicidas** (Publicado en la Gaceta Oficial N° 34.877 del 08/01/92)

Tiene por objeto, la regulación, el control y la vigilancia en la fabricación, formulación, comercialización y utilización de plaguicidas, de acuerdo a las normas establecidas por los organismos competentes.

En su artículo 29 establece la prohibición de botar desechos, prepara mezclas de plaguicidas y lavar equipos de aplicación, en las proximidades de cuerpos o cursos de agua.

- Normas para **Regular la Descarga de Vertidos Líquidos a Cuerpos de Agua.**
- Normas sobre **Control de la Contaminación Atmosférica.**

#### **2.3.1.9. Decretos Colaterales Aplicables en Materia De Desechos**

- **Decreto N° 276.** Administración y Manejo de Parques Nacionales y Monumentos Naturales.
- **Decreto N° 379.** Reglamento Orgánico del Ministerio del Ambiente.
- **Decreto N° 883.** Normas para la clasificación y el control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.
- **Decreto N° 1.221.** Reglamento sobre Guardería Ambiental.
- **Decreto N° 1.740.** Prohibición del Uso de Mercurio en las Operaciones de Extracción y Preparación del Mineral Aurífero.
- **Decreto N° 1.850.** Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal de Imataca.
- **Decreto N° 2.219.** Normas para Regular la Afectación de los Recursos Naturales asociada a la Exploración y Extracción de Minerales.
- **Decreto N° 2.226.** Normas Ambientales para la Apertura de Picas y Construcción de Vías de Acceso.

- **Decreto N° 3.002.** Reglamento de la Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas.
- **Decreto N° 3.015.** Creación de la Policía Ambiental Dependiente del MARN.

#### 2.3.1.10. Normativa Internacional

- Ley Aprobatoria del **Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 36.396 del 16/02/98)
- Ley Aprobatoria del Protocolo 1978 relativo al **Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques** (Publicada en la Gaceta Oficial N° 4.633 del 15/09/93).
- Convenio para la **Protección y Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe** (Acuerdo de Cartagena) (Publicada en la Gaceta Oficial N° 33.498 del 25/06/86).

#### 2.3.1.11. Resoluciones.

- Resolución conjunta MSAS-MAC-MARNR para **restringir el uso de insecticidas organocolorados.**
- Resolución conjunta MSAS-MARNR sobre los **Criterios Técnicos y Procedimientos para el Control de la Generación y Manejo de Desechos Tóxicos o Peligrosos no Radiactivos.**

Es importante destacar que, a lo largo del punto, se hace mayor hincapié y referencia a la reglamentación y normativa desarrollada por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (M.A.R.N.), sin embargo el Ministerio de Salud y Desarrollo Social (M.S.D.S.) también a desarrollado normativas para tal fin, tal es el caso de la *RESOLUCIÓN DEL MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL*, publicada en Gaceta Oficial N° 34.600, del 22 de noviembre de 1990, sobre **NORMAS SANITARIAS PARA PROYECTO Y OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ÍNDOLE ATOXICO.**

Finalmente, también existen Ordenanzas Municipales, como la que sancionó el Municipio Baruta, para el Servicio de Aseo Urbano y Domiciliario.

Podría pensarse entonces que, con todo este "arsenal jurídico", que de paso no está completo, deberíamos tener un país y unas ciudades pulcras y ejemplarizantes para el resto del mundo, pero la situación es completamente distinta.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

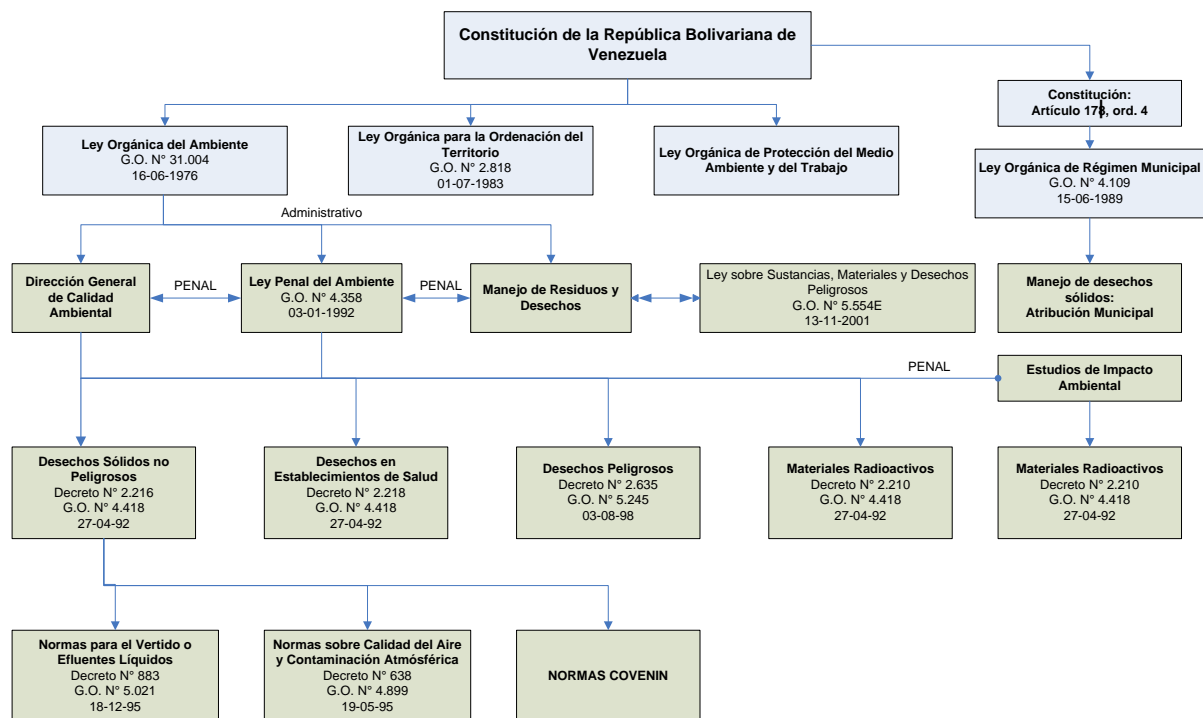


Figura 2.1 Marco Legal-Nacional sobre el Manejo de Desechos

**2.3.2. Marco Institucional**

El esquema institucional de la gestión integral de los residuos sólidos no es ajeno al modelo de Estado adoptado por las sociedades mediante sus gobiernos como producto de un pacto social, toda vez que, dicha gestión es objeto de promoción, regulación, supervisión, vigilancia, control y sanción por las instituciones de los diferentes niveles de gobierno, de acuerdo a sus competencias, para garantizar un manejo sanitario y ambientalmente sostenible.

El proceso de globalización, como se ha planteado anteriormente, tiene un impacto profundo en el Estado. Esto es particularmente evidente en la Región de las Américas, porque esta obligando a redefinir de manera drástica y abrupta la actuación del sector público a nivel local, nacional y supranacional, a procesar nuevos conflictos que se generan en el marco de sociedades más fragmentadas y promover otra articulación con la sociedad civil.



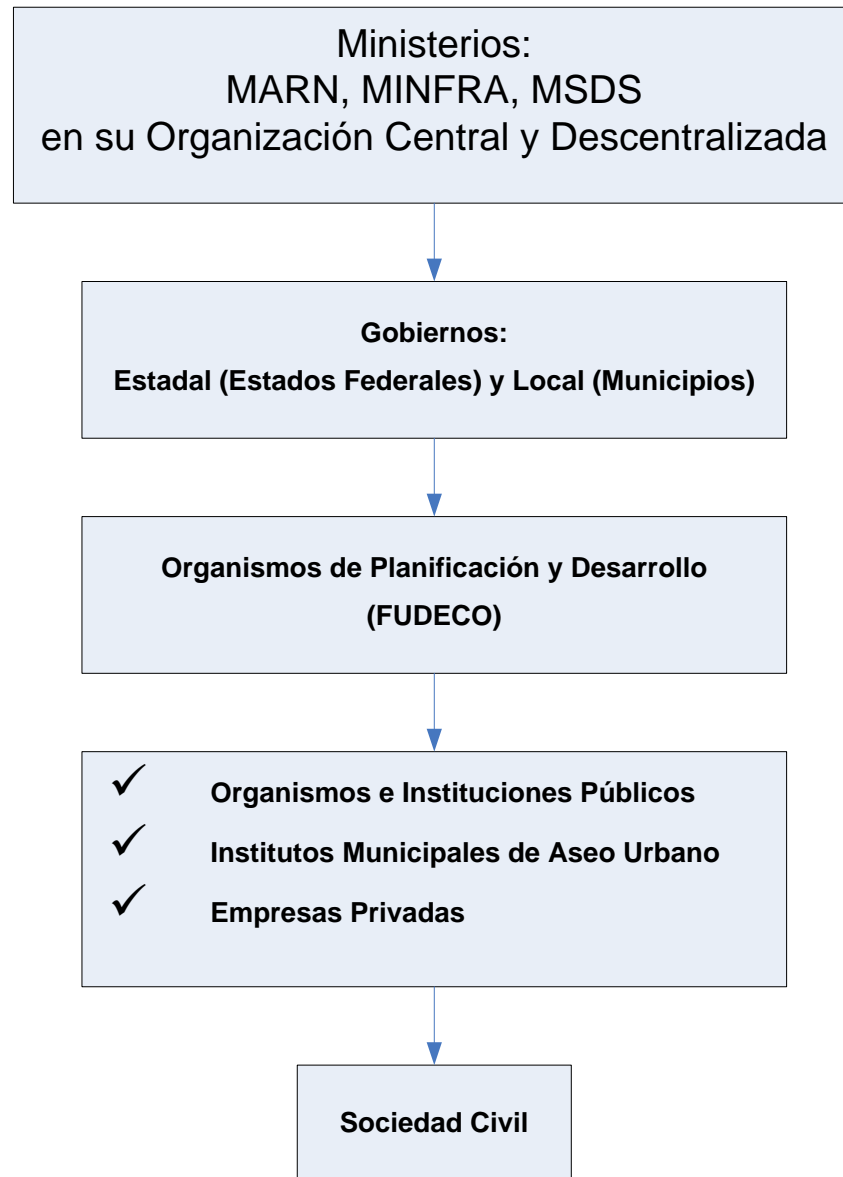


Figura 2.2. Marco Institucional

La descentralización es una consecuencia del proceso de reforma y modernización del Estado, que establece nuevos escenarios locales, con municipios que presentan mayores competencias y orientaciones para el desarrollo local. De esa forma se abren espacios novedosos de gestión y participación ciudadana en el sector de residuos sólidos.

En el esquema institucional para la gestión de los residuos sólidos debe quedar claro cuál es la función que le toca a las diferentes instituciones para hacer operativas las políticas, estrategias y las regulaciones técnicas, administrativas y económicas en las tres esferas de gobierno y la sociedad civil.

La gestión de los residuos sólidos no debe ser entendida como una exclusividad del ámbito municipal, sino, por el contrario, como una responsabilidad de todas las esferas de gobierno

(nacional, estatal y municipal) en las funciones que les compete, de los generadores que no se encuadran en el ámbito de competencia municipal, como son los industriales, establecimientos de salud, desarrollos agropecuarios, entre otros, con la participación decidida del sector privado y de los diferentes organismos de la sociedad civil.

### **2.3.2.1. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (M.A.R.N.)**

Ente rector del sector ambiental competente para la formulación de la política ambiental del Estado venezolano; la planificación, regulación y realización de las actividades del Ejecutivo Nacional para el mejoramiento de la calidad de vida, del ambiente y de los recursos naturales renovables; la ordenación del territorio, la administración y gestión de las cuencas hidrográficas, entre otras funciones que le asigna el Decreto N° 253 del 99. La variable ambiental en el manejo de los residuos sólidos desde la generación hasta su disposición final esta presente. De allí que las competencias del Ministerio del Ambiente tienen un alcance importante en dicho manejo, traduciéndose en la normativa técnica y administrativa vigente, sobre todo en lo que respecta a los residuos sólidos peligrosos.

La oficina o dependencia del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales a la cual le corresponde tratar el tema de residuos sólidos a nivel nacional es la Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental, a través de la Dirección de Manejo de Residuos y Desechos.

Dicha Dirección de Manejo de Residuos y Desechos realiza funciones de formulación de normas en forma coordinada, asesoría técnica cuando lo requieran las municipalidades y vigila el cumplimiento de las normas y control de las actividades que generan desechos peligrosos y vigilancia y control de los sitios de disposición final de desechos sólidos no peligrosos. Además tiene a su cargo la administración de las autorizaciones para el almacenaje, transporte y tratamiento de desechos peligrosos, de acuerdo a las normas técnicas para el control de la generación y manejo de estos desechos.

### **2.3.2.2. Ministerio de Infraestructura (MINFRA)**

Corresponde al Ministerio de Infraestructura, la formulación de políticas, la planificación y realización de las actividades del Ejecutivo Nacional, en coordinación con los Estados y Municipios cuando así corresponda, en materia de puertos, muelles, aeropuertos y obras conexas; y obras para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Así mismo le corresponde la organización de los asentamientos de la comunidad, el equipamiento urbano y el uso de la tierra urbana, sin menoscabo de la autoridad del Poder Municipal, entre otras funciones que le asigna el Decreto N° 253 de 1999.

El tema de residuos sólidos ha sido tratado muy poco en este Ministerio. Sin embargo, con las nuevas competencias que se le han asignado con relación a los municipios, se presta para incorporar en la planificación urbana y el uso de la tierra urbana el tema de la disposición final de los residuos sólidos, en coordinación con los gobiernos locales. En la reorganización de los ministerios, FUNDACOMUN fue adscrita al Ministerio de Infraestructura, con lo cual dicho Ministerio se fortalece significativamente para desarrollar su gestión con las municipalidades, y a través de ella manejar el tema de los residuos sólidos.

### 2.3.2.3. Ministerio de Salud y Desarrollo Social (M.S.D.S.)

Ente rector del sector salud en la formulación de políticas y estrategias, elaboración de normas, planificación general y la realización de las actividades del Ejecutivo Nacional en materia de salud, que comprenden la promoción, difusión, prevención, protección y recuperación de esta, incluyendo los programas de saneamiento ambiental referidos a la salud pública, entre otras funciones que le asigna el Decreto N°253 del 99. Es claro que estas competencias se circunscriben estrictamente a los aspectos sanitarios, y tienen alcance en todo el ciclo del manejo de los residuos sólidos. Así mismo ocurre en lo referente a la salud ocupacional, y la vigilancia epidemiológica nacional, en forma coordinada, para reglamentar, supervisar y direccionar las actividades y servicios nacionales, estatales, municipales y privados en materia de salud pública, y las demás competencias que le atribuyan las leyes.

La oficina o dependencia del Ministerio de Salud y Desarrollo Social a la cual le corresponde tratar el tema de los residuos y desechos sólidos en el ámbito nacional es la Dirección General Sectorial de Malariología y Saneamiento Ambiental, a través de la Dirección de Ingeniería Sanitaria, en donde el Departamento de Control de Residuos Sólidos y el Departamento de Control de Desechos Peligrosos son los encargados de dictar los lineamientos a seguir por las Regiones.

El Departamento de Control de Residuos Sólidos realiza funciones de vigilancia ambiental y sanitaria del manejo, específicamente de disposición final, divulgación de las normas y el asesoramiento a las municipalidades, establecimientos de salud, industrias y otros, para la elaboración de sus planes de manejo de residuos sólidos, cuando estos lo solicitan.

A nivel regional, se ejecuta el Programa de Control de Residuos Sólidos y el Programa de Control de Desechos Peligrosos, a través de los servicios de ingeniería sanitaria.

### 2.3.2.4. Ministerio de Planificación y Desarrollo

Corresponde al Ministerio de Planificación y Desarrollo la elaboración de estudios y la formulación de estrategias de desarrollo económico y social de la Nación, y la preparación de las proyecciones y alternativas; la formulación y seguimiento del Plan de la Nación y del Plan Operativo Anual; la propuesta de los lineamientos de la planificación del Estado y de la planificación física y espacial en escala nacional; la coordinación y compatibilización de los diversos programas sectoriales, estatales y municipales entre otras funciones que le asigna el Decreto N°253 de 1999.

La reciente creación de este Ministerio responde a la necesidad de lograr una adecuada coordinación general de las actividades que desarrolla el Estado en los campos económico, social, territorial e institucional; sobre todo con las municipalidades con relación a las inversiones en los diversos sectores de interés local, como es el caso del sector de residuos sólidos.

En la reorganización de los ministerios, el **Fondo Intergubernamental para la Descentralización** (FIDES) fue adscrito al Ministerio de Planificación y Desarrollo, institución que viene trabajando el *Mapa de Necesidades de Inversión*, en el cual se ha definido la organización y cuantificación de los déficits de servicios por sectores (infraestructura, vial, vivienda, agua y saneamiento, servicios sociales y comunales, entre otros) desagregado por estados y municipios, a fin de permitir a los organismos de financiamiento la jerarquización de las prioridades de inversión.

### **2.3.2.5. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte**

Corresponde a este Ministerio ser el ente rector de las políticas educativa, cultural y deportiva en todo el territorio nacional, sobre todo velar por la calidad creciente del proceso educativo en todos sus niveles, asegurando la máxima cobertura, dentro de un marco de equidad social.

Este Ministerio juega un rol importante en la estrategia de sensibilización y en el desarrollo de una cultura sanitaria y ambiental en general, y especialmente en la modificación de hábitos con relación al manejo de residuos sólidos en la generación, para ser trabajados desde las escuelas internalizando estos conceptos en la formación de los niños.

### **2.3.2.6. Procuraduría Ambiental**

A la Procuraduría Ambiental, con sede en Caracas y jurisdicción en todo el Territorio Nacional, le corresponde de acuerdo a la Ley Orgánica del Ambiente ejercer la representación del interés público en los procesos civiles y administrativos a seguirse contra los infractores de la mencionada Ley, las leyes especiales y los respectivos reglamentos.

En principio, todo ciudadano puede acudir, ante la Procuraduría del Ambiente o sus auxiliares para demandar el cumplimiento de las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, a fin de que las actividades o hechos denunciados sean objeto de investigación.

Cuando el manejo inapropiado de los residuos sólidos cause deterioro al ambiente y ponga en riesgo la salud pública, se podrán accionar estos mecanismos establecidos para ejercer acciones civiles y administrativas contra los responsables de dichas actividades y resarcir los daños generados.

### **2.3.2.7. Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos**

Mediante Decreto N°1.232, promulgado en noviembre de 1990 se creó, la Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos, con el objeto de asesorar al Ejecutivo Nacional en el establecimiento de políticas, investigación, planificación y coordinación en materia de desechos sólidos, semisólidos peligrosos o no.

Dicha Comisión esta integrada por los siguientes organismos: Ministerio de Relaciones Interiores, de Fomento, de Sanidad y Asistencia Social, de Agricultura y Cría, del Desarrollo Urbano, del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (quien la preside), Oficina Central de Coordinación y Planificación de la Presidencia de la Republica, FUNDACOMUN y la Asociación Venezolana de Cooperación Inter Municipal (AVECIM).

El indicado Decreto establece que la Secretaria Ejecutiva de la Comisión es ejercida por la Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Asimismo, se exhorta a los Gobernadores de los Estados, del Distrito Federal y de los Territorios Federales a constituir en cada entidad una Comisión Técnica Estatal para los residuos y desechos, que tendrá por objeto asesorar al Ejecutivo Regional y a los Concejos Municipales.

Esta Comisión es una instancia de conducción estratégica, que se articula y compatibiliza con la estructura organizacional del nuevo Estado venezolano en sus tres niveles de gobierno (nacional, estatal y municipal), toda vez que su accionar descansa en instituciones claves para la gestión de

los residuos sólidos, y esta llamada a asumir el liderazgo y rectoría en el Sector de Residuos Sólidos. Sin embargo, después de nueve años de existencia de esta Comisión, se constata que esta no ha operado por la inacción de las entidades que la conforman para organizar y accionar los mecanismos institucionales previstos en el mencionado Decreto de creación N° 1.232, a fin de formalizar, organizar y consolidar el Sector de Residuos Sólidos.

Sin embargo, esta figura organizacional, a través de una Comisión permanente y flexible a los nuevos cambios del entorno institucional, sigue siendo una posibilidad real para organizar el Sector. Solo recientemente, por iniciativa del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a instancias de la Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental ha sido reactivada, lo cual es una gran oportunidad para darle rumbo a la gestión en esta materia.

#### **2.3.2.8. Fundación para el Desarrollo de la Comunidad y el Fomento Municipal**

De acuerdo al Decreto con rango y fuerza de Ley sobre Adscripción de Institutos Autónomos y Fundaciones del Estado, Decreto N° 257, la Fundación para el Desarrollo de la Comunidad y el Fomento Municipal (FUNDACOMUN) queda bajo la adscripción y tutela del Ministerio de Infraestructura.

FUNDACOMUN fue creada en 1962 para fortalecer a los municipios en sus capacidades de gestión para el desarrollo local con el objeto de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Esta institución es la de mayor experiencia en el país en asuntos de gestión municipal, acumulados durante los 37 años de trayectoria. En ese periodo, ha formulado y ejecutado proyectos en las áreas de la planificación urbana y local, catastro, desarrollo social, asistencia legal, servicios públicos, vivienda, gerencia y sistemas de administración municipal.

De acuerdo a la organización de FUNDACOMUN, la Dirección de Desarrollo Municipal a través del Área de Planificación Urbana y Local es la unidad responsable de tratar dentro de la Fundación el tema de los residuos sólidos, con el objeto de coordinar y elaborar los planes de trabajo concertados en los estados, entre FUNDACOMUN y las autoridades locales.

FUNDACOMUN se constituye en un instrumento institucional clave a fin de desarrollar toda una estrategia de fortalecimiento de los municipios para una gestión adecuada de los residuos sólidos, y de esa forma contribuir a mejorar la calidad de vida de la ciudadanía, en razón de las capacidades y recursos con que cuenta.

#### **2.3.2.9. Fondo Intergubernamental para la Descentralización (FIDES)**

Mediante Ley del Congreso de la República se creó un fondo de inversiones denominado Fondo Intergubernamental para la Descentralización (FIDES) con la finalidad de promover la descentralización administrativa, el desarrollo de los estados y los municipios conforme a lo establecido en la Ley Orgánica de Descentralización, Delimitación y Transferencia de Competencias del Poder Público, y sus Reglamentos.

El FIDES viene trabajando el Mapa de Necesidades de Inversión, mediante el cual ha definido la organización y cuantificación de los déficits de los servicios por sectores, desagregados por estados y municipios, de modo de permitir a los organismos de financiamiento la jerarquización de las prioridades de inversión.

El sector “Disposición de Desechos Sólidos”, identificado por FIDES en dicho Mapa de Necesidades, es definido como prioridad sectorial de inversión en Venezuela. Los fondos para los municipios provenientes de esta fuente, Ley de Creación del FIDES, establece que del total de los recursos asignados anualmente en la Ley de Presupuesto al Fondo, una vez descontado sus gastos de funcionamiento se destinara el 40% restante a la cuenta de participación de los municipios.

Esta institución es clave para fortalecer el Sector de Residuos Sólidos, ya que constituye una fuente y un facilitador para canalizar recursos financieros para impulsar la descentralización y el desarrollo local.

#### **2.3.2.10. Gobierno Estatal**

De acuerdo a la Ley Orgánica de Descentralización, Delimitación y Transferencia de Competencias del Poder Público, fueron transfiriéndose progresivamente a los Estados, desde los inicios de los noventa, los siguientes servicios que estaba prestando el Poder Nacional, vinculados a la gestión de los residuos sólidos:

- La planificación, coordinación y promoción de su propio desarrollo integral, de conformidad con las leyes nacionales de la materia;
- La conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales;
- La ordenación del territorio del Estado de conformidad con la Ley Nacional;
- La salud pública y la nutrición, observando la dirección técnica, las normas administrativas y la coordinación de los servicios destinados a la defensa de las mismas que disponga el Poder Nacional.

Las dependencias descentralizadas del Ministerio de Salud y Desarrollo Social y del Ambiente y de los Recursos Naturales en el ámbito estatal están facultadas para realizar las funciones de vigilancia y supervisión del cumplimiento de las respectivas normas técnicas sanitarias y ambientales, respectivamente y la aplicación de las políticas nacionales de cada sector. Asimismo, son enlaces entre las municipalidades y el gobierno nacional para coordinar y compatibilizar los planes de gestión, canalizar las solicitudes de asesoramiento y financiamiento a través de agencias internacionales u otras fuentes.

#### **2.3.2.11. Gobierno Municipal**

- Legislador
- Organizador del Sistema
- Empresa de Servicio o Contratante
- Gestor de Soluciones

En Venezuela, según la Constitución de la República de 1999, garantiza la autonomía municipal (artículo N° 17) y establece que *“Los Municipios constituyen la unidad política primaria de la organización nacional, gozan de personalidad jurídica y autonomía dentro de los límites de la*

*Constitución y de la ley” (artículo N° 168). Asimismo, la Carta Magna establece que, “Los Municipios podrán asociarse en mancomunidades o acordar entre sí o con los demás entes públicos territoriales, la creación de modalidades asociativas intergubernamentales para fines de interés público relativos a materias de su competencia. Por ley se determinarán las normas concernientes a la agrupación de dos o más Municipios en distritos” (artículo N° 170).*

La Ley Orgánica de Régimen Municipal, en su artículo N°13, establece que son entidades locales: los municipios, los distritos metropolitanos, las parroquias, las mancomunidades y demás formas asociativas o descentralizadas municipales con personalidad jurídica

La misma Ley, en su artículo N°36, indica que son competencias propias del municipio --vinculadas a los residuos sólidos-- la protección del ambiente y la cooperación con el saneamiento ambiental; el aseo urbano y domiciliario, comprendidos los servicios de limpieza, de recogida y tratamiento de residuos.

Los municipios para atender el servicio de residuos sólidos, podrán recurrir a las siguientes modalidades que la Ley les permite, a través de su Artículo 41: (i) en municipio en forma directa; (ii) institutos autónomos municipales, mediante delegación; (iii) empresas, fundaciones, asociaciones civiles y otros organismos descentralizados del municipio, mediante contrato, y (iv) concesión otorgada en licitación pública.

Se estima aproximadamente que el 78% de los municipios en el país manejan los residuos sólidos bajo su responsabilidad en forma directa. Es decir, con recursos propios de la municipalidad, organizando el servicio de limpieza pública para atender la recolección, transporte y la disposición final; proveyendo los recursos humanos, insumos y equipos, y muchas veces contratando a empresas para cumplir actividades específicas de dicho servicio.

Esta forma de prestación de servicios, que es la más común en Venezuela, no es objeto de una planificación integral. En muchos casos es básicamente empírica, no se distinguen claramente los sistemas de gestión que incluyen los sistemas de planificación, administración, financiero, comercial y operativos. Mayormente, estas funciones se realizan mediante las oficinas que son responsables de los asuntos de servicios municipales, sin que estos estén basados en criterios técnicos de planificación, organización y administración.

La recaudación por concepto del servicio de limpieza pública y manejo de residuos sólidos es significativamente precario. Las estimaciones indican que aproximadamente lo recaudado cubre entre 5 a 10% los costos operativos del mencionado servicio. Las tasas que se cobran deben ser previamente aprobadas por los Concejos Municipales y oficializadas mediante ordenanza. Estas tasas no obedecen a una metodología validada, ni mucho menos aprobada por algún organismo de control, mayormente tienen un componente político en su definición.

La prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en forma directa generalmente no es objeto de control, y mucho menos esta función, la cual esta institucionalizada en el ámbito municipal para ser realizada por entidades autónomas.

Otra modalidad de prestación de recolección de residuos sólidos que se evidencia en la práctica es la mancomunidad, mayormente utilizada para la disposición final.

La Mancomunidad de MANCOSER, constituida por los municipios: Libertador, Sucre, Baruta, Chacao y El Hatillo, otorgo en concesión el “Relleno Sanitario La Bonanza” mediante licitación pública

internacional a la empresa COTÉCNICA para su operación por un período de 20 años, a partir del 19 de mayo de 1998.

Dicha empresa debe atender aproximadamente 4.000 toneladas diarias que provienen del área metropolitana de Caracas. Para lo cual, COTÉCNICA en el presente año ha invertido en equipos alrededor de 12 millones de dólares, obedeciendo a un plan de gestión de mediano y largo plazo, con lo cual se estaría asegurando para el Área Metropolitana un relleno sanitario apropiado en términos de gestión, manejo técnico sanitario y ambiental, y constituyéndose como un ejemplo para el país.

Con relación al cobro por disposición final, COTÉCNICA llegó a un acuerdo con MANCOSER para ajustar la tarifa semestralmente a los índices de precios que el Banco Central de Venezuela determina mes a mes. La tarifa final es revisada y aprobada por MANCOSER, y de esa forma COTÉCNICA procede a la cobranza mediante una empresa especializada que lo realiza con el cobro de otros servicios (recibos de electricidad) asumiendo los respectivos costos.

COTÉCNICA también presta servicios de recolección y limpieza de algunos municipios del área metropolitana de Caracas. Dicha recolección es aproximadamente 1.000 toneladas diarias (25% de la generación diaria del área metropolitana). Así mismo, realiza la recolección selectiva de residuos de origen hospitalario para destinar al crematorio los residuos anatomopatológicos.

Otra forma de atender los servicios de residuos sólidos es mediante contrato de servicios, que mayormente son contratos anuales y renovables. El pago de estos servicios lo hace el municipio contra servicio prestado, para lo cual la tasa que se cobra es aprobada por la Cámara Municipal y oficializada mediante ordenanza. Lo recaudado por este concepto no cubre para cumplir el pago de las empresas, de allí que el servicio se hace deficitario.

En algunas pequeñas comunidades como parroquias, la población se ha organizado mediante microempresas para atender la recolección y el cobro lo realizan directamente. Luego son trasladados los residuos sólidos para disposición final. Un caso se pudo constatar en el relleno sanitario La Bonanza, donde realizando el pago respectivo una microempresa de los Anaucos dispone finalmente los residuos.

En el proceso de modernización y descentralización del Estado, los gobiernos locales toman una dimensión estratégica en el desarrollo del país al asumir funciones de gobierno para el desarrollo local, dejando de ser solamente prestadores de servicios o ejecutores de actividades asistenciales. Por tanto, las municipalidades se constituyen en instituciones claves para el ordenamiento de la gestión de los residuos sólidos de responsabilidad municipal desde el momento que asimilen en las políticas de gobierno local, el tema de los residuos sólidos desde la generación hasta su disposición final.

#### **2.3.2.12. Operadora de Servicio**

##### **a) A través de Mancomunidades.**

Las mancomunidades son figuras alternativas para la prestación de determinados servicios públicos de competencia municipal. En Venezuela, luego de iniciado el proceso de descentralización, se comenzó a aplicar esta opción, sobre todo en lo relacionado a la disposición final de los residuos sólidos.



En aquellos centros poblados con alta densidad de población, la creación de mancomunidades ha sido una alternativa porque las ciudades crecen, sin importarles los límites de los municipios, y pasan a tener una serie de problemas comunes como es el caso de la basura. Este es el caso específico de Caracas y Barcelona, Puerto La Cruz, donde la constitución de mancomunidades ha representado una solución al problema de la disposición final de los residuos sólidos.

También ocurre que municipios vecinos a ciudades con mayor actividad económica, se asocian a través de una mancomunidad para solucionar la disposición final de sus residuos sólidos, uniendo esfuerzos y recursos que un solo municipio no podría proporcionar, como ocurre en las mancomunidades de Barinas, Puerto Cabello, las ubicadas en el Edo. Anzoátegui y en el Edo. Mérida.

Por consiguiente, las mancomunidades son una opción para grandes ciudades y municipios con escasos recursos y problemas comunes.

#### **b) Prestación directa del servicio**

Las alcaldías son responsables de la prestación del servicio de aseo urbano y domiciliario, así como de la correcta disposición final de los residuos sólidos del municipio. En muchos casos, este servicio se presta muy irregularmente y lo realiza la alcaldía directamente a través de los recursos con los que cuente; y en un número no reportado de municipio, el servicio es prácticamente inexistente, reduciéndose la solución a operativos de limpieza cada cierto tiempo.

No se puede pensar que si existen 330 municipios, deberían existir 330 rellenos sanitarios. Lo ideal es que cada municipio, según sus características propias, busque las soluciones más viables. En los municipios de baja densidad de población, tales como los rurales y de zonas apartadas (indígenas, parques nacionales), existen alternativas para el manejo que pueden ser realizadas directamente por las alcaldías, como es el caso del compostaje, de los vertederos manuales, de la recolección selectiva, de la participación de la comunidad en la gestión a través de microempresas, entre otras.

La falta de educación y de conocimientos técnicos para la aplicación de estas alternativas es la principal limitación en la prestación de un buen servicio, ya que la mejor solución no es siempre la más costosa. Además de que existen recursos para financiar este tipo de casos, la cuestión está en conocer los mecanismos para la obtención de los mismos.

La gestión de los residuos sólidos no solo consiste en la prestación del servicio, requiere además un criterio de gerencia, en el cual la administración de los recursos y las inversiones que se realicen estén acordes con las necesidades del municipio, para optimizar la eficiencia de su prestación.

#### **c) Contratación de una empresa privada**

La contratación de una empresa privada para la prestación del servicio de aseo urbano y domiciliario, y/o de disposición final de los residuos, puede ser directamente a través de la alcaldía, o por medio de la mancomunidad. También puede ser que el servicio sea compartido, y que la participación de la empresa privada sea solamente en algunas etapas

del mismo, tales como el barrido, la recolección, o el transporte. Generalmente, la figura empleada es la concesión, en la cual se establece un contrato por un tiempo determinado para que la empresa preste el servicio bajo la supervisión del municipio.

Las grandes empresas que prestan el servicio de aseo urbano y domiciliario, así como la disposición final de los residuos sólidos municipales, se encuentran en los mayores centros poblados; cuentan con buenos programas de gestión, pero con poca respuesta de parte de la población y de las alcaldías, que no aceptan la implantación de tarifas acordes con los gastos reales del servicio, por el miedo al costo político y social que eso implica. De igual forma, estas empresas no han incorporado al ciudadano como parte del manejo de los residuos y no han promovido una gestión integrada en la que participen los otros actores de la sociedad.

### **2.3.2.13. Comunidad**

Se estima que en Venezuela, cada ciudadano genera entre 0,5 – 1,5 kg/día de basura. Así, en la medida que aumenta la población, aumenta la generación de residuos sólidos de la localidad y es por esta razón que en las principales ciudades del país, el problema del mal manejo de los residuos sólidos se hace cada vez mayor.

La generación de residuos sólidos esta asociada a la capacidad adquisitiva de la población, donde quienes tienen más recursos generan mayor cantidad de residuos sólidos que quienes cuentan con menores recursos económicos.

También es importante considerar el nivel cultural de la población, el cual influye en la actitud y en la aptitud ante el manejo de la basura, observándose que quienes tienen mejor y mayor información sobre el tema puede responder más fácilmente ante propuestas para su manejo. El papel que juegan los medios de comunicación es de gran importancia para elevar el nivel cultural de la población porque tienen un gran poder de educación y de información, a la vez de poseer un gran alcance y difusión en el territorio nacional.

Las campañas educativas dirigidas a un sano consumo de productos y una prudente selección de los mismos son muy escasas y esporádicas, motivadas por iniciativas aisladas y sin coherencia ni continuidad. De igual forma, son escasas las iniciativas destinadas a educar e informar debidamente sobre que puede hacer la población para disminuir la generación de basura o para utilizar productos biodegradables.

La educación no formal no ha abordado el tema del manejo integrado de los residuos sólidos. Igual sucede con la educación formal, para lo cual, en los libros de textos analizan el problema desde el punto de vista sanitario y de las consecuencias de la falta de higiene en la ciudad y en el ciudadano. Hace falta informar sobre que son los residuos sólidos, que alternativas para su manejo existen, que puede hacer el ciudadano para colaborar, etc. Estos temas deben desarrollarse e incorporarse en los procesos de educación como complemento del enfoque sobre salud e higiene, de una forma permanente y sostenida.

### **2.3.3. Coordinación y planificación**

El conjunto de actividades que se realizan en la gestión de los residuos sólidos, tanto en el ámbito municipal como en el ámbito de responsabilidad de los generadores, no es consecuencia de

las prioridades de nivel nacional, estatal o local, fijadas en forma coordinada por un ente responsable de las políticas y la orientación del sector de residuos sólidos. La descoordinación en todos los niveles de gestión es la pauta del sector de residuos sólidos en Venezuela, situación paradójica ya que existen los mecanismos legales e institucionales, como la Comisión Técnica Nacional para los Residuos y Desechos, para el desarrollo de políticas y estrategias compartidas.

La descoordinación de las instituciones con competencias para formular políticas sanitarias y ambientales de nivel nacional, estatal y local que conforman el Estado venezolano, y las instituciones vinculadas directa o indirectamente al sector de residuos sólidos, induce a inferir la inexistencia de una planificación en términos formales. Así mismo, se constata que las actividades programadas en todas estas instituciones muchas veces duplican esfuerzos y obedecen más a la inercia de la rutina administrativa o protagonismo de las instituciones de nivel nacional, con productos y resultados que no responden a la problemática del sector de residuos sólidos.

En Venezuela hay una gran preocupación por el deterioro ambiental que existe en diferentes regiones de la geografía nacional. Se están afectando bosques, fuentes de agua dulce, costas marinas, lagos, el aire, los suelos, la flora y la fauna. Surgen, entre otras causas del deterioro, el manejo inadecuado de los desechos sólidos, peligrosos o no; el crecimiento poblacional explosivo, que ha traído consigo un incremento alarmante de desechos, y las exigencias de la población cada vez mayor, que hace que se intensifique la producción de bienes y servicios, produciéndose así más desechos.

**Tabla 2.1**  
**Instituciones de Regulación y Control del Manejo de Residuos Sólidos**

N°	Actividades del Manejo Técnico	Tipos de Residuos		
		Municipales	Hospitalarios	Peligrosos
1	Generación (Reducción, minimización)	MSDS/Municipio	MSDS	MARN/MSDS
2	Almacenamiento	MSDS/Municipio	MSDS	MARN/MSDS
3	Recolección	MSDS/Municipio	MSDS	MARN/MSDS
4	Transporte	MSDS/Municipio	MSDS	MARN/MSDS
5	Tratamiento	MSDS/Municipio	MINSA	MARN/MINSA
6	Disposición final	MARN/MSDS/ Municipio	MARN/MSDS	MARN/MSDS
7	Limpieza publica	MSDS/Municipio	--	--
8	Reaprovechamiento (reciclaje, reutilización y recuperación)	Municipal	--	MARN/MSDS
9	Comercialización	Municipal	--	MARN/MSDS
10	Importación o exportación	--	--	MARN/MSDS
11	Emissiones al ambiente	MARN/MSDS	MARN/MSDS	MARN/MSDS

MSDS : Ministerio de Salud y Desarrollo Social  
MARN : Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Se requiere la aplicación de tecnología limpia y altamente eficaz para evitar efectos sobre la salud y el ambiente. Venezuela, un país en vías de desarrollo, ha visto como en los últimos años ha crecido, no sólo su población sino también su industria y paralelamente su producción de desechos. En relación con el sector, a pesar de existir una extensa normativa que en la letra controla y ordena el

servicio de aseo urbano, en la práctica no ha logrado su operatividad y, por lo tanto, no se ha alcanzado el manejo adecuado de dicho servicio. Cuando se analiza la cadena de eslabones que comprende el servicio de aseo urbano y se detallan las formas como en cada área de ellas se contamina el medio, es evidente la necesidad de realizar en todo el país los máximos esfuerzos que conduzcan a erradicar las prácticas ineficientes.

La limitada prioridad que ha tenido el tema, refleja las debilidades existentes en el manejo de los desechos, tanto en el aspecto técnico como en el económico-financiero. Todo esto ha hecho que hasta ahora no se haya logrado un proceso completo de evaluación cuantitativa y cualitativa, a fin de poder definir las dimensiones ambientales del problema en aras de su solución.

Como ya se ha mencionado, a pesar de la extensa gama de instrumentos regulatorios en materia ambiental, que incluye la normativa para el control de los diferentes tipos de desechos sólidos, no se ha logrado disminuir los daños que estos están produciendo al ambiente. Una de las causas principales que impide la obtención de la meta deseada son:

- Falta de información relacionada con la magnitud de los daños ambientales ocasionados.
- Poca identificación de la sociedad en general con la necesidad de participar activamente en el desarrollo de estrategias y acciones para lograr la solución del problema.
- Poca adaptación y cumplimiento de las normas vigentes específicas al manejo de los desechos sólidos.
- Falta de educación ambiental de la ciudadanía.

Aunque cada uno de los eslabones que comprende el servicio de aseo urbano puede alterar el medio cuando no son realizados adecuadamente, siendo la disposición final la que más lo afecta, pues los desechos muchas veces son depositados directamente en el suelo en botaderos a cielo abierto. En efecto, además de problemas de salud y estéticos de la acumulación de desechos, la lluvia disuelve la parte soluble de ellos, arrastrando el lixiviado hasta fuentes superficiales de agua e incluso hasta el interior del suelo, con lo cual puede causar diferentes grados de contaminación. Asimismo, la lluvia arrastra parte de los desechos llevándolos hasta quebradas, ríos, playas y lagunas, a los cuales contamina, con efecto negativo sobre la flora y la fauna, tanto marítima como terrestre, en su paso por la superficie terrestre donde destruye los suelos y la parte vegetal expuesta. Cuando los desechos son quemados en forma intencional o en forma espontánea, la combustión es incompleta y la cantidad de gases que van a la atmósfera son tan variados como heterogéneos, produciendo contaminación atmosférica.

De igual forma, cabe añadir que en los rellenos sanitarios, cuando no son proyectados debidamente, se producen descargas de lixiviados y de gases provenientes de la descomposición de los desechos orgánicos, al igual que sucede en los botaderos a cielo abierto. En general en el país no existen estadísticas que permitan conocer la cantidad de gases que por efecto de la quema de desechos van a la atmósfera y sobre la cantidad de acuíferos que son contaminados por los lixiviados.

Cuando se trata de residuos industriales, la acumulación de sus materiales excedentes en el suelo constituye un problema de contaminación ambiental importante debido a que estos desechos pueden ser peligrosos y, por lo tanto, mucho más degradantes que los municipales comunes, por lo

que sus daños son mucho mas significativos, pudiendo llegar a ser explosivos, cancerígenos y de otras características riesgosas.

También se contamina el ambiente cuando las tecnologías para la recolección de los desechos no son las más apropiadas, pues producen dispersión de contaminantes a lo largo de su trayecto.

Se destaca que en el país ya se operan rellenos sanitarios para desechos comunes en los que se controlan tanto el lixiviado como la emisión de gases, con lo cual se elimina la contaminación del agua subterránea y de la atmósfera. La contaminación del aire por efectos de incinerados sin el control requerido, puede ser mas grave cuando estos operan en los establecimientos de salud que cuando lo hacen con los desechos municipales.

Además de los gases producidos por la incineración y la combustión en los botaderos a cielo abierto, también se producen humos y una variedad de partículas en suspensión. A esto se agregan también los malos olores.

Otra forma de contaminación por efecto de los desechos sólidos que se presenta en el país es la contaminación del agua. Aun cuando esta prohibido la descarga de desechos en los cursos de agua, cuando estos se acumulan en sus cercanías, las aguas de lluvia o el viento los lleva a invadir estos recursos hídricos contaminándolos. La falta de rellenos de seguridad es una causa fundamental para la contaminación ambiental en el país. Mientras este tipo de relleno se construye, la cantidad de desechos que se produce se almacena en sitios que no siempre están protegidos debidamente, lo que conlleva a la contaminación del ambiente. Por otra parte, se debe suspender en el país la disposición de desechos peligrosos en los rellenos sanitarios convencionales, práctica común en Venezuela.

En conclusión, se señala que el manejo inadecuado de los desechos sólidos tiene efecto negativo sobre el ambiente en el país. Por ello, es imperativo tomar todas las acciones necesarias, a fin de lograr un manejo adecuado que reduzca sus efectos sobre el ambiente y la salud.

#### **2.3.4. Disposición final**

La disposición final representa la fase última de la gestión de los residuos sólidos, cuando se disponen los residuos que ya no han podido ser utilizados. En Venezuela se entierran aun muchos materiales con valor económico, los cuales no son aprovechados por no contar con una gestión integrada de los residuos, que contemple en su proceso la recuperación de materiales y de energía, y que estudie la viabilidad de aprovechar mejor los recursos naturales que hasta allí llegan.

Con relación a la disposición final es meritorio mencionar la creación de mancomunidades, las cuales han resultado ser una experiencia en la que se unen esfuerzos para solucionar un problema común, como es el de la disposición final de los residuos sólidos.

El caso ocurrido en el Estado Aragua es un ejemplo que llama la atención sobre el intento de crear una mancomunidad sin el acuerdo previo de los actores involucrados, realizando primero el estudio técnico sin consultar ni involucrar en el proceso de planificación a la comunidad. En este caso la comunidad se organizó con el apoyo de la Iglesia y no acepto la instalación de un relleno sanitario propuesto por los técnicos.

Los técnicos que elaboraron un estudio muy detallado y de alto nivel no consideraron la opinión de la comunidad sobre la ubicación del relleno sanitario, y la selección del sitio debió ser cambiada a raíz de la oposición ejercida por la comunidad. Lo más grave es que el error se cometió nuevamente, y en la actualidad la comunidad del nuevo sitio escogido por los técnicos se opone a la instalación del relleno sanitario en sus predios.

La comunidad reacciona ante un evento perturbador, y una vez que se equilibra la situación cesan las presiones. Son más escasos los casos en que las comunidades se organizan para aportar una solución a un problema; este tipo de manifestaciones ocurre cuando la ciudadanía ha alcanzado conciencia de sus posibilidades y sabe que a través de la participación puede obtener muchos logros.

Uno de los temas más discutidos con relación al manejo de los residuos sólidos municipales es la posibilidad de formalizar la actividad de recuperación de materiales en el sitio de disposición final, aduciendo entre otras razones los beneficios económicos de la actividad. Estudios recientes sobre el tema señalan que la recuperación realizada manualmente y bajo las condiciones insalubres mencionadas en los sitios de disposición final es muy poco eficiente. Los niveles de recuperación medidos en los sitios de disposición final, en su totalidad, no superan en ningún caso el 10%, y la calidad del producto es muy pobre, lo que limita su comercialización. Lo anterior apunta a que es urgente desarrollar estrategias para que esta recuperación se realice en el origen (Sánchez, 1999).

La recuperación de los materiales que llegan al sitio de disposición final no representa una solución al problema de que hacer con los residuos sólidos, porque la mayor parte de la composición de los residuos sólidos esta representada por materia orgánica, y al venir mezclada toda la basura, su recuperación se hace mas compleja. Técnicamente existen soluciones como las plantas de selección y compostaje de residuos sólidos, que son grandes bandas por donde circula la basura, y una serie de obreros van separando los materiales reciclables, hasta que solo quede la materia orgánica con la cual se elabora compost. La instalación de estas plantas de selección y compostaje es sumamente costosa, y no es rentable para una empresa instalar una de estas y recuperar luego la inversión. La opción que se podría considerar es que la instalación y construcción de estas plantas sea por parte del Estado, aspecto que debe ser estudiado cuidadosamente desde el punto de vista técnico y económico.

La disposición final es una etapa de la gestión de los residuos sólidos que se debe afrontar de una forma técnica, y en la cual no se debe permitir la presencia de escarbadores. Cualquier iniciativa que promueva la consolidación de los escarbadores, debe ser considerada sólo como una fase intermedia para su ubicación en otro espacio, quizás en una planta de selección de materiales, o en algún tipo de microempresa, pero siempre fuera del sitio de disposición final.

En La Bonanza, la empresa COTÉCNICA, cuando inició las operaciones del sitio en el año 1998, no permitió más la entrada de mujeres y niños para escarbar en la basura, ni que se pernoctara en el lugar; y se dedico a dignificar el trabajo de los hombres que escarban la basura: los asesoró para que constituyeran una cooperativa, les acondicionó un sitio para su aseo personal, y les esta dando apoyo en la consolidación de la cooperativa en lo relacionado a la gestión de la misma y operatividad (horario de trabajo, seguridad). Es interesante como para este proceso procedieron a eliminar los vigilantes armados, y a través del dialogo y la convivencia, fueron logrando este cambio. Hace falta tener una decisión y mantenerla con autoridad, no por medio de la violencia, sino por la constancia y consistencia en la gestión que se realiza.

La permanencia de estos hombres que trabajan escarbando la basura no es la situación ideal, pero debido a lo difícil que representa su eliminación, se considera como primer paso la organización de esta actividad minimizando los riesgos a la salud y trabajando en condiciones humanamente aceptables, para luego realizarla en un lugar diferente al sitio de disposición final.

## **2.4. SUSTANCIAS CONTAMINANTES**

### **2.4.1. Tipos de contaminantes**

Las sustancias contaminantes pueden ser de naturaleza física, biológica o química y pueden aparecer en todos los estados físicos (sólido, líquido o gaseoso).

- Contaminantes físicos
- Contaminantes biológicos
- Contaminantes químicos

Contaminantes pueden ser impurezas naturales y contaminaciones generados por la acción del hombre.

#### **2.4.1.1. Impurezas naturales**

##### **Impurezas inorgánicas**

Las impurezas inorgánicas como un contenido elevado en el suelo y agua de metales pesados u otros oligoelementos y sales. Los contenidos en el agua pueden alcanzar valores que no permiten su uso como agua potable o que limitan su para algunas aplicaciones. La presencia de estas impurezas depende de la situación geológica regional.

##### **Impurezas orgánicas**

Impurezas orgánicas como los residuos vegetales en el suelo y el agua producida por la descomposición natural de la celulosa, ligninas, peptinas y albúminas; los residuos de los excrementos de animales con posibles efectos nocivos y también organismos vivos como algas y bacterias.

Normalmente las impurezas orgánicas naturales son de importancia secundaria para la calidad del agua por la actuación autolimpiadora de las aguas, aunque bajo circunstancias especiales pueden causar efectos negativos.

#### **2.4.1.2. Contaminaciones generadas por la acción del hombre**

Las más importantes (o en general: más peligrosas) son las contaminaciones generadas por la acción del hombre. La actividad industrial o laboral particular determina la cantidad, los tipos y las características de los contaminantes emitidos.

Durante todos los procesos industriales sustancias nocivas o tóxicas pueden llegar al agua o al suelo, sea intencionalmente, accidentalmente o como causa de una manipulación inadecuada de materiales peligrosos. Existen sustancias que son peligrosas para el medio acuático, otras causan problemas predominantemente para los microorganismos del suelo, otras son nocivas para animales y el hombre.

En forma general se puede concluir:

- Cualquier sustancia que tiene efectos negativos para ecosistemas, también es nocivo para el hombre cuando entra al cuerpo humano; y
- Cualquier sustancia dañina para la salud de las personas también causa problemas en el medio ambiente una vez liberada a la atmósfera, al suelo o al agua.

#### **2.4.1.3. Contaminantes físicos**

Los contaminantes físicos son caracterizados por un intercambio de energía entre persona y ambiente en una dimensión y/o velocidad tan alta que el organismo no es capaz de soportarlo.

Por varios razones el contaminante físico, que más que otros, está relacionado con la geología ambiental es la radiactividad (natural o artificial). La radioactividad natural puede generar problemas ambientales, por ejemplo, en la cercanía de yacimientos de uranio (y otros minerales radioactivos).

Las distintas aplicaciones con sustancias radioactivas en ciencia, técnica y en la producción de energía y también el uso militar se generan cantidades considerables de desechos radioactivos. La búsqueda y la habilitación de lugares seguros para el almacenamiento definitivo de este tipo de desechos, es un problema para cada país que utiliza sustancias radioactivas para fines civiles o militares. El aspecto geológico de la solución de este problema forma parte de la geología ambiental.

#### **2.4.1.4. Tipos de radiación ionizante**

La radiación ionizante se llama así porque - debido a la alta energía que tiene - puede producir iones en la materia que está en contacto con ella (la materia puede ser por ejemplo el cuerpo humano).

Tipos de radiación ionizante:

Radiación electromagnética muy intensa	Radiación de partículas
Rayos $X$ y Radiación $\gamma$	Radiación $\alpha$ y Radiación $\beta$

(La radiación  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  representan lo que se entiende como "radioactividad".)

#### **Fuentes**

Existen numerosas aplicaciones en técnica y medicina que utilizan emisores de radiaciones ionizantes, por ejemplo:

- Exámenes radiológicos en la medicina



- La análisis de minerales (difractometría de rayos -  $X$  , análisis de fluorescencia de rayos -  $X$  )
- Uso de indicadores o marcadores radioactivos ("tracer") (ejemplo: en oleoductos a veces se mandan distintos tipos de petróleo, o material de distinta calidad. En este caso se pueden marcar un producto con un elemento radioactivo para indicar donde termina un lote y donde comienza el segundo, agregando una pequeña cantidad de un marcador.)

El fuente más importante de material radioactivo (tanto por la cantidad de material que producen, como por las características nocivas de las sustancias que generan) son las plantas nucleares.

También es necesario considerar la generación de "basura" radioactiva por el uso militar en algunos países, sea por el uso de reactores nucleares en algunos submarinos u otros buques de guerra o por el replazo o el desarme del arsenal nuclear.

Otras fuentes de radiaciones son naturales como minerales radioactivos (minerales de Uranio por ejemplo). La minería de estos minerales puede generar un impacto ambiental muy negativo liberando concentrados de sustancias radioactivas al medio ambiente.

#### 2.4.1.5. El problema del Radón

Una fuente natural de radioactividad es el gas radioactivo Radón. Radón es un gas radioactivo que pertenece a la cadena de desintegración del Uranio. Se forma por desintegración de Radio - 226 a Radón - 222.

En todas las partes donde existen minerales que contienen uranio - entonces en cualquier roca magmática - se forma Radón. Concentraciones relativamente altas de Radón se encuentran en zonas de rocas magmáticas en general. El gas puede difundir por las fracturas y grietas de la roca al ambiente. En lugares de mala ventilación (el sótano de una casa o una mina subterránea) las concentraciones pueden ser importantes. El Radón es un elemento químico que pertenece al grupo de los gases nobles (como Helio, Argón etcétera) y así no es nocivo - ni es venenoso ni tiene otra propiedad tóxica. La inhalación y exhalación del radón no causa daño ninguno a la salud. Problemáticos son los productos de la desintegración radioactiva del radón. La vida media del Radón es de solo 3,8 días y se desintegra emitiendo radiación  $\alpha$  , para formar isótopos también radioactivos de Polonio, Plomo y Bismuto, Telurio y Astat. Si el núcleo del gas se descompone dentro del pulmón emite una partícula  $\alpha$  y además los productos sólidos de la desintegración no pueden ser eliminados por la respiración, pero quedan ahí y pueden desarrollar todo efecto biológico posible en el tejido del cuerpo (del pulmón).

La dosis de radiación que cualquier persona recibe en el caso normal no tiene que causar preocupación. Existe peligro para la salud, cuando la persona esta expuesta por mucho tiempo a concentraciones significativas de Radón.

Se sabe desde el siglo XV, que los mineros en minas de plata de la región minera de Schneeberg (Erzgebirge, "montaña de mena") en Alemania, sufrieron muy frecuentemente una misteriosa enfermedad del pulmón - que posteriormente (en el año 1879) se identificó como cáncer pulmonar. Se puede imaginar que personas que trabajan mucho tiempo en un ambiente con una concentración elevada de radón pueden sufrir daños severos de la salud. Las investigaciones indican que desde una exposición a 3000 Bq/m<sup>3</sup> aire aumenta el riesgo de cáncer pulmonar. Una casa

"normal" (con sótano) cuenta con 50 hasta 1000 Bq/m<sup>3</sup> aire. En casos extremos de casas en la ciudad de Schneeberg las mediciones reportan valores de hasta 50000 Bq/m<sup>3</sup> aire. Se estima que la exposición a radón causa entre 30 y 90 muertos de cáncer por cada 1 millón de personas.

#### **2.4.1.6. Contaminantes biológicos**

En general: todos los agentes representados por organismos vivos (la mayoría suelen que ser microorganismos como bacterias, virus, hongos etcétera).

Se puede imaginar por ejemplo la existencia de un microclima dentro de una mina subterránea que favorece el crecimiento de hongos.

La falta de higiene alrededor de una mina de plata puede favorecer la presencia de parásitos u otros portadores de enfermedades como ratas (seguramente un problema más frecuente en la minería artesanal que en la gran minería).

#### **2.4.1.7. Contaminantes químicos**

Los agentes químicos representan seguramente el grupo de contaminantes más importante, debido a su gran número y a la omnipresencia en todos los campos laborales y en el medio ambiente.

Como contaminantes químicos se puede entender toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que tiene probabilidades de lesionar la salud de las personas en alguna forma o causar otro efecto negativo en el medio ambiente. Los agentes químicos pueden aparecer en todos los estados físicos.

#### **2.4.1.8. Contaminantes Gaseosos**

Son gases propiamente dichos, vapores (sustancias de estado normal líquido o sólido - vapor de mercurio por ejemplo) y humos (resultado de la combustión de sustancia orgánica - también puede ser clasificado como sólido).

Fuentes de contaminantes gaseosos pueden ser por ejemplo:

- Emisiones continuas como:
  - La descarga de chimeneas;
  - Quema de mercurio a aire libre;
  - Emisiones de maquinas, vehículos y del transito en general;
  - Desaireación de tanques; y
  - Emanaciones volátiles de la superficie de lagunas de residuos.
- Emisiones instantáneas/momentáneas, como todo tipo de emisión accidental (por ejemplo incendios)

Los contaminantes gaseosos son importantes para la geología ambiental cuando las sustancias precipitan con el peligro de contaminar suelo o agua.

En cambio, contaminantes sólidos y líquidos pueden ser liberados directamente al sistema suelo / agua subterránea con los efectos ambientales correspondientes.

#### **2.4.1.9. Contaminantes Sólidos**

El grupo de sustancias sólidas incluye sustancias como minerales de asbestos, sustancias contaminantes adsorbidas a partículas sólidas, sólidos en suspensión y también los polvos (los últimos dos con carácter transitorio entre sólido y gaseoso).

Contaminantes sólidos también pueden ser distintos tipos de basura como por ejemplo:

- Suelo/roca excavado o residuos de la construcción (en general no tóxico, pero con el problema de almacenarlo en alguna parte)
- Basura domestica/industrial en general
- Otras sustancias que hay que considerar como residuos especiales o tóxicos

#### **2.4.1.10. Contaminantes Líquidos**

Todo tipo de sustancia liquida que puede causar daños para la salud incluyendo por ejemplo todo tipo de combustible que puede destruir ecosistemas o recursos hídricos en general y que pueden afectar finalmente también el ser humano.

Los líquidos pueden ser liberados al medio ambiente en forma controlada e intencional o en forma incontrolada.

##### **Forma controlada<sup>1</sup>:**

- Descarga de residuos sobre aguas superficiales (océano),
- Infiltración intencionada de residuos, ácidos al suelo o la dispersión de pesticidas sobre un terreno, etc.

##### **Forma incontrolada:**

- Emisión de líquidos por un accidente o por manipulación o almacenamiento inadecuado (cambio de aceite de una máquina, escape de un tanque en mal estado etcétera),
- Formación de lixiviado y filtración de sustancias liquidas al subterránea (hacia el agua subterránea). Esto incluye la formación de aguas ácidas de una mina

---

<sup>1</sup> Controlada significa: se conoce la cantidad y la concentración exacta de los residuos y (más o menos) el área de la dispersión que permite reducir el riesgo.

Importante: La clasificación en emisión controlada e incontrolada no dice nada sobre el peligro real de la sustancia; también una descarga intencional puede tener un impacto muy negativo o incluso un efecto al medio ambiente incontrolado.

#### **2.4.1.11. Peligro de contaminantes**

El grado de peligro de contaminantes químicos se puede considerar según los siguientes factores:

- a) **Explosividad:** La capacidad de una sustancia para expandir sus moléculas en forma brusca y destructiva.
- b) **Inflamabilidad:** La capacidad de una sustancia para producir combustión de sí misma, con desprendimiento de calor.
- c) **Toxicidad:** La capacidad de una sustancia para producir daños a la salud de las personas que están en contacto con ella.
- d) **Reactividad:** La capacidad de una sustancia para combinarse con otras y producir un compuesto de alto riesgo (como compuesto inflamable, explosivo, tóxico etc.).
- e) **Corrosividad:** Sustancias con propiedades ácidas o alcalinas.)

#### **2.4.2. Clasificación de contaminantes químicos**

Los agentes químicos representan el grupo de contaminantes más importante, debido a su gran número y la omnipresencia en todos los campos laborales y en el medio ambiente.

Como agentes (o contaminantes) químicos se puede entender toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que tiene probabilidades de lesionar la salud de las personas en alguna forma.

Los contaminantes químicos se pueden diferenciar según el siguiente esquema:

- a) Asbestos, sílice y otros minerales;
- b) Metales, ejemplos: plomo, mercurio y compuestos orgánicos de mercurio, cadmio, zinc, cromo y cobre (entre otros):
- c) Semimetales, arsénico, fósforo, selenio, telurio;
- d) Otras sustancias y compuestos inorgánicos como: halógenos (flúor, cloro, bromo), azufre y compuestos de azufre (ácido sulfúrico, dióxido de azufre), derivados del nitrógeno (amoníaco, óxidos de nitrógeno), cianuro, ácido cianhídrico, derivados cianohalogenados entre otros.
- e) Compuestos orgánicos
  - 1. hidrocarburos como: hidrocarburos alifáticos (todo tipo de combustible, metano, butano, propano etcétera)
  - 2. hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, xileno) ("BTX")

3. hidrocarburos aromáticos policíclicos (antraceno, benzoantraceno, naftalina)
4. hidrocarburos clorados / halogenizados (clorobenceno, clorofenol)
5. otros grupos de compuestos orgánicos como por ejemplo: alcoholes (metílico, propílico etcétera), aldehídos (formaldehído)
  - Glicoles
  - Cetonas
  - Esteres
  - Éteres
  - Ácidos orgánicos

### **2.4.3. Efectos tóxicos**

Como tóxico se entiende cualquier sustancia que, introducida en el cuerpo en una cierta cantidad, ocasiona la muerte o graves trastornos. Los efectos tóxicos pueden variar entre reacciones alérgicas más o menos leves y la muerte, con todo tipo de enfermedad o daño temporal o permanente en el intermedio. Son muy escasos los casos de que una contaminación ambiental causa una intoxicación tan grave que se produzcan la muerte instantánea o en poco tiempo (aunque se conocen casos extremos de este tipo). Más común es que contaminaciones del agua o del suelo producen algún tipo de enfermedad (incluyendo cáncer) o reacciones alérgicas.

Existen numerosas sustancias que, en pequeña dosis, son necesarias o beneficiosas para el cuerpo, la salud y que ingeridas en dosis superior a un cierto limite pueden dañar al organismo. La ciencia que estudia las propiedades venenosas (o tóxicas) de las sustancias y sus efectos en seres vivos es la toxicología. La meta principal de la toxicología es la definición del limite (o sea, de la concentración) en que una sustancia comienza a tener efectos nocivos.

### **2.4.4. La vía de entrada al organismo**

Dependiendo de las características de la sustancia, existen tres posibilidades para que los contaminantes ó tóxicos puedan ingresar al cuerpo, por contacto epidérmico, inhalación o ingestión.

#### **2.4.4.1. Transformación y eliminación de tóxicos**

La absorción de sustancias tóxicas en el cuerpo produce una serie de reacciones que pueden modificar y / o eliminar la sustancia.

El tóxico modificado se llama "metabolito". Puede ocurrir que al transformarse las características nocivas de la sustancia aumentan, o sea que el metabolito es más peligroso que la sustancia original.

Ejemplos para algunas sustancias

## **1. Metales pesados y semi-metales**

Ejemplos son: Talio, Bario, Cadmio, Plomo, Mercurio, Cromo, Cinc, Níquel, Cobre, Arsénico (entre otros). Las fuentes de estas sustancias pueden ser naturales o artificiales.

Los yacimientos de minerales (o anomalías geoquímicas como zonas de alteración hidrotermal) pueden mostrar contenidos elevados de metales pesados y otros oligoelementos en el suelo y el agua. Por procesos naturales (meteorización), los elementos químicos nocivos pueden ser liberados al suelo y al agua, alcanzando a veces valores que sobrepasan todas las normas permisibles.

Aparte de esto, los metales pesados tienen gran distribución y un amplio espectro de aplicaciones en industria y técnica. Los relaves que produce la minería contienen muchas veces (o siempre) metales pesados como plomo o mercurio.

### **Plomo**

Aproximadamente el 50 % del plomo se usan en forma pura o en aleaciones, para soldadura (50 – 80 % *Pb*), tipos de imprenta (60 – 90 % *Pb*), bronce (hasta 15 a 20 % de *Pb*). La otra mitad se usa en numerosos compuestos químicos como por ejemplo el plomo tetra-etilo  $C_2H_5Pb$  en la gasolina.

Los mayores consumidores del plomo son la industria de baterías (con un gran porcentaje de reciclaje de baterías), la industria de petróleo (componente del combustible) y otros como industrias de cables y pinturas.

### **Mercurio**

Mercurio aparece en la naturaleza en forma elemental (líquido) y compuesto con otros elementos químicos (ejemplo:  $HgS$  - Cinabrio). En la minería artesanal de oro se utiliza el mercurio elemental para la amalgación de oro. El oro se obtiene por la quema de la amalgama (vaporización del mercurio). El mercurio liberado al medio ambiente forma con otros elementos químicos compuestos que son más problemáticos que el mercurio puro.

En particular se trata del mercurio metilizado, un compuesto orgánico  $[(CH_3)_2Hg]$ . Este compuesto es muy soluble y de gran toxicidad.

La actividad de microorganismos (bacterias, algas, hongos) transforma el mercurio a mercurio metilizado que se acumula con gran facilidad en organismos vivos (sobre todo en especies marinas). El consumo de pescado o mariscos contaminados causa intoxicación del consumidor (hombre).

## **2. Compuestos inorgánicos**

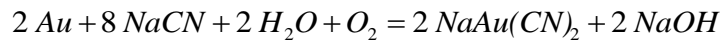
Ejemplos son compuestos como sulfato, nitrato, nitrito, fosfato y cianuro por ejemplo. También aguas ácidas generadas por la minería forman parte de este grupo de sustancias.

## Cianuro ( $CN^-$ )

El Cianuro es un co-producto de varias industrias como las productoras de fertilizantes y también de la minería de oro.

Se obtiene el oro por un proceso de dos fases:

1ª fase: Cianuración



(en realidad la reacción es un poco más complicada)

2ª fase: Recuperación del oro por precipitación de cinc



(El cinc metálico reacciona con iones de cianuro y el complejo cianuro-oro liberando el oro metálico)

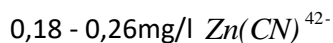
Para la cianuración del oro se requiere concentraciones de 100mg/l de  $NaCN$  (que equivale a 50 mg/l cianuro libre), en el caso que no haya otros metales presentes que formen complejos de cianuro. En forma parecida se obtiene también plata de la roca, pero hay que emplear cantidades mayores de cianuro en mayor concentración.

Si en la roca hay otros minerales o metales, distintos del oro y la plata, se pueden formar otros compuestos de cianuro por la presencia de hierro, como por ejemplo,  $Fe(CN)^{64-}$ ,  $Fe(CN)^{63-}$ ,  $Ni(CN)^{62-}$ , además de compuestos de cinc y cobre entre otros. Otro compuesto es el tiocianato  $SCN^-$ , que se forma como producto de la reacción del cianuro con el azufre liberado por la piritita. El incremento del consumo de cianuro en un proceso (sobre todo para la obtención de plata), es la formación de compuestos del cianuro con otros metales presentes en la roca caja.

Si las aguas residuales del proceso de cianuración, son liberadas al medio ambiente sin tratamiento y estas contienen pequeñas cantidades de cianuro libre y grandes cantidades de complejos cianuro - metal con distinta solubilidad y toxicidad, causarán grandes daños ecológicos.

El cianuro libre ( $CN^-$ ) es altamente tóxico y forma compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, los cuales también pueden ser tóxicos.

Experimentos con peces mostraron una toxicidad de LC-50 = 96 horas (mortalidad de 50 % de los animales después de 96 horas) para compuestos de cianuro en las siguientes concentraciones:



0,02 mg/l *KCN* (Cianuro de Potasio)

0,042 mg/l *HCN* (Cianuro Hidrogenado o ácido prúsico)

**2.4.4.2. Ejemplos de efectos cancerígenos y no cancerígenos de algunas sustancias**

**Tabla 2.2.**  
**Efectos cancerígenos y no cancerígenos de algunas sustancias**

Sustancia	Efectos cancerígenos	Efectos no cancerígenos
<b>Plomo</b>	Tumores en el riñón (en animales de laboratorio).	Peso de nacimiento reducido, anemia, aumento de la tensión sanguínea, daños en el cerebro y riñones, deterioro del IQ, disminución de la capacidad de aprendizaje.
<b>Arsénico (por inhalación)</b>	Cáncer del pulmón.	Daños en el hígado, fibrosis pulmonar, daños neurológicos.
<b>Cadmio (por inhalación)</b>	Cáncer del pulmón (en animales de laboratorio).	Daños en riñones, osteoporosis, anemia.
<b>Cromo (por inhalación)</b>	Cáncer de pulmón.	Bronquitis, daños en hígado y riñones.
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos</b>	Cáncer de pulmón (por inhalación), estómago (por ingestión) y piel (por contacto epidérmico)	Daños en el hígado, dermatitis.
<b>Benceno</b>	Leucemia.	Somnolencia, vértigo, dolores de cabeza, anemia, falta de inmunidad, fototoxicidad.
<b>Compuestos orgánicos clorados</b>	Cáncer de hígado (en animales de laboratorio)	Daños en el hígado, efectos neurológicos (en animales de laboratorio).

**2.4.4.3. Dispersión de contaminantes en el medio ambiente**

Hay varias posibilidades de como las sustancias contaminantes pueden contaminar el medio ambiente y llegar finalmente a la cadena de alimentación con todos los riesgos sanitarios para el ser humano que implica esto. La figura 2.3, muestra algunos de los pasos importantes de la contaminación:



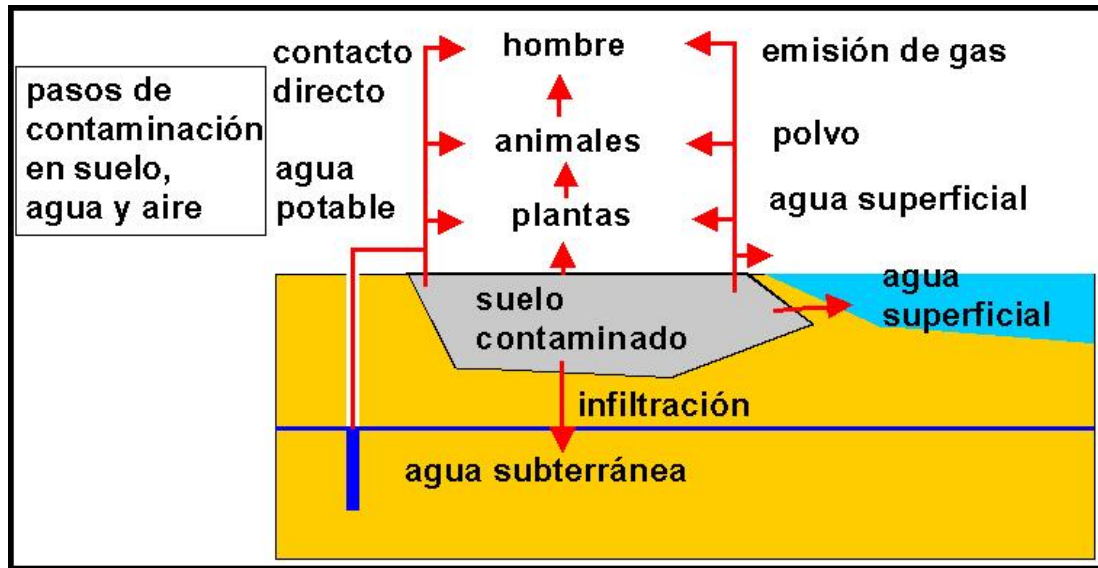


Figura 2.3. Pasos importantes de la contaminación

Muy problemática es la contaminación del agua subterránea y superficial. El agua contaminada no se puede usar como agua potable y además el agua es un perfecto medio de transporte que puede distribuir las contaminaciones en sectores muy lejanos a la fuente de la contaminación.

Existen varios escenarios como una sustancia contaminante puede ingresar al agua.

Se puede tratar de un vertido de sustancias líquidas que infiltran el suelo. También puede ser que se forme un lixiviado cuando agua de la precipitación o de un río transcorre una zona del subsuelo contaminada (el suelo puede ser contaminado con sustancias sólidas o sustancias absorbidas por las partículas del suelo):

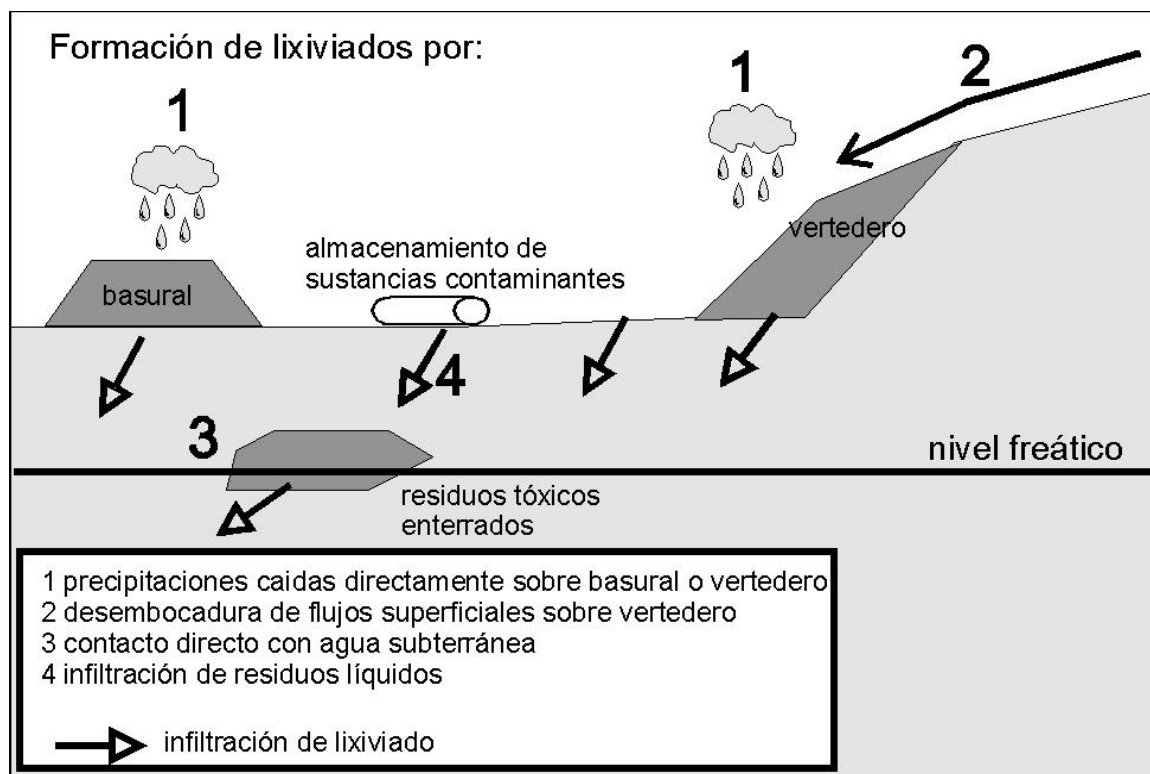


Figura 2.4. Modo de ingreso de los contaminantes al agua

La tabla 2.3 muestra un ejemplo de distintas fuentes de contaminantes del agua subterránea y superficial con algunas características importantes:

**Tabla 2.3.**  
Fuentes de contaminantes del agua subterránea y superficial

	Fuentes	Volumen	Concentración del contaminante	Factores que influyen en el escape de las contaminantes
<b>Transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertidos</li> </ul>	Contenido parcial o total del volumen trasladado	alta (si es una sustancia en estado puro)	accidentes de tráfico; escape durante descargas
<b>Almacenamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertidos</li> <li>Escape</li> </ul>	Contenido parcial o total del volumen trasladado Cantidad pequeña	alta (si es una sustancia en estado puro) alta (si es una sustancia en estado puro)	accidentes durante la manipulación de la sustancia; edad de la instalación del almacenamiento; frecuencia de las revisiones y mantenimiento

**Tabla 2.3. (Continuación)**  
Fuentes de contaminantes del agua subterránea y superficial

<b>Vertederos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escorrentía</li> <li>Infiltraciones superficiales</li> <li>Formación de lixiviado</li> </ul>	Puede ser alta (dependiendo de la cantidad de la precipitación) Cantidad mínima Instalaciones	Baja, en general media o alta media o alta	tipo y resistencia de la cobertura; pendiente; capacidad de retención de agua de lluvia; además para formación de lixiviado: permeabilidad de la
-------------------	---	---	--	---

		modernas, canalizadas:  cantidad mínima o baja  Instalaciones antiguas, no canalizadas: moderada o alta		base
<b>Lagunas</b>	Derrames y fugas  Escapes	Contenido parcial o total del volumen trasladado Instalaciones modernas, canalizadas:  cantidad mínima o baja  Instalaciones antiguas, no canalizadas: moderada o alta	alta (almacenamiento de residuos tóxicos)  alta (almacenamiento de residuos tóxicos)	errores estructurales;  inundaciones  permeabilidad de la base;  profundidad del líquido

La foto 2.1, muestra un ejemplo de un escape de combustible de un tanque.

Aparte del mal estado técnico de la instalación se ven los efectos de operaciones de carga y descarga del tanque en forma habitualmente muy descuidada lo cual significa gastos adicionales por la pérdida de material y además, la infiltración de cantidades importantes del combustible al suelo.



Foto 2.1. Contaminación superficial por escape de combustible de un tanque de almacenamiento

Una vez liberado al medio ambiente el traslado de las contaminantes depende por un lado de la permeabilidad del suelo y las propiedades hidrogeológicas del sector afectado. Por otra parte depende de las propiedades físicas de la sustancia.

La forma de la estela de contaminación que se produce depende de la dirección del flujo del agua subterránea. En el caso de contaminantes sólidos disueltos en agua o líquidos miscibles en agua la estela tiene una forma parecida a la figura 2.5.

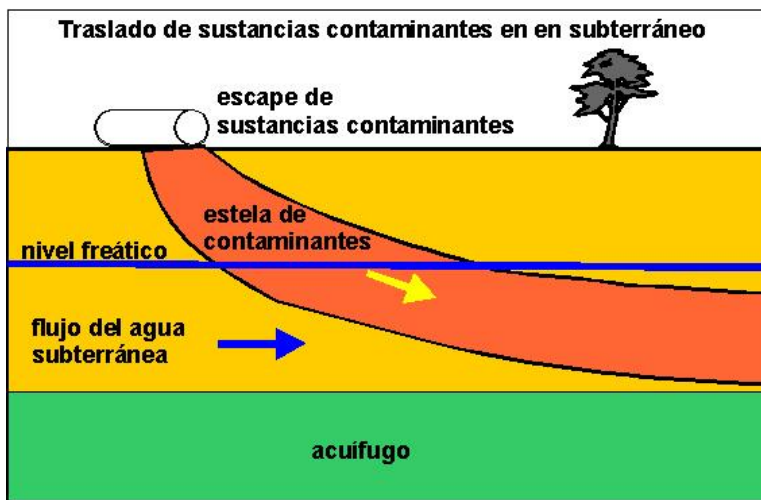


Figura 2.5. Movimiento de sustancias contaminante en el subsuelo

#### 2.4.4.4. Líquidos no miscibles en agua (líquidos en fase no acuosa):

Los líquidos no miscibles en agua (líquidos en fase no acuosa), pueden sumergirse hasta la base del acuífero en el caso de líquidos densos (por ejemplo, como disolventes clorados) o pueden flotar en la parte superior del acuífero en el caso de líquidos ligeros (como petróleo u otros tipos de combustible por ejemplo).

La morfología de la estela que se forma en estos casos se muestra en las figuras 2.6 y 2.7:

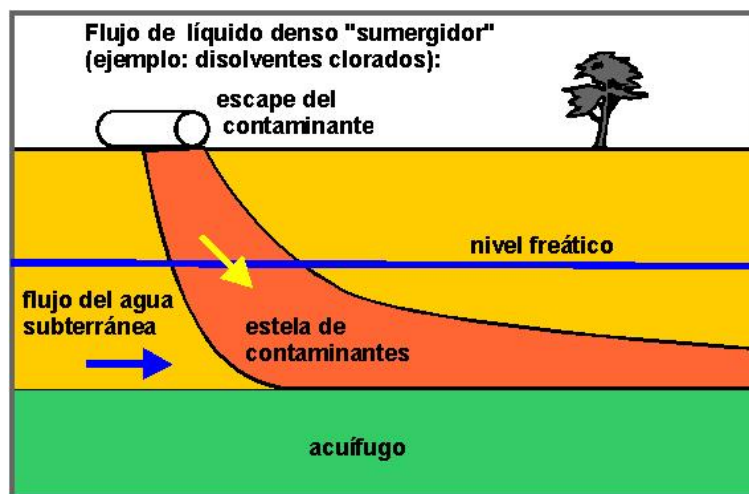


Figura 2.6. Movimiento de fluidos líquidos densos en el subsuelo

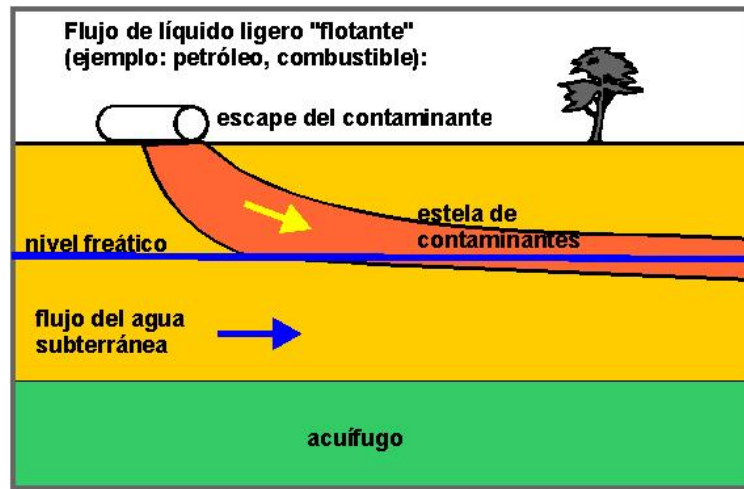


Figura 2.7. Movimiento de fluidos líquidos ligeros en el subsuelo

## 2.5. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Normas internacionales

Hay normas y tablas con valores para determinar que contenido de una sustancia en el suelo o en el agua debe ser considerado "peligroso".

Problema 1):

Una sustancia que hoy día no llama la atención por ser "inocuo" / "no tóxico" / "no peligroso" puede ser considerado cancerígeno, genotóxico, tóxico (en dosis o en condiciones especiales) o nocivo en general para el medio ambiente, cuando se desarrollan nuevos estudios, por ejemplo, el insecticida DDT ( $C_{14}H_9Cl_5$ ), el formaldehído o el plomo (antiguamente empleado en tuberías de plomo).

Problema 2):

No existen normas o reglamentos internacionales, aplicados en todo el mundo. Por el contrario, en muchos países aplican normas muy diferentes, incluso hay países que todavía no cuentan con una legislación ambiental adecuada.

Por ejemplo, en el caso del plomo:

Según la norma inglesa (1980) un suelo que contiene:

0 - 500 mg/kg *Pb* es considerado "no contaminado";

500 - 1000 mg/kg *Pb* es considerado "poco contaminado".

Según la "Lista de Holanda" (1988):

150 mg/kg de *Pb* es el valor que exige investigaciones más detalladas. A un terreno con este contenido se aplican restricciones para el uso.

600 mg/kg de *Pb* es el valor para elaborar un estudio o un plan de descontaminación porque el suelo es considerado peligrosamente contaminado.

Según la ley alemana de Protección de Suelos (1990)

Un valor de solo 100 mg/kg *Pb* ya indica una contaminación

Posibles explicaciones:

1. ¿Los ingleses son más resistentes contra el plomo? o
2. ¿Existen otras razones (políticas - económicas) responsables para las diferencias? o
3. ¿Hay investigaciones nuevas, que resultan en valores límite más restrictivos?

Se supone que el caso 1 no es razonable.

El caso 2 suele ser poco probable (no obstante, puede ser en ocasiones, que un gobierno quiera proteger una industria muy importante para la economía de un país, aunque este industria produce contaminaciones a gran escala.)

Observando bien las fechas de publicación de las normas: Norma inglesa (1980), "Lista de Holanda" (1988) y Ley alemana de Protección de Suelos (1990), la razón para estas diferencias debe ser que hay investigaciones nuevas, en base a las cuales los valores son restablecidos con el tiempo.

En seguida, se muestra algunos listados diferentes para ilustrar el problema.

Al fin del listado se encuentra la Lista de Holanda, que en muchos países es considerado como un instrumento muy útil para la evaluación de contaminaciones.

**Tabla 2.3.**

**Lista inglesa para contenidos de metales pesadas en el suelo (1980)**

(valores en mg/kg material seco)	No contaminado	Contaminación leve
Plomo	< 500	500 - 1000
Cadmio	< 1	1 - 3
Cromo	< 100	100 - 200
Cobre	< 100	100 - 200
Níquel	< 20	20 - 50
Mercurio	< 1	1 - 3
Cinc	< 250	250 - 500

**2.5.1. Lista de Holanda para evaluar la contaminación en suelo y agua (1988)**

En varios países se utilizan la citada "Lista de Holanda" como instrumento para la evaluación de la contaminación. La idea es la siguiente:

Para cada sustancia de la lista se define tres distintos valores para suelo y agua.

El valor *A* normalmente es igual al límite de detección o el contenido natural en promedio, a veces hay que calcularlo basado en datos de otras tablas.

Valores entre *A* y *B* representan suelos o aguas levemente contaminados. Los contenidos de contaminantes son tan bajos que se puede tolerar el hecho sin otras restricciones.

Desde el valor indicado por *B* hacia arriba el suelo o el agua es considerado moderadamente contaminado. En casos en los cuales la contaminación sobrepasa el valor *B* se aplican restricciones para el uso de terrenos y además se exige la realización de estudios más detallados para determinar:

- si la contaminación presenta algún tipo de peligro para el medio ambiente o el ser humano; o
- si es posible de tolerar la contaminación (en el caso particular).

Desde el valor *C* hacia arriba todo terreno es considerado contaminado. En este caso hay que realizar estudios de factibilidad de descontaminación.

Por ejemplo:

Para los contenidos del estaño en suelo la lista indica los siguientes valores para *A*, *B* y *C* :

$$A = 20; B = 50; C = 300 \text{ (mg/kg)}$$

Valores de estaño en suelo que llegan hasta 50mg/kg son tolerables.

**Tabla 2.5.  
Lista de Holanda  
Contenidos de contaminantes es suelos y aguas**

Substancia	Contenido en Suelo [mg/kg material seco]			Contenido en agua subterránea [mg/l]		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<b>I. Metales</b>						
Arsénico ( <i>As</i> )	0,1	30	50	*	30	50
Bario ( <i>Ba</i> )	200	400	2000	50	100	500
Cadmio ( <i>Cd</i> )	0,004	5	20	*	2,5	10
Cinc ( <i>Zn</i> )	0,5	500	3000	*	200	800
Cobalto ( <i>Co</i> )	20	50	300	20	50	200
Cobre ( <i>Cu</i> )	0,1	100	500	*	50	200

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

Cromo ( <i>Cr</i> )	0,1	250	800	*	50	200
<b>I. Metales</b>						
Estaño ( <i>Sn</i> )	20	50	300	10	30	150
Mercurio ( <i>Hg</i> )	0,001	2	10	*	0,5	2
Molibdeno ( <i>Mo</i> )	10	40	200	5	20	100
Níquel ( <i>Ni</i> )	0,1	100	500	*	50	200
Plomo ( <i>Pb</i> )	0,1	150	600	*	50	200

**Tabla 2.5. (Continuación)**

**Lista de Holanda**

**Contenidos de contaminantes es suelos y aguas**

Substancia	Contenido en Suelo [mg/kg material seco]			Contenido en agua subterránea [mg/l]		
	A	B	C	A	B	C
<b>II. Compuestos inorgánicos</b>						
<i>Br</i> (total)	20	50	300	*	500	2000
<i>CN</i> (total - libre)	1	10	100	5	30	100
<i>CN</i> (total - complejo)	5	50	500	10	50	200
<i>F</i> (total)	*	400	2000	*	1200	4000
<i>NH</i> <sub>4</sub> (como <i>N</i> )	#	#	#	*	1000	3000
<i>PO</i> <sub>4</sub> (como <i>P</i> )	#	#	#	*	200	700
<i>S</i> (total - sulfuros)	2	20	200	10	100	300
<b>III. Compuestos aromáticos</b>						
Benzol	0,05 (d) 1	0,5	5	0,2 (d)	1	5
Etilbenzol	0,05 (d)	5	50	0,2 (d)	20	60
Fenol	0,05 (d)	1	10	0,2 (d)	15	50
Toluol	0,05 (d)	3	30	0,2 (d)	15	50
Xilol	0,05 (d)	5	50	0,2 (d)	20	60
Aromáticos total	#	7	70	#	30	100
<b>IV. PAK 2</b>						
Antraceno	*	10	100	0,2 (d)	2	10
Benzo(a)antraceno	*	5	50	0,005 (d)	0,5	2
Benzo(b)fluoroanteno	*	5	50	0,005 (d)	0,5	2
Benzo(g,h,i)perileno	*	10	100	0,005 (d)	1	5
Benzo(a)pireno	*	1	10	0,005 (d)	0,2	1
Criseno	*	5	50	0,005 (d)	0,5	2
Fluoroanteno	*	10	100	0,005 (d)	1	5
Fenantreno	*	10	100	0,005 (d)	2	10
Naftalina	*	5	50	0,005 (d)	7	30
PAK (total)	1	20	200	#	10	40



V. CKW 3						
CKW alifáticos (substancia individual)	*	5	50	0,01 (d)	10	50
CKW alifáticos (total)	#	7	70	#	15	70
Clorobenzol (substancia individual)	*	1	10	0,01 (d)	0,5	2
Clorobenzol (total)	#	2	20	#	1	5
Clorofenol (substancia individual)	*	0,5	5	0,01 (d)	0,3	1,5
Clorofenol (total)	#	1	10	#	0,5	2
PCB 4 total	*	1	10	0,01 (d)	0,2	1

Tabla 2.5. (Continuación)

Lista de Holanda

Contenidos de contaminantes es suelos y aguas

Substancia	Contenido en Suelo [mg/kg material seco]			Contenido en agua subterránea [mg/l]		
	A	B	C	A	B	C
<b>VI. Insecticidas y pesticidas</b>						
Compuestos clorados orgánicos (substancia individual)	*	0,5	5	0,01 (d)	0,2	1
Compuestos clorados orgánicos (total)	#	1	10	#	0,5	2
Compuestos no - clorados (substancia individual)	*	1	10	0,01 (d)	0,5	2
Compuestos no - clorados (total)	#	2	20	#	1	5
<b>VII. Otros compuestos</b>						
Aceites minerales	100	1000	5000	50 (d)	200	600
Ciclohexanon	0,1	6	60	0,5	15	50
Ftalatos total	0,1	50	500	0,5	10	50
Tetrahidrofurano	0,1	4	40	0,5	20	60
Tetrahidrotiofeno	0,1	5	50	0,5	20	60
PAK oxidados	1	200	2000	0,2	100	400
Piridin	0,1	2	20	0,5	10	30

Tabla 26.

Normas Alemanas y Europeas para agua potable

Parámetros (todos parámetros químicos en (mg/l))	Limites según la directiva alemana para agua potable (1991)	Concentración máxima según la directiva de la comunidad europea para la calidad de agua potable (1980)
pH	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5
conductibilidad [mS/cm]	2000 (25 °C)	400 (20°C)
Aluminio	0,2	0,2
Amonio	0,5	0,5

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

Antimonio	0,01	0,01
Arsénico	0,01	0,05
Bario	1	0,1
Boro	1	1
Cadmio	0,005	0,005
Calcio	400	100
Cianuro	0,05	0,05
Cinc	5	5
Clorito	250	25
Cobre	3	3
Cromo	0,05	0,05
Fluoruro	1,5	1,5
Fósforo	6,7	5
Hierro	0,2	0,2

**Tabla 26.  
Normas Alemanas y Europeas para agua potable**

Parámetros (todos parámetros químicos en (mg/l))	Limites según la directiva alemana para agua potable (1991)	Concentración máxima según la directiva de la comunidad europea para la calidad de agua potable (1980)
Magnesio	50	50
Manganeso	0,05	0,05
Mercurio	0,001	0,001
Níquel	0,05	0,05
Nitrato	50	50
Nitrito	0,1	0,1
Nitrógeno	1	#
Plata	0,01	0,01
Plomo	0,04	0,05
Potasio	12	12
Selenio	0,01	0,01
Sodio	150	150
Sulfato	240	250
Tensidos	0,2	0,2
Aceite mineral, Hidrocarburos en solución o emulsión	0,01	0,01
Fenol	0,0005	0,0005
Hidrocarburos policiclicos	0,0002	0,0002
Compuestos orgánicos clorurados total	0,01	0,001
Tetracloruro de carbono	0,003	#
Pesticidas total	0,0005	0,0005

Hasta 300mg/kg hay que realizar investigaciones más detalladas. Hasta una decisión final se puede aplicar restricciones al uso del terreno afectado. Posibles resultados de la investigación detallada son:

- se puede tolerar la contaminación sin restricción;

- se aplica restricciones al uso del terreno; o
- hay que tomar medidas de protección y/o descontaminación.

Sobre 300 mg/kg se exige en todos los casos estudios para establecer una estrategia de descontaminación del terreno.

Se nota, que los valores de la lista no son "restrictivos". Siempre hay que aplicarlos al caso particular.

**Tabla 2.7.**  
**Contenido máximo de elementos y sustancias químicas:**

Sustancia	Límite máximo [mg / l]
Arsénico	0,05
Selenio	0,01
Cadmio	0,01
Cobre	1,0
Cromo hexavalente	0,05
Hierro	0,3
Magnesio	125
Manganeso	0,10
Mercurio	0,001
Plomo	0,05
Zinc	5,0
Amoníaco	0,25
Cianuro	0,20
Flúor	1,5
Cloruros	250
Nitratos	10
Nitritos	1,0
Sulfatos	250
Compuestos fenólicos	0,002
Detergente	0,5
Residuos sólidos filtrables	1000
Pesticidas	Límite máximo [mg/l]
DDT	1
Heptaclor	0,1
Heptaclor epóxido	0,1
2,4 D	100
Clordañó	0,3
Lindaño	3
Metoxiclor	30
Hexaclorobenceno	0,01
Aldrin	0,03
Dieldrin	0,03
Endrin	0,2
Fenoprop	10
Toxafeno	5

## 2.6. RECUPERACIÓN DE TERRENOS

No siempre es necesario aplicar medidas muy drásticas (y costosas) para recuperar un terreno contaminado. En casos de contaminaciones leves puede ser suficiente definir algunas restricciones

para el uso de un terreno (por ejemplo: un terreno con una contaminación del suelo leve no se debe utilizar como patio de un jardín infantil, pero si como estacionamiento o terminal de buses).

En el caso que no se pueda tomar medidas de descontaminación, se aplican medidas de restricción y protección.

Algunos ejemplos para este tipo de medida se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.8.**  
**Medidas de protección y restricción a terrenos**

Medidas de protección y restricción:	Medidas posteriores (dependiendo del caso):
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limitaciones del uso del terreno</li> <li>▪ Evacuación</li> <li>▪ Restricción del acceso al terreno</li> <li>▪ Ventilación de sótanos</li> <li>▪ Almacenamiento provisional de sustancias contaminantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investigaciones detalladas</li> <li>▪ Medidas de descontaminación</li> </ul>

**2.6.1. Medidas de descontaminación**

Las medidas de descontaminación con el fin de la recuperación total o parcial de terrenos contaminados, que significan la realización de acciones más activas que medidas simples de restricción se pueden clasificar según el siguiente esquema:

- **medidas in situ:**
  - a) extracción de las sustancias contaminantes con agua o aire
  - b) transformación de los contaminantes a sustancias inocuas ("no peligrosas") sin mover el suelo contaminado
  
- **medidas ex situ:**
  - a) **on site:** extracción del suelo contaminado, descontaminación en plantas móviles y recolocación en el mismo lugar
  - b) **off site:** extracción del suelo contaminado y transportación a plantas de descontaminación o almacenamientos finales

La decisión para tomar una u otra medida depende siempre del caso particular. Los factores que influyen en la elaboración de un plan de descontaminación son por ejemplo el tipo y la concentración de los contaminantes, el volumen del suelo contaminado, el peligro o la urgencia del caso y naturalmente los costos de la medida.

**Tabla 2.9.**  
**Medidas de recuperación o saneamiento más comunes**

Medida	Lugar	Procedimiento	Medidas posteriores
<b>Medidas para interrumpir la vía de contaminación</b>	in situ	Medidas hidráulicas y neumáticas pasivas (por ejemplo rebajar el nivel freático, derivar el flujo subterráneo, captación de gases)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control y observación</li> <li>▪ Reparación</li> <li>▪ Eventualmente repetición de medidas</li> <li>▪ Eventualmente aplicación de medidas posteriores de descontaminación</li> </ul>
	in situ	Encapsulación	
	in situ o ex situ / on site	Desmovilización	
<b>Descontaminación</b>	in situ o ex situ / on side	Medidas hidráulicas y neumáticas activas (por ejemplo bombeo del agua subterránea, succión del aire del suelo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eliminación de los desechos</li> </ul>
	in situ o ex situ / on side o off side	Tratamiento químico - físico (extracción, absorción, oxidación, reducción, precipitación) Tratamiento biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control y observación</li> </ul>
	ex situ / on side o off side	Tratamiento térmico (combustión, carbonización a baja temperatura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eventualmente repetición de medidas</li> </ul>
<b>Desplazamiento</b>	ex situ / off side	Excavación y almacenamiento final en un basural especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control y observación</li> </ul>

La figura 2.8, muestra un ejemplo para una medida in situ del procedimiento para interrumpir la vía de contaminación. Con el sistema de drenaje y bombeo del agua subterránea baja el nivel freático, causando una interrupción del contacto del agua con la zona contaminada. Las sustancias contaminantes permanecen en el suelo hasta la aplicación de otras medidas de descontaminación, pero no pueden producir fácilmente lixiviados tóxicos. En algunos casos puede bastar con esta medida sin aplicar otras más avanzadas.

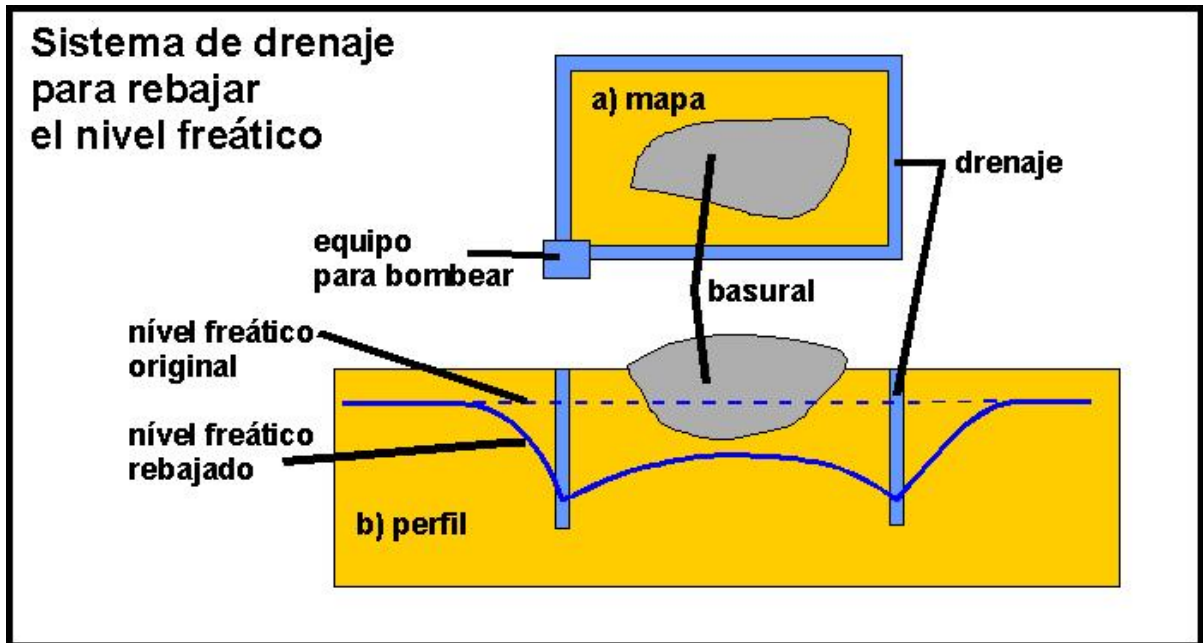


Figura 2.8. Medida in situ del procedimiento para interrumpir la vía de contaminación

## 2.7. PREVENCIÓN DE CONTAMINACIONES

### 2.7.1. Rellenos Sanitarios y escombreras mineras

Las basuras producidas por el hombre generalmente contienen sustancias tóxicas o nocivas. Los rellenos sanitarios antiguos, que no fueron construidos basados en innovaciones y experiencias modernas y estándares técnicos adecuados, permiten que sustancias nocivas, pueden pasar al agua subterránea causando contaminaciones graves del agua potable (o del agua para otro uso).

Con la construcción de los rellenos sanitarios modernos se quiere asegurar que sustancias contaminantes no pasen a un lugar donde puedan causar daños.

### 2.7.2. Tipos de Rellenos

#### 2.7.2.1. Rellenos subterráneos

Los rellenos sanitarios subterráneos se usan para desechos de gran solubilidad de alta toxicidad y también para desechos radioactivos de origen civil o militar.

Generalmente se ocupan antiguas minas subterráneas de sal o de mena metálica en zonas cristalinas como rellenos sanitarios.

#### 2.7.2.2. Rellenos superficiales

Los rellenos sanitarios superficiales son más comunes y son usados para todo tipo de desechos ver la figura 2.9.

También existen basurales en forma de lagunas para residuos líquidos.

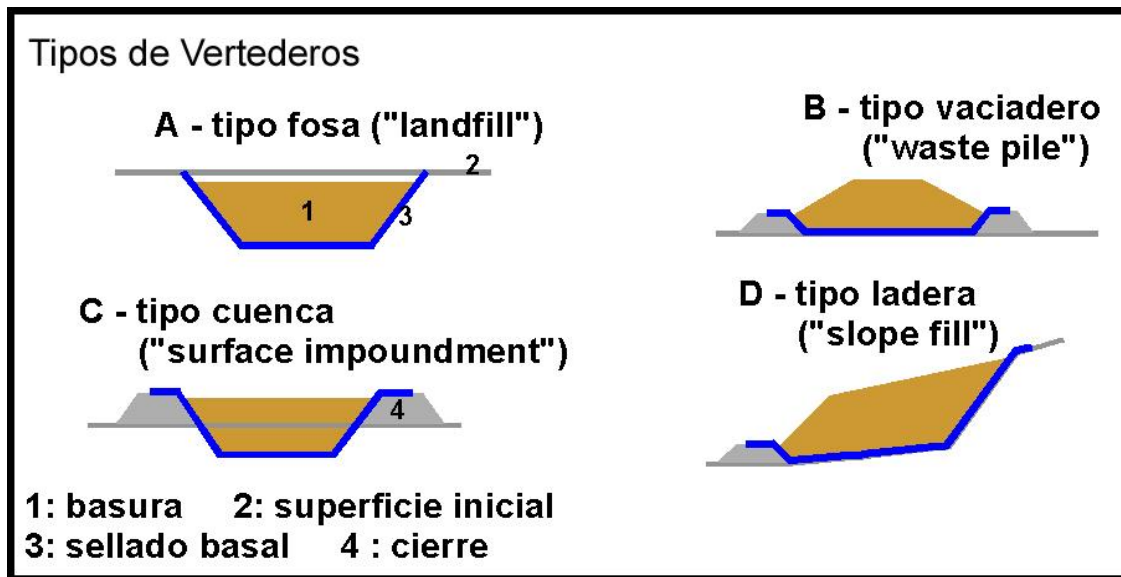


Figura 2.9. Tipos de rellenos sanitarios de superficie

En Venezuela la mayoría de los rellenos sanitarios no fueron construidos en forma adecuada, con la tecnología moderna correspondiente y disponible. Los gastos para la construcción de un relleno sanitario moderno, la preparación del subsuelo, el sellamiento superficial y el control del relleno sanitario, son altos. Pero hay que tomar en cuenta, que los peligros para la salud del hombre y los daños causados en la naturaleza pueden ser tan grandes, que los costos para descontaminación y saneamiento de un relleno sanitario no - ordenado o un vertedero ilegal (que también implica problemas estéticos) pueden ser mucho más alto en el futuro que la construcción y mantenimiento de un relleno sanitario moderno ahora.

### 2.7.3. Barreras de seguridad

Según el concepto moderno para la planificación y construcción de rellenos sanitarios se exige un sistema de varias barreras de seguridad con el objetivo de no dejar entrar agua al relleno sanitario y no dejar pasar lixiviados al subsuelo del relleno sanitario y al agua subterránea.

Principalmente se definen tres tipos de barreras que en conjunto deben prevenir el traspaso de sustancias nocivas del relleno sanitario al subsuelo:

- Barrera sustancial** (tipo de deshecho)
- Barrera geológica** (subsuelo de gran espesor y permeabilidad reducida)
- Barrera técnica** (sistema de sellos y control)



### 2.7.3.1. Barrera Sustancial

Como consecuencia de que distintos tipos de desechos cuentan con un distinto riesgo potencial, se distinguen varias clases de rellenos sanitarios con diferentes necesidades de precaución. A continuación se muestran los distintos tipos de desechos según el grado de riesgo en orden ascendente:

- 1) Rellenos Sanitarios para suelo excavado
- 2) Rellenos Sanitarios para desechos de construcción
- 3) Rellenos Sanitarios para desechos domésticos
- 4) Rellenos Sanitarios para desechos industriales mezclados o uniforme
- 5) Rellenos Sanitarios para desechos especiales o residuos tóxicos

(Entre los desechos domésticos e industriales no hay gran diferencia con respecto a su peligro potencial para el agua subterránea, porque la basura doméstica puede contener cantidades significativas de residuos tóxicos como metales pesados de baterías o disolventes y detergentes orgánicos).

### 2.7.3.2. Barrera Geológica

Las propiedades más importantes que se exige del subsuelo para formar una barrera geológica eficiente son:

- 1) Permeabilidad reducida;
- 2) Homogeneidad;
- 3) Gran espesor;
- 4) Capacidad de captación de contaminantes (intercambio de iones).

Con estas exigencias cumplen sobre todo las arcillas, las rocas arcillosas, rocas arcillosas-limosas y los suelos arcillosos de gran espesor.

Casi todas las rocas contienen fracturas y diaclasas. Estas heterogeneidades hay que compensarlas con un gran espesor de la roca.

La capacidad de las rocas de no dejar pasar sustancias contaminantes al agua subterránea depende de varios factores, por ejemplo del tipo y de la cantidad de minerales arcillosos, de la cantidad de carbonatos, del contenido de compuestos orgánicos y del *pH* del lixiviado, entre otros.

El factor más importante es la capacidad del intercambio de cationes de metales pesadas como Plomo, Cadmio, Cinc, Cobre, Mercurio y Cromo de los minerales arcillosos.

Los minerales del grupo de los esmectitas como montmorillonita o bentonita tienen una gran capacidad de intercambio de iones, pero son relativamente inestables en contacto con lixiviados

agresivos. Minerales como caolinita e illita no tienen una capacidad de intercambio de iones tan grande pero son más resistentes.

### 2.7.3.3. Barrera Técnica

#### Preparación del subsuelo de un relleno sanitario

Los materiales para el sello del basamento pueden ser materiales naturales (por ejemplo minerales de arcilla) o artificiales (por ejemplo geomembranas de polietileno).

El mejor resultado con respecto a la seguridad lo muestra una combinación de materiales naturales y artificiales.

Generalmente se colocan encima del subsuelo natural un sello mineral en varias capas, que finalmente se cubre con una geomembrana.

Para recoger el lixiviado del relleno sanitario se construye una capa de drenaje (gravas con una alta permeabilidad con tubos de drenaje) encima de la membrana. Para mayor seguridad puede ser recomendable, colocar más de una capa de drenaje, separadas cada vez por una membrana, aunque los costos para el sistema del sello van a subir notablemente en este caso (Figura 2.10).

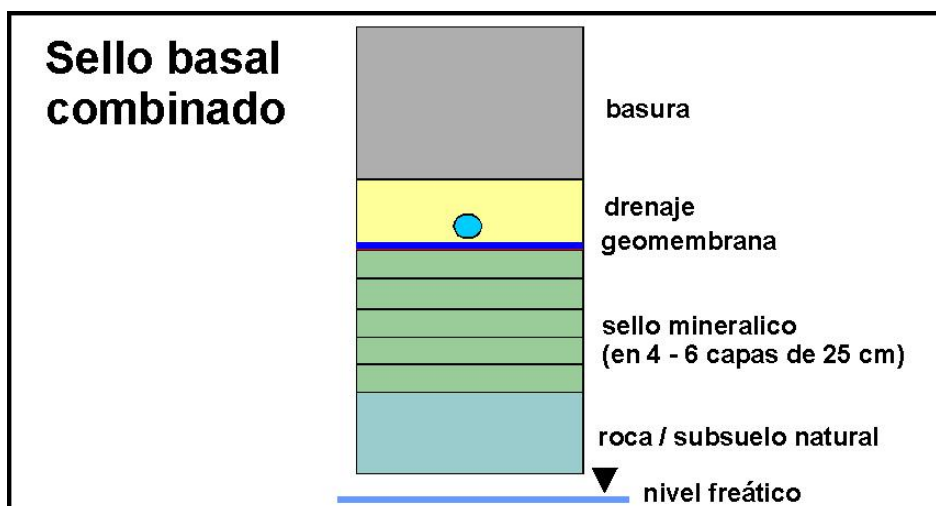


Figura 2.10. Esquema para un sistema de sello simple

#### Cubierta superficial de rellenos sanitarios

Más problemático que la preparación del subsuelo es el sello superficial. Es difícil prevenir -a largo plazo, una infiltración elevada de precipitaciones al relleno sanitario o un escape lateral de gases o lixiviado (figura 2.11).

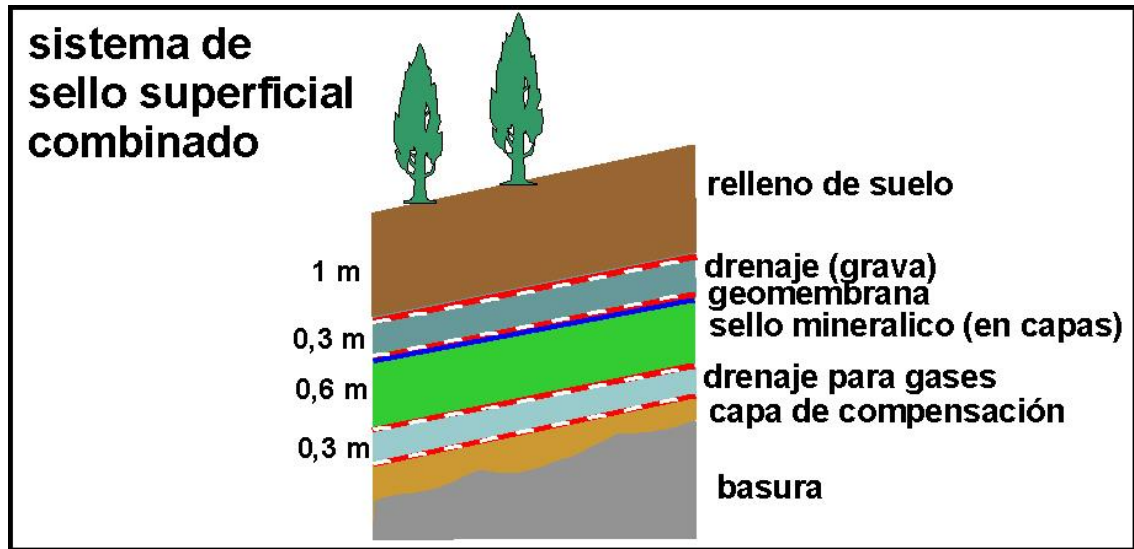


Figura 2.11. Sistema avanzado de un sello superficial

## 2.8. PROCESOS APLICABLES A LOS DESECHOS

Podemos clasificar los procesos aplicables a los desechos en:

- a) Mecánicos
- b) Térmicos
- c) Biológicos

### 2.8.1. Procesamientos Mecánicos

- **Trituración:** Consiste en dividir, mezclar y homogenizar la basura favoreciendo:
  - La descomposición bioquímica
  - La consolidación y la estabilidad mecánica de los rellenos.
  - La uniformidad y control de la acción térmica.

Consecuentemente, puede ser un proceso auxiliar para compostificación, relleno sanitario, pirólisis e incineración.

- **Compactación:** Disminuye los espacios vacíos condensando la basura a bajo costo, por lo que constituye un proceso auxiliar en el relleno sanitario, además de tener alta importancia económica en la recolección de basura.
- **Clasificación:** Consiste en la separación de materiales constituyentes de la basura buscando mayor productividad de un procesamiento biológico o térmico subsiguiente. Ejemplo: se

separan materiales "ligeros" (plásticos, papeles) para ser incinerados o para que no perturben el proceso biológico de compostificación.

### **2.8.2. Procesamientos Térmicos**

- **Incineración:** Reduce la basura a cerca del 10% de su masa inicial, por lo que también suele ser considerada como una forma de disposición. Tal reducción es obtenida en incineradores de gran tamaño (más de 500 T/día) operando a temperaturas del orden de los 1.000 °C, provistos de parrillas móviles, inyectores de aire, controladores de quemadores y partes complementarias tales como caldera acuo-tubular, filtro de alto rendimiento y chimenea. Existen diversos hornos que buscan incorporar sistemas que impidan a salida de contaminantes atmosféricos. Este sistema tiene la desventaja de no ser adecuado para cierto tipo de desechos, y genera gases tóxicos y partículas no incineradas. Producto de esto se desarrollo la pirólisis.

Finalmente, en cuanto a costos, la incineración es aproximadamente dos veces y medio más costosa que el relleno sanitario

- **Pirólisis:** Consiste en que sólo una parte de la basura se quema, aprovechando el calor generado para destilar el resto de los desechos. La basura se quema a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, obteniéndose una fracción líquida, una sólida, gases, brea, carbón, alcoholes, etc. Con ello se obtienen aceites y gases combustibles, pero es un proceso costoso y de alta tecnología. La cantidad de residuos es mayor que en la incineración dependiendo del proceso. La tecnología aplicable a pirólisis en basura urbana está en fase de desarrollo.

### **2.8.3. Procesamientos Biológicos**

- **Aeróbico:** Es el más higiénico y productivo para compostificación y para estabilización del relleno sanitario puesto que sus productos principales son agua, dióxido de carbono y calor, siendo éste suficiente para elevar la temperatura de la masa a nivel fatal para microorganismos patógenos, huevos y gérmenes. La basura presenta muchos espacios llenos de aire y humedad elevada conteniendo oxígeno disuelto. El ambiente es, por consiguiente, favorable a la actividad de bacterias y otros microorganismos aeróbicos y facultativos, que oxidan la materia orgánica produciendo agua, dióxido de carbono, calor y compuestos nitrogenados, en fases controlables a través de indicadores como la temperatura y el  $pH$ . La humedad óptima es de 40 a 60% en el ambiente y la materia digerible debe tener relación de  $C/N$  entre 30 y 50, para maximizar la acción aeróbica.
- **Anaeróbico:** Es más lento, disipa poco calor y descompone la materia en compuestos orgánicos más simples, además de minerales, teniendo enorme importancia la producción de metano ( $CH_4$ ), gas de elevado poder energético (8,900 kcal/m<sup>3</sup> aprox.). En la masa de basura el oxígeno se va consumiendo en las reacciones aeróbicas, transformándose en un ambiente favorable a los microorganismos anaeróbicos y facultativos, sobre todo bacterias. Determinados grupos metabolizan las proteínas, los hidratos de carbono y lípidos en un ambiente de elevado contenido de humedad, produciendo ácidos grasos, acético y otros de bajo peso molecular en la fase denominada por esta razón ácida, reconocida por el bajo pH en el ambiente y por la emanación de gases malolientes como el sulfhídrico ( $H_2S$ ) y mercaptanos.

El mal olor es una de las limitaciones en el proceso anaeróbico. Sobre los ácidos orgánicos formados actúan las bacterias que los descomponen en metano y dióxido de carbono. La disminución del contenido ácido se revela en la elevación del pH, indicador de esta fase importante e inestable en la cual la acidez ambiental, temperatura y presencia de sustancias tóxicas (residuos químicos y oxígeno) afectan mucho la productividad metanogénica.

Los procesos biológicos generan dos productos importantes:

- a) Metano, también llamado biogás o gas bioquímico
- b) Compostado para suelo agrícola.
  - **Metano:** Resulta del proceso anaeróbico ya descrito. Desarrollándose en todo el mundo, la tecnología de construcción y utilización de biodigestores anaeróbicos que tiene por producto el biogás y por residuo una masa digerida que, reducida en su contenido de humedad a cerca de 40%, es un compostado para uso agrícola.

Entretanto, el biodigestor no debería ser alimentado con basura urbana integral, sino solo con materia orgánica biodegradable. Un relleno sanitario se comporta como un biorreactor donde la producción de metano se torna grande después de la fase aeróbica.

La producción teórica de  $CH_4$  depende de la calidad de basura, pero acostumbra estimarse en alrededor de 0.250 m<sup>3</sup>n/kg.

En un relleno sanitario se admite la captación de 10 a 50% de la producción teórica de  $CH_4$ . Este gran rango de variación justifica la preocupación reciente de proyectar rellenos sanitarios, teniendo el objetivo específico de la explotación económica del biogás.

- **Compost:** Es un material tipo "humus", bioquímicamente estable, constituido por materia orgánica, mineral y cerca de 40% de agua, y pH neutro o poco alcalino.

Resulta de la descomposición aeróbica y anaeróbica. Del proceso aeróbico resulta la ventaja de la esterilización por el calor y del anaeróbico resulta un compostado más alcalino y de menor contenido de nitrato. A veces se habla de un abono, pero abonos son sustancias que devuelven al suelo los elementos consumidos por la cosecha, en especial: nitrógeno, fósforo y potasio. El contenido de estos nutrientes en el compost es muy bajo. Debido a su estructura el compost, aplicado en cantidad conveniente, es benéfico a los suelos duros y arenosos. Retiene agua y la transfiere gradualmente al suelo, humedeciéndolo por un largo período. Contiene una pequeña cantidad de nutrientes en solución coloidal que pueden ser absorbidos por los vegetales. Puede retener en su estructura, nutrientes adicionados por el agricultor, evitando que se pierdan mediante escurrimiento en los suelos duros o por infiltración en los arenosos. Los procesos industriales de compostificación son, casi todos, aeróbicos porque son más rápidos y relativamente inodoros. La mezcla de la basura con aire se hace en tambores giratorios o en torres con sistemas de bandejas, o de fermentación al aire libre, donde los desechos se amontonan en el

suelo, siendo removidos con maquinaria pesada (por ejemplo: bulldozers) para obtener su aireación.

En cualquiera de los sistemas se utilizan elementos mecánicos para cernir el producto y eliminar el vidrio, metales, y otras sustancias.

El costo de la planta es bastante alto, lo que dificulta la venta del compost por el alto precio que resulta.

## **2.9. DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS**

La disposición de los desechos sólidos se realiza principalmente en rellenos sanitarios y vertederos:

- **Vertederos:** Los vertederos corresponden a sitios donde la disposición es *NO CONTROLADA*
- **Relleno Sanitario:** La "American Society of Civil Engineers (ASCE)" nos ofrece una buena definición en la cual se indica la metodología constructiva básica del relleno sanitario:

"Relleno sanitario es una técnica para la disposición de los desechos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública, método éste que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y para cubrir la desechos sólidos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada."

Como obra de ingeniería, el relleno sanitario debe ser construido mediante un proyecto para atender determinado objetivo general y, siempre que sea posible, a objetivos específicos. El objetivo general siempre es acoger la basura urbana en forma sanitariamente correcta y a costo viable. Objetivos específicos pueden ser la recuperación del área inundable, construcción de locales para recreación, producción económica de biogás, etc.

- **Desventajas:** Entre los problemas que se generan a partir de un equipamiento inadecuado y mal manejo de un sitio de disposición final están los relativos a condiciones higiénicas y de salubridad del lugar, así como de su entorno.

Químicamente la basura se compone de sustancias orgánicas naturales, transformadas y sintéticas; compuestos y aleaciones minerales y raras sustancias simples.

En productos industrializados de uso corriente, en residuos de la industria química y de hospitales se encuentran pequeñas cantidades de compuestos orgánicos y minerales peligrosos organoclorados, metales pesados y otros. El substrato y las condiciones ambientales son favorables a la descomposición bioquímica de los residuos sólidos mediante la acción de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, de la cual resulta un caldo con alta capacidad de contaminación (Lixiviado).

Paralelamente a la acción biológica, en el medio acuoso ocurren reacciones químicas entre sustancias preexistentes o recién formadas. Las sustancias líquidas y disueltas y -con menos

facilidad- las sustancias insolubles, tienden a percolar y escurrir por la masa de basura y enseguida por el suelo.

Sustancias gaseosas no disueltas, generalmente menos densas que el aire, o por fuerza de la presión interna, tienden a salir a la atmósfera. Dentro de los gases, podemos nombrar el sulfhídrico (olor repugnante) y el metano (inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15%).

Todas estas reacciones se realizan en el suelo. Por lo cual es importante entender como se compone y se comporta:

- El suelo está constituido de materia sólida, agua y aire. A partir de determinada profundidad, su nivel freático se encuentra saturado de agua libre que forma el nivel freático. Esta se mueve a bajísima velocidad en el sentido de la presión inferior, acompañando en general a la inclinación del terreno; aflora en depresiones y pozos y encuentra ríos y lagos, cediéndoles agua y eventualmente recibiendo de ellos.
- Además de moverse horizontalmente, el agua se mueve en dirección vertical por efecto de la gravedad, por ascensión capilar entre los granos del suelo, retirada por raíces vegetales o por la recarga del suelo debido a las lluvias. Por tales razones, el nivel freático no es constante pero presenta una variación estacional relativamente bien definida.
- Como consecuencia de esos movimientos del agua freática, una sustancia contaminante que percola a través del suelo encuentra un vehículo y adquiere gran movilidad al alcanzar el nivel freático.
- En determinados sitios se encuentran reservorios de agua formados por roca y suelos impermeables, que también se comunican con aguas superiores a través de fisuras y otras fallas.
- El agua potable es tomada de manantiales, del acuífero del suelo o de aguas superficiales. El uso de aguas superficiales tiende a ser sustituido por el de aguas subterráneas, menos vulnerables a la contaminación.
- El acuífero es naturalmente protegido por la capa de suelo superior.
- La percolación del contaminante depende de la permeabilidad del suelo y ésta depende del tamaño de los granos que lo constituyen (textura), de la disposición de estos granos estructurando el suelo y del grado de saturación por agua absorbida o capilar.
- De modo general, un suelo de arena es permeable y uno de arcilla es impermeable. La permeabilidad se caracteriza por un coeficiente (K) que en las arenas es del orden de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  cm/s, y en los suelos arcillosos es de  $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  cm/s. Tales valores significan, por ejemplo, que la resistencia a la percolación en un suelo de  $K = 10^{-8}$  cm/s es 1 millonésimo de aquella ofrecida por un suelo

de  $K = 10^{-2}$  cm/s y, por lo tanto, la distancia de 1 mm al primer suelo es recorrida en el mismo tiempo que 1 km en el segundo.

- El lento pasaje del líquido por el suelo atenúa su poder contaminante. Además de esto, las partículas sólidas tienden a colmatar el suelo, disminuyendo su permeabilidad salvo efectos químicos adversos.
- La capacidad que tienen los suelos arcillosos de retener agua en sus intersticios, tornándose impermeables, es aliada a un fenómeno iónico, el cual puede ser afectado por un intercambio de iones de la arcilla (en solución coloidal) con iones contenidos en el líquido que percola. La impermeabilidad puede romperse en este caso.
- De la misma manera la contaminación de las aguas superficiales puede ocurrir por contacto directo con las basuras, y la de las aguas subterráneas por la percolación de las aguas lluvias a través de la basura amontonada (lixiviado) y eventualmente conectada con algún acuífero subterráneo, produciendo un deterioro en los recursos hídricos de la zona. Esto genera un desequilibrio ecológico que produce, sobre todo por adición excesiva de nutrientes al agua.
- Otros problemas sanitarios que podemos señalar son la proliferación de insectos en agua retenida por la basura o en las márgenes del cuerpo de agua, acumulación de basura en las márgenes y áreas de descarga de residuos sólidos, presencia incontrolada de animales y segregadores de materiales de la basura.
- Otro impacto puede provenir de la proliferación de vectores de enfermedades que encuentran en estas áreas el medio ideal para su reproducción.
- Otro riesgo reside en la frecuencia de incendios, que además de sus humos y olores, y la consiguiente contaminación atmosférica, puede implicar un peligro directo para las personas, edificios, áreas verdes o siembras que se encuentren cercanas. Además se liberan gases (propano y metano) que de no ser capturados adecuadamente generan una capa tóxica que puede aumentar el efecto invernadero
- Un parámetro importante corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno de ese caldo en rellenos sanitarios recientes, 50 a 100 veces la demanda bioquímica de oxígeno del desagüe sanitario. Este índice representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para digerir la materia orgánica contenida en un litro de líquido, o sea, la reducción que su vertimiento provocaría en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y que haría falta, por lo tanto, a su ecosistema.
- Finalmente con vertederos debidamente construidos y fiscalizados se logran mejoras respecto de los botaderos de cielo abierto y hasta en recintos controlados. Otro gran beneficio de éstos corresponde a que es posible rescatar terrenos antes inservibles y transformarlos en sitios hermosos.



▪ **Costos y Beneficios Sociales**

- Un relleno sanitario tiende a desvalorizar una zona urbanizada y/o rica por factores psicológicos que no existen o son tolerables en otras zonas.
- Deberá estimarse el costo/ beneficio de la ubicación del relleno sanitario, considerando su influencia en las áreas próximas durante la construcción y durante determinado período de utilización del relleno concluido, como área recreativa, producción de biogás u otra prevista.
- Esquema de un Relleno Sanitario en etapa de llenado.

**2.10. CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO**

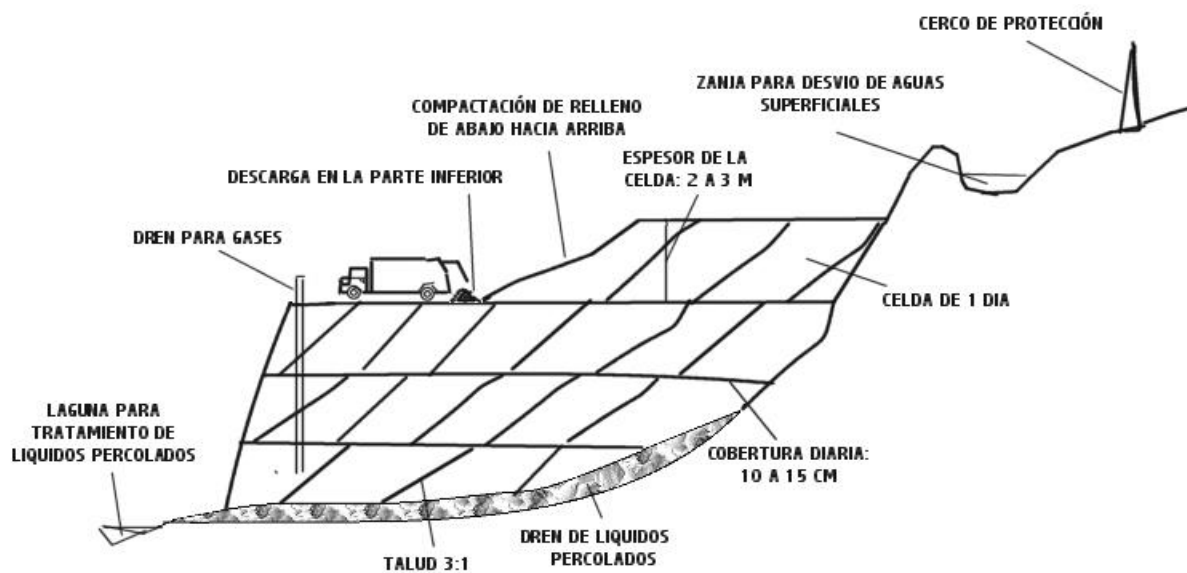


Figura 2.12. Corte esquemático de un relleno sanitario

El procedimiento para realizar un relleno sanitario puede esquematizarse de la siguiente manera:

- Dimensionamiento de las celdas
- Método constructivo
- Acabado superficial
- Construcción (esquemas)

**2.10.1. Dimensionamiento de las capas**

Las capas deben ser dimensionadas con el objeto de economizar tierra sin perjuicio del recubrimiento y de proporcionar un sitio de trabajo suficientemente grande (no más que suficiente) para descargas y maniobras de camiones y máquinas.

La altura de la capas recién concluida debe ser de 2.5 a 3.5 m y su ancho y avance se calcularán a través del volumen diario de material depositado. Cuando este volumen fuese muy grande, se dividirá en varias celdas con capacidad equivalente a la de 2 ó 3 camiones compactadores a modo de prevenir la buena estabilidad mecánica de la construcción.

### **2.10.2. Método constructivo**

El método constructivo depende de las condiciones topográficas, de las características del suelo y del nivel freático, lo cual va a definir la posibilidad o imposibilidad de que la tierra para cobertura sea excavada de la propia área del relleno - hipótesis más económica. Son usuales las denominaciones "método de área", "de rampa" y "de trinchera" y cañón (Figura 2.14) que son consecuencia de las circunstancias locales referidas. Un objetivo es, siempre, proporcionar contención al relleno desde el inicio de la construcción, apoyando cada celda en una contención existente (elevación natural o artificial sobre el terreno, paredes de una trinchera) y, sucesivamente, en celdas anteriormente construidas.

Otro objetivo es minimizar el costo de la tierra de cobertura excavándola en el propio sitio, sea mediante la apertura de trincheras (si el nivel freático lo permite), sea raspando la tierra de las partes más elevadas o también del fondo del terreno a rellenar.

Se esparce la basura en capas sucesivamente superpuestas de 20 a 30 cm con un "bulldozer" o compactador especial, de manera que sea despedazada y compactada con relativa uniformidad hasta alcanzar la altura prevista para la basura en la celda.

El esparcimiento y compactación son, frecuentemente, hechos en capas horizontales. Entre tanto, es recomendable colocar las capas en pendiente de hasta 1:3 (altura: avance), lo cual proporciona mayor compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y mayor estabilidad al relleno, no obstante aumente el consumo de máquina. Mejor resultado se obtiene cuando la máquina empuja la basura de abajo hacia la cima, debido a la suma de los efectos de la tracción y peso de la máquina, concentrados en la parte posterior de la misma, en la rampa (Figura 2.15).

Para concluir, se recubre la celda con una capa de tierra (del orden de 15 cm) esparcida y compactada de la misma forma que la basura. La tierra puede ser acumulada, previamente, sobre otra celda concluida y de allí descender sobre la celda en conclusión (Figura 2.16).

### **2.10.3. Acabado superficial**

El terreno del relleno es cubierto con una capa de tierra (cerca de 40 cm) sobrepuesta a la cobertura de las celdas con el objeto de:

- Soportar el tráfico de vehículos
- Permitir la instalación de drenes superficiales.
- Permitir sembrar vegetación (de pequeño tamaño)
- Permitir nivelaciones del relleno a lo largo del tiempo.

La superficie final debe ser suave y armonizarse con el entorno.

2.10.4. Construcción del Relleno Sanitario

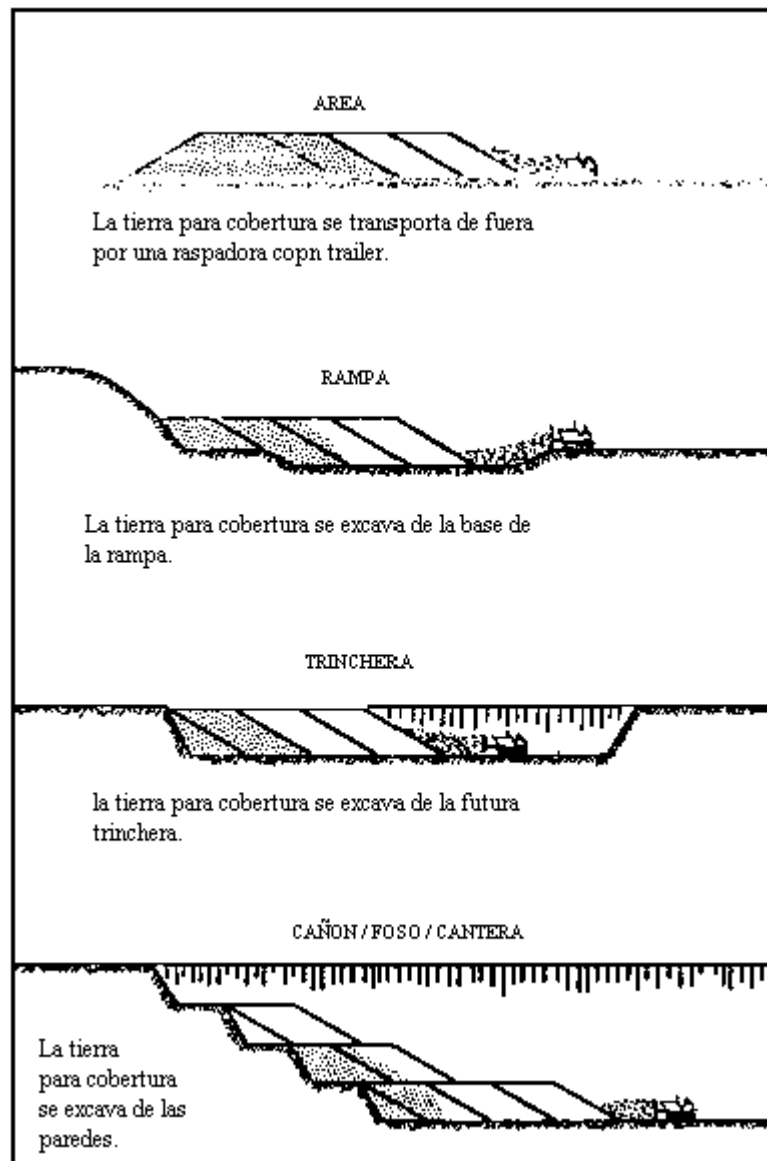


Figura 2.14. El método constructivo depende de la topografía, del nivel freático y de la disponibilidad de tierra, principalmente.

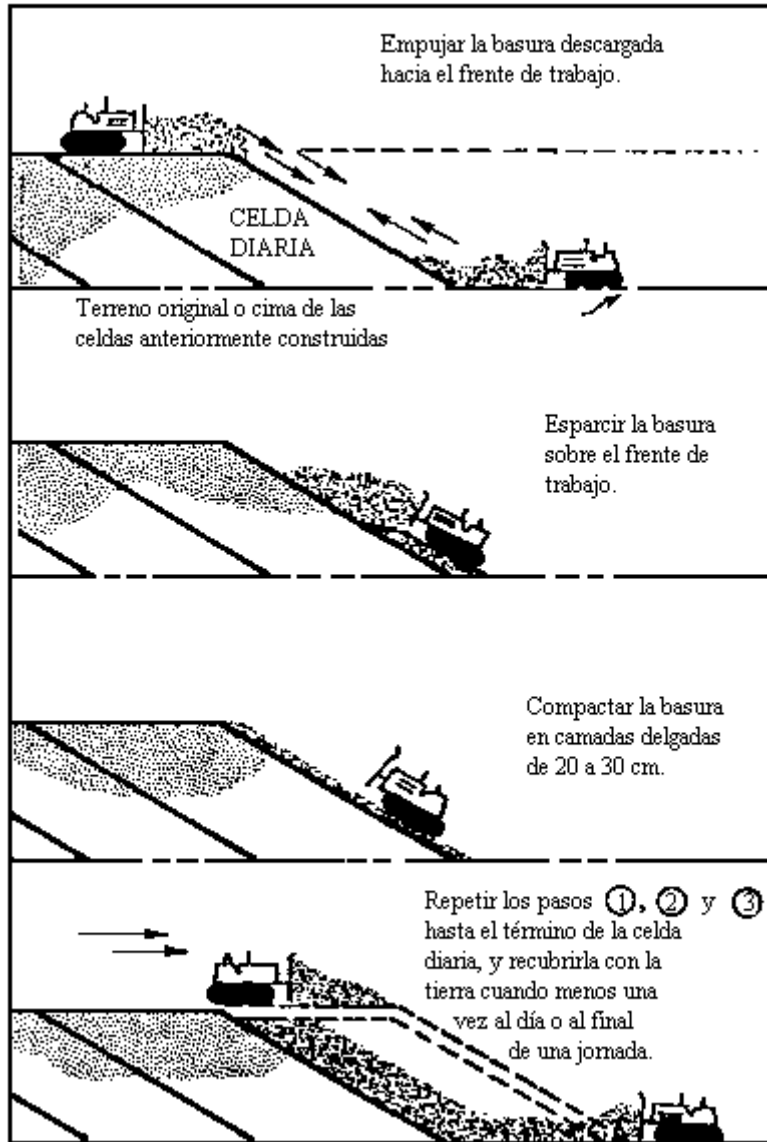


Figura 2.15. Esparcir y compactar los residuos.

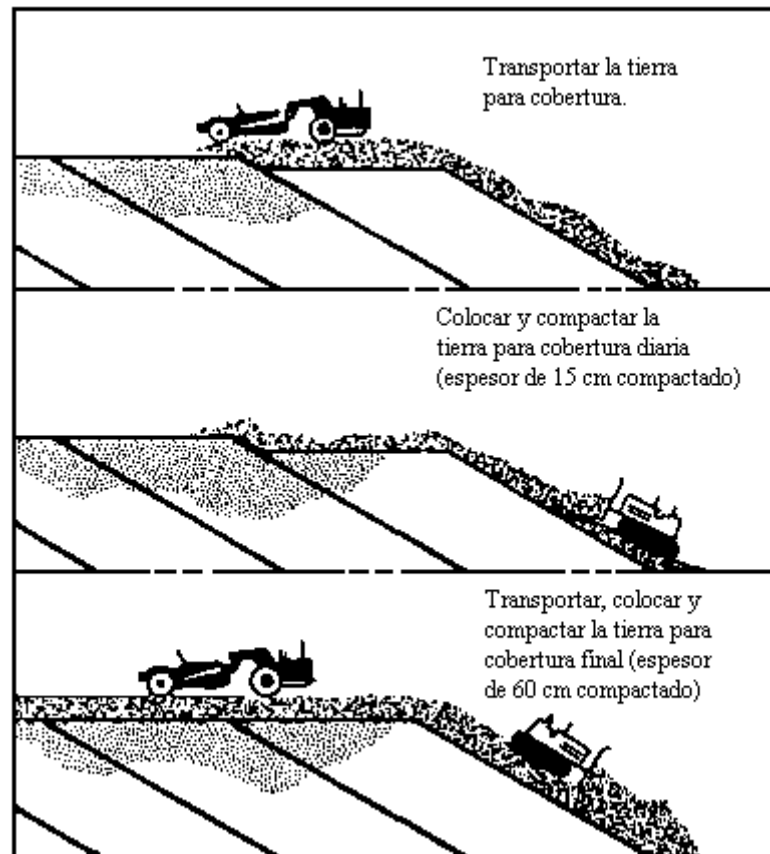


Figura 2.16. Cubrir con tierra

## 2.11. SOLUCIONES

Como soluciones alternativas a los rellenos sanitarios tenemos:

- Incineración
- Extracción del Gas de Vertedero
- Aplicaciones del Gas de vertedero
- Proceso de Percolación
- Extracción de Lixiviados
- Reciclaje
- Compostaje

### **2.11.1. Incineración**

Es uno de los procesos térmicos de trato de desechos. Reduce la basura urbana a un 10% de la masa original. Consiste en utilizar los gases calientes de combustión de los desechos como fuente calorífica para una turbina a vapor, con lo que se genera energía eléctrica.

Tiene la desventaja que la basura debe tener el poder calorífico para producir suficiente calor para la turbina, y que además los desechos no deben ser demasiados duros. La controversia que genera el uso de estas plantas de tratamiento es la expulsión de gases al ambiente y el uso de posibles materiales reciclables en la combustión; esto último es de importancia ya que es un desperdicio energético quemar material como papel, el cual se puede reciclar, obteniéndose una mejor ganancia energética.

En los procesos de incineración se produce energía eléctrica, de la cual la planta ocupa alrededor de 1/3 en el proceso, y el resto puede ser ofertado a la red eléctrica.

▪ **Proceso:**

1. Los camiones recolectores vierten los desechos en un gran foso de acumulación, el que tiene capacidad para recibir desechos por días, sin ser vaciado.
2. Los desechos son tomados del foso por una grúa de garras, la cual alimenta al horno. No se aceptan materiales peligrosos, es decir hay un proceso de selección; la basura puede contener desechos industriales, como químicos y explosivos.
3. Se produce la combustión en el horno, la cual es regulada para alcanzar grandes temperaturas (alrededor de 1000 °C), con lo que se logra una combustión controlada y así se eliminan los elementos contaminantes de los residuos. Se añade oxígeno para quemar materiales sólidos, y amoníaco para producir más  $N_2$ , ya que la atmósfera posee en su composición un 78% de  $N_2$ .
4. Se puede aprovechar la escoria de la incineración transportándola a una planta de reciclaje de metales, y el resto como materia prima para obras civiles (por ejemplo, se puede hacer cemento).
5. Los gases calientes intercambian calor con el fluido de la turbina, por lo general vapor de agua, sobrecalentándolo y logrando con esto una gran presión, con lo que la turbina funciona. El trabajo entregado por la turbina pasa a un generador eléctrico, para ser convertido en energía eléctrica.
6. Los desechos volátiles de la combustión pasan por un purificador de gases, en los que se separan las cenizas de los gases. Las cenizas se mezclan con cemento para formar un mortero y así estabilizarlas; los gases son expulsados a la atmósfera vía ducto de concreto armado, y las concentraciones de gases son monitoreados para ser controladas.

### 2.11.2. Extracción del gas de vertedero

Los residuos orgánicos depositados por largo tiempo forman gases. El biogás de un vertedero es una mezcla de dos componentes principales:

- $CH_4$  metano  $\pm 60\%$
- $CO_2$  dióxido de carbono  $\pm 40\%$

El escape incontrolado del gas de vertedero tiene un efecto negativo en el medioambiente, tanto a corto plazo como a largo plazo, lo cual puede ser evitado extrayendo y aprovechando el gas.

Las emisiones de metano:

- Contribuyen de manera importante al efecto invernadero.
- Es una sustancia altamente inflamable y explosiva,
- Es un peligro la inhalación para personas y animales en espacios reducidos

En el gas de vertedero aparecen también componentes como  $H_2S$  (ácido sulfhídrico), cloro y flúor. El ácido sulfhídrico es el componente especialmente responsable para el olor a huevos podridos que tantas quejas levanta en los alrededores de los vertederos.

Por ende, si se extrae el gas de vertedero:

- El problema del mal olor se resuelve;
- Se ahorran combustibles de origen fósil si el gas extraído es posteriormente utilizado como una fuente de energía;
- Se evitan a la vez las emisiones de dióxido de carbono, que aparecen cuando se queman elementos de combustión de tipo fósil.

- **Proceso:**

La instalación de desgasificación tiene como tarea principal succionar el gas desde el vertedero y quemarlo con una antorcha o de transportarlo a una planta de recuperación energética.

Los componentes principales son:

- Unidad de deshidratación
- Estación de análisis (oxígeno y metano)
- Soplante
- Antorcha de alta o baja temperatura

- Unidad de valorización (motor de gas, quemador)
- Componentes de seguridad Control eléctrico

El gas se succiona del vertedero y luego entra en la instalación de desgasificación, el agua es separada mediante un ciclón. El gas será analizado en cuanto a sus contenidos de oxígeno y metano. Una mezcla de gas de vertedero y aire podría terminar en una posible mezcla explosiva no aceptable. La monitorización de oxígeno y metano será ubicada en un recinto de análisis separado, en conjunto con los elementos para el acondicionamiento del gas y su control.

La antorcha normalmente es del de alta temperatura, es decir, con una temperatura de combustión a 1200 °C y con un tiempo de retención de 0,3 segundos. Una temperatura tan alta y un tiempo de retención tan largo, garantizan la eliminación de dioxinas. La antorcha tiene una regulación automática de la mezcla de gas y aire a través de la temperatura del quemador.

- **Efecto invernadero provocado por el metano**

El metano que se haya escapado del vertedero en forma volátil, se acumula, junto con el dióxido de carbono, en la parte superior de la atmósfera, donde absorbe la radiación de onda corta que procede de la superficie de la tierra. Este así llamado efecto invernadero es considerado como el causante principal del progresivo calentamiento global y de cambios climatológicos. El efecto de las emisiones de metano sobre el calentamiento de la tierra es aproximadamente 25 veces mayor que una emisión parecida de dióxido de carbono.

### **2.11.3. Aplicaciones del gas de vertedero**

El gas puede ser aplicado como fuente de energía para diversas aplicaciones. Las aplicaciones más comunes son:

- Generación de energía eléctrica con motores de gas
- Producción de calor con caldera
- Aumentar la calidad del gas de vertedero hasta la calidad de pseudo gas natural

#### **2.11.3.1. Generación de energía eléctrica con motores de gas**

Esta primera opción es la más generalizada en Europa para la recuperación de energía. Cada metro cúbico de gas de vertedero produce aproximadamente 1,5 kWh (eléctrica). Los motores de gas y los generadores eléctricos normalmente están contruidos dentro de un contenedor. La potencia eléctrica varía entre 200 y 900 kWh.

El calor de los motores también puede ser utilizado para la calefacción de edificios, para procesos industriales y para invernaderos.

#### **2.11.3.2 Producción de calor con calderas**

La producción de calor con calderas es una aplicación más para el gas de vertedero. El calor puede ser utilizado para la calefacción de edificios, para procesos industriales o para invernaderos.



### 2.11.3.3. Conversión del gas de vertedero en pseudo gas natural:

Convertir el gas de vertedero en gas natural es una aplicación en la cual el gas de vertedero debe cumplir con las especificaciones normalmente exigidas para el gas natural. Los sistemas pueden ir provistos de membranas o de carbón activo. El objetivo de ambos sistemas es la eliminación tanto de dióxido de carbono como de ácido sulfhídrico, cloro y flúor.

### 2.11.4. Proceso de Percolación

El proceso de percolación se produce por la descomposición de las materias orgánicas e inorgánicas, en particular de las primeras, en las que el contenido de carbono es alto. Existe un sistema de PERCOLACIÓN en el cual se otorgan las condiciones necesarias para la correcta descomposición aeróbica de la materia orgánica, en el cual se puede producir entre 40 y 90 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de basura, el cual a su vez posee un contenido en metano de más de un 70 %.

Mediante un proceso de lavado y la fase posterior de secado biológico o mecánico, se obtiene una alta reducción en el peso de la basura y un aumento del valor calorífico. De manera comparativa, el valor calorífico del material original se aumenta de 6 MJ/kg a más de 12 MJ/kg. Por su bajo contenido en humedad, el valor calorífico resulta además muy estable.

El combustible así obtenido puede ser utilizado independientemente de su producción. Ya no lleva elementos nocivos y por lo tanto no produce emisiones peligrosas. El contenido en metales pesados se ha reducido con la separación de metales e inertes. En el proceso de combustión no ocurre el calentamiento de materiales no combustibles, lo cual implica un mayor aprovechamiento de energía y menos cenizas y escorias con un bajo contenido en elementos nocivos.

- **Funcionamiento:**

Con el material libre de metales y con un alto contenido en residuos biogénicos, el percolador, realizado como un depósito en acero u hormigón, se nutre de manera continua. El percolador está herméticamente cerrado, para evitar escapes de olor.

El material se calienta hasta una temperatura de unos 70 °C y comienza a descomponerse. El líquido que facilita el proceso de percolación, se introduce, con ciertos intervalos y a través de unos dosificadores, desde la parte superior del depósito y pasa por el material desde arriba hacia abajo, siendo retirado en la parte inferior del percolador.

Cíclicamente se introduce aire oxigenado desde la parte inferior. Mediante este proceso de aireación se refuerza el efecto físico-químico de la extracción de agua, retrasando la compactación y facilitando la degradación biológica. Mediante un sistema horizontal de agitación, el contenido del percolador se mueve de vez en cuando. Las fuerzas así creadas, impiden la formación de canales y zonas muertas. El proceso de lavado es estrictamente aeróbico. La emisión de aire se desodoriza con un biofiltro.

El percolador se utiliza en un proceso continuo. El período de estancia de la basura con contenido orgánico en el percolador, dependiendo de la composición del material original y de las exigencias en cuanto al producto final, es de 2 – 4 días.

Con el líquido de la percolación se vierten inertes (arena y cristal) y fibras. Los inertes son eliminados en un separador de arena con aireación forzada. El contenido de la sustancia

orgánica seca está por debajo del 5%, permitiendo el vertido del material inerte en un vertedero especial (conformen la nueva normativa alemana) o su reutilización. En la actualidad, los análisis nos demuestran un contenido de material inerte en la basura de entre 10 – 15%. Conclusión, ese material puede ser depositado de manera económica, una vez pasado el percolador.

Para evitar que el reactor anaerobio se tapone, las fibras en suspensión son separadas mediante un sinfín e introducidas en la parte final del sistema de percolación. Desde allí serán expulsadas juntas con el material percolado. El líquido usado como agua de percolación es llevado a un fermentador (reactor anaerobio), donde se fermenta la sustancia orgánica sin la entrada de aire. Los compuestos orgánicos coloidales y disueltos están perfectamente apropiados para la producción de biogás. El reactor está provisto de cuerpos de relleno, que retienen las bacterias. El tiempo de estancia del líquido en el fermentador es de 40 horas. Durante este tiempo se produce la misma cantidad de gas que durante un proceso de fermentación de sólidos de tres semanas, es decir 45-90 m<sup>3</sup> de biogás, con un contenido de metano > 70% por tonelada ingresada.

Este gas puede ser valorizado energéticamente mediante un proceso de cogeneración. Para el funcionamiento de la planta de tratamiento de RSU se necesita aprox. un 1/3 de la energía así obtenida y los restantes 2/3 pueden ser ofertados a la red eléctrica.

El líquido utilizado como agua de lavado en el proceso de la PERCOLACIÓN, una vez terminado el circuito puede ser reutilizado en el proceso. Agua sobrante se vierte en la red, una vez depurado su contenido, mediante un proceso de nitrificación/denitrificación ( $NH_4 - N < 20$  mg; DQO < 800 mg/l).

El material lavado (percolado) es sacado mediante un sinfín y dejado con una humedad relativa del 40% (sustancia seca del 60%).

Conforme el objetivo final del proceso de tratamiento, se procede con el secado del material lavado, sea por vía biológica sea por vía térmica. Para PROCESO DE PERCOLACIÓN

- **Ventajas del Proceso de Percolación**
  - Proceso de lavado 100% aeróbico
  - Proceso continuo
  - Contenido del PERCOLADOR constantemente en movimiento Sin formación de canalizaciones y zonas muertas
  - En 2 – 4 días se produce la misma cantidad de gas que con un proceso de fermentación de material sólido en 3 semanas
  - Entre 45 – 110 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de entrada, con un contenido en metano mayor del 70 % (dependiendo de la composición del residuo)
  - Uso de superficie reducido

- Construcción modular
- Económico

### **2.11.5. Reciclaje**

#### **2.11.5.1. Papel**

Se sabe que una persona genera como desecho, directa o indirectamente, por término medio 150 kg de papel al año. Si este papel o cartón se reciclase, por una tonelada de papel, se evita la tala de 11 árboles de coníferas y se requiere de un 60 % menos de energía en relación al proceso que emplea la madera, por lo que se ahorran 4.200 KWH de electricidad, equivalente a las necesidades diarias de energía de cuatro mil personas.

Se ahorran más de 30 mil litros de agua (15% menos que con el proceso con madera), y se reduce la sobrecarga de basura que tienen los vertederos.

- **Tratamiento**

El papel se puede reciclar de cinco a ocho veces solamente, pues la fibra se va tornando más pequeña y débil cada vez que se recicla. Los periódicos viejos se reciclan en papel sanitario y en cartón. Las revistas se reciclan en papel de periódico.

El proceso más costoso en el reciclado del papel es el recogerlo, clasificarlo, empacarlo y transportarlo al molino donde va a ser procesado. Los montones de papel son depositados en grandes baños de agua, donde se convertirán en fibras nuevamente. Se le añaden químicos para que la tinta al despegarse, no se adhiera nuevamente. Para romper la tinta hay una serie de filtros que separa los pequeños cuerpos extraños, como los aditivos, los contaminantes, los rellenos y bases que contenía el papel. Luego de varias etapas donde el calor, la química y la acción mecánica hacen su trabajo, la tinta es despegada del papel.

La pulpa, fibras y tintas pasan a otro baño donde se le añade jabón a base de calcio y otros químicos. Burbujas de aire son introducidas en los baños, estas hacen que la tinta flote, y es extraída con una paleta o colador.

De aquí las fibras pasan a la caja principal de la máquina que hace el papel y son tratadas como si fueran fibras nuevas.

No todos los papeles se pueden reciclar. Hay papeles con colorantes y tintas fluorescente que no se pueden reciclar, también hay tintas que no ayudan a que se complete el proceso de reciclar. La tinta que mejor se puede retirar es la tinta a base de soya.

#### **2.11.5.2. Vidrio**

El vidrio a reciclar contiene gran cantidad de impurezas, tapones de plástico y metálicos, corchos, piedras, papeles, plásticos, etc.

En estas condiciones sería prácticamente imposible la fabricación de nuevos envases ya que estos cuerpos extraños, crearían defectos en el vidrio nuevo.

Al principio estas impurezas eran extraídas manualmente, con medios muy rudimentarios; hoy se utilizan sistemas ópticos para la extracción automática de impurezas.

- **Proceso:**

El proceso se inicia en el exterior de la planta, con la recogida de los envases de vidrio depositados por la población, en los contenedores situados a tal fin en las calles y plazas de los núcleos urbanos. El vidrio procedente de dichos contenedores es transportado en camiones hasta la planta de reciclaje, donde es descargado en una playa de almacenamiento de materia prima.

Mediante una pala cargadora se trasvasa el vidrio recuperado desde la playa de almacenamiento, hasta una tolva de alimentación, a partir de la cual unas cintas transportadoras enlazan automáticamente las diferentes fases del proceso.

La salida de la mencionada tolva es regulada por un vibrador de frecuencia variable, dispuesta en el fondo de la misma. La frecuencia de vibración es controlada por una báscula de pesaje continuo, instalada en la primera cinta transportadora. La combinación de ambos elementos permite ajustar el ritmo de producción de la planta.

Todo el material es sometido al campo magnético de un imán permanente, a fin de retirar los materiales de carácter férrico, como son los tapones de botellas y latas.

A continuación el material pasa por una cinta transportadora plana, donde de forma manual se separa el vidrio verde a procesar, del vidrio blanco, bolsas de plástico, papeles y otros objetos de gran tamaño cuyo componente fundamental no sea vidrio.

Tras la primera purga manual descrita, el material obtenido se vierte sobre una criba mecánica con tres granulometrías: vidrio de menos de 10 mm de diámetro, objetos comprendidos entre 10 y 60 mm y objetos de más de 60 mm de diámetro. Una vez clasificado el vidrio en las tres granulometrías descritas, se inician tres procesos diferentes en función del tamaño:

- El producto menor de 10 mm se da por terminado y pasa a la sección de almacenamiento.
- El producto mayor de 60 mm es triturado en un molino de martillos y posteriormente cribado, separando los objetos de menor densidad (corchos, cápsulas, tapones,...) del resto. El producto obtenido se renvía al inicio del proceso repetidas veces hasta conseguir separar el vidrio de las impurezas.
- El producto de tamaño comprendido entre 10 y 60 mm es sometido a un proceso de selección óptica según se detalla a continuación. El vidrio es transportado mediante vibración a través de un canal distribuidor con cuatro salidas, por las que cae en función de su tamaño. A continuación pasa por unos canales de alimentación, donde por medio de vibraciones se orientan los trozos en la posición idónea para ser procesados por las unidades de clasificación óptica.

- Las unidades de clasificación óptica distinguen el vidrio roto destinado a ser reutilizado, de los trozos de cerámica, piedras, porcelana y metal no férreo. Cada unidad dispone de unas boquillas de expulsión por aire comprimido, gobernadas por un módulo electrónico capaz de diferenciar la opacidad o transparencia de las partículas que pasan por su campo de acción.
- Las partículas de transparencia prefijada se toman como vidrio recuperado y se envían a la sección de almacenamiento. Las partículas rechazadas son sometidas a un segundo escalón de clasificación, dando como resultado material rechazado que se envía al silo correspondiente, o material dudoso que se renvía al inicio del proceso para su reclasificación.

En los procesos de trituración y transporte por vibración, se desprenden trozos de papel adherido al vidrio (etiquetas) que son aspiradas por medio de un ciclón con exclusiva, red de tuberías y toberas de aspiración.

El vidrio recuperado es conducido por medio de una cinta transportadora hasta la zona de almacenamiento, para su posterior carga y transporte en camiones a los hornos de fusión de vidrio.

- **Ventajas de reciclar el vidrio**

La utilización de "calcín" (producto de la trituración del vidrio) como materia prima en la fabricación de envases comporta una serie de ventajas que se explican a continuación:

- Una tonelada de calcín ahorra 130 kg de fuel en su fabricación debido a que funde a una temperatura más baja (reduciendo la importación de petróleo).
- Una tonelada de calcín ahorra 1.200 kg de materias primas (evitándose la destrucción de terrenos por la minería).
- Una tonelada de calcín ahorra 1.000 kg de basura (reduciendo el espacio en los vertederos).
- Se reduce la contaminación del aire en un 20%.
- Se reduce la demanda de agua hasta un 50%.
- Se evita los problemas ecológicos de vertido incontrolado.
- Permite mantener y fomentar la estrecha relación bidireccional reciclaje-cumplimiento legislación ambiental.

#### **2.11.7. Compostaje**

El compostaje es una técnica basada en el aprovechamiento de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos bajo condiciones controladas. Éste se puede definir como un caso muy particular de suelo activo, muy rico en materia orgánica en evolución y pobre en elementos minerales.

Realmente se puede considerar como un proceso de reciclaje, en el que se recupera la fracción orgánica para su uso fundamentalmente en agricultura, jardinería, lo que implica una vuelta a la naturaleza de las sustancias de ella extraídas.

Originalmente, el producto fue identificado con el nombre de "compost" porque en las explotaciones agrícolas donde se los preparaba, se montaban sobre pilas "compuestas" por diferentes capas de materiales orgánicos que eran periódicamente removidos para homogeneizar la masa, también denominada mantillo.

A través del tiempo, la técnica del compostaje ha evolucionado en un sentido amplio, pasando a formar parte del aprovechamiento integral de los recursos contenidos en los residuos, siendo el compost uno de los subproductos obtenidos.

A grandes rasgos, se pueden resumir las principales características del compost en:

- Técnica de estabilización de los desechos orgánicos biodegradables.
- Técnica de tratamiento sanitario, porque es un modo de destrucción, por temperatura, humedad y reacciones químicas, de gérmenes y parásitos, granos, semillas y frutos no deseables.
- Técnica biológica de reciclaje de la materia orgánica, mediante una actividad microbiológica compleja que se produce en condiciones particulares, por lo que se los considera además una "biotecnología".

Mediante la implementación del mencionado proceso se pueden obtener dos ventajas inmediatas a saber:

- Disminución considerable del volumen final que se envía a enterramiento.
- Obtención de un abono orgánico que puede ser distribuido entre los agricultores, usado para recuperar terrenos para parques o jardinería de la comunidad.

## **3. Aspectos Geotécnicos en Rellenos Sanitarios Controlados**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Como se ha señalado, la Geotecnia aplicada a rellenos sanitarios tiene una activa participación tanto en las etapas de estudio previo a la selección de un lugar destinado a relleno sanitario, como en las de diseño; de construcción de las obras de partida; de operación; de cierre y rehabilitación de antiguos vertederos

En la etapa de selección del emplazamiento de un vertedero sanitario, el sitio debe ser diseñado y manejado de manera que las sustancias nocivas no contaminen en cantidades inaceptables (de acuerdo con regulaciones apropiadas), además de impedir que se produzca una afección no deseada o inaceptable sobre la salud humana, o el medio ambiente.

### **3.2. CONFIGURACIONES CARACTERÍSTICAS DE RELLENOS SANITARIOS**

Existen cinco configuraciones características de rellenos sanitarios las cuales son mostradas en la figura 3.1. Las configuraciones más comunes son en áreas donde el nivel freático es profundo siendo el diseño de fosas el diseño más común a emplear (Figura 3.1.a). La principal ventaja de este tipo de configuración es que el suelo excavado en la realización de la fosa es posteriormente empleado en los recubrimientos de los desechos colocados diariamente. Dependiendo de la naturaleza de estos suelos excavados, estos podrán conformar el material de los sellos de arcilla o el material granular de los drenajes.

Los rellenos sanitarios en trinchera (figura 3.1.b) tienen unas ventajas similares a las descritas para los rellenos sanitarios en fosas, este sistema es el que se ha empleado en los rellenos sanitarios más antiguos, antes de que se hiciera énfasis en los diseños de rellenos sanitarios donde se maximice el espacio, Como se observa en la figura 3.1.b, una cantidad significativa de espacio es desperdiciada en los pequeños domos de suelo que se mantiene entre las celdas.

---

Los rellenos sanitarios en ladera son mostrados en la figura 3.1.c. Estos tipos de rellenos sanitarios ya descritos son construidos en regiones de terrenos planos o con poca inclinación. Los desechos son generalmente colocados en una zona construida o en un talud natural excavados. Los rellenos en cañones o en valles (figura 3.1.d) son denominados así, debido a que ellos son construidos en cañones o valles naturales. Ellos son similares a los rellenos sanitarios tipo fosa, si el valle es del tipo ponchera (cóncavo); sin embargo los taludes laterales pueden ser mucho mas altos y más inclinados.

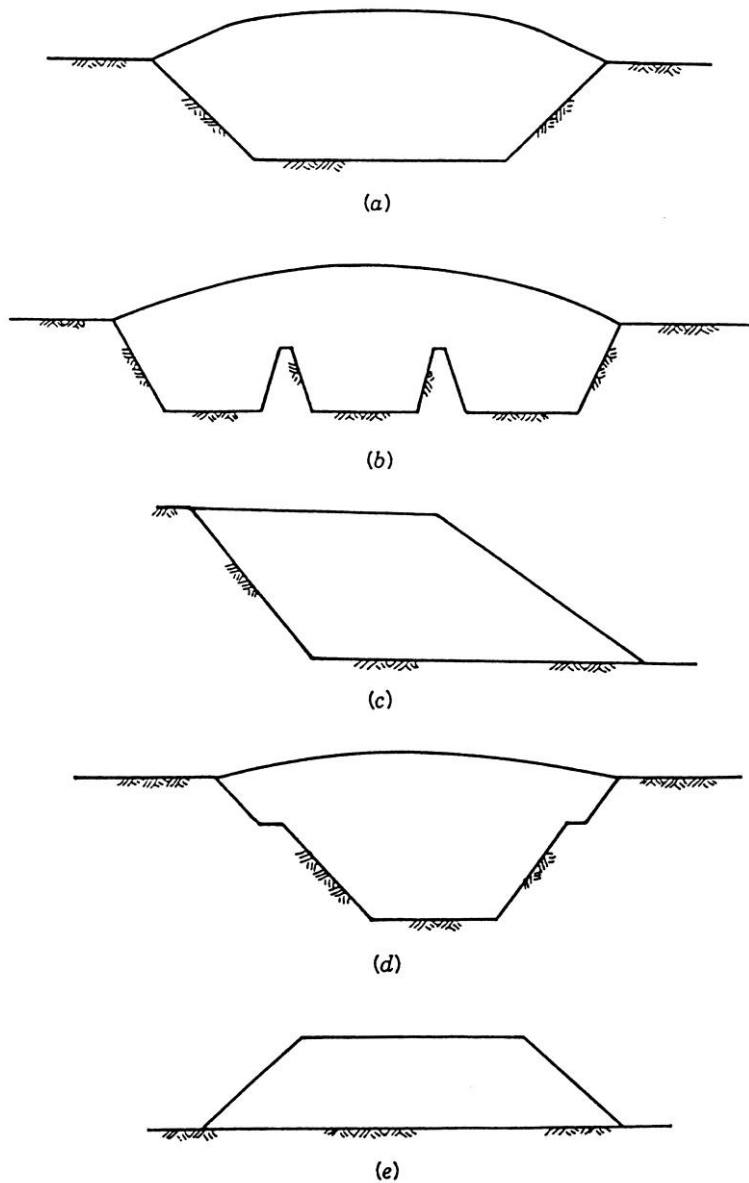


Figura 3.1. Configuraciones características de rellenos sanitarios

En ambos casos de rellenos en ladera y en valle, los requerimientos de suelos para las coberturas son generalmente satisfechos con la excavación de los taludes naturales laterales, tomados de los sitios de préstamo o importando suelos de otros lugares. Finalmente como se muestra en la figura



3.1.e, los rellenos tipo montículo o pirámide, son construidos completamente sobre la superficie del terreno. Este tipo de rellenos son construidos generalmente en zonas planas de suelos blandos, donde el nivel freático es cercano a la superficie, para este tipo de relleno el material de recubrimiento es obtenido de sitios de préstamos cercanos o es importado de zonas lejanas.

El lugar donde se construirá el relleno sanitario debe cumplir los requisitos operacionales y de diseño geotécnico y debe ser aceptado por la comunidad donde se construirá. Adicionalmente debe estar en las proximidades de los centros poblados que generarán los desechos. El tipo del sitio donde se ubicará el relleno, determinará el tipo que es posible construir. Los datos empleados en la selección del sitio deben incluir:

- Mapa topográfico;
- Levantamiento de los suelos del área;
- Planes de ordenamiento del uso de la tierra;
- Mapas de vías de comunicación;
- Planes de ordenamiento del uso del agua;
- Planes de ordenamiento del uso de tierras agrícolas;
- Mapas geológicos; y
- Fotografías aéreas.

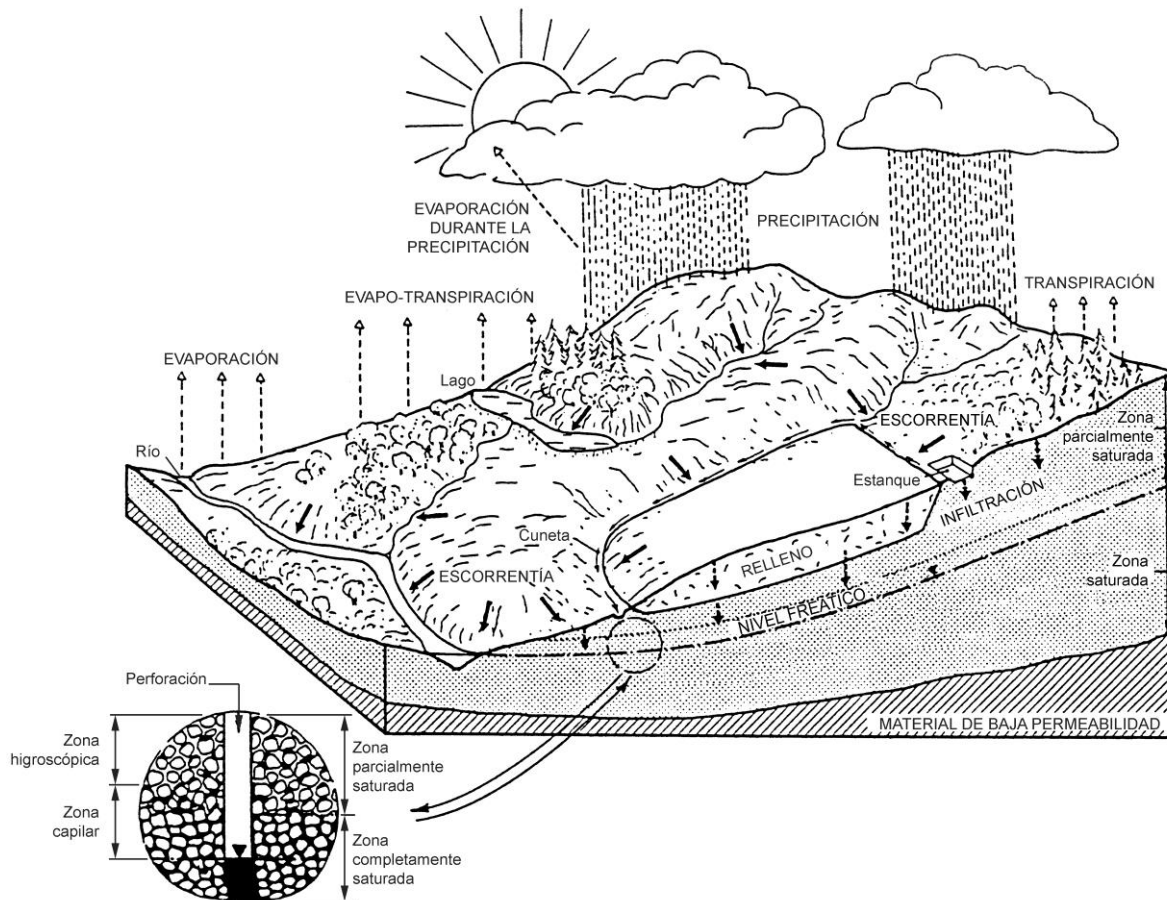


Figura 3.2. Almacenamiento de los desechos dentro del ciclo hidrológico

Otras consideraciones a ser tomadas en la selección del sitio deben incluir el tipo de desechos a recibir, volumen de los desechos, volumen del relleno, disponibilidad de equipos para realizar el relleno sanitario, opciones de reciclaje e incineración, rellenos sanitarios existentes y plan económico. No se deben construir rellenos sanitarios cerca de lagos, ríos, estanques, autopistas, parques, áreas residenciales, aeropuertos ó pozos de extracción de agua. De hecho, los rellenos sanitarios deben ser parte integral del territorio y del entorno ambiental (Figura 3.2) y deben evaluarse en ese contexto. En el estudio de factibilidad de un relleno, debe evaluarse los costos de los ciclos de vida del relleno, incluyendo los ítems dados en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1.**  
**Componentes de costos de un relleno sanitario**

<b>Costos previos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización del sitio</li> <li>• Estudio ambiental</li> <li>• Ingeniería de diseño</li> <li>• Investigaciones hidrogeológicas</li> <li>• Servicios profesionales – diseño/aprobación</li> <li>• Consultas legales</li> </ul>
<b>Costos de</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza del terreno</li> </ul>

<b>construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excavación</li> <li>• Instalación del sistema de sellos y recolección de lixiviados</li> <li>• Manejo de lixiviados (estaciones de bombeo y/o sistemas de tratamiento)</li> <li>• Control del agua superficial y construcción del recubrimiento final</li> <li>• Sistema de manejo de biogás</li> <li>• Sistema de seguimiento del agua subterránea</li> <li>• Estructuras en el sitio</li> </ul>
<b>Operaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos y personal</li> <li>• Manejo de los lixiviados y biogás</li> <li>• Costos de seguimiento ambiental</li> <li>• Relaciones comunitarias</li> <li>• Manejo de los impactos – polvo, olores y arbustos</li> <li>• Costos de clausura</li> <li>• Cobertura final</li> <li>• Asentamientos</li> <li>• Control de escorrentía</li> </ul>
<b>Costos a largo plazo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de planes de recuperación del terreno una vez finalizada la operación del relleno, incluyendo reforestación y arbustos.</li> <li>• Inspecciones de lugar</li> <li>• Servicio de vigilancia</li> <li>• Manejo de lixiviados y biogás</li> <li>• Seguimiento ambiental</li> <li>• Seguros</li> </ul>

Los desechos pueden ser colocados en el relleno sanitario en una variedad de maneras, como es mostrado en la figura 3.3. Todos los desechos recibidos en el relleno son esparcidos y compactados en celdas y capas dentro un área confinada. Al finalizar el día o más frecuente si es necesario, el área será recubierta completamente con una capa delgada y continúa de suelo, cubriendo los desechos que ya han sido compactados. La capa de recubrimiento diaria es empleada como control de humedad, control de desechos, reducción de olores, limitación de roedores y zamuros, suministra un acceso a los vehículos, previene la generación de incendios y mejora la apariencia del relleno. Los desechos compactados y el recubrimiento con suelo constituyen una celda. Una serie de celdas contiguas, todas de la misma altura constituyen un piso. Un relleno sanitario está constituido de uno o más pisos, como es mostrado en la figura 3.4.

Los dos tipos básicos de operación de un relleno sanitario o secuencias de celdas diarias son el método de trinchera y el método de relleno superficial (Figuras 3.5 y 3.6).

Después que la capacidad del relleno ha sido alcanzada, un recubrimiento final debe construirse de manera de minimizar la infiltración e agua y aislar los desechos del ambiente, como es mostrado en la figura 3.7. El propósito de este sello final de suelo en el relleno, es asegurarse que las aguas

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---

superficiales de escorrentía, erosión, retención de humedad por la vegetación, manejo del biogás, dar una forma final al relleno sanitario y suministrar un recubrimiento de suelo aceptable.

El recubrimiento final del relleno sanitario está compuesto de seis estratos característicos, los cuales son mostrados en la figura 3.24.

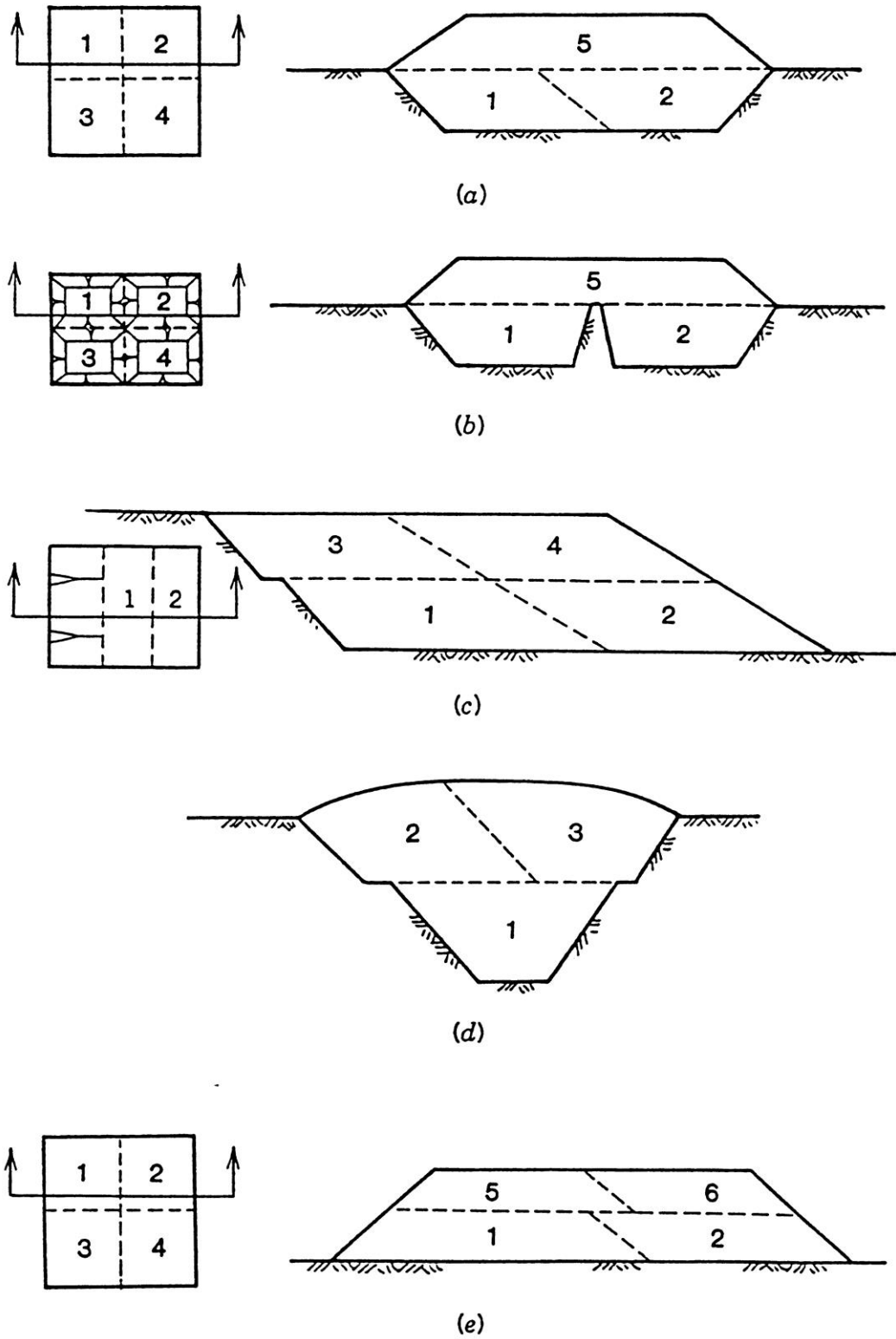


Figura 3.3. Fases de colocación de desechos sólidos

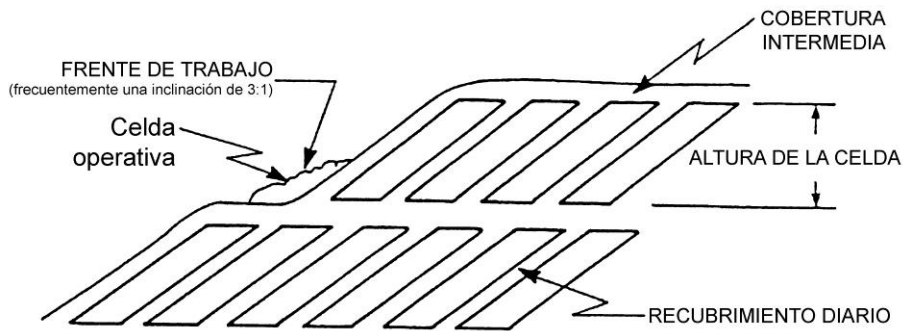


Figura 3.4. Configuración de un relleno sanitario en pisos y en celdas

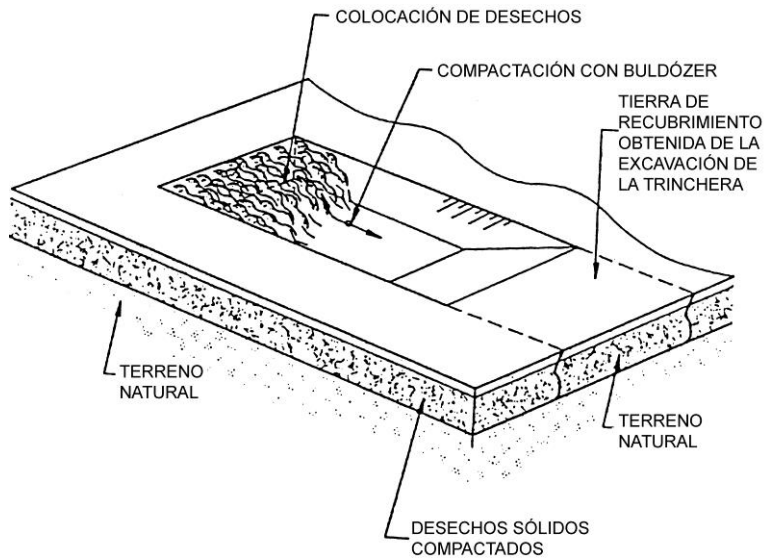


Figura 3.5. Relleno sanitario en trinchera

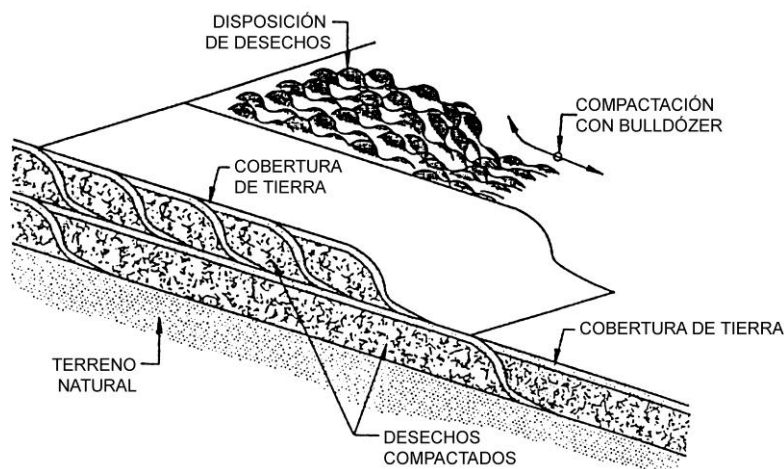


Figura 3.6. Método de un relleno superficial

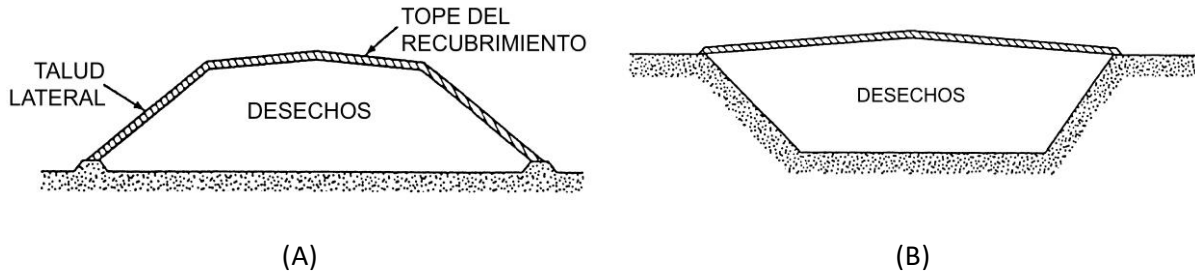


Figura 3.7. Configuraciones de cobertura final

### 3.3. CONSIDERACION PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

En el proceso de realización de un vertedero, la elección del sitio es una fase de importancia fundamental, porque condiciona todo el resultado y cada una de las decisiones técnicas sucesivas.

Esta elección debe hacerse basándose en valoraciones de tipo social, económico, ambiental y técnico. Respecto a los últimos dos elementos hay normas legales y consideraciones de sentido común que tener en cuenta: el sitio ha de estar suficientemente lejos de lagos, ríos y puntos de aprovisionamiento de agua potable; el área del relleno sanitario no debe presentar zonas de derrumbes o terrenos de elevada compresibilidad.

Se debe intentar localizar, en una primera aproximación, zonas estables desde un punto de vista geológico, es decir, no sometidas a procesos de inestabilidad de taludes, de karstificación, inundaciones, subsidencias, etc. El paso siguiente consiste en la ejecución de estudios más concretos, donde se estudian aspectos como la permeabilidad y continuidad de los materiales del subsuelo y otros como el sistema hidrológico existente. Estos estudios se llevan a cabo empleando métodos clásicos de investigación geológica e hidrogeológica ya que su objetivo último es conocer la estructura geológica de la zona, la litología de los materiales, así como los procesos geomorfológicos e hidrogeológicos que los están modificando.

Por lo general se lleva a cabo un examen inicial de sitios de un territorio determinado, para llegar a un número limitado de sitios posibles. En esta fase preliminar se examinarán, de forma más general, las situaciones geológicas e hidrogeológicas, considerando en condiciones más favorables los sitios donde haya formaciones naturales de baja permeabilidad y de espesor adecuado, que puedan dejarse como base del vertedero y los sitios donde el nivel freático sea poco superficial.

Esta fase de selección inicial de los sitios permitirá eliminar los que resulten evidentemente inadecuados, concentrando las inversiones económicas para los estudios sucesivos en áreas más limitadas y bien definidas.

Luego, en los sitios seleccionados (3 - 4 en cada territorio) se hará un estudio más detallado de los parámetros ya examinados durante la selección inicial, hasta llegar a la decisión final respecto al sitio: mejor.

Independientemente de los criterios seguidos para llegar a la ubicación del relleno sanitario, hace falta conocer completamente las características del terreno de fundación, con el fin de comprobar

que no hay problemas de inestabilidad y/o asentamientos que puedan afectar la integridad de los revestimientos, favoreciendo la dispersión de sustancias contaminantes.

Por consiguiente, es preciso que ya en la fase de localización se hayan puntualizado los aspectos siguientes: presencia de cavidades, existencia de fallas activas y/o potencialmente activas, fenómenos localizados de subsidencia, manifestaciones de inestabilidad de declives naturales o artificiales. Además, en la fase de diseño del vertedero es necesario conocer:

- Las características de resistencia al corte del terreno, indispensables para el análisis de la capacidad portante del conjunto terreno - vertedero y de la estabilidad de las paredes laterales del vertedero;
- Las características de deformabilidad del terreno, para la evaluación de los asentamientos totales y diferenciales que se verificarán por el efecto de la carga constituida por la masa de desechos y que pueden influir en la eficiencia de los revestimientos.

De hecho, el diseño geotécnico de un vertedero y, por consiguiente, el estudio geotécnico previo, deben llevarse a cabo con la misma atención dedicada a otras estructuras sensibles a asentamientos, teniendo además muy en cuenta dos aspectos de importancia particular:

- El régimen y las características físico-químicas de las aguas subterráneas.
- Las características macroestructurales del terreno de fundación, como la presencia de discontinuidades, fisuraciones por sequedad y lentes de material grueso, que determinan una conductibilidad hidráulica del terreno de fundación, en su conjunto, que resulta sensiblemente superior a la del elemento de terreno sometido a la determinación de la conductibilidad hidráulica en el laboratorio.

Particularmente, en el caso de que se quiera utilizar el terreno como barrera hidráulica, es necesario que se haya hecho un estudio detallado de las características macroestructurales del terreno de fundación, que en todo caso deberán comprobarse mediante una inspección rigurosa de las excavaciones durante las fases de la construcción.

Con el fin de conocer detalladamente las características estructurales del sitio escogido, por los motivos antedichos, habrá que realizar algunas perforaciones en puntos específicos, de forma estrictamente funcional a las necesidades del vertedero, es decir, de modo tal que, además de dar los datos requeridos, éstos sirvan para las operaciones de vigilancia y control del medio ambiente durante la fase de gestión del vertedero.

Para ello hace falta que los sondeos se hagan en las inmediaciones del área del vertedero, tanto hacia arriba como hacia abajo, respecto a la supuesta dirección que sigue el flujo de la capa acuífera; por tanto, la profundidad de los sondeos tendrá que ser superior a la de la capa más superficial. Con estos requisitos, los sondeos permitirán:

- Reconstruir la estratigrafía de la formación en que se halla el vertedero;
- Tomar muestras de materiales naturales para la caracterización físico-mecánica, con pruebas de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, permeabilidad, resistencia al corte, compresibilidad);



- Localizar y caracterizar la capa acuífera (profundidad, variaciones con las estaciones, dirección gradiente y velocidad de flujo),
- Analizar químicamente las aguas de la capa antes de que entre en funcionamiento el vertedero,
- Controlar la capa durante y después de la gestión del vertedero.

Los factores a considerar en la selección del sitio:

- **Vías de acceso**

Se utilizan para estimar las distancias de acarreo tanto para los residuos como para el material de cobertura. Permiten ubicar zonas con la infraestructura necesaria o bien, establece las necesidades de comunicación a satisfacer.

- **Zonas de inundación**

Estos mapas muestran los períodos de retorno para ciertas zonas susceptibles de inundación. Se deben ubicar los rellenos sanitarios de tal manera que cumplan con los requisitos a este respecto (ejemplo, en Norte América no se permite la ubicación de rellenos de residuos peligrosos en zonas con períodos de retorno para inundaciones inferiores a 500 años)

- **Mapas geológicos**

Ubicación de fallas, estratigrafía del subsuelo, posibles bancos de materiales.

- **Mapas de suelos**

Proveen información acerca del tipo de suelo en el sitio y los alrededores que permiten determinar sus características hidrogeológicas. Sirven también para ubicar bancos de material para la cobertura del relleno.

- **Mapas hidrológicos**

Ubicación de escurrimientos superficiales, presas, lagunas, manantiales, localización de acuíferos, determinación del flujo y sentido del flujo de agua subterránea.

- **Mapas de uso de suelo**

Se utilizan para ubicar el sitio respetando aquellas zonas con un uso definido. Así mismo permiten localizar el sitio de manera que el impacto ambiental sea el menor posible.

- **Área disponible**

Se debe seleccionar el sitio de tal manera que pueda ser operado mínimo por 5 años. El lugar debe contar con una cierta área para maniobras y servicios auxiliares (camino, estaciones de monitoreo, etc.).

- **Condiciones climáticas**

Se debe conocer el rango de temperaturas del lugar, dirección de vientos dominantes y velocidad de los mismos, precipitación media anual, frecuencia y magnitud de las tormentas (para el control de las escorrentías).

- **Restricciones locales**

Restricciones ambientales y de aceptación por parte de la comunidad.

- **Uso final del relleno**

Períodos de operación y monitoreo, programa de clausura, actividades de recuperación.

Para evaluar la idoneidad de un sitio se requiere contar, entre otros, con los siguientes antecedentes:

- Reconocimiento de la distribución de las aguas freáticas, vías de flujos y barreras (acuíferos y acuíclulos), sus propiedades hidráulicas y el potencial de mejoramiento del efecto sellante del subsuelo.

Información acerca de la disponibilidad y calidad de materiales para cobertura, su facilidad para la excavación.

- Reconocimiento de la composición geológica local y general
- Reconocimiento de las características morfológicas y estructura tectónica
- Riesgos de terremotos y otros peligros naturales
- La composición física y química, propiedades y secuencia de los estratos
- La distribución de los estratos, continuidad lateral y vertical.
- El comportamiento esfuerzo - deformacional del subsuelo

En cuanto a la estructura y características de los macizos rocosos, los factores siguientes necesitan ser considerados:

- Tipo de roca, composición mineralógica y estratigráfica.
- Estado de descomposición y resistencia a la intemperie.
- Solubilidad en agua, lixiviados u otras soluciones agresivas.
- Extensión, grado de separación y ancho de juntas individuales.
- Tectónica y anisotropías petrográficas en la masa rocosa.
- Karstificación y riesgos de subsidencia.

- Comportamiento deformacional de la masa rocosa.
- Permeabilidad al agua, lixiviado, gases y otras soluciones agresivas.

Una participación activa como hemos visto, le corresponde a la geotecnia en el conocimiento del régimen de las aguas freáticas, dado que el agua es el vehículo más activo de difusión de contaminantes en el terreno y por lo tanto es fundamental proteger las aguas limpias para evitar su alteración con otras contaminadas. Por lo tanto, es preciso conocer durante las etapas iniciales del proyecto, adicionalmente a los aspectos ya señalados:

- La dirección del flujo, gradiente y proporción del flujo, incluyendo fluctuaciones estacionales y de largo plazo
- La permeabilidad (horizontal y vertical) o transmisividad del estrato superficial, con máximos y mínimos valores (del agua y lixiviados)
- La distribución, espesores y profundidad de los acuíferos y acuiclusos.
- Características químicas de las aguas freáticas; datos pluviométricos; superficie de escorrentía, niveles de percolación, entre otras.

Adicionalmente a los antecedentes señalados, se requieren otros para el diseño y operación del vertedero, entre los que se destacan:

- Previsiones sobre los materiales a ser empleados como cobertura en el vertedero. Información acerca de la facilidad para su excavación y disponibilidad de préstamos, calidad de este suelo de cobertura disponible y el potencial de mejoramiento del efecto sellante del subsuelo.
- Conocimiento de la capacidad portante y la deformabilidad del suelo de fundación de las obras de partida, la estabilidad de los taludes naturales o artificiales, riesgo deformacional del suelo, riesgo de colapso y fenómenos geológicos activos o reactivables.
- Análisis de la compresibilidad y tiempo de estabilización en las deformaciones de los rellenos, con el propósito de contribuir a la determinación de la vida útil y de futuros usos de los vertederos sanitarios.
- Determinación de la resistencia del relleno, así como la evolución de los parámetros resistentes con el tiempo
- Análisis de la estabilidad de taludes en vertederos, particularmente en lugares de topografía accidentada, donde es necesario recurrir a diseños que cuentan con taludes importantes.

Por lo expuesto anteriormente, podemos decir que los depósitos de desechos sólidos municipales son las obras en las cuales se ha concentrado más actividad de expertos y técnicos de distintos sectores, porque un vertedero puede considerarse una obra compleja, que abarca aspectos de geología e hidrogeología, estudio del clima, geotecnia, hidráulica, tecnología de materiales distintos (geomembranas, geotextiles, etc.), plantas de tratamiento de los desechos, etc. De hecho, el

proyecto de un vertedero debe prever varias fases sucesivas, en las cuales se tienen en cuenta numerosos parámetros y aspectos técnicos.

El proceso puede esquematizarse de la manera siguiente:

I. Fase de elección del sitio

- a) Análisis del territorio a servir;
- b) Características geológicas e hidrogeológicas;
- c) Análisis de las condiciones climáticas (pluviosidad, vientos y temperatura) ;
- d) Morfología superficial;
- e) Sismicidad;
- f) Vínculos legales.

II. Diseño general del vertedero

- a) Capacidad de recepción;
- b) Geometría del vertedero (excavaciones ya existentes, morfología del lugar, sobrealzados);
- c) Análisis de estabilidad;
- d) Vías de acceso y de servicio;
- e) Análisis del impacto sobre el medio ambiente.

III. Proyecto de los distintos aspectos

- a) Impermeabilización de la cuenca;
- b) Sistemas de contención de los desechos;
- c) Sistemas de compactación y colocación de los desechos;
- d) Sistemas de extracción del líquido de percolación y del gas biológico;
- e) Planta de tratamiento preliminar de los desechos (eventual) ;
- f) Obras de recuperación ambiental;
- g) Obras accesorias (báscula, depósitos de maquinarias, alumbrado, taller mecánico, oficina).

Un vertedero realizado con criterios de "seguridad" puede considerarse como una envoltura estanca, de forma tal que los desechos acumulados en él no puedan hallar ninguna vía de

comunicación con el exterior, sino las que se hayan previsto expresamente. Este concepto se esquematiza en la figura 3.8.

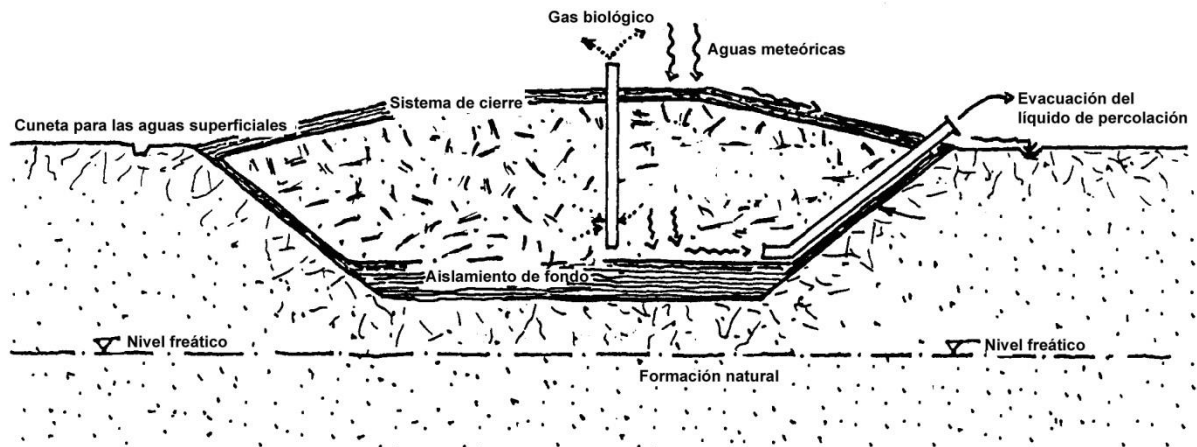


Figura 3.8. Esquema funcional de un relleno sanitario

Para obtener este resultado y para que el mismo sea duradero es necesario que los materiales y sistemas empleados para construir la envoltura satisfagan los requisitos siguientes:

- Resulten idóneos para la función de aislar los desechos (evitando que las aguas meteóricas puedan penetrar en la envoltura y que el líquido de percolación pueda salir al exterior),
- No experimenten ningún desplazamiento en ninguna de sus partes, que pueda interrumpir la continuidad, creando vías por las cuales puedan entrar las aguas meteóricas o salir el líquido de percolación.

Respecto a su forma, los vertederos pueden estar constituidos por:

- a) Acumulación en un terreno plano.
- b) Llenado de un foso preexistente o excavado expresamente.
- c) Una combinación de "a) y "b)".
- d) Acumulación en un declive.

En todos los casos cabe imaginar que puedan manifestarse fenómenos de inestabilidad que lleguen a afectar la estanqueidad de la envoltura que aísla los desechos. Las condiciones de la estructura natural en que se halla el vertedero, las de la masa de basura (con, su geometría y sus características físico-mecánicas) y las de los mismos elementos de aislamiento de los desechos pueden contribuir a provocar estos eventos.

Todo lo antedicho lleva a la conclusión de que en el proyecto de un vertedero hay que solucionar problemas de tipo geotécnico en las fases siguientes:

1. Elección del sitio y geometría del depósito;

2. Proyecto de los sistemas de aislamiento de la cuenca de recolección de la basura:
  - 2.1. Caracterización geotécnica de los materiales que constituyen el sistema de aislamiento;
  - 2.2. Análisis de la estabilidad para prevenir deslizamientos que puedan verificarse en la formación natural, en la masa de basura, en las superficies de separación entre los desechos, el sistema de aislamiento y la formación natural;
3. Análisis de posibles asentamientos de la formación natural donde se halla el vertedero y de la masa de basura.

### **3.4. GEOMETRIA DEL DEPÓSITO**

La definición de la geometría a atribuir a la cuenca de recolección de basura debe tener como objetivo final lograr acumular la máxima cantidad de desechos ocupando la mínima superficie. En este procedimiento habrá que tener en cuenta varios factores vinculantes:

- a) La máxima altura del vertedero respecto al terreno puede estar sometida a límites impuestos por normas legales locales; de no ser así, el único parámetro a considerar es la inclinación del sistema de cierre a escogerse, conforme a los criterios indicados más adelante.
- b) Por lo general, la normativa impone que entre la base del vertedero y el máximo nivel freático haya una distancia mínima, la cual depende del tipo de desechos a acumular.
- c) El talud ha de tener un declive que garantice la estabilidad del vertedero a lo largo del tiempo.

Vale la pena observar, particularmente, que la normativa italiana requiere, para los depósitos de desechos sólidos urbanos, que el fondo del vertedero se encuentre a una distancia no inferior a 150 cm por encima del máximo nivel freático; en cambio, para los desechos industriales tóxicos y nocivos, dicha distancia no debe ser inferior a 200 cm.

Por lo que respecta a la estabilidad de la cuenca excavada, es muy importante subrayar que un análisis de estabilidad tradicional de las paredes de la excavación, antes de verter la basura, no es una condición que pueda considerarse exhaustiva del problema; en realidad, habrá que tener en cuenta la posibilidad de que se verifiquen roturas del sistema: de aislamiento colocado sobre las paredes laterales de la cuenca antes de verter los desechos. Estas roturas dependen también de la manera en que se proceda al acumular la basura. De estas consideraciones se deduce que para lograr la mejor geometría del vertedero hay que tener en cuenta el tipo de revestimiento adoptado y la secuencia de operaciones para el llenado de la cuenca, tal como se explicará en los puntos siguientes.

### 3.5. GEOSINTÉTICOS

#### 3.5.1. Historia

En 1938, Goodyear curó (vía vulcanización) cauchos naturales con azufre, lo cual dio como resultado caucho sintético que es un polímero termofijado. La industria del caucho fue ampliamente estimulada por el corte de los suministros de caucho natural durante la Segunda Guerra Mundial. Hoy en día, la producción de varios materiales de caucho sintético es una industria importante. La geomembrana original fue un producto de caucho y se usó como cubierta para estanques de agua potable. Éste producto fue caucho de butilo, el cual es un copolímero de isobutileno con aproximadamente 2% de isopreno. El caucho de butilo ha hallado su principal uso como tubos internos y como revestimientos de neumáticos sin tripa. Es posible realizar muchas más combinaciones y variantes de materiales de caucho, por ejemplo, nitrilo. Sin embargo, desde 1980, la industria se ha desplazado de los polímeros termofijados a los polímeros termoplásticos. Así, los materiales de geomembranas que discutiremos, caen en la categoría de polímeros clasificados como materiales termoplásticos. Por definición, estos son materiales que se vuelven suaves y flexibles cuando se calientan, sin cambio sustancial en sus propiedades inherentes y cuando se enfrían, recuperan sus propiedades originales. Así, ellos son fácilmente cosidos por calor, extrusión o métodos químicos.

El polietileno se forma por la polimerización de compuestos que contienen una unión no saturada entre dos átomos de carbono. La producción en grandes cantidades comenzó en 1943. Sus principales usos originales fueron (y continúan siendo) en las industrias de envasado y moldeo. El polietileno en sus diferentes densidades es el polímero más ampliamente usado en la fabricación de geomembranas. El desarrollo de polipropileno cristalino es un avance de la polimerización de baja presión del etileno y es el material básico del cual están hechos muchos geotextiles. El cloruro de polivinilo es otro elemento de este grupo que se usa en la fabricación de geomembranas. Este producto fue desarrollado en 1939 y tiene amplios usos. Él ocupa el segundo lugar en cuanto al uso de polietileno. Es interesante notar que las geomembranas de polietileno se usaron por primera vez en Europa y fueron llevadas a Norteamérica y otros lugares, mientras que el cloruro de polivinilo usado para las geomembranas tuvo su origen en Estados Unidos y se llevó luego a otros lugares. Las geomembranas poliméricas de hoy se hacen de resinas termoplásticas y son fabricadas y distribuidas en el mundo entero, haciendo que todo tipo de productos se encuentren fácilmente disponibles. Sin embargo, lo que más preocupa al propietario / usuario / diseñador, y lo que constituye el punto central de este libro, es el uso del material apropiado para un proyecto en particular: Esa es la esencia del concepto de diseño por función.

#### 3.5.2. Fabricación

La elaboración de las geomembranas comienza con la producción de las materias primas, las que incluyen la resina de polímero propiamente dicha; varios aditivos tales como antioxidantes, plastificantes, rellenos, negro de carbón; y lubricantes (como una ayuda al procesamiento). Estas materias primas son luego procesadas en láminas de geomembranas de anchos y espesores diferentes mediante una de tres formas.

Todas las geomembranas de polietileno [es decir, de los tipos de alta densidad (HDPE) y muy flexibles (VFPE) y algunos polipropilenos flexibles (fPP)], se fabrican por el método de extrusión. En este método la resina de polímeros, el negro de carbón (usualmente en forma de pellets previamente mezclados con su resina portadora) y un paquete de aditivos (antioxidante y

lubricante) se cargan neumáticamente en la tolva de alimentación de un extrusor. El extrusor contiene un tornillo rotatorio continuo. La formulación pasa sucesivamente a través de una sección de alimentación, sección de compresión y sección de medición, en donde finalmente emerge como una forma filtrada, mezclada y fundida en una boquilla. En la fabricación de las geomembranas se emplean dos tipos de procesamiento por extrusión. Uno es una boquilla plana (llamada laminado por colado) que inyecta la formulación de polímeros entre los dos labios horizontales de la boquilla, dando como resultado una lámina de espesor estrechamente controlado de 0.75 a 3.0 mm. El ancho varía de 1.8 a 4.6 m. Cuando se usan dos extrusores paralelos, los anchos pueden aumentarse a 9.5 m. El segundo tipo usa una boquilla circular (llamada película de soplado) que inyecta la formulación de polímeros entre los dos labios concéntricos de la boquilla orientados verticalmente. La formulación de polímeros sale de la boquilla y es soportada por un mandril circular grande a medida que se extiende eventualmente hacia arriba en un enorme cilindro. En la parte superior del sistema, dos rodillos contra rotativos halan el cilindro hacia arriba y mantienen la estabilidad. Después de pasar sobre los rodillos, la lámina se corta longitudinalmente, se desdobra a su ancho completo y se enrolla en el núcleo tensor.

Al crear una superficie áspera en una lámina de HDPE o VLDPE suave (un proceso llamado texturización), se puede crear una superficie de alta fricción. Actualmente, existen cuatro métodos que se emplean para texturizar las geomembranas: coextrusión, choque, laminación y estructuración. El método de coextrusión utiliza un agente de soplado en el extruido fundido y lo suministra desde un extrusor pequeño inmediatamente adyacente al extrusor principal. Cuando ambos lados de la lámina no están texturizados, se necesita dos extrusores pequeños (uno interno y otro externo al extrusor principal). Cuando el extruido de estos extrusores pequeños se encuentra con el aire frío, el agente de soplado se expande, se abre a la atmósfera y crea la(s) superficie(s) texturizada(s). Luego se puede dejar liso un ancho pequeño (aproximadamente 300 mm) de la circunferencia del cilindro, la que después del corte central deja los dos bordes longitudinales del rollo listo para el cosido. El choque de partículas calientes de HDPE contra la lámina terminada de polietileno es un segundo método de texturización. En este caso, las partículas calientes realmente se proyectan en la lámina previamente preparada en una de sus superficies o en ambas en una operación secundaria. La adhesión de las partículas calientes a la(s) superficie(s) fría(s) debe ser tan grande o más grande que la resistencia al corte del suelo adyacente u otro material de respaldo. Los bordes longitudinales de las láminas pueden no estar texturizados en su lado izquierdo en aproximadamente 150 mm, para facilitar su costura. El tercer método para texturizar la lámina de polietileno es por laminación de una espuma sobre una lámina suave previamente fabricada en una segunda operación. Con este método, un agente espumante mezclado en HDPE fundido suministra una espuma que produce un material laminar texturizado áspero adherido a la lámina previamente preparada. El grado de adhesión es importante con respecto a la resistencia al corte del suelo adyacente u otro material de contacto. En caso de que sea necesaria la texturización en ambos lados de la geomembrana, el rollo debe pasar por otro ciclo pero ahora en su lado opuesto. Los bordes longitudinales de las láminas pueden no estar texturizados en el borde izquierdo hasta aproximadamente 150 mm de modo que pueda cumplirse con facilidad con la costura en el campo. El cuarto método de incrementar la fricción de la(s) superficie(s) de una geomembrana lisa es el llamado estructurado. En este método, se hace una lámina lisa por el método de la matriz plana e inmediatamente que deja los labios de la matriz, pasa entre dos rodillos contra-rotatorios. Esos rodillos tienen superficie(s) estampada(s) que permiten a la lámina aún caliente (aproximadamente a 120 °C), pasar entre ellos y deformar según él (los) estampado(s). Esto permite levantar el estampado en la superficie de la lámina no estructurada; esto es típicamente un estampado de caja y un punto, pero las variaciones son infinitas. Los bordes longitudinales de las laminas no son



estructurados en aproximadamente 150 mm para cumplir apropiadamente con la costura de campo.

### **3.5.3. Aplicaciones**

Ha surgido un amplio rango de uso de las geomembranas, los cuales se relacionan con la función primaria de los materiales de ser “impermeable”. No obstante, ningún material es estrictamente impermeable en un sentido absoluto. En el caso de las geomembranas para la contención de desechos sólidos o líquidos, es a menudo la arcilla natural o modificada, la cual tiene usualmente una conductividad hidráulica neta (permeabilidad) de aproximadamente  $10^{-9}$  m/s. Por el contrario, la permeabilidad de difusión equivalente de una geomembrana termoplástica típica será de  $10^{-13}$  a  $10^{-15}$  m/s. En este sentido, nos referimos a las geomembranas como que son relativamente impermeables. Los usos de las geomembranas en las actividades medio-ambientales, geotécnicas, hidráulicas y de transporte son las siguientes:

#### **3.5.3.1. Estabilización de Carreteras y Taludes.**

Los geosintéticos permiten la construcción de taludes con ángulos de cara muchos más grandes que los que permitiría el ángulo de reposo del suelo natural. Esto puede aumentar la cantidad de terreno a usar, como también crear efectos sintéticos en particular.

Donde se use un muro de contención de concreto, un muro de suelo reforzado con geosintéticos puede reemplazarlo, ahorrando dinero y en muchos casos, creando un aspecto más natural. Los geosintéticos refuerzan internamente el muro de tierra, creando un relleno estable detrás de la cara del muro.

#### **3.5.3.2. Separación de pavimentos**

Usualmente llamado pavimentación asfáltica, un geotextil extendido sobre una cantidad medida de riego de liga asfáltica se coloca entre las capas del pavimento.

Donde el agua ha degradado el suelo debajo de una carretera, la pavimentación asfáltica con geosintéticos puede sellar el pavimento y extender su vida útil.

#### **3.3.3.3. Control de Erosión**

Uno de los usos más grande los geosintéticos es el control de erosión. El mejor tipo de control de erosión es, por supuesto, la vegetación - árboles, grama y otras plantas. Los geosintéticos de control de erosión permiten el desarrollo de las plantas, creando una base estable para que las raíces se agarren. Donde el establecimiento de la vegetación es más difícil, otros productos de control de erosión son usados entre el suelo y el enrocado o con lechada estructural.

#### **3.5.3.4. Control de Inundaciones**

Aquí, los geotubos forman una pared de seguridad entre los canales de inundaciones y la tierra ocupada. El producto puede ahorrar tiempo y dinero comparado con productos convencionales.

### **3.5.3.5. Barreras de líquidos**

Estas mantas impermeabilizadoras mantienen los líquidos donde se quieren y fuera de donde no se desean. Estos materiales son requeridos en depósitos de desechos peligrosos.

### **3.5.3.6. Reservorios y Estanques**

Un importante uso de las geomembranas de polietileno está en el área de almacenamiento de líquidos. La geomembrana actúa como un revestimiento para prevenir que los contaminantes entren a las fuentes o corrientes de agua subterránea. Adicionalmente, las geomembranas evitan pérdidas por filtración conservando anualmente millones de galones de agua para aplicaciones de agua potable. Las aplicaciones típicas incluyen estanques agrícolas, campos de golf, lugares de vacaciones, y otras aplicaciones recreacionales.

### **3.5.3.7. Túneles**

Todas las geomembranas de polietileno, negra o blanca/ negra coextruída o primaria de muy baja densidad proveen una geomembrana lisa, uniforme e impermeable con una excelente resistencia a la punción, a los roedores y microorganismos. El resultado es un túnel continuamente seco, disminuyendo el costo de mantenimiento y extendiendo su vida útil.

### **3.5.3.8. Tanques de almacenamiento**

Las geomembranas de polietileno pueden ser usadas en paredes anulares hechas de concreto, para proveer baja permeabilidad, una barrera flexible de alta resistencia química para proteger contra derrames químicos accidentales. Puede ser colocada directamente en el suelo, para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas en caso de un derrame. El deterioro de las estructuras de concreto y de tanques de acero que contienen productos potencialmente peligrosos para el medio ambiente hace que el polietileno de alta densidad sea la mejor elección como una solución de contención secundaria.

### **3.5.3.9. Canales de riego**

Las geomembranas de polietileno proveen una excelente alternativa o un suplemento para canales revestidos de concreto o de tierra compactada, para una reducción sustancial de las filtraciones reportadas por agencias gubernamentales. Las geomembranas ofrecen un método expedito para reparar revestimientos de concreto deteriorados.

### **3.5.3.10. Minería**

El método de lixiviación en pilas para la extracción de metales, usando cianuro de sodio o ácido sulfúrico, ha dado como resultado un método de bajo costo para su recuperación (oro, plata y cobre), a partir de minerales de baja ley. Las geomembranas de polietileno son usadas como una barrera flexible e impermeable, para evitar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por las soluciones químicas de extracción, así como para recapturar y reciclar las soluciones.

En depósitos de relaves proveen una membrana segura entre los relaves y el medio ambiente, incluyendo el agua potable, porque pueden resistir la presión ejercida en ellas por los relaves y los objetos afilados de la pila de relaves.

### 3.5.3.11. Rellenos sanitarios

Un elemento crítico en el funcionamiento apropiado de un sistema de contención de rellenos sanitarios es el de su revestimiento. Por muchos años se ha considerado necesario el uso de geomembranas en la base y los lados de un relleno sanitario como un sistema integrado de colección de lixiviados y un sistema de detección de fugas. Las geomembranas de polietileno, resistentes a la mayoría de los desechos, se usa como una barrera impermeable y flexible, para prevenir la interacción de la humedad del relleno sanitario con los desechos contaminados formando un lixiviado, que podría tener características variables no deseadas. Las geomembranas de polietileno son usadas en rellenos sanitarios peligrosos y no peligrosos.

### 3.5.4. Producción mundial de geosintéticos

Aunque hay varias resinas nuevas que ingresan al mercado de las geomembranas, ellas actualmente se dividen entre HDPE, VFPE, CSPE, fPP y otros, tales como la Aleación entre Polímeros de Etileno (EIA) y el monómero de etileno polipropileno dieno (EPDM). En base a un cálculo total de 75 M metros<sup>2</sup> que data de 1995, las proporciones aproximadas son las siguientes:

- Polietileno de alta densidad HDPE = 40% ó 30 M metros<sup>2</sup>
- Polietileno muy flexible VFPE = 25% ó 19 M metros<sup>2</sup>
- Cloruro de polivinilo PVC = 20% ó 15 M metros<sup>2</sup>
- Polietileno clorosulfonado CSPE = 5% ó 4 M metros<sup>2</sup>
- Polipropileno flexible (fPP) = 5% ó 4 M metros<sup>2</sup>
- Otros = 5% ó 3 M metros<sup>2</sup>

### 3.5.5. Tipos de geosintéticos

Debe notarse que dentro de la categoría VFPE, hay polietilenos de baja densidad, tales como los de muy baja densidad (VLDPE), de lineal baja densidad (LLDPE) y baja densidad lineal. Se clasifican en cinco (5) grupos:

- Geomembranas
- Geomallas
- Geotextiles
- Geocompuestos
- Geosintéticos de arcilla

### 3.5.6. Geomembranas

Las geomembranas son láminas flexibles, de polímeros de baja, mediana y alta densidad, que tienen una permeabilidad extremadamente baja y generalmente son empleadas como barreras de líquidos

o vapor (Foto 3.5.) para así evitar el contacto con el suelo. Son delgadas, bidimensionales y flexibles siendo los únicos materiales de construcción que poseen al mismo tiempo las características de separación y refuerzo, lo que explica el éxito que han tenido a nivel mundial. La tabla 3.2 muestra los principales tipos de geomembranas en uso actualmente. Las ventajas y desventajas de algunas geomembranas empleadas actualmente son dadas en la tabla 3.3. En los rellenos sanitarios, los sellos de la base son colocados debajo de los desechos de manera de minimizar que los líquidos expelidos y/o filtrados de los desechos (lixiviados) puedan contaminar los suelos circundantes y más importante aún, las aguas subterráneas. Los sellos de cobertura son colocados encima de los desechos como parte de la configuración final de relleno sanitario con la finalidad de mantenerlo seco de la infiltración de las aguas meteóricas, y evitar la producción excesiva de lixiviado.

### **3.5.6.1. Tipos de Geomembranas**

#### **3.5.6.1.1. Polietileno de Alta Densidad (High Density Polyethylene - HDPE)**

El polietileno de alta densidad (HDPE) es el producto más usado para recubrir sitios donde se depositará basura, minas, y para otras aplicaciones de contención de fluidos. Se prefiere para sitios que requieren baja permeabilidad y propiedades de resistencia excepcional a productos químicos y rayos ultravioleta.

#### **3.5.6.1.2. Polietileno Muy Flexible (Very Flexible Polyethylene - VFPE)**

Las excelentes propiedades de elongación de las geomembranas de polietileno muy flexible (VFPE) son recomendadas en proyectos que requieren una gran flexibilidad como en cierres y cubiertas. La elongación adicional de las geomembranas VFPE les permiten amoldarse mejor a las superficies irregulares y a los asentamientos diferenciales que potencialmente podrían causar perforaciones en productos de menor elongación.

#### **3.5.6.1.3. Polietileno Coextruido (Coextruded Polyethylene)**

Para resistir mejor a fuerzas significativas de perforación en el suelo, se debería considerar nuestra geomembrana multi-capa de polietileno coextruido. Su composición, de una capa de VFPE coextruida entre dos capas de HDPE, ofrece excelentes características de elongación que se adaptan rápidamente a las irregularidades significativas del suelo o a los agregados colocados sobre la geomembrana. La superficie de HDPE contribuye a la resistencia química y a los rayos ultravioleta, permitiendo una soldadura mejor; mientras la capa de VFPE provee excelentes características de elongación, críticas para la aplicación en proyectos como revestimientos de canchas de lixiviación en pilas, estanques expuestos y coberturas.

**Tabla 3.2.**  
**Principales tipos de Geomembranas y sus usos**

<b>Polímeros termoplásticos</b>	<b>Thermoset Polímeros</b>	<b>Combinaciones</b>
Cloruro de Polivinilo (PVC)	Butil o isopreno-isobutileno	PVC-caucho nitrilo
Polietileno (VLDPE (very flexible polyethylene),	(IIR)	PE-EPDM

LLDPE (low density linear polyethylene), MDPE (medium density linear polyethylene, HDPE (high density linear polyethylene) y Chlorinated polyethylene (CPE)	Caucho Epichlorohydrin	
Poli fin elástico (3110)	Ethylene propylene diene	PVC-etil-vinil
	Monomero (EPDM – Ethylene propylene diene monomer) Policloropreno (neopreno)	Acetato CPE
Combinaciones de etileno interpolímero	Termopolímero etileno propileno	Clorosulfonado
(EIA o XR-5)	(EPT)	Polietileno
Poliamida	Etileno vinil acetato (EVA)	(CSPE o Hypalon)

Fuente: Koerner (1990).

La mayoría de estas geomembranas están disponibles con superficies texturizadas en una cara o en ambas caras, con la finalidad de aumentar la resistencia friccionante necesaria a fin de asegurar la estabilidad de los taludes. Adicionalmente están disponibles geomembranas elastoméricas en spray, como son las geomembranas bituminosas. Sin embargo, estos materiales son raramente empleados en aplicaciones de rellenos sanitarios en comparación con las membranas previamente señaladas. El mecanismo para la transferencia de masas de líquidos o gas a través de una geomembrana es la difusión molecular. Las velocidades de transmisión de vapor de agua para las distintas geomembranas es fundamentada en base a los ensayos realizados en ellas de acuerdo a la norma ASTM E96 y los valores representativos son los siguientes:

- Para geomembranas HDPE con un espesor de 1.0 mm, la velocidad de transmisión de vapor de agua =0.020 g/m<sup>2</sup>/día;
- Para geomembranas PVC con un espesor de 0.75 mm, la velocidad de transmisión de vapor de agua = 1.8 g/m<sup>2</sup>/día;
- Para geomembranas HDPE con un espesor de 1.0 mm, la velocidad de transmisión de vapor de solventes =0.20 a 20 g/m<sup>2</sup>/día (dependiendo del solvente).

Observe que 1.0 g/m<sup>2</sup>/día=10 litros/ha/día, que es una velocidad de difusión de agua extremadamente baja. En contraste, la velocidad de difusión para algunos químicos, particularmente ciertos componentes orgánicos volátiles puede ser muy alta. Afortunadamente en los rellenos sanitarios modernos, los lixiviados sólo contienen trazas de componentes orgánicos volátiles, y como consecuencia de esto, la velocidad de difusión es relativamente baja. Un segundo mecanismo para el transporte de líquidos a través de las geomembranas, es el flujo a través de

perforaciones realizadas en la geomembrana, causada por perforaciones, rasgaduras, etc. La velocidad de flujo en estos casos dependerá del tamaño de la abertura y del flujo de agua o lixiviado que este circulando encima de la geomembrana, la permeabilidad del suelo encima de la geomembrana, así como de otros factores.

**Tabla 3.3.  
Ventajas y desventajas de las geomembranas**

<b>Geomembrana sintética</b>	<b>Ventajas y Desventajas</b>
Caucho butilo	<p>Buena resistencia a los rayos ultravioleta (UV), ozono y elementos climáticos.</p> <p>Buen comportamiento a temperaturas altas y bajas.</p> <p>Baja características de resistencia.</p> <p>Poca resistencia a los hidrocarburos.</p> <p>Dificultad a la soldadura.</p> <p>Gran absorción de agua (Hinchamiento).</p>
Polietileno clorinado (CPE)	<p>Buena resistencia a los rayos ultravioleta (UV), ozono y elementos climáticos.</p> <p>Buen comportamiento a temperaturas altas y bajas.</p> <p>Buenas características de resistencia.</p> <p>Facilidad para el cosido.</p> <p>Mala resistencia a compuestos químicos, ácidos y aceites.</p> <p>Difícil de unirse (cosido)</p>
Polietileno Clorosulfonado	<p>Buena resistencia a los rayos ultravioleta (UV), ozono y elementos climáticos.</p> <p>Buen comportamiento a temperaturas altas y bajas.</p> <p>Buena resistencia a compuestos químicos, ácidos y aceites.</p> <p>Buena resistencia a las bacterias</p> <p>Bajas características de resistencia</p> <p>Muy problemático en la soldadura.</p>
Caucho propileno- (EPDM)	<p>Buena resistencia a los rayos ultravioleta (UV), ozono y elementos climáticos.</p> <p>Altas características de resistencia</p> <p>Buen comportamiento a temperaturas bajas</p> <p>Baja absorción de agua.</p> <p>Mala resistencia a los aceites, hidrocarburos y solventes;</p> <p>Muy problemático en la soldadura.</p>
Polietileno de baja y alta densidad (LDPE and HDPE)	<p>Buena resistencia a la mayoría de los componentes químicos.</p> <p>Buenas características a la resistencia.</p> <p>Buen comportamiento a temperaturas altas y bajas.</p>

	Mala resistencia al punzoamiento.
Cloruro de polivinilo (PVC)	Buena trabajabilidad Altas características de resistencia Facil soldadura. Poca resistencia a los rayos ultravioleta (UV), ozono y elementos climáticos Mal comportamiento a temperaturas altas y bajas.

Fuente: Bagchi (1994).

La resistencia al corte de las interfaces de geomembranas y materiales adyacentes es muy variable. Las resistencias pueden ser muy bajas cuando se emplean geomembranas relativamente rígidas y lisas. La resistencia al corte puede ser incrementada de manera significativa con el empleo de geomembranas texturizadas. Existen varios métodos disponibles para suministrar textura a las geomembranas.

El proceso de texturización suministra un incremento de la resistencia al corte pico en la interface cuando es comparada con la resistencia al corte de una geomembrana lisa. Este incremento de la resistencia al corte puede estar en un rango de 10° a 20° para las interfaces geomembrana/geotextil. La diferencia puede ser igual o menos para interfaces geomembrana/suelo, dependiendo sustancialmente esta diferencia de las características del suelo. La diferencia en la resistencia de la interface es típicamente menor cuando son considerados grandes desplazamientos en la interface. Los ensayos y la experiencia han demostrado que el comportamiento de las interfaces geosintéticos/geosintéticos y suelo/geosintéticos puede ser muy complejo, recomendándose la realización de ensayos para un producto en particular y para el proyecto específico. Los ensayos de resistencia al corte de geosintéticos son llevados a cabo en un aparato de resistencia al corte de acuerdo a la norma ASTM D5321.

### 3.5.6.2. Propiedades de las Geomembranas

#### 3.5.6.2.1. Resistencia

Se mencionan dos tipos:

- **Resistencia al rasgado:** la resistencia al rasgado de muchas geomembranas no reforzadas es relativamente baja, ésta oscila entre 1,81 a 4,54 kg/m dependiendo del grosor de la geomembrana utilizada.
- **Resistencia al impacto:** el conocimiento de la resistencia al impacto es de suma utilidad, cualquier objeto en caída libre puede atravesar y penetrar la geomembrana causando grandes fallas en la permeabilidad o actuando como puntos de comienzo de ruptura o rasgado.

### **3.5.6.2.2. Permeabilidad**

Las geomembranas tienen como función principal retener sólidos o líquidos para así evitar el contacto directo de estos con el suelo. La impregnación de líquidos no significa que la geomembrana falle, pero la capacidad de impregnación tiene que estar preestablecida y cambios de ésta son un índice de deterioro de las geomembranas. Para drenar los líquidos y gases que están debajo debe conocerse el origen de los mismos que puede deberse a:

- Líquido proveniente desde cualquier reservorio que se encuentre a través del alineamiento del dique.
- El agua de los diques o el agua circundante (agua propia del terreno, condensación del vapor de agua y precipitaciones).

### **3.5.6.2.3. Porosidad**

La porosidad está directamente relacionada con el proceso de fabricación de las geomembranas ya que cualquier orificio que permita filtración hidráulica altera el comportamiento de la geomembrana y por ende los resultados obtenidos en su uso.

### **3.5.6.2.4. Rugosidad**

La rugosidad es de importancia para el diseño de la geomembrana conocer la fricción entre la geomembrana y el suelo, especialmente cuando ésta se va a utilizar para forrar rellenos, reservorios, canales, etc., Por lo tanto, mientras más rugosa sea la geomembrana, mayor será la adherencia de la misma con el suelo. La fricción suelo-geomembrana es siempre menor que la fricción suelo-suelo, siendo la de mínima fricción la manufacturada de polietileno de alta densidad y la de máxima fricción aquellas manufacturadas con caucho.

### **3.5.6.2.5. Durabilidad**

Un indicativo de durabilidad es la capacidad de impregnación de líquidos a lo largo de su vida útil. El envejecimiento o duración de las geomembranas viene dado por:

- La calidad de las mismas.
- Las condiciones climatológicas de la zona (variaciones de temperatura).
- La pigmentación de las películas.
- Los cuidados que se tengan con las mismas tanto en la fábrica como en la obra.
- El tipo de material empleado.



### 3.5.6.3. Características de las Geomembranas

- **Espesor:** puede variar entre 0,25 a 3 mm.
- **Peso:** el peso dependerá del espesor que ésta presente y se mide en gramos por metro cuadrado ( $\text{gr/m}^2$ ).
- **Color:** presentan distintos colores de acuerdo al requerimiento. Color negro: debe ser instalada bajo condiciones de alta temperatura ya que con días muy soleados puede contraerse. Color blanco: tiene dos funciones principales como son la de reflejar la radiación solar (lo que minimiza la temperatura de la lámina y por lo tanto sus dilataciones y contracciones) y la de permitir mejorar la inspección visual.
- **Forma:** se presenta generalmente en forma laminar lisa, aunque algunas veces la superficie es rugosa para así tener mayor adherencia con la superficie en la cual va a ser instalada.

### 3.5.6.4. Aplicaciones en ingeniería

- Obras de vialidad para impermeabilizar la superficie.
- Impermeabilización de túneles y sobre concreto normal o proyectado (fijación directa).
- Detección de escapes en túneles.
- Impermeabilización en minería para la contención de escorrentías para evitar la contaminación del nivel freático.
- Para asegurar la protección contra corrosión de superficies de acero y de concreto.
- Revestimiento de depósito contra contaminantes disueltos o sedimentos.
- Protección de taludes para estabilización de fallas producidas por erosión.
- Impermeabilización de lagunas para tratamiento y confinamiento de líquidos tóxicos, lagunas de riego y acuicultura, laguna para lodos de perforación y oxidación, tanques de almacenamiento en estaciones de servicio como contenedor secundario, celda de máxima seguridad para residuos sólidos de mercurio, estructuras de concreto, áreas verdes y celdas de rellenos sanitarios.

### 3.5.6.5. Procesos de Soldadura y Equipos

Las geomembranas son fabricadas en láminas largas. Siguiendo a la preparación del sitio de trabajo, estas láminas son extendidas y luego soldadas en el campo usando dos tipos de soldadura (cosido). Ambos métodos pueden producir soldaduras confiables tan fuertes y químicamente resistentes como la misma membrana.

### **3.5.6.5.1. Doble soldadura por fusión con cuña caliente**

El principal tipo de equipo de soldadura usado hoy para soldar las láminas de polietileno es un sistema de doble soldadura por fusión de cuña caliente. Provee una soldadura de excelente consistencia, reduciendo el error humano y los errores causados por la fatiga. Esta soldadora autopropulsada, de cuña caliente, se usa para soldar costuras largas y continuas y puede avanzar a velocidades de 3 a 5 metros por minuto. La unidad contiene una cuña de separación, a gran temperatura, usada para fundir el plástico a lo largo de las líneas de soldado en las láminas traslapadas. Posteriormente, las láminas de membrana son presionadas por rodillos de presión, haciendo que las dos láminas se fundan juntas.

Los parámetros críticos para fundir polietileno con una soldadora de cuña son:

- La temperatura de la cuña, la temperatura de las láminas a ser soldadas; y
- La fuerza de compresión ejercida por las ruedas de empuje.



Foto 3.1. Equipo de doble soldadura por fusión con cuña caliente

El primer objetivo del soldador es controlar que la temperatura de las superficies fundidas a ser unidas sea lo más constante posible. Usando la temperatura, presión y velocidad apropiadas, la soldadora de cuña caliente suministra una excelente soldadura homogénea con excelentes resultados en las pruebas de corte y de rasgado.

La velocidad y la temperatura de este proceso están interrelacionadas. Si se producen cambios de temperatura en los paneles que están siendo soldados, la cantidad de temperatura que se debe añadir a las láminas, para subir a la temperatura ideal, debe ser cambiada o la velocidad debe ser ajustada. La temperatura de las membranas puede variar hasta en 30°C o más entre la parte de la membrana que está en la base de un reservorio y la parte que está en los taludes. Cuando las nubes tapan los rayos solares, se producen cambios similares. Si esto causa que la temperatura de la membrana salga de los parámetros de soldadura, se requiere un cambio en la velocidad o en la temperatura de la cuña.

La presión aplicada por los rollos de empuje, ya que presionan las dos láminas juntas, determina cuanto plástico será exprimido fuera del área de soldadura y afecta la estructura de la misma.

Las condiciones para lograr una buena costura, hecha por una soldadora de cuña, son:

- Ambas áreas de material fundido deberían estar libres de cualquier línea de costura.
- El borde de los rodillos no debería cortar la membrana.
- El canal de aire debería estar abierto.
- Los anchos de las soldaduras de los dos lados, deberían ser iguales.
- El material exprimido debería ser levemente visible.

#### 3.5.6.5.2. Soldadura por Extrusión

La soldadora por extrusión suministra calor y un extruido de plástico derretido hecho de la misma materia prima de la membrana. El plástico derretido es depositado sobre el borde (filete de soldadura) o entre las dos superficies (soldadura plana) a ser soldadas. Se considera que el filete de soldadura es mucho más dificultoso que la soldadura con cuña y, consecuentemente, mucho más lento de operar que la soldadora de cuña. Sin embargo, es el único método que se puede usar para parches. Como la soldadora de cuña, la soldadora de extrusión debe ser calibrada de acuerdo a la temperatura de la lámina y del extruido.



Foto 3.2. Equipo de soldadura por extrusión

Como los parches, reparaciones de perforaciones y el trabajo de detalle son siempre necesarios, este tipo de soldadura es realizado por la soldadora de extrusión. Las superficies son unidas temporalmente con aire caliente previamente a ser soldadas. El área donde se soldará será lijada para proveer una superficie áspera para que el extruido se adhiera mejor a la superficie. Se tomará especial cuidado de no remover mucho material del panel cuando se lije.

### **3.5.6.5.2. Soldado del Polietileno**

Para ajustar el equipo correctamente, se debe realizar una prueba previa, al comienzo de cada día de trabajo y cuando el clima cambia significativamente (humedad, temperatura). Cada soldadura de ensayo es numerada claramente, identificando el soldador y el inspector.



Foto 3.3. Equipo de soldado de polietileno

### **3.5.6.6. Ensayos**

#### **3.5.6.6.1. Ensayos Destructivos**

Todas las costuras hechas de polietileno están sujetas a ser evaluadas en forma destructiva o no-destructiva. Muestras cortadas en el sitio están sujetas a pruebas destructivas, al corte y al pelado, realizadas con un tensiómetro en el lugar de trabajo. El resultado de estas pruebas refleja si los paneles han sido soldados o no en forma continua y homogénea.

#### **3.5.6.6.2. Ensayos No-Destructivas**

La prueba no-destructiva más común en las soldaduras de polietileno es la prueba de presión de aire, donde se evalúa si hay pérdidas a lo largo de la costura. La soldadura doble, usando la técnica de cuña caliente, le permite al instalador probar la costura completa con una prueba no-destructiva, fácil y confiable, de presión de aire. La prueba verificará a un tiempo, eficientemente con presión, toda la apertura entre las soldaduras, reduciendo de esa manera el tiempo total de instalación. Los dos extremos de un canal continuo de aire son soldados con el calor de un aparato de aire caliente para formar un espacio de aire sellado a ambos extremos. Se inserta una aguja afilada, con un orificio en el centro, conectada a un manómetro. Con una bomba de aire manual se infla el canal de aire hasta un nivel indicado en una tabla. Esta presión es mantenida durante cinco (5) minutos. Si el canal de aire mantiene la presión ( $kPa$ ), se supone que la soldadura ha pasado la evaluación. Se debe enviar una muestra a un laboratorio de pruebas para confirmar los resultados de terreno.



Foto 3.4. Comprobación de soldadura por extrusión

Todas las soldaduras con extrusión son comprobadas, en forma no-destructiva, con un sistema de prueba al vacío. Un sistema consistente de una caja rígida con una ventana transparente en la parte superior, con un orificio en el que se conecta un vacuómetro, para medir el vacío de la cámara, y una empaquetadura suave de neopreno adherida a los bordes de la base; otro orificio donde se conecta una llave de paso y una llave de purgado.

Se humedece con una solución jabonosa una franja de la soldadura de extrusión; se coloca la caja sobre la zona humedecida; se cierra la válvula de purgado y se abre la llave de paso que conecta a través de una manguera flexible a una bomba de vacío. Se energiza la bomba de vacío y se examina, a través de la ventana transparente la presencia de pompas de jabón. Todas las zonas donde se presentan pompas de jabón deberán ser marcadas y reparadas.



Foto 3.5. Ejemplo del empleo en impermeabilización de estanques

### **3.5.7. Geotextiles**

Los geotextiles son telas industriales porosas y permeables, tejidas o no tejidas fabricadas a partir de filamentos de poliéster o de polipropileno altos en resistencia y excelente en durabilidad empleados en la ingeniería geotécnica para diversas aplicaciones.

En su fabricación no se utilizan fibras naturales ya que éstas son biodegradables. A su vez se clasifican en dos (2) grupos:

- **Geotextiles tejidos:** están compuestos por dos grupos de filamentos paralelos sistemáticamente entrelazados para formar una estructura plana. La manera en la cual estos filamentos son entrelazados determina el tipo de tejido. Generalmente, los dos grupos de filamentos son perpendiculares pero existen telares especiales que permiten que los filamentos queden tramados en forma oblicua. Este proceso constructivo proporciona poros de abertura uniforme a las membranas.
- **Geotextiles no tejidos:** en este tipo el tramado está ausente del proceso constructivo. Constan de filamentos o fibras colocadas al azar y unidas entre si por medio de resinas, calor o métodos mecánicos tales como el punzonado con aguja. Las aberturas con estos procesos no son uniformes.

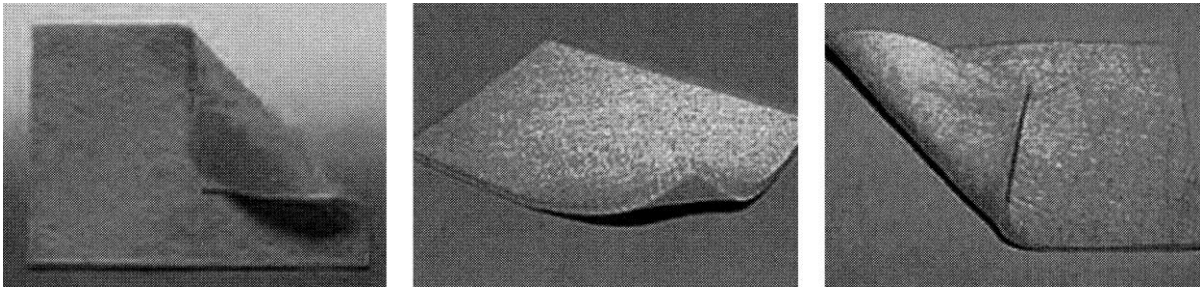


Foto 3.6. Geotextiles

### 3.5.7.1. Propiedades de los Geotextiles

#### 3.5.7.1.1 Resistencia

La resistencia es una de las propiedades más importantes ya que el geotextil se encarga de absorber los esfuerzos originados desde el momento de la instalación hasta que el material comience a cumplir la función a la cual fue destinado. Es un factor primordial para la escogencia del tipo de geotextil, ya que se necesita garantizar la resistencia del elemento ante cualquier circunstancia. La resistencia es obtenida en el proceso de fabricación variando su magnitud en cada tipo de geotextil.

#### 3.5.7.1.2. Permeabilidad

Los geotextiles pueden tener la propiedad de transmitir y conducir un flujo a través y entre su plano por lo que pueden ocurrir dos tipos de flujo: normal y planar.

- **El flujo normal** es la propiedad de todos los geotextiles, es el que se origina cuando la corriente atraviesa perpendicularmente la tela, es decir, el sintético actúa como filtro.
- **El flujo planar** es aquel que se desliza entre el plano estructural, cumpliendo el geotextil en este caso una función de drenaje laminar.

#### 3.5.7.1.3. Porosidad

Se entenderá por porosidad el tamaño y distribución de los espacios entre los filamentos que forman el geotextil. La porosidad no es una propiedad invariable entre el grupo de geotextiles, sino que depende del tipo de fibra y el proceso de fabricación de los mismos. Los tejidos tienen una distribución y tamaño de poro bastante regular, a diferencia de los no tejidos que presentan aberturas de varias formas y tamaños.

#### 3.5.7.1.4. Rugosidad

La rugosidad es la aspereza que presenta el geotextil en su superficie. Los geotextiles rugosos son convenientemente utilizados para desempeñar funciones de adherencia, refuerzo y toda aplicación que necesite una buena fricción entre la tela y los materiales. Los más utilizados son los tejidos y los no tejidos por procesos mecánicos.

### **3.5.7.1.5. Durabilidad**

Esta propiedad está directamente relacionada con el tipo de material utilizado en la manufactura de la fibra. Los geotextiles, por estar compuestos de polímeros no se descomponen biológicamente y son indigeribles; la degradación físico-química por contacto directo con suelos y químicos, no representa un problema importante. Sin embargo, los geotextiles son afectados por los rayos ultravioletas, por lo que, deben protegerse de la excesiva incidencia de los rayos solares durante su almacenamiento y en algunas fases de la construcción. Una cubierta betún asfáltico o concreto podría representar una solución para aquellas zonas en que la materia estará permanentemente expuesto a la intemperie.

### **3.5.7.2. Características de los Geotextiles**

- **Espesor:** van a depender de la función ingenieril en la cual se vayan a aplicar y puede variar entre 1,00 a 5,40 mm.
- **Peso:** viene dado según el espesor que éste posea. En cuanto a la relación peso/área, se tiene que los geotextiles no tejidos varían de 120 a 600 gr/m<sup>2</sup>, mientras que en los geotextiles tejidos varían desde 105 a 455 gr/m<sup>2</sup>.
- **Color:** los predominantes son el blanco, negro, gris y la combinación de estos.
- **Forma:** los geotextiles se presentan en forma de lámina tejida o no, en donde en ciertos casos se asemejan a una alfombra cuando el geotextil es no tejido. Cuando es tejido el geotextil, presenta una forma entrelazada asemejándose a una cuadrícula.

### **3.5.7.3. Aplicaciones en ingeniería**

- **Separación:** impide la contaminación de los agregados seleccionados con el suelo natural.
- **Refuerzo:** todo suelo tiene baja resistencia a la tensión. El geotextil, adsorbe los esfuerzos de tensión que el suelo no posee.
- **Filtración:** permite el paso del agua a través de poros, impidiendo que las partículas sólidas traspasen el geotextil.
- **Drenaje planar:** drena el agua en el plano del geotextil, evitando el desarrollo de la presión de poros en la masa de suelo en consideración.
- **Usos:** en carreteras no pavimentadas, en carreteras pavimentadas, como refuerzo y contención de suelos, estabilización de taludes y presas, para la fundación de represas, diques y otras obras hidráulicas, como refuerzo de estructuras de contención de tierras, estabilización de suelos, como refuerzo en terraplenes, para el control de erosión del suelo, ríos, taludes, costas, en recubrimiento de tuberías, vías férreas, gaviones, muelles y puentes, tratamiento de muros, túneles y embalses.
- **En rellenos sanitarios** actúan como detector de fugas o filtraciones de lixiviados. Evitan el punzonamiento de las geomembranas durante la construcción y trabajan como transmisor de fluidos o disipador de gases, evitando la explosión de las geomembranas.



### 3.5.8. Geocompuestos

Es una combinación de geotextil-geomalla, geomalla-geomembrana, geotextil-geomembrana y geotextil-geomalla-geomembrana; o cualquier combinación de estos tres materiales con otro material, como por ejemplo, tierra, láminas de plástico deformadas, cables de acero y otros. La principal razón de la existencia de los geocompuestos, es el alto rendimiento que a menudo puede ser alcanzado combinando los atributos de dos o más materiales. Las funciones básicas que desempeñan los geocompuestos son las de separación, drenaje, filtración y refuerzo.

#### 3.5.8.1. Propiedades y características de los geocompuestos

Tanto las propiedades como las características de los geocompuestos abarcan todas las mencionadas anteriormente para el resto de los geosintéticos como son la resistencia, permeabilidad, porosidad, rugosidad, durabilidad, grosor, peso, color y forma (Giroud, 1980 y Koerner, 1987).

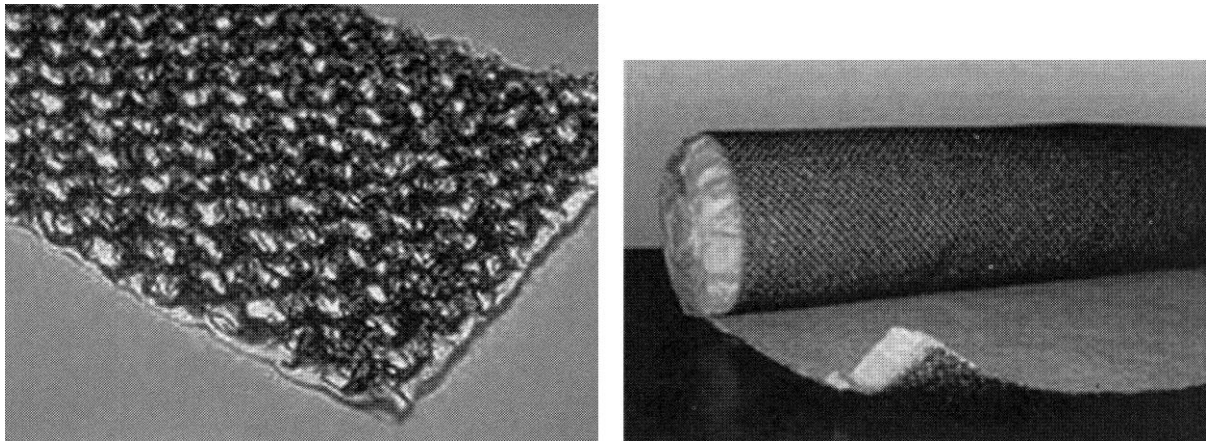


Foto 3.7. Geocompuestos

### 3.5.9. Geomallas

También llamadas georejillas, son redes generalmente fabricadas con polietileno de alta o baja densidad, también pueden ser de polipropileno, poliéster o PVC-poliéster tejido. Todas las geomallas tienen una configuración tipo malla con aperturas que van desde  $\frac{1}{2}$  pulgadas hasta 3 pulgadas (fotos 3.8 y 3.9). Tienen color incorporado y aditivo contra las radiaciones ultravioletas. Su función primordial es reforzar el suelo, aumentar la capacidad portante y la cohesión, mediante el incremento de roce de los granos del suelo con la malla. A diferencia de los geotextiles, presentan una configuración de malla abierta, a menudo son reforzadas en una o dos direcciones para así mejorar sus condiciones mecánicas.



Foto 3.8. Colocación de una Geomalla

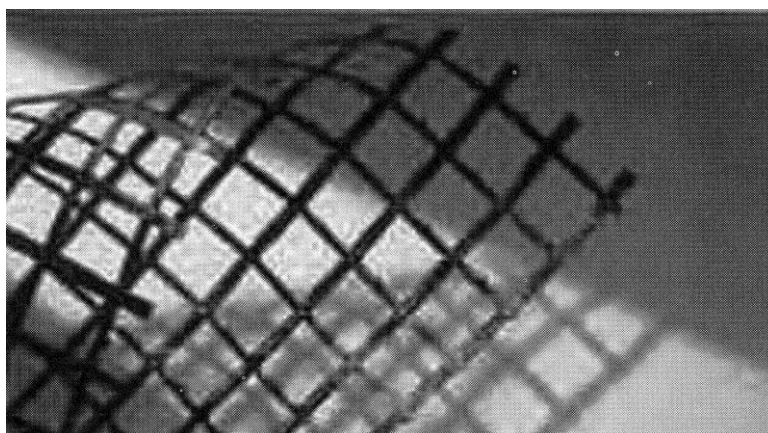


Foto 3.9. Geomalla

En los rellenos sanitarios las geomallas son empleadas como sistema de soporte sobre una subbase blanda y como soporte final en la cobertura del relleno sanitario. También son empleadas algunas veces como refuerzo entre un viejo relleno sanitario y uno nuevo.

### **3.5.9.1. Propiedades de las Geomallas**

#### **3.5.9.1.1. Resistencia**

Las geomallas poseen una buena resistencia a la tracción con aberturas desde  $\frac{1}{2}$ " a 2" de diámetro. En la resistencia juega un papel muy importante los materiales empleados para su fabricación tales como polietilenos de alta densidad y polipropilenos. El rango característico de resistencia a la tensión fabricados con distintos materiales es reportado en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4.**  
**Rango característico de resistencia de Geomallas en la dirección de máxima resistencia**

Geomalla	Resistencia a la tensión 5% de deformación (lb/in)	Resistencia a la tensión última (lb/in.)
Poliéster	750 - 2,300	2,600 - 8,500
Poliéster, PVC tejido	600 - 7,600	1,500 - 25,400
Polipropileno	50 - 110	70 - 190
Polietileno	140 - 460	300 - 810

Fuente: Sarna & Lewis (1994).

**3.5.9.1.2. Permeabilidad**

La permeabilidad está referida a una función secundaria como es la de transportar el agua lateralmente por medio de filamentos.

**3.5.9.1.3. Durabilidad**

La foto-oxidación, la oxidación térmica y el ataque químico son las tres formas prevalentes de degradación molecular de las geomallas lo cual incide directamente en la durabilidad de la misma. Las características de envejecimiento a largo plazo y durabilidad de la geomalla son de extrema importancia, especialmente para aplicaciones al aire donde la resistencia a la radiación ultravioleta es esencial.

**3.5.9.2. Características de las Geomallas**

Espesor: varía entre 3 a 6,3 mm, en donde la de mayor espesor es usada especialmente en aplicaciones de drenaje de los sistemas de impermeabilización, mientras que la de menor espesor es usada para la estabilización y refuerzos de suelos.

**3.5.9.2.1. Peso**

Es medido en gramos por metro cuadrado ( $gr/m^2$ ) y oscila entre 450 a 810  $gr/m^2$  según sea el tipo de geomalla y el uso al cual va a ser destinada.

**3.5.9.2.2. Color**

Los colores usados según Normas Internacionales para señalar tuberías enterradas son presentados en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5.**  
**Color de Geomallas**

Color	Tipo de Tubería Enterrada
Amarillo	Gas

Azul	Agua
Rojo	Electricidad
Verde	Teléfono

Cabe destacar, que el color negro cumple con una función adicional respecto a los otros colores, éste actúa como colorante pero adicionalmente contribuye a preservar la vida útil del material.

### **3.5.9.2.3. Forma**

Presentan aberturas que van desde ½" hasta 3" de diámetro. Estos orificios son en forma de elipses alargadas o cuadrados con esquinas redondeadas o redondas.

### **3.5.9.3. Aplicaciones en ingeniería**

- Refuerzo de bases de carreteras y de pavimentos asfálticos.
- Muros de gaviones y de tierra reforzada.
- Refuerzo de concreto.
- Tuberías enterradas.
- Reforestación y protección de taludes.
- Cercas de seguridad.
- Disminución del peso del relleno.
- Refuerzo de terraplenes y presas de tierra.
- Reparación de fallas por deslizamiento.
- Construcción de colchones para rellenos en suelos blandos.
- Aplicaciones de drenajes de los sistemas de impermeabilización simple o doble protección (máxima seguridad) de lagunas en rellenos sanitarios o de seguridad.

## **3.5.10. Barreras de geosintéticos con arcilla o GCL – Geosynstetic clay liner**

### **3.5.10.1. Historia**

El uso de los geosintéticos con arcilla (GCL) como una categoría independiente de los geosintéticos es muy reciente. Al parecer se usó por primera vez en Estados Unidos en un relleno de desechos sólidos en 1988 como respaldo de una geomembrana; el producto usado fue el Claymax - una mezcla de arcilla bentónica mezclada con un adhesivo para unirla a dos geotextiles, uno debajo (el substrato) y el otro de encima (el superestrato). Casi al mismo tiempo, se fabricó en Alemania un producto diferente, llamado Bentofix, colocando polvo de bentonita entre dos geotextiles y

perforando el sistema conjunto con aguja. La bentonita tiene una baja conductividad hidráulica (o permeabilidad). La bentonita es un componente crítico de los geosintéticos con arcilla y permite que tengan una baja permeabilidad. La bentonita es extraída de yacimientos minerales de arcilla las cuales son extremadamente hidrofílicas. Cuando esta es colocada en la proximidad del agua (o vapor de agua), la bentonita atrae las moléculas de agua en una configuración compleja colocándola como agua libre en los espacios vacíos. La permeabilidad de la mayoría de las bentonitas sódicas está en el rango de  $1 \times 10^{-9}$  a  $5 \times 10^{-9}$  cm/s.

Otros nombres para los GCL incluyen “mantos de arcilla”, “carpetas de bentonita” y “mantos de arcilla bentonítica prefabricados”. La función ingenieril de los GCL es como, barrera hidráulica para el agua, lixiviados u otros líquidos. Como tales, los GCL se usan en remplazo de los revestimientos de arcilla compactada o de las geomembranas, o se usan de una manera compuesta para mejorar los materiales de revestimiento más tradicionales. Las diferencias entre las GCL y barreras de arcilla compactada son presentadas en la tabla 3.6.

Se manufacturan varios productos de geosintéticos con arcilla, los cuales podemos enumerar a continuación:

- Bentonita pegada entre dos capas de geotextil;
- Bentonita cosida entre dos capas de geotextil;
- Bentonita perforada entre dos capas de geotextil; y
- Bentonita pegada entre dos capas de geomembrana.

**Tabla 3.6.**  
**Diferencias entre barreras de geosintéticos con arcilla y barreras de arcillas compactadas**

Característica	Barreras de geosintéticos con arcilla	Barreras de arcillas compactadas
Materiales	Arcilla bentonítica, adhesivos, geotextiles y geomembranas	Suelo natural o mezcla de suelos y bentonita
Construcción	Manufacturado y entonces es instalado en el terreno	Construida en el terreno
Espesor	Aproximadamente de 10 mm	Aproximadamente de 0.5 a 1.0 mm
Conductividad hidráulica de las arcillas	$10^{-10}$ a $10^{-8}$ cm/s (característica)	$10^{-8}$ a $10^{-7}$ cm/s (característica)
Velocidad y casos de construcción	Rápida, instalación sencilla. Esencialmente seca, no puede desecarse durante la construcción y no produce consolidación.	Lenta, construcción complicada. Cercana a la saturación, puede desecarse y puede producir consolidación.
Costo	\$5 a \$11 por m <sup>2</sup>	Altamente variable (rango estimado : 8\$ a 32\$ por m <sup>2</sup> )

Nivel de experiencia	Limitado debido a lo innovador	Ha sido empleado por muchas décadas
----------------------	--------------------------------	-------------------------------------

Fuente: USEPA (1993).

### **3.5.10.2. Fabricación**

Actualmente, se encuentran disponibles cinco GCL. Además de los productos antes mencionados, existen: el Bentomat, con dos geotextiles perforados con aguja en conjunto, conteniendo polvo de bentonita entre ellos; Gundseal, que usa un adhesivo para unir el polvo de bentonita sobre una geomembrana de HDPE o VFPE; NaBento, que consta de dos geotextiles que contienen polvo de bentonita y están unidos por puntos; y otros. Todos los productos de GCL fabricados en Norteamérica utilizan arcilla de bentonita sódica en la masa por área unitaria de 3.2 a 6.0 kg/m<sup>2</sup>. El espesor de la arcilla oscila entre 4.0 a 6.0 mm. La conductividad hidráulica (permeabilidad) está típicamente en el rango de  $1 \times 10^{-11}$  a  $5 \times 10^{-11}$  m/s. Los diferentes productos llegan al sitio de trabajo en un estado de humedad equilibrado que varía de 10 a 18%. A esto se refiere a veces en la literatura técnica como al estado "seco". Los tipos de geotextiles utilizados con los diferentes productos varían ampliamente en su fabricación (por ejemplo, no tejidos perforados con aguja, película rasurada tejida, lanzado y compuestos) y en su masa por área unitaria (varía de 85 g/m<sup>2</sup> a 600 g/m<sup>2</sup>). El producto particular, con un respaldo de geomembranas también puede variar en cuanto a su tipo, espesor y textura de la superficie.

Los GCL se fabrican con anchos entre 4.0 a 5.2 m y largos de 30 a 60 m. Luego de la fabricación, son enrollados en un núcleo y son cubiertos con una película plástica para evitar la absorción de humedad (hidratación) durante el almacenamiento, transporte y colocación antes de su cobertura final con una capa superior.

### **3.5.10.3. Usos Actuales**

Los GCLs son barreras hidráulicas usadas para detener el movimiento de líquidos y como tales, son competitivos en donde se usen geomembranas y revestimientos de arcilla compactada. No obstante, se ha encontrado que los GCL son únicos por derecho propio, en las siguientes aplicaciones:

- Debajo de geomembranas en revestimientos primarios de rellenos.
- Debajo de geomembranas en revestimientos secundarios de rellenos.
- Debajo de geomembranas y encima de revestimientos de arcilla en rellenos (es decir, revestimientos de tres componentes)
- Debajo de geomembranas en cubiertas de terraplén.
- Adyacentes a geomembranas en cortes verticales
- Encima de geomembranas como una protección contra el punzonamiento de gravas gruesas

- Como una porción de un revestimiento de arcilla compactada en revestimientos primarios compuestos.
- Como una porción de un revestimiento de arcilla compactada en revestimientos secundarios compuestos.
- Como revestimientos secundarios para tanques de almacenamiento subterráneos.
- Como revestimientos únicos para estanques superficiales.
- Debajo de una geomembrana como un revestimiento compuesto para estanques
- Debajo de geomembranas como revestimientos compuestos para pozas de lixiviación.
- Como revestimientos para canales.

**3.5.10.4. Producción mundial de geosintéticos con arcilla**

El uso de los GCL ha cambiado del concepto a la aplicación quizás más rápidamente que cualquier otro material geosintético. Se calcula que en 1995 se instalaron en Norteamérica aproximadamente 50 M metros<sup>2</sup>.

**3.5.11. Propiedades ingenieriles de los geosintéticos**

Existe una multitud de propiedades ingenieriles que son de nuestro interés cuando empleamos geosintéticos en los rellenos sanitarios. Muchas de ellas están relacionadas con la habilidad de los geosintéticos a trabajar como barrera o como vías de migración de los líquidos y gases. La mayoría de las propiedades de nuestro interés son dadas en la tabla 3.4. Sin embargo, desde el punto de vista de estabilidad de un talud, el comportamiento friccional de estos materiales y entre estos materiales y otros materiales es de suma importancia. Esta propiedad es conocida como fricción de interface. Las posibles interfaces que son de nuestro interés en los análisis de estabilidad de taludes de un relleno sanitario son:

- Suelo/geotextil
- Suelo/geomembrana
- Geosintético/Geosintético
- Geosintético/Barrera de arcilla

Los ángulos de fricción interfacial pueden ser medidos en el laboratorio empleando la norma ASTM D-5321. Empleando este método, cada combinación de materiales puede ser ensayada. Existe numerosa información disponible en la literatura, como es mostrado en las tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10.

**Tabla 3.7.**  
**Principales propiedades de los geosintéticos**

Geosintético	Principales propiedades	Métodos de ensayos
--------------	-------------------------	--------------------

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

Geomembranas	Espesor	ASTM D 374, D 751, D 1593
	Comportamiento a la tensión	ASTM D 412, D 638, D 882, D 4885
	Resistencia al desgarramiento	ASTM D 1004
	Resistencia al punzonamiento	FTMS 101C
	Resistencia química	USEPA 9090
	Resistencia a la costura	ASTM D 4437
Geotextiles	Espesor	ASTM D 177, D 5199
	Comportamiento a la tensión	ASTM D 4632, D 4595
	Resistencia al desgarramiento	ASTM D 3786
	Comportamiento Bursting	ASTM D 4533
	Tamaño aparente de abertura	ASTM D 4751
	Permeabilidad	ASTM D 4491
	Transmisividad	ASTM D 4716
	Resistencia a la costura	ASTM D 1683, D 4884
Geocompuestos	Espesor	ASTM D 1777, D 5199
	Resistencia al arrugamiento	ASTM D 1621
	Transmisividad	ASTM D 4716
Geomallas	Resistencia a la tensión (vea también geomembranas y geotextiles)	ASTM D 4595
Geosintéticos arcillosos (GCLs)	Se deben revisar las especificaciones individualmente de cada geosintético arcilloso, incluyendo los ensayos de laboratorio para las arcillas y los geosintéticos.	

**Tabla 3.8.**  
**Rango característico de ángulos de fricción reportados entre suelo/geotextil**

Geotextil	Ángulo de fricción con arena (Grados) (Eficiencia)		Ángulo de fricción con arcilla (Grados) (Eficiencia)	
	Woven	23-42	(0.68-1.0)	16-26
Nonwoven, needle-punched	25-44	(0.67-1.0)	15-28	(0.62-0.99)
Nonwoven, resin- or heat-	22-40	(0.56-0.91)	17-33	(0.60-0.85)



bonded				
--------	--	--	--	--

Fuente: Sharma & Lewis (1994).

**Tabla 3.9.**  
Rangos característicos de ángulos de fricción reportados entre suelo/geomembrana

Geomembrana	Ángulo de fricción reportado para arena (grados) (Eficiencia)	Ángulo de fricción $\delta$ recomendado para arena (grados)	Ángulo de fricción reportado para arcilla (grados) (Eficiencia)	Ángulo de fricción $\delta$ recomendado para arcilla (grados)
PVC	21-33 (0.62-0.93)	20-30	6-39 (0.53-1.0)	6-15
HDPE	17-28 (0.45-0.81)	17-25	5-29 (0.47-0.88)	5-10
Textured HDPE	30-45 (0.86-1.0)	30-40	7-35 (0.70-1.0)	9-15
VLDPE <sup>2</sup>	21-28 (0.62-0.67)	-	-	-

Fuente: Sharma & Lewis (1994).

**Tabla 3.10.**  
Rangos característicos de ángulos de fricción reportados entre geosintético/geosintético

	PVC	HDPE suave	HDPE texturizado	Geomalla
Geotextil tejido	10° -28°	7° -11°	9° -17°	9° -18°
No tejido, geotextil perforado con aguja	16-26°	8° -12°	15° -33°	10° -27°
No tejido, geotextil pegado con resina caliente	18° -21°	9° -11°	15° -16°	17° -21°
Geomalla	1° -24°	5° -19	7° -25°	-

Fuente: Sharma & Lewis (1994).

### 3.5.12. Comparación de Geomembranas de PVC y HDPE

Los modernos rellenos de desechos sólidos y a los rellenos sanitarios peligrosos se les exigen tener un sistema de revestimiento de conducción hidráulica y drenaje, consistente en materiales de geosintéticos (geomembranas, geotextiles, redes de geomembranas y compuestos de geomembranas) y arcilla compactada. Un corte transversal de un relleno sanitario típico consiste en

<sup>2</sup> Ya que el VLDPE es un producto nuevo, no hay datos reportados en la literatura

varias capas de suelos y productos geosintéticos. La estabilidad de estos 'taludes' se controla mediante la resistencia al corte en las numerosas interfaces en dicho compuesto de revestimiento. Las superficies de contacto críticas incluyen suelo vs. Geomembrana, tierra vs. Geotextil, geomembrana vs geotextil y geomembrana vs. Geomalla. La resistencia de cada una de estas superficies de contacto tiene que ser determinada después de realizar una cuidadosa prueba de los materiales específicos del lugar. La experiencia y la confianza obtenida de los resultados de estas pruebas en diferentes materiales y suelos son de gran valor para los diseñadores. Dichos datos otorgan las bases para aplicar un mejor juicio en el diseño.

Las geomembranas son un componente crítico en los diseños modernos de rellenos sanitarios, ya que tienen que desarrollar las funciones de barrera contra la humedad en el sistema de contención. En la actualidad, se están utilizando una gran variedad de geomembranas. La diferencia básica entre ellas es el material y/o el método de fabricación. Los tipos de material usados comúnmente son el PVC (Cloruro de Polivinilo) y el HDPE (Polietileno de Alta Densidad).

**Tabla 3.11.**  
**Resultados de los ensayos de corte directo bajo condiciones hidráulicas variables**

Fluido	Tipo de geosintético con arcilla GLC	Propiedad medida	Dry b	Constrained Swell`	Free Swell
Agua destilada	Claymax	$\phi$ (grados) c (kPa)	37 6.9	16 3	0 4
	Gundseal	$\phi$ (grados) c (kPa)	26 50	19 5	0 3
	Bentomat	$\phi$ (grados) c (kPa)	42 14	37 6	23 5
	Bentofix	$\phi$ (grados) c (kPa)	36 68	31 7	10 9.0
Agua	Claymax	$\phi$ (grados) c (kPa)	37 6.9	18 3	0 3
	Gundseal	$\phi$ (grados) c (kPa)	26 50	18 5	0 3
	Bentomat	$\phi$ (grados) c (kPa)	42 14	43 6	26 10
	Bentofix	$\phi$ (grados) c (kPa)	36 68	34 6.9	15 7
Lixiviados no agresivos	Claymax	$\phi$ (grados) c (kPa)	37 6.9	24 6	4 3
	Gundseal	$\phi$ (grados) c (kPa)	26 50	18 5	13 4
	Bentomat	$\phi$ (grados) c (kPa)	42 14	39 8.3	25 14
	Bentofix	$\phi$ (grados)	36	43	20

		c (kPa)	68	5	12
Lixiviados agresivos	Claymax	$\phi$ (grados)	37	19	0
		c (kPa)	6.9	6	3
	Gundseal	$\phi$ (grados)	26	13	0
		c (kPa)	50	7.6	3
Bentomat	$\phi$ (grados)	42	45	32	
	c (kPa)	14	5	12	
Bentofix	$\phi$ (grados)	36	39	30	
	c (kPa)	68	4	8.3	
Combustible diesel	Claymax	$\phi$ (grados)	37	44	38
		c (kPa)	6.9	4	6
	Gundseal	$\phi$ (grados)	26	24	29
		c (kPa)	50	4	6
Bentomat	$\phi$ (grados)	42	42	40	
	c (kPa)	14	6	5	
Bentofix	$\phi$ (grados)	36	51	46	
	c (kPa)	68	4	5	

Fuente: USEPA (1993)

La falla friccional en las superficies de contacto de la geomembrana ha sido identificada como la causa de numerosas fallas de taludes revestidos con geosintéticos. Como resultado, la resistencia friccional en la superficie de contacto de cualquier interfaz de la geomembrana tiene que ser determinada con el máximo cuidado. Se recomienda que siempre que sea posible, que la resistencia a la fricción en la superficie de contacto para una combinación geomembrana-suelo, sea determinada en forma experimental, sin seleccionar el uso de los valores generalizados para suelos similares de los datos publicados (Koerner, 1994). Se han practicado pruebas en forma extensiva al corte directo, de adherencia y al desgarro alrededor de los anillos, principalmente en las superficies de contacto suelo-geomembrana, con el fin de caracterizar sus resistencias (Koerner et al, 1986; Seed et al., 1988; O'Rourke et al., 1990; Takasumi et al., 1991; Stark and Poepfel, 1994).

Se ha realizado un número limitado de programas de ensayos que han intentado delinear una comparación general entre las geomembranas de PVC y de HDPE. O'Rourke (1990) informó que a mayor rigidez o dureza de la geomembrana, como es el caso del HDPE, es menor el ángulo de fricción, en comparación con una membrana flexible, tal como el PVC. Martin et al., (1984) realizaron pruebas al geotextil contra la fricción en la superficie de contacto de la geomembrana utilizando una geomembrana muy lisa y flexible, como la Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM), una geomembrana de PVC de mediana rigidez y una geomembrana dura, como la HDPE.

Las geomembranas de PVC tienen un comportamiento de fricción en la superficie de contacto único cuando se las compara con otras geomembranas debido a su flexibilidad. Sin embargo, se hace necesario una comparación sistemática entre las geomembranas de PVC y de HDPE con el fin de expandir los conocimientos de referencia.

### **3.5.12.1. Diferencias entre el PVC y el HDPE**

El PVC y el HDPE tienen diferentes propiedades mecánicas y físicas, así como también, diferencias en su aplicación en terreno. Sin embargo, dependiendo de su aplicación específica, ambas han sido ampliamente utilizadas en muchísimas aplicaciones. Algunas de las mayores diferencias entre estos dos materiales son:

Las Geomembranas de PVC son flexibles y relativamente fáciles de manipular, mientras que las Geomembranas de HDPE son duras y no-flexibles.

Las geomembranas de HDPE tienden a exhibir un punto máximo demasiado alto en su curva de resistencia a la deformación y por lo tanto, tienden a sufrir una falla relativamente abrupta, en cambio, el PVC es sometido a una gran cantidad de elongación antes de fallar.

Se ha reconocido en forma universal que el sellado en terreno es potencialmente el aspecto más problemático en la construcción del revestimiento. Debido a su flexibilidad, es posible realizar la mayoría de las uniones del PVC bajo condiciones-controladas en la planta de elaboración debido a que se pueden doblar fácilmente. Las geomembranas de HDPE, sin embargo, todavía necesitan ser unidas en terreno. Un revestimiento de PVC puede requerir hasta un 20 por ciento menos de uniones en terreno que las que requiere un revestimiento de HDPE (Pegas, 1992).

### **3.3.13. Anclajes de los geosintéticos**

Adicionalmente a la selección de los tipos y combinaciones de geomembranas apropiados, en el proyecto se deben especificar los detalles de cómo estos geosintéticos serán colocados y las medidas preventivas para evitar su rotura, Como se muestra en la figura 3.9 los anclajes pueden clasificarse generalmente como planos, rectangulares o en forma de V. La selección de la configuración apropiada de anclaje en un sitio en particular depende de la repetencia del geosintético, consideraciones de acceso, limitaciones de tamaño y equipo de construcción disponible. La capacidad de soporte del anclaje es desarrollada por la aplicación de una carga normal de suelo colocado sobre el geosintético, que crea una resistencia friccionante entre el geosintético y el suelo que está debajo del geosintético. Por lo tanto existe una resistencia friccionante mínima desarrollada entre el suelo que está en la parte superior del geosintético que también evita que éste se mueva. La profundidad de suelo, tipo de suelo, así como cualquier otro material que se encuentre por debajo del geosintético y la longitud de anclaje del geosintético serán por lo tanto factores claves en el desarrollo del anclaje requerido.

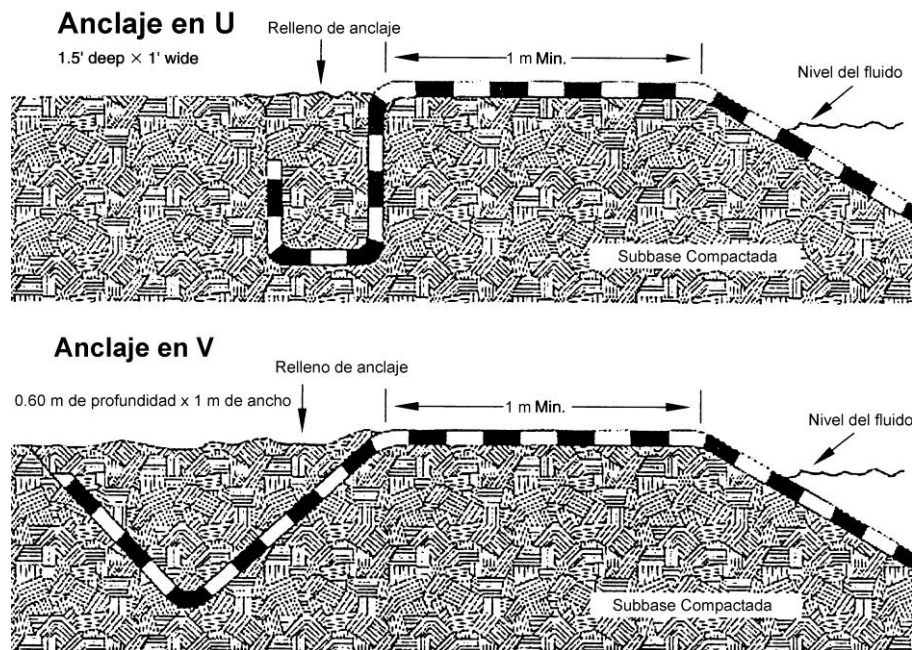


Figura 3.9. Configuraciones características de anclajes de geosintéticos

### 3.6. GEOSINTÉTICOS EN RELLENOS SANITARIOS Y PROPIEDADES INGENIERILES

Hasta la mitad del siglo XX, los rellenos sanitarios no requerían sistemas de aislamientos. Los desechos eran descargados directamente sobre el suelo natural y era recubierto lo mejor posible y posteriormente de volvía a revegetar. Las regulaciones ambientales ahora impone requerimientos muy específicos de sellos de capas múltiples (Figura 3.10) en la fundación y en la cobertura final del relleno. Concurrentemente con estas regulaciones ambientales rígidas, el empleo de los geosintéticos ha permitido cumplirlas a cabalidad. Los geosintéticos, son materiales que en su mayoría son plásticos, los cuales son comúnmente empleados, para mejorar las propiedades de los suelos naturales. Los sistemas de sellos o barreras y de cobertura de un relleno sanitario requieren una amplia variedad de geosintéticos los cuales incluyen las geomembranas, geotextiles, las geomallas, los geocompuestos y los sellos geosintéticos de arcilla (GCL).

La denominación de geosintéticos abarca toda la familia de materiales sintéticos que en contacto con la tierra van a facilitar y mejorar la vida útil de la obra. “GEO” por su aplicación directa sobre suelos y rocas y “SINTÉTICOS” por ser fabricados exclusivamente de productos no naturales y que por sus características físicas, químicas y mecánicas han surgido como una excelente alternativa en el diseño de obras civiles.

Sus numerosas aplicaciones usualmente envuelven estabilidad y refuerzo. Los geosintéticos estabilizan el suelo, ya sea que éste se encuentre por debajo de una carretera de acceso limitado o de una calzada. Ellos ayudan a mantener los arroyos y ríos en sus cursos y los sedimentos fuera de los drenajes subterráneos. También ayudan a que los paisajes creados mantengan su forma.

En breve, los geosintéticos serán usados donde la humanidad ha alterado la naturaleza - en construcciones, debajo de un campo de golf o sobre la ribera de un río donde tantos pies han pisado. Ellos revisten lagunas artificiales para mantener el agua en su lugar y para sacarla de donde no se necesita o se desea. Los geosintéticos se han desarrollado para controlar o corregir la naturaleza que el hombre ha degradado.

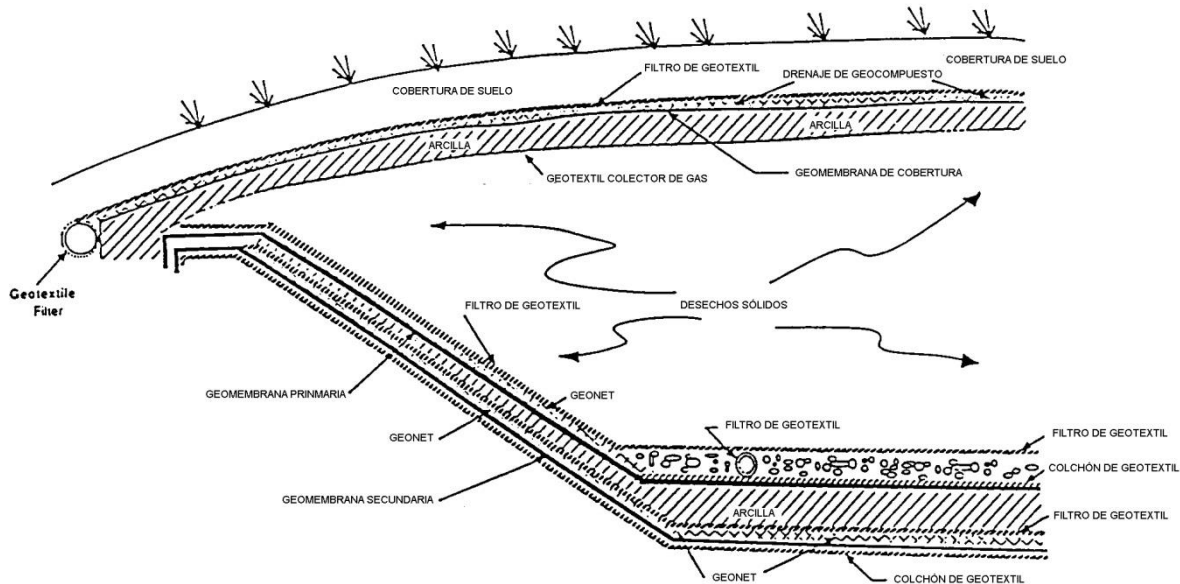


Figura 3.10. Barreras características y sistemas de recubrimiento

### 3.7. SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE LOS DESECHOS EN EL VERTEDERO

El requisito más importante de un vertedero de desechos contaminantes es seguramente la capacidad de aislarlos respecto al contexto natural en el cual se hallan acumulados y que dicha capacidad se conserve indefinidamente.

Por tal motivo, la mayor parte de los estudios llevados a cabo sobre los vertederos conciernen precisamente a los sistemas y materiales utilizados para prevenir la salida de elementos contaminantes de la cuenca de recolección de los desechos y limitar lo más posible la penetración de las aguas meteóricas en él, después de su llenado y cierre por la parte superior.

#### 3.7.1. Barreras de arcilla

Para mejorar los sellos de geomembranas se utiliza arcillas compactadas. Los suelos presentan arcillas naturales, arcillas limosas, arcillas arenosas y limo arcilloso. La conductividad hidráulica de una capa de arcilla depende del tipo de arcilla, considerando la mineralogía de la arcilla, granulometría y límites de plasticidad.

También se puede añadir una mezcla de bentonita a los suelos naturales para reducir la conductividad hidráulica y aumentar la capacidad de absorción de los materiales autóctonos. La bentonita se añade a los suelos autóctonos utilizando de un 5 a 15% en peso seco. Esta arcilla

añadida varía el suelo natural a un suelo arcilloso de alta plasticidad. La mezcla suelo-bentonita se compacta dando lugar a un sello de conductividad baja.

Las barreras de arcilla son construidas en capas delgadas, que después de su compactación tiene un espesor de 0.15 m. La inclinación de las capas es muy pequeña o casi plana con una relación 3H: 1V.

Para garantizar que el apoyo del relleno sanitario estará sobre un suelo impermeable, se acostumbra y además es norma del MARNR, colocar una capa de arcilla que en las celdas para desechos normales deberá tener una permeabilidad no mayor a  $10^{-7}$  m/s y en la celda para desechos específicos una permeabilidad menor o igual a  $10^{-6}$  m/s. Sobre esta capa se apoyarán los geotéxtiles y geomembranas impermeables que garanticen la estanqueidad del relleno y donde se coloca la capa de grava que servirá de medio para llegar a los colectores de lixiviados, así mismo se recomienda que el material de las barreras de arcilla tengan las siguientes características:

- Porcentaje mínimo de finos desde 30 al 50%
- Índice de plasticidad mínimo del 7 al 15%
- Porcentaje máximo de grava del 20 al 50%
- Tamaño máximo de la partícula desde 25 a 50 mm

El porcentaje de finos es definido como el porcentaje en peso de partículas secas que pasan la malla N° 200, la cual tiene una abertura cuadrada de la malla de 0.074 mm determinado por la norma ASTM D422. El índice de plasticidad, es definido como el límite líquido menos el límite plástico, puede ser determinado de acuerdo a la norma ASTM D4318. El porcentaje de grava es definido como el porcentaje en peso seco retenido en la malla N° 4 (de una malla cuadrada con una abertura de 4.76 mm).

Las barreras de arcilla deben ser dúctiles, particularmente cuando son empleadas en recubrimientos finales (a fin de que pueda asimilar los asentamientos diferenciales), y deben ser resistentes al fracturamiento por causa de las variaciones de humedad, es decir, desecación. Las mezclas de arena-arcilla, son ideales si se requiere una buena resistencia al encogimiento y la desecación. La ductilidad es lograda evitando emplear suelos densos y secos los cuales tienden a ser frágiles.

Si no existen materiales arcillosos localmente, pueden emplearse arcillas comerciales, como la bentonita, las cuales tienen una baja conductividad hidráulica.

### **3.7.2. Parámetros de diseño para la impermeabilización de rellenos sanitarios**

El requisito más importante de un relleno sanitario es la capacidad de aislar los residuos sólidos con respecto al contexto natural en el cual se hallan acumulados, y que dicha capacidad se conserve indefinidamente. Por tal motivo la mayor parte de los estudios realizados sobre rellenos conciernen precisamente a los sistemas y materiales utilizados para prevenir la salida de elementos contaminantes de la cuenca de recolección de residuos sólidos, y limitar lo más posible la penetración de las aguas meteóricas en él, después de su llenado y cierre por la parte superior.

### **3.7.2.1. Impermeabilización del fondo y las paredes del relleno**

Respecto a este punto, la condición ideal sería una cuenca realizada en una formación naturalmente impermeable, es decir, constituida por arcillas muy consolidadas. Puesto que una condición tan favorable no suele ser frecuente, por lo general hay que recurrir a barreras artificiales y naturales. El sistema más difundido es el de una capa de terreno natural arcilloso al cual se sobrepone directamente materiales geosintéticos

El objetivo del sellado es proporcionar una barrera que minimice la migración de contaminantes. Un sellado con un 100% de eficacia evitará que los constituyentes químicos migren al ambiente aunque ningún sello presenta 100% de eficacia, razón por la cual debe realizarse un diseño adecuado para cada situación.

La recolección de lixiviado es necesaria, dado que inevitablemente se genera. Por lo tanto, la parte inferior del relleno consta de capas alternas de materiales que actúan como barreras para los contaminantes que intenten migrar fuera del relleno, y capas que permiten la recolección de estos contaminantes a través de un sistema diseñado para ello.

El lixiviado percola hacia la base del relleno debido a la fuerza de gravedad. Las fuerzas de filtración hacen que el lixiviado transporte materia en suspensión (sólidos en suspensión) junto con constituyentes disueltos. En la base de la instalación, el lixiviado primero atraviesa una zona de filtrado. Dicha zona puede ser un geotextil y/o grava y arena de buena granulometría a través de las cuales se filtran las partículas. El filtro separa el residuo de la zona de drenaje relativamente libre que rodea las tuberías de recolección de lixiviados. En esta zona primaria, el lixiviado se encuentra libre para discurrir al sistema de tuberías de eliminación por tratamiento. Como el flujo que atraviesa el sello es proporcional a la carga hidráulica en el sello, se minimiza mediante un diseño apropiado del sistema de recolección de lixiviados, teniendo en cuenta la separación entre tuberías, tamaño de las mismas, material de drenaje y pendiente.

La capa barrera primaria subyace cubriendo completamente la zona primaria. Esta barrera debe ser de material sintético, geomembrana.

La zona secundaria de recolección de lixiviados funciona de una manera muy similar al sistema primario y se encuentra por debajo de la capa barrera. Dada la eficacia del sello primario, el sistema secundario maneja un volumen considerablemente reducido de lixiviados. Por debajo del sistema secundario existe todavía otra geomembrana, llamada capa barrera secundaria, sirviendo como barrera hidráulica que previene el flujo descendente de los contaminantes y permite al sistema secundario tomar lixiviado.

Por debajo del sistema completo primario y secundario de impermeabilización y recolección de lixiviados subyace una tercera barrera normalmente constituida de material natural de arcilla compactada o arcilla mezclada con subsuelo natural (Figuras 3.11 y 3.12), la misma se necesita para controlar aquellos contaminantes que pudieran haber atravesado los sistemas anteriores.



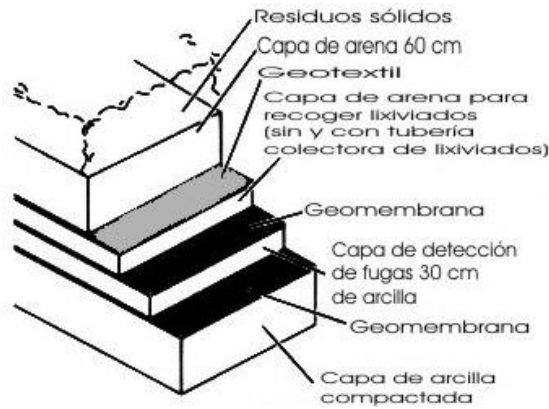


Figura 3.11. Configuración Típica del Recubrimiento del Fondo de un Relleno Sanitario

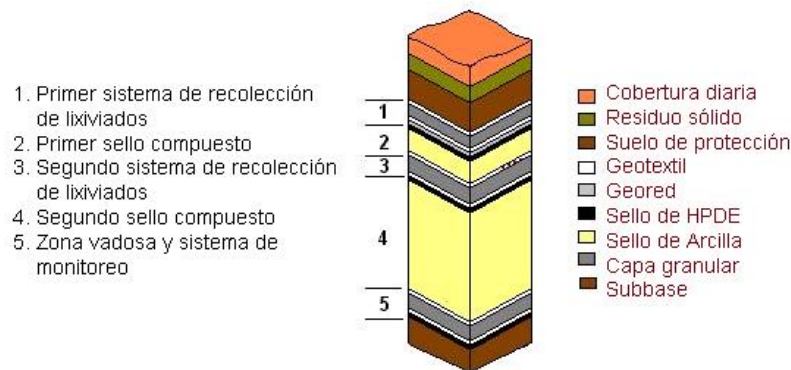


Figura 3.12. Sistema de sellos en la base de un relleno sanitario

Las especificaciones establecidas en la Legislación Venezolana para el diseño de un sellado de los rellenos de seguridad, contemplan un solo nivel de recolección de lixiviados y señala las siguientes características: la capa de terreno arcilloso natural debe tener un espesor mínimo de 1,5 m conformado por seis (6) capas de material previamente humedecido y compactado, de igual modo debe cumplir con los siguientes aspectos: un coeficiente de permeabilidad inferior o igual a  $10^{-9}$  m/s, ser calificado bajo el sistema AASHO, el % de paso al través de un tamiz N° 200 debe ser mayor al 30% (Test ASTM D-1140 o COVENIN equivalente), la plasticidad debe ser mayor o igual a 15 unidades (Test ASTM D-424 o COVENIN equivalente), el *pH* debe ser igual o mayor que siete (7).

### 3.7.2.2. Cobertura del relleno

El diseño de la cobertura final debe considerar los siguientes aspectos: higiene, seguridad, estética y utilización de la zona tras la clausura junto con los requisitos ingenieriles como permeabilidad, compresibilidad y resistencia. Se consideran los siguientes aspectos después de la clausura:

- Control del movimiento del agua en el relleno para minimizar la generación de lixiviados.
- Control de animales y vectores que puedan introducir enfermedades en el ecosistema.

- Protección de la población de los peligros del contacto directo con el residuo.
- Control del movimiento de gases para evitar alteraciones significativas en la calidad del aire.
- Minimización del potencial inflamable para evitar emisiones a la atmósfera y daños en los componentes del relleno.
- Asegurar la estabilidad completa de la cobertura en las pendientes laterales del relleno, ya que la inestabilidad en éstas puede producir movimientos de masas de contaminantes al ambiente.
- Control de escorrentía de aguas superficiales.
- Resistencia a la erosión.
- Control de residuos sólidos transportados por el viento.
- Minimización de olores desagradables.

La cobertura final debe proporcionar un soporte estructural a la cubierta vegetal y soportar las cargas impuestas por el tráfico del lugar como lo son los vehículos de mantenimiento.

Generalmente la capa de soporte vegetal consiste de un material margoso-limoso orgánico (horizonte de suelo orgánico) utilizado como soporte de la vegetación. La vegetación realiza importantes funciones en la cobertura del relleno, tales como:

- Reduce la erosión.
- Reduce la infiltración de la precipitación.
- Favorece la evaporación, devolviendo la humedad absorbida del horizonte de suelo a la atmósfera, lo que reduce aun más la infiltración.

La capa de drenaje lateral se sitúa bajo la capa de soporte vegetativo, pudiendo emplearse grava de granulometría gruesa, georedes o geocompuestos. El objetivo de esta capa es favorecer el drenaje lateral de cualquier precipitación que se infiltre a través de la zona vegetativa. Con una adecuada nivelación de la capa de drenaje lateral también minimiza la carga hidráulica de la capa barrera subyacente. Como resultado, se reduce la infiltración de la precipitación. La capa de drenaje lateral y la capa de soporte vegetativo operan en conjunto para proteger a las capas subyacentes de las tensiones ambientales de humectación/desecación.

La capa de drenaje lateral puede contar también con tuberías y sistemas de recogida de agua. Se puede situar un filtro geotextil bajo el horizonte de suelo orgánico y sobre la capa de drenaje lateral subyacente. El geotextil sirve para mantener la separación entre las capas y actúa como un filtro minimizando la migración de materiales. Si los finos del horizonte de suelos migran hacia la grava, la capa del horizonte de suelo reduce su capacidad para mantener la vegetación y la grava reduce su capacidad de drenaje lateral. La presencia del geotextil entre estas capas reduce el riesgo de saturación de la capa de drenaje con los finos del horizonte del suelo.

Debajo de la capa de drenaje lateral hay una o más capas barreras. Las capas barreras se componen de cualquiera de las barreras vistas anteriormente como geomembranas, arcillas naturales o materiales mezclados. Estas capas barreras representan el impedimento final para la infiltración de la precipitación. Una consideración importante en el diseño es el mantenimiento de la integridad de la capa barrera durante y después del asentamiento del relleno. La velocidad de infiltración de la precipitación y la generación de lixiviados. Si esto ocurre, los niveles de lixiviados aumentan en el relleno de manera similar a como el agua llena una bañera. Bajo estas condiciones la mayor carga hidráulica induce una mayor migración fuera del relleno. La capacidad del sistema de recolección de lixiviados se diseña normalmente considerando las peores condiciones (una celda abierta sin residuo y elevada precipitación).

Por debajo de la capa barrera puede situarse una capa de recolección de gases utilizada para atrapar los gases generados que migran del relleno, para posteriormente, emitirlos a la atmósfera. Esta capa se compone de arena gruesa y grava y puede contar con tuberías perforadas para la evacuación de gases.

El sistema de cobertura puede llevar una capa de geomalla para mejorar la integridad estructural del mismo. La geomalla aumenta la capacidad de tracción del sistema para redistribuir las tensiones y minimizar los asentamientos diferenciales.

Las especificaciones establecidas en la Legislación Venezolana para el diseño del sistema de cobertura de los rellenos de seguridad, señalan las siguientes características: se debe colocar sobre los desechos depositados una capa de material granular de 20 cm de espesor, a objeto de facilitar el flujo de gases, posteriormente una capa de arcilla de 60 cm de espesor compactada y de permeabilidad menor o igual a  $10^{-9}$  m/s, seguidamente una geomembrana de polietileno de alta densidad de 2,5 mm de espesor, a continuación una capa de material granular de 30 cm de espesor para el drenaje de las aguas de lluvia y por último una capa de suelo vegetal de 50 cm de espesor de una calidad tal que pueda sostener la vida vegetal, fundamentalmente gramíneas (Figura 3.13). La cobertura final del sitio deberá tener una pendiente menor o igual al 30%.

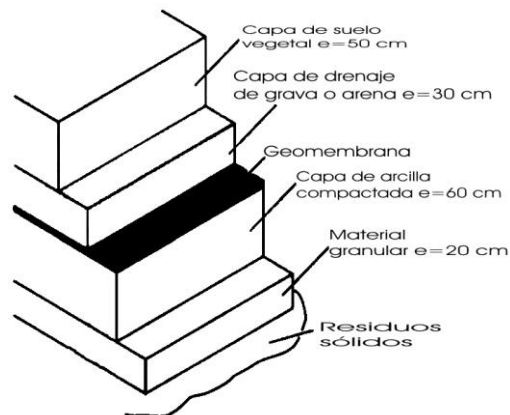


Figura 3.13. Configuración Típica de la Cobertura Final de un Relleno Sanitario

### 3.7.3. Sistemas de impermeabilización del fondo de las paredes del vertedero

Respecto al aislamiento del fondo y de las paredes del vertedero, la condición ideal es la de una cuenca realizada en una formación naturalmente impermeable, es decir, constituida por una formación muy espesa y homogénea de arcilla sobreconsolidada. Puesto que una condición tan favorable no suele ser frecuente, por lo general hay que recurrir a barreras artificiales que puedan resistir a las acciones químicas, mecánicas y térmicas. Todos estos requisitos pueden satisfacerse sólo con un sistema de aislamiento pluriestrato, constituido por materiales naturales y tipos distintos de geosintéticos en diferentes combinaciones.

El sistema más difundido es el de una capa de terreno natural arcilloso, al cual se sobrepone directamente una geomembrana (normalmente de polietileno de alta densidad - HDPE, Figura 3.14). En el fondo de la excavación, regularizada oportunamente, se deposita antes un manto de terreno arcilloso, en capas parciales, cada una de las cuales debe aplanarse y compactarse, hasta alcanzar el espesor final (en Italia, 1 m para los desechos urbanos y 2 m para los industriales tóxicos y nocivos). El espesor de los estratos parciales no debe sobrepasar 25 cm de terreno suelto, para asegurar una compactación uniforme en todo el espesor. Se aconseja utilizar un compactador con peso estático de 18 toneladas para las superficies horizontales y de 14 toneladas para las inclinadas.

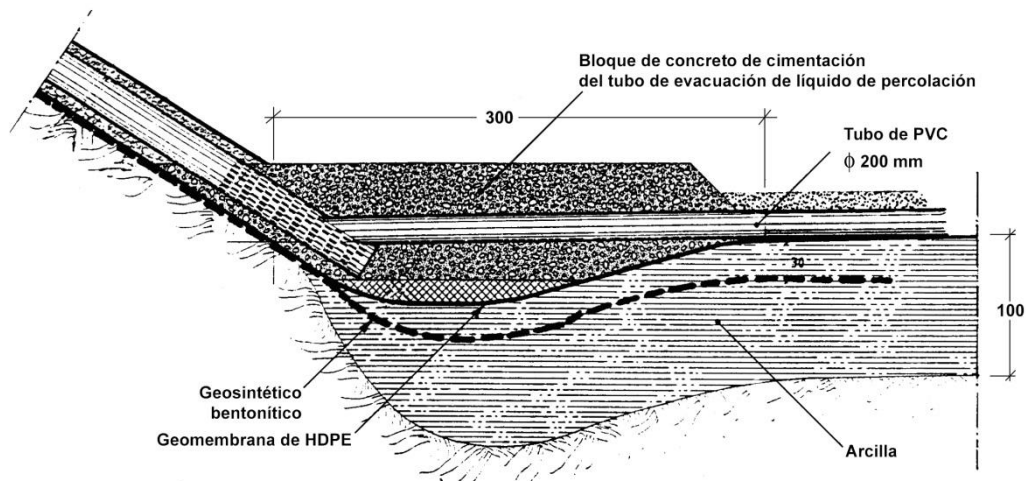


Figura 3.14. Impermeabilización del fondo y de la pared de un vertedero. Encima del sistema de aislamiento se encuentra el sistema de drenaje y evacuación del líquido de percolación

Cuando la inclinación de las paredes de la cuenca de recolección lo permite, el estrato de arcilla se aplica también a las paredes (sistema muy usado en EE.UU. y Alemania, donde la inclinación es inferior a 25°-30°); la solución alternativa consiste en la colocación de telones geocompuestos de arcilla bentonítica.

La capa de terreno arcilloso natural debe tener un coeficiente de permeabilidad no superior a 10 cm/s. Para obtener este resultado se consideran necesarias las características siguientes: - cantidad de fracción fina (que pasa por una criba 200 ASTM) > 50%;

- Límite líquido > 30% ; límite plástico > 15%

- Fracción arcillosa (partículas < 0,005 mm)-> 25%
- Densidad de compactación > 90% del Proctor Modificado, o bien > 95% del Proctor Estándar

Como se ha mencionado, la impermeabilización de las paredes inclinadas del vertedero puede realizarse también sustituyendo la arcilla natural con un manto de arcilla tipo bentonita sódica espeso 6 mm, contenido entre dos telones de tejido-no tejido, con un coeficiente de permeabilidad de 10 cm/s. Este geocompuesto artificial puede utilizarse también para integrar o sustituir parcialmente la capa de fondo de arcilla natural, colocándolo encima de la misma.

Inmediatamente encima de la capa de arcilla natural (o, a lo sumo, interponiendo únicamente el geocompuesto bentonítico) se pone una membrana continua de HDPE, obtenida soldando entre ellos telones de unos 10 metros de ancho. Los telones de polietileno utilizados para los vertederos tienen un espesor que varía entre 1,5 y 2 mm y están soldados con una técnica de fusión a presión, que garantiza la estanqueidad hidráulica de los puntos de soldadura, los cuales constituyen el punto flaco del sistema (existen diferentes métodos para la prueba hidráulica y mecánica de las soldaduras).

No hay que poner nunca como solía hacerse hace años - un estrato drenante entre la membrana de HDPE y la arcilla del fondo. Este drenaje intermedio, mediante un sistema de monitoreo, permite controlar si por la membrana de polietileno se verifican pérdidas de líquido de percolación, pero, al mismo tiempo, le permite a dicho líquido llegar rápidamente hasta cualquier punto defectuoso en la estructura del manto de arcilla natural. De tal forma la permeabilidad total del conjunto resulta sensiblemente inferior a la que se logra con la membrana de HDPE y la arcilla en contacto directo (Figura 3.15).

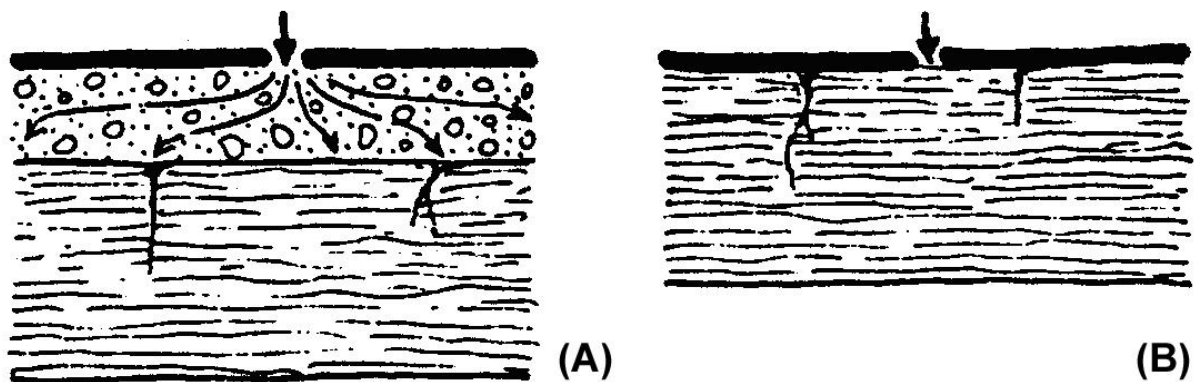


Figura 3.15. Comparación de la funcionalidad entre un sistema de impermeabilización no correcto (A) y uno realizado correctamente (B)

Tanto la membrana en HDPE como el geocompuesto bentonítico aplicados sobre las paredes inclinadas de la cuenca de recolección de los desechos deberán fijarse oportunamente al borde superior de la pared. El esquema de la Figura 3.16 ilustra muy bien uno de los sistemas más difundidos para ello. Hay que tener en cuenta que, dadas las características geométricas de la superficie a recubrir y las características de resistencia de los geosintéticos a utilizar, es preciso

comprobar la resistencia a la rotura por tracción de los geosintéticos, los cuales tienen que sostener su propio peso y una parte del peso de los desechos, transmitida por fricción.

El líquido de percolación que se produce en el proceso de gestión de un vertedero filtra a través de los desechos, fluye sobre las paredes inclinadas de la cuenca y se acumula encima del sistema de impermeabilización del fondo descrito antes. Para limitar la posibilidad de filtración de dicho líquido a través del aislamiento, hace falta evacuarlo continuamente, extrayéndolo del fondo. A tal fin, entre la masa de basura y el sistema de aislamiento se coloca un estrato de drenaje, que le permite al líquido llegar rápidamente hasta el punto más bajo de la cuenca y por esto al fondo de la cuenca misma se le da generalmente una pendiente del 2%.

El drenaje del líquido de percolación se realiza con un estrato de grava y arena de unos 30 cm de espesor, cuyo coeficiente de permeabilidad sea superior a 10 cm/s. Este estrato se coloca sobre la membrana de HDPE, interponiendo un geotextil para impedir que los elementos de grava puedan desgarrar la misma.

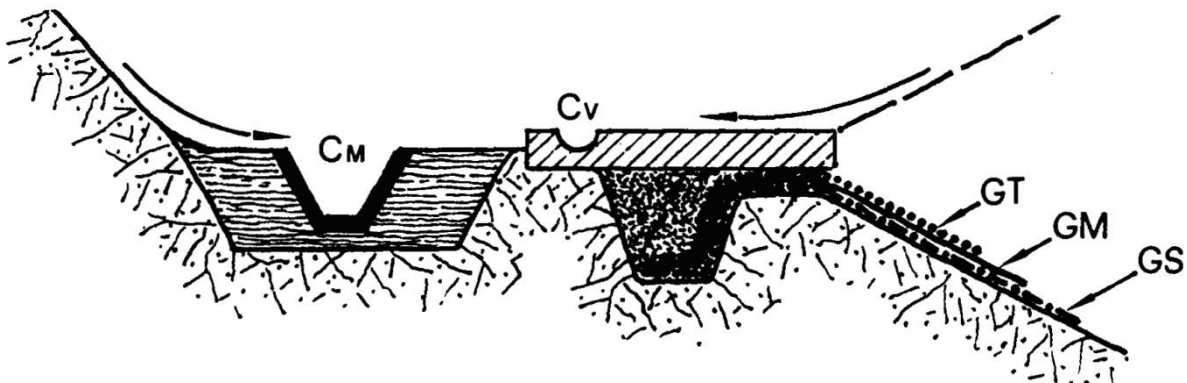


Figura 3.16. Sistema de anclaje de geosintético bentonítico (GS), geomembrana (GM) y geotextil (GT) al borde superior de una cuenca de depósito. Se indican también las cunetas de interceptación de las aguas superficiales que provienen de la ladera arriba de la cuenca (Cm) y de la superficie superior del vertedero (CV)

Dentro del estrato drenante, se colocan tubos con hendiduras, que llevan rápidamente el líquido de percolación drenado hasta puntos preestablecidos, donde se encuentran los sistemas de extracción (que suelen ser bombas sumergidas).

En un vertedero de desechos tóxicos y nocivos (lodos industriales) el sistema de aislamiento del fondo tiene que proveer un alto nivel de seguridad, por tanto se realiza una doble impermeabilización cada una constituida por arcilla compactada y membrana de HDPE; entre las dos fajas impermeables se interpone una capa de drenaje que contiene un sistema de monitoreo para controlar defectos eventuales del sistema de aislamiento superior.

#### **3.7.4. Sistemas de cobertura del vertedero**

Al llenarse la cuenca de recolección de los desechos, hay que realizar un sistema de cobertura, con el fin de aislar los mismos respecto al medio ambiente y reducir al mínimo la infiltración de las aguas superficiales en el cuerpo del vertedero, limitando de tal forma la formación de líquido de percolación. Por estos motivos la cobertura debe favorecer el flujo y el drenaje de las aguas

superficiales, tiene que absorber sin daños los asentamientos de la masa de desechos y debe tener una permeabilidad similar a la del sistema de aislamiento colocado en la base del vertedero.

Además, la parte superior de la cobertura constituye la sede de las obras de recuperación ambiental del cuerpo principal del vertedero, por lo cual se requiere la intervención de un agrónomo experto del sector.

En la figura 3.17 se ilustra un corte típico del sistema de cobertura del vertedero; hay un elemento compuesto de impermeabilización, constituido por un estrato de arcilla compactada de 0,6 m de espesor, sobre el cual se halla superpuesta una membrana de HDPE de espesor limitado (esta membrana no está expuesta a las agua de percolación ni soporta la presión de la masa de basura). La impermeabilización se halla comprendida entre dos capas drenantes (de espesor no inferior a 0,3 m), de las cuales la inferior tiene la función de orientar el gas biológico hacia los puntos de extracción, mientras que la superior sirve para el drenaje de las aguas superficiales que se infiltran.

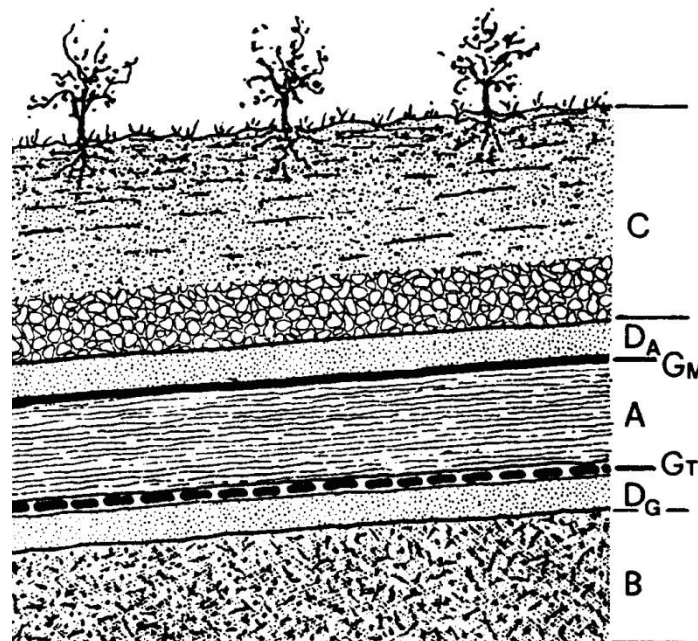


Figura 3.17. Esquema estructural del sistema de cierre de un vertedero: C) suelo de cobertura; DA) drenaje de aguas superficiales; GM) geomembrana de HDPE; A) capa de arcilla; GT) geotextil; DG) drenaje de gas; B) basura

Completa el sistema el terreno de cobertura, cuya composición y cuyo espesor pueden variar de un caso a otro, según las condiciones climáticas, las normas nacionales, etc.; en todo caso, se recomienda que el terreno de cobertura tenga un espesor mínimo de 0,75 metros.

La cobertura del vertedero debe tener cierta inclinación, para favorecer el flujo de las aguas superficiales. Se ha observado que adoptando una pendiente mínima (2-3%), a raíz de hundimientos de la masa de basura se producen sucesivamente concavidades, donde se estanca el agua; con declives mucho mayores (hasta el 33%) se crean dificultades para el recubrimiento con vegetación y se producen roturas locales y erosiones excesivas. Por consiguiente, para la cobertura se aconseja una pendiente comprendida entre 5% y 25%.





## **4. Propiedades de los Desechos Sólidos**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Los desechos sólidos se definen como todos aquellos materiales provenientes de las actividades humanas y de animales que son normalmente sólidos y que se desechan como inútiles o indeseables. Esta definición se viene utilizando para referirse a la masa heterogénea descartada tanto en la actividad residencial y comercial, así como a la más homogénea producida en alguna industria o instalación. No discrimina aquellos materiales que aun cuando en un momento dado se consideran desechos, pueden ser recuperados, ni aquellos que por su alta peligrosidad requieren un manejo especial.

Los materiales de desecho pueden ser caracterizados de acuerdo a dos aproximaciones fundamentalmente diferentes:

- Una primera aproximación, en la cual las categorías de los desechos y clasificaciones de rellenos sanitarios es definida. Estas clasificaciones están basadas en el tipo de desechos, que pueden ser aceptados en un relleno sanitario y los requerimientos relativos impuestos a su construcción u operación.
- Una aproximación más geotécnica, en la cual son relevantes las propiedades para el diseño y construcción de los rellenos sanitarios deben ser evaluadas.

En la mayoría de los países industrializados, el sistema de clasificación empleado para determinar la ubicación de los desechos está basado en el origen de la basura, y sus propiedades físico-químicas son tomadas poco o nada en consideración para su comportamiento mecánico. Por otro lado, durante el diseño y operación de los rellenos sanitarios, el ingeniero se ve obstaculizado frecuentemente con un gran número de problemas relacionados con aspectos geotécnicos, así como también de riesgo potencial. Una confiabilidad de la estimación y una comprensión total de las propiedades físicas y mecánicas de los desechos sólidos, como su interacción con los componentes que constituyen el relleno sanitario es indispensable para la resolución de estos problemas.

Uno de los mayores cambios en el área de la geotecnia ambiental es la evaluación de las propiedades relevantes, requeridas para el análisis de estabilidad de un relleno sanitario. La determinación de estas propiedades es complicada por el hecho que las técnicas clásicas de ensayo y laboratorio empleadas en geotecnia no son sistemáticamente aplicadas en la caracterización de

---

los desechos sólidos municipales. Más aún, ciertos componentes de la basura no tienen el clásico comportamiento geotécnico, incrementando la dificultad de analizar la estabilidad del material compuesto llamado basura.

El diseño de los rellenos sanitario requiere realizar análisis geotécnicos comprensivos a fin de demostrar que todos los sistemas del relleno sanitario hayan sido diseñados consistentemente con las características requeridas. La correcta selección de las propiedades geotécnicas de los materiales de desecho, para su uso en estos análisis es de vital importancia, así como el factor de seguridad, ya que los costos del relleno sanitario son sensitivos a las variaciones de estas propiedades. Desafortunadamente las propiedades de los desechos sólidos pueden variar ampliamente, tienen cambios significativos con el tiempo y no son fácilmente medibles directamente, debido a su heterogeneidad y a sus inclusiones de materiales duros.

#### **4.2. CLASIFICACIONES Y REGULACIONES ASOCIADAS A LOS DESECHOS**

Aunque el significado del término “desecho” es muy bien comprendido, la terminología empleada para caracterizar los distintos tipos de materiales de desecho pueden variar sustancialmente de un país a otro. Los desechos son clasificados como:

- Municipales;
- Domésticos;
- Comerciales;
- Industriales; Especiales; peligrosos; y
- Tóxicos

y no tienen el mismo significado en todos los países.

La seguridad y los requerimientos impuestos para la disposición de estos desechos varían entre países. Más aún, variaciones regionales en los procedimientos de manejo que pueden existir dentro de un país dado. Es por lo tanto extremadamente difícil comparar de manera precisa los requerimientos impuestos ya que en cada país no son los mismos:

- Definición legal del término “desecho”
- Lista del tipo de desechos que son aceptados en un relleno sanitario controlado;
- Concepto filosófico o político del rol de los rellenos sanitarios en la última fase de la eliminación de la basura.

Ciertos países consideran que un relleno sanitario de desechos sólidos sin tratar en un medio aceptable de disposición final, mientras que otros países, solo permite rellenos sanitarios de desechos sólidos estabilizados mecánicamente o químicamente.

Es importante no solo limitar los requerimientos de seguridad a las condiciones geológicas e hidrogeológicas del lugar donde se construirá el relleno sanitario y al empleo de barreras artificiales, ya esto puede conducirnos en un esquema no apropiado de comparación. El tipo y el comportamiento físico y mecánico de los desechos no debe ser tan rígido cuando se establezcan las clasificaciones de los rellenos sanitarios y sus requerimientos de seguridad.

Según la normativa vigente en Venezuela se definen dos grandes categorías de desechos: los de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos y desechos peligrosos. Los primeros son aquellos materiales o conjunto de materiales resultantes de cualquier operación o proceso, que estén, destinados a desuso, que no vayan a ser utilizados como materia prima para la industria, reutilizados, recuperados o reciclados (Decreto N° 2216, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 418 Extraordinario del 27 de Abril de 1992).

Los segundos (desechos peligrosos) se definen como aquellos en cualquier estado físico: sólido, líquido o gaseoso que presenta características peligrosas o que esta constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades físicas ni químicas útiles y por lo tanto no puede ser rehusado, reciclado, regenerado u otro uso diferente (Decreto N° 2389, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5212 Extraordinario del 12 de Febrero de 1998).

#### **4.2.1. Clasificaciones de desechos sólidos y rellenos sanitarios**

Ciertas similitudes pueden ser observadas de la revisión de varias regulaciones nacionales. Los desechos que pueden ser aceptados en los rellenos sanitarios son comúnmente subdivididos en tres clasificaciones basadas en su origen:

1. Desechos tóxicos o desechos industriales peligrosos, los cuales presentan un alto potencial de peligrosidad;
2. Desechos municipales o su equivalente en desechos industriales, los cuales son similares a la basura urbana pero generada por actividades industriales (cajas, papel, embalajes, etc.); y
3. Desechos inertes (materiales de construcción, escombros, etc.).

Los rellenos sanitarios son divididos comúnmente en tres tipos, dependiendo del tipo de desechos que estén autorizados para aceptar. Los requerimientos mínimos de seguridad para esta clasificación de relleno sanitario se incrementan con el peligro asociado con los desechos aceptados para su disposición final.

#### **4.2.2. Clasificación de los desechos sólidos**

Existen diversos criterios para la clasificación de los desechos sólidos, algunos de ellos son:

- **Origen:** Considera la actividad donde se genera el material descartado
- **Composición:** Obedece a los principales constituyentes que conforman el desecho

- **Naturaleza:** Atiende a las propiedades químicas del desecho

A los efectos de estas notas, se consideran las categorías que resultan de la clasificación en base a su origen los cuales estarán conformados por una combinación de constituyentes que define su composición.

#### 4.2.2.1. Origen de los Desechos

El origen de los desechos sólidos generalmente esta relacionado con el uso del espacio y su localización. Las categorías que se consideran son: Residencial (domiciliaria), Comercial, Institucional, Construcción y Demolición, Servicios Municipales, Plantas de Tratamiento, Municipales, Industriales y Agropecuarios. En la tabla 4.1 se presentan las instalaciones o actividades donde se generan, así como sus principales constituyentes.

**Tabla 4.1.**  
**Clasificación de los Desechos Sólidos según su Origen**

Origen	Instalación o Actividad donde se genera el desecho	Constituyente
Residencial	Viviendas unifamiliares y multifamiliares, edificios de apartamentos de poca, mediana y gran altura	Desechos de alimentos, papel, cartón, plástico, textiles, cuero, gomas, desechos de jardín, vidrio, metales y desechos especiales
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, almacenes, talleres mecánicos, estaciones de servicio de combustible, etc.	Papel, cartón, plástico, madera, vidrio, metales, desechos especiales
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales	Igual a comercial
Construcción y demolición	Construcción y reparación de edificaciones, vías de circulación, demolición de edificios	Concreto, metales, madera, materiales inorgánicos en general.
Servicios Municipales	Limpieza de calles, paisajismo, operativos de limpieza de cauces, playas otras zonas de recreación, profilaxia animal	Tierra, restos vegetales, animales muertos, chatarra, etc.
Plantas de Tratamiento	Instalaciones para el acondicionamiento de aguas para el abastecimiento humano así como para el tratamiento de líquidos residuales	Lodos orgánicos e inorgánicos
Municipales	La combinación de todos los mencionados anteriormente	Todos los mencionados anteriormente
Industriales	Instalaciones industriales (industria básica, química, petroquímica, metalurgia, productos terminados en general, servicios, etc.)	Desechos similares a los encontrados en los desechos municipales, desechos peligrosos (dependiendo del tipo de industria)
Agropecuarios	Instalaciones para el cultivo de vegetales y cría de animales	Restos vegetales, agroquímicos, restos de animales

Adaptado de Thobanoglous (1994)

#### 4.2.3. Tipos de Desechos

Para presentar este aspecto se utilizan dos tipos de criterios: uno, el convencional, donde la definición se hace en base a los elementos que componen el desecho, y otro, considerando el tipo de producto al cual esta asociado el constituyente (productos duraderos, no duraderos y materiales de empaque).

Cuando se utiliza como criterio de clasificación la composición del desecho, se facilita su identificación y cuantificación. La importancia de considerar el tipo de producto al cual está asociado el desecho es que permite identificar los focos de atención en la definición de estrategias y políticas e incluso acciones tendientes a mejorar el sistema para el “*manejo integral*” de los desechos sólidos.

#### **4.2.3.1. Principales tipos de desechos presentes en los desechos sólidos municipales**

De acuerdo a las características de los desechos generados en las diversas actividades que se desarrollan en una municipalidad se definen los siguientes tipos de desechos:

##### **4.2.3.1.1. Desechos de alimentos**

Son los restos de animales, frutas o vegetales que resultan del manejo, preparación, preservación e ingestión de alimentos. Son altamente putrescibles y se descomponen rápidamente, en especial en clima cálido. Esta propiedad influye apreciablemente en el diseño y operación del sistema de recolección. Se producen en residencias, cafeterías, restaurantes, instalaciones institucionales como hospitales y prisiones y en instalaciones relacionadas con el mercado de alimentos, entre otras.

##### **4.2.3.1.2. Basuras**

Desechos sólidos combustibles y no combustibles provenientes de casa, actividades comerciales, etc., excluyendo los desechos de alimentos. Generalmente se incluyen en los desechos combustibles materiales como papel, cartón, plástico, textiles, caucho cuero, madera y restos de jardín. En los desechos no combustibles: vidrio, loza, envases de hojalata, aluminio, metales ferrosos, no ferrosos y tierra.

##### **4.2.3.1.3. Cenizas y Residuos**

Son los que resultan de quemar madera, carbón, coque, y otros materiales combustibles en casas, comercios, instituciones e instalaciones industriales y municipales para calefacción, cocción y disposición de desechos combustibles. Se caracterizan por ser material inerte, fino y polvoriento.

##### **4.2.3.1.4. Desechos de Demolición y Construcción**

Restos de la demolición y construcción de edificios y otras instalaciones de servicio urbano. Puede incluir tierra, piedras, concreto, ladrillos, mortero, madera, tubos y materiales eléctricos.

##### **4.2.3.1.5. Desechos Especiales**

Incluyen los provenientes del barrido de calles, desperdicios a lo largo de carreteras, animales muertos, vehículos abandonados, etc.

##### **4.2.3.1.6. Desechos de Plantas de Tratamiento**

En esta categoría se incluyen los desechos sólidos y semisólidos provenientes de instalaciones para el tratamiento de aguas y aguas residuales de origen doméstico e industrial. Sus características dependen del proceso de tratamiento existente.

#### **4.2.3.1.7. Desechos Agropecuarios**

Son los provenientes de las diversas actividades relacionadas con la agricultura y cría de animales.

#### **4.2.3.1.8. Desechos Peligrosos**

Aquellos que representan un peligro para los seres vivos. Se generan principalmente en actividades industriales, en instituciones hospitalarias y de investigación.

#### **4.2.3.2. Materiales presentes en los desechos sólidos municipales**

Como se presentará más adelante aquí se incluyen los principales constituyentes cuya identificación, separación y cuantificación permitirá establecer la composición de los desechos sólidos municipales. En la Tabla 4.2 se resumen los materiales que se agrupan bajo las diferentes categorías que se consideran.

##### **4.2.3.2.1. Productos a los cuales están asociados los materiales presentes en los desechos sólidos municipales**

Los materiales señalados en el aparte anterior pueden estar asociados o provenir de distintos tipos de productos los cuales, a los efectos prácticos, se clasifican en:

- **Bienes duraderos:** Productos cuya vida útil es  $\geq 3$  años. Algunos ejemplos son: artículos de línea blanca, cauchos, baterías, etc.;
- **Bienes no duraderos:** Productos cuya vida útil es  $< 3$  años. Algunos ejemplos son: periódicos, papel y cartón en general, recipientes y envases desechables etc.;
- **Recipientes y Empaques;**
- **Otros Desechos.**

**Tabla 4.2.  
Principales Constituyentes de los desechos Sólidos Municipales**

<b>Categoría</b>	<b>Constituyente</b>
Papel y Cartón	Periódicos y revistas, material de empaque, material de oficina.
Vidrio	Botellas y recipientes de vidrio blanco, verde y ámbar
Plásticos	Botellas y recipientes de alimentos y otros productos de consumo masivo. Empaques en general.
Metales Ferrosos:	Latas de hojalata, bienes de línea blanca y otros productos de use domestico
Aluminio	Recipientes y envase fabricados con este metal, partes constructivas de muchos bienes de línea blanca y productos de use domestico.
Otros metales no ferrosos	Plomo, Cobre y Zinc
Cauchos	Cauchos de vehículos en general, material de construcción de carreteras
Textiles	Telas y trapos

Madera	Materiales de empaque, paletas, restos de madera
Desechos de Alimentos	Restos de vegetales y animales provenientes de la preparación e ingestión de alimentos.
Desechos de Jardín	Hojas, ramas y otros materiales similares provenientes de la limpieza y mantenimiento de áreas verdes.
Otros desechos	Aquellos materiales presentes de difícil separación y cuantificación.

**4.2.2. Revisión de las distintas estrategias internacionales para la disposición final de desechos**

La mayoría de los desechos sólidos municipales e industriales producidos en Europa y Estados Unidos son colocados en rellenos sanitarios. Recientemente se ha hecho gran énfasis en incrementar el porcentaje de disposición final de desechos sólidos municipales por métodos alternativos tales como incineración y reciclaje. Sin embargo, estas técnicas de disposición final, aumentan grandemente los costos y los problemas asociados, por lo que el relleno sanitario es el principal método de eliminación de basura.

Las regulaciones varían considerablemente dentro de la Comunidad Europea, particularmente en la manera que los lugares de disposición final son diseñados y operados. Sin embargo, un diseño más uniforme se está desarrollando actualmente, como resultado de la puesta en marcha de la norma de rellenos sanitarios de la Comunidad Europea. Esta norma suministra un sistema de clasificación precisa para los rellenos sanitarios y prohíbe los rellenos con ciertos tipos de desechos. Mas aún, se establecen los requerimientos relativos a las barreras para los contaminantes (naturales o artificiales), establece el nivel freático y los procedimientos para manejar los lixiviados, define también el procedimiento para realizar el seguimiento de los desechos, así como el tratamiento que debe darse al relleno sanitario en la etapa de clausura y post-clausura. La composición de la cobertura final y de la base del relleno sanitario es mostrada para varios países, en las figuras 4.1 y 4.2.

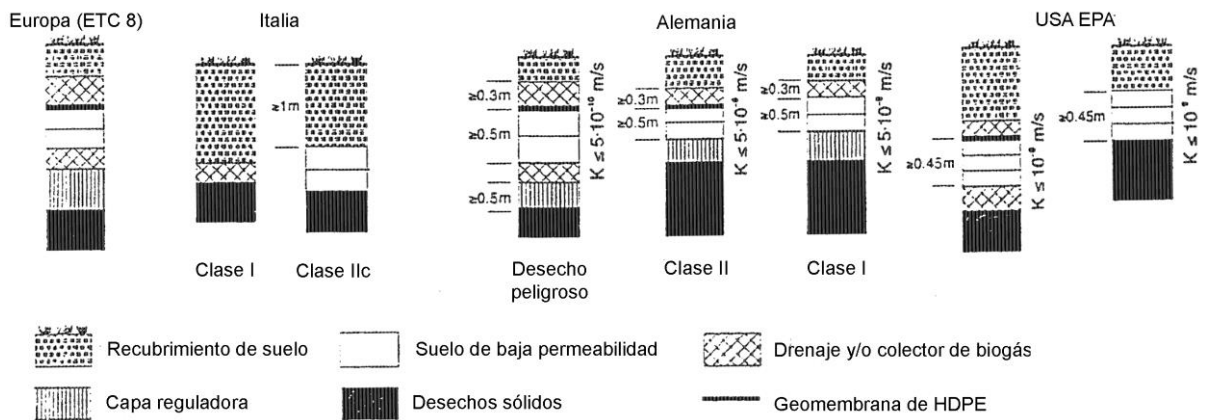


Figura 4.1. Sistemas de recubrimiento final para rellenos sanitarios de desechos sólidos municipales

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

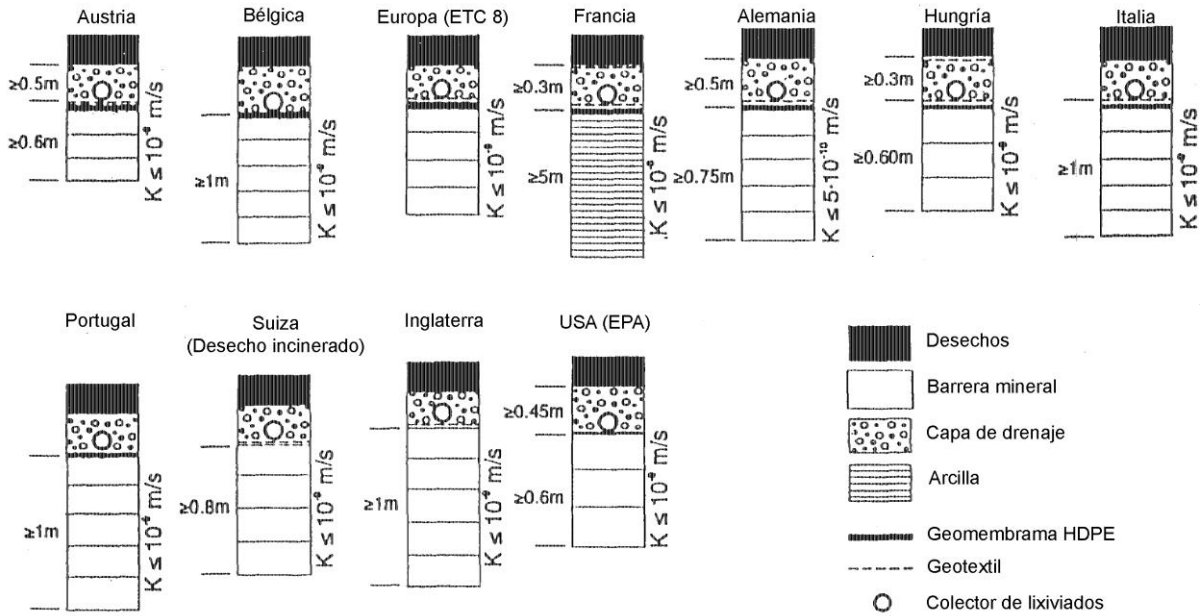


Figura 4.2. Requerimientos de la base de rellenos sanitarios de desechos sólidos municipales

**4.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

Las propiedades físicas de los desechos sólidos municipales a ser considerados en la estabilidad de un relleno sanitario deben incluir:

- Peso unitario;
- Contenido de humedad; y
- Composición porcentual de los desechos sólidos.

Aunque los desechos sólidos municipales en la mayoría de los casos el principal tipo de desecho es el doméstico, tener una estimación precisa de las propiedades físicas de ellos, es difícil de obtener por las siguientes razones:

- Los desechos sólidos municipales están compuestos por varios productos de diferente naturaleza y comportamiento;
- Es difícil obtener muestras representativas in situ, debido a la amplia gamma de tamaños de partículas de los distintos componentes que constituyen los desechos;
- No existe normativas de muestreo y procedimientos de ensayos para los materiales de desechos; y
- Las propiedades geotécnicas pueden variar con el tiempo como resultado de la descomposición de los desechos.



Es indispensable solucionar estos problemas de manera de poder evaluar de la manera más precisa las propiedades geotécnicas de los desechos sólidos municipales, ya que estos parámetros son esenciales en el análisis de la estabilidad de los rellenos y en el comportamiento a largo plazo del mismo.

**4.3.1. Clasificación**

De acuerdo a las recomendaciones de la GLR (ETC8, 1993)<sup>3</sup> y GDA (1994), los desechos sólidos municipales pueden ser subdivididos en: Comportamiento parecido al suelo y no similares al suelo. Los desechos que tienen un comportamiento similar al suelo que puede ser descrito empleando los parámetros clásicos como: contenido de humedad, contenido orgánico, peso unitario e índice de plasticidad. Los desechos que no tienen un comportamiento como un suelo son generalmente descritos por su contenido de humedad, contenido orgánico y tipos de material, y estos no pueden ser analizados con los ensayos convencionales de la mecánica de suelos y su teoría (Kockel, 1996).

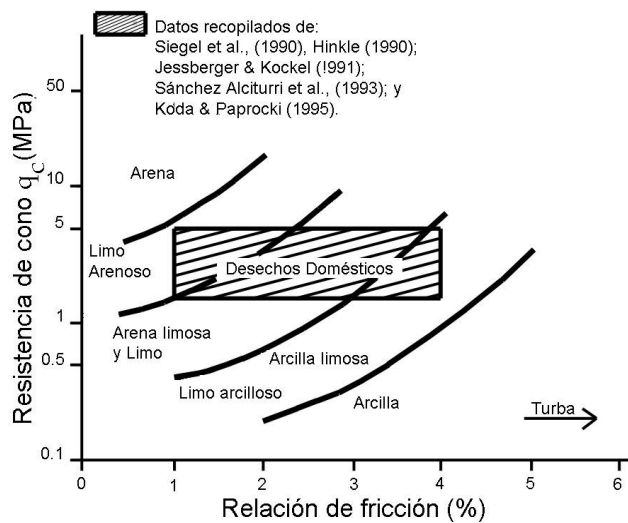


Figura 4.3. Clasificación de los desechos empleando del ensayo de penetración de cono (Manassero et al., 1996)

La clasificación de los desechos sólidos municipales es generalmente hecha en base a la evaluación de los siguientes parámetros: Contenido de humedad, contenido orgánico, distribución de tamaño de las partículas y una identificación de los distintos tipos de desechos contenidos en la muestra. Otra manera de caracterizar los desechos es promediar los resultados obtenidos de los ensayos de penetración de cono, excluyendo los picos no reales causados por la presencia de obstáculos en la basura. La Figura 4.3, se muestra la clasificación de los desechos empleando del ensayo de penetración de cono, y se puede observar que los desechos domésticos tienen un comportamiento similar a suelos que se encuentran entre limo arenoso y limo arcilloso.

<sup>3</sup> ETC8. GLR Recommendations (1993). "Geotechnics of landfill design and remedial works". 2nd edition, Ernst & Sohn, Berlin.

#### **4.3.2. Composición y tamaño de la partícula**

La composición de los desechos sólidos municipales es muy heterogénea y puede variar desde pequeños desechos orgánicos a grandes desechos inorgánicos. Más aún, la composición de los desechos y consecuentemente las propiedades físicas y mecánicas, son dependientes del tiempo, como resultado de la biodegradación y procesos físico-químicos. Kockel (1995) ha propuesto que los desechos sólidos municipales sean representados por dos componentes principales: una *matriz básica* que abarca las partículas desde grano fino hasta medio que tienen un comportamiento similar al suelo y una *matriz reforzadora* en la cual la presencia de constituyentes de gran tamaño como plástico, papel y madera puede tener un efecto de refuerzo.

Esto puede ser observado de los datos reportados por Landva & Clark (1990) y Bouazza et al. (1996) que muestran que hay una variación significativa porcentual de los principales tipos de desechos sólidos municipales como una función de la localidad geográfica del relleno sanitario (Tabla 4.3). A pesar de estas variaciones geográficas, los principales componentes de los desechos sólidos municipales son los desechos orgánicos (alimentos, vegetales, etc.) y productos de papel.

La composición controla los procesos bioquímicos los cuales gobiernan la producción de lixiviados y biogás. Los parámetros que afectan la velocidad y cantidad de biodegradación son:

- Contenido de materia orgánica;
- Contenido de humedad; y
- Condiciones climáticas.

El contenido de materia orgánica también afecta las propiedades físicas y mecánicas de los desechos. Se ha demostrado que un aumento del 1% al 2% del contenido de materia orgánica tiene un efecto comparable a un incremento del 10 al 20% de la fracción arcillosa (partículas < 2  $\mu\text{m}$ ) con respecto al índice de plasticidad. Es más, la máxima densidad seca y la resistencia a la compresión sin confinar disminuye rápidamente con el incremento de contenido orgánico.

La distribución de partículas dentro de los desechos sólidos municipales es generalmente determinada con el ensayo de clasificación granulométrica. Los análisis de clasificación granulométrica realizados por Gabr y Valero (1995), indica que el análisis húmedo proporciona resultados más precisos debido a la naturaleza cohesiva de los desechos. (Figura 4.4). El rango característico del tamaño de las partículas es similar al de una grava y contiene menos del 20% de granos finos (partículas < 75  $\mu\text{m}$ ). Esto puede observarse en esta figura, la porción de granos finos que tiende a incrementarse con la edad como resultado de la biodegradación de los materiales orgánicos.

**Tabla 4.3.**  
**Variaciones geográficas en la composición de los desechos sólidos municipales**  
**(Manassero et al, 1996)**

Tipo de desecho	Ciudad / País										
	Bangkok Tailandia	Beijing China	Nairobi Kenya	Hong Kong	New York USA	Estambul Turquía	Génova Suiza,	Atenas Grecia	Cochabamba Bolivia	Wollangong Australia	Landva & Clark (1990)
Metales	1	1	1	3	5	2	2.5	4	1	3	6-15
Papel Cartón	-25	5	12		22	10	31	19	2	16	20-55
Plástico	-	1	5	->	-	3	9.5	7	3	20	2-15
Cuero, Madera y Goma		I	--	7	3	6	4	4	1		0.4-15
Textiles	3	-	--	10	--	3	5	-	-		0.4
Materia Orgánica	44	45	74	IS	20	61	28	59	71	58	9-62
Vidrio	1	1	4	t0	6		9	2	1	2	2-5
Otros	19	46	2	22	46	14	II	5	21	I	-

En la Tabla 4.4 se observa el rango de composición porcentual de residuos sólidos reportados por Landva y Clark, (1990).

**Tabla 4.4.**  
**Composición de los Residuos Sólidos**  
**Landva y Clark, (1990)**

Componente (%)							
Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales	Textiles	Cauchos y Cueros	Restos de Alimentos	Otros
20 - 55	2 - 15	2 - 5	6 - 15	0 - 4	0,4 - 15	9 - 62	-

Fuente: Comité Técnico TC 5 "Geotecnia Ambiental" de la ISSMGE "Stability of Municipal Solid Waste" (Knochenmus et al., 1998).

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

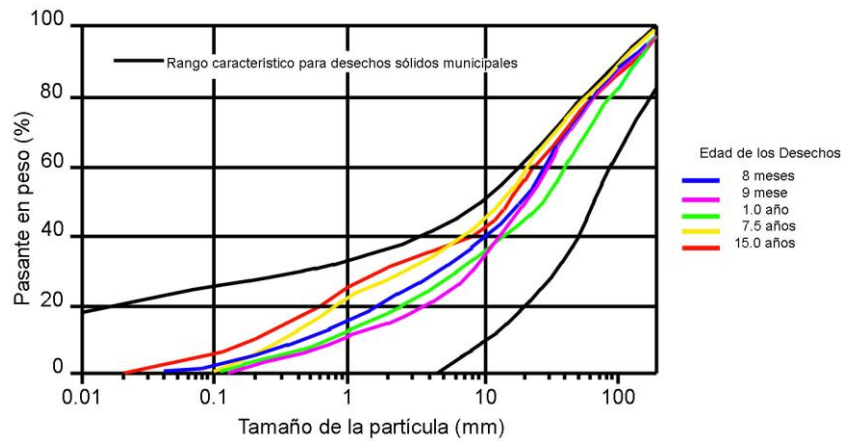


Figura 4.4. Distribución del tamaño de partícula (Jessberg, 1994)

**Tabla 4.5.**  
**Composición típica de los Desechos Sólidos Municipales en algunos lugares de Venezuela**

Constituyente	% en peso					
	Maracaibo [1]	Porlamar [2]	Valencia [3]	Mérida [4]	Pta. Cardón [5]	Caracas [6]
Papel y cartón	17,58	25,08	45,84	32,87	34,70	22,26
Metales Ferrosos	3,27*	3,79	6,96*	6,30	2,16	1,95
Metales no Ferrosos	0,55**	2,40	-	4,66**	1,08	2,89
Vidrio	5,50	7,42	5,98	10,96	7,93	4,52
Textiles	1,32	2,19	3,48	-	1,23	4,05
Plásticos	13,54	11,20	4,48	8,36	9,79	11,70
Desechos de Alimentos	17,89	16,83	32,90 <sup>δ</sup>	36,85	25,02	36,98
Desechos de jardín	35,66	15,63	-	-	11,27	4,34
Tierra y piedras	3,06	2,80	-	-	2,73	-
Madera	0,69	0,50	0,36	-	1,66	2,68
Otros	0,90	12,16	-	-	2,35	8,64

\* Incluye metales ferrosos y no ferrosos; \*\* solo aluminio; <sup>δ</sup> residuos putrescibles

[1] Arias y Rojas (1991); [2] IASANE (1988); [3] Alcalá et al (1990);

[4] Paredes (1993); [5] MARAVEN - FUDECO (1990); [6] Rodríguez

Tornado de: Agelvis y Naranjo (1994)

**Tabla 4.6.**  
**Composición típica de los desechos sólidos municipales en algunos lugares de América Latina**

Constituyente	% en peso		
	Cuba [1]	Brasil [2]	Argentina [3]
Papel y cartón	19,73	21,3	17,42
Metales Ferrosos	-	5,4	2,51
Metales no Ferrosos	-	-	0,64

Vidrios	4,09	1,4	6,0
Textiles	4,94	3,4	2,73
Plásticos	1,97	8,5	14,44
Desechos de Alimentos	59,63	56,7	51,49
Escombros	0,67	-	1,98
Lata	6,0	-	1,80
Madera	1,15	2,3	1,80
Cuero	0,84	-	-
Gasa y Algodón	0,89	-	-
Inertes	-	1,0	-

[1] Ponce et al (1992); [2] Cyro y Shalch (1992); [3] Larghi et al (1992)  
Tornado de: PETA -UC V (1994)

El conocimiento de los constituyentes de los desechos sólidos y su distribución relativa es importante en la selección y operación de equipos para su manejo, en la evaluación de la factibilidad de recuperación de recursos y energía, así como en el análisis y diseño de las instalaciones para su disposición. Aun cuando son muy numerosos los diversos elementos que pueden aparecer en los desechos, se trata de seleccionar aquellos que sean fáciles de identificar y se encuentren en cantidades apreciables. Según el origen de los desechos se seleccionara un listado de componentes que permita su adecuada caracterización. En el caso de los desechos municipales, se utilizan los que aparecen en las Tablas 4.5 y 4.6 donde además se presenta la composición de diferentes desechos sólidos municipales en algunas regiones de Venezuela, así como de algunas ciudades de América. Información mas reciente sobre la composición de los desechos sólidos en Venezuela se resume en las Tablas 4.7 al 4.10.

**Tabla 4.7.**  
**Composición de los residuos sólidos municipales en algunas localidades con población menor a 50 M habitantes**

Municipio (Capital)/Estado	Componente (%)									
	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales		Textiles	Cauchos y Cueros	Restos de Alimentos	Restos de Jardín	Otros
				Fe	No Fe					
San Sebastián de Los Reyes/Aragua	13,2	17,7	9,4	4,3	0,4	7,3	2,8	10,8	22,5	11,6
Camatagua (Camatagua)/Aragua	13,0	17,5	9,2	4,4	0,4	7,4	2,2	11,0	23,7	11,2
Simón Planas (Sarare)/Lara	26,3	6,2	15,8	13,6		10,4	-	15,7	12,1	-
Santos Marquina (Tabay)	Mérida	15,1	6,0	8,2	2,9	0,4	3,9	0,3	62,5	0,7
Cardenal Quintero (Santo Domingo)		27	17	7	6	1	2	-	38	2
Pueblo Llano (Pueblo Llano)		15	8	8	4	2	6	-	55	1
Rivas Dávila (Bailadores)		9,1	2,9	5,0	1,4	0,8	0,6	0,6	78,0	1,6
Rangel (Mucuchies)		7,8	5,4	7,5	2,8	0,1	1,7	5,6	68,1	1,0
Pinto Salinas (S.C de Mora)		8,4	2,5	6,2	3,3	0,3	0,8	0,8	74,3	3,4
Miranda (Timotes)		21	10	8	5	2	6	-	28	10
Tovar (Tovar)		10,8	4,7	7,5	1,4	0,1	1,5	0,3	72,0	1,7
Sucre (Lagunillas)		9,1	5,8	5,2	2,4	-	1,1	-	74,2	2,2
Pedro Gual Cúpira)/Miranda		11,5	5,9	5,4	1,5	-	3,0	0,4	28,8	20,0
Sotillo (Barrancas)	23,2	10,4	6,1	2,9	0,1	2,7	0,7	21,0	18,4	14,5

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

Libertador (Temblador)		20,6	11,2	13,2	4,1	0,2	2,5	0,6	18,2	11,8	17,6
Ezequiel Zamora (Punta de Mata)		15,6	15,3	7,9	3,9	0,2	3,6	0,7	15,4	18,9	18,5
Caripe (Caripe)		26,8	11,8	7,6	2,5	-	3,0	0,5	33,8	9,3	4,7

Fuente: Sánchez, Rebeca (2000)

**Tabla 4.8.**  
**Composición de los residuos sólidos municipales**  
**en algunas localidades con población entre 50,1 y 100 M habitantes**

Municipio (Capital) / Estado	Componente (%)									
	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales		Textiles	Cauchos y Cueros	Restos de Alimentos	Restos de Jardín	Otros
				Fe	No Fe					
Atures (Puerto Ayacucho)/Amazonas	4,8	2,8	6,4	2,8		0,4	1,4	5,9	51,5	24,0
Diego Ibarra (Mariara)/Carabobo	14,9	8,7	3,2	2,0	-	2,0	2,0	6,9	19,3	41,0
Urdaneta (Siquisique)/Lara	19,9	17,8	20,7	-	-	7,4	-	2,5	20,7	11,0
Jiménez (Quiebro)/Lara	24,4	17,8	21,0	-	2,2	7,5	-	18,4	8,0	0,7
Campo Elías (Ejido)/Mérida	13,7	2,5	5,2	1,4	0,1	0,7	0,6	70,0		5,8
Paz Castillo (Santa Lucía)/Miranda	22,4	19,6	10,9	4,6	1,1	10,0	2,8	15,9	7,5	5,2
Torbes/Táchira	18,4	7,4	19,9	3,3	0,3	0,2	-	50,0		0,5

Fuente: Sánchez, Rebeca (2000)

**Tabla 4.9.**  
**Composición de los residuos sólidos municipales**  
**en algunas localidades con población entre 100,1 y 500 M habitantes**

Municipio (Capital)/Estado	Componente (%)									
	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales		Textiles	Cauchos y Cueros	Restos de Alimentos	Restos de Jardín	Otros
				Fe	No Fe					
Lomas - Libertador – Mariño/Aragua	16,9	10,4	3,3	1,7	0,2	2,8	0,8	17,9	21,9	24,1
Juan José Mora - Puerto Cabello/Carabobo	21,5	9,3	8,9	4,0	0,5	4,5	2,1	21,6	11,6	16,0
Libertador (Mérida)/Mérida	18,6	5,6	9,3	2,3	0,3	1,9	2,0	57,9		2,1
Plaza (Guarenas)/Miranda	22,4	10,9	19,7	4,6	1,1	10,0	2,8	15,9	7,5	5,1
Maturín (Maturín)/Monagas	19,2	12,9	7,9	2,8	0,2	3,2	0,4	26,2	11,8	15,4
San Cristóbal (San Cristóbal)/Táchira	35,0	7,3	10,5	0,8	0,3	1,4	-	44,0		0,7

Fuente: Sánchez, Rebeca (2000)

**Tabla 4.10.**  
**Composición de los residuos sólidos municipales**  
**en algunas localidades con población mayor a 500 M habitantes**

Municipio (Capital)/Estado	Componente (%)									
	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales		Textiles	Cauchos y Cueros	Restos de Alimentos	Restos de Jardín	Otros
				Fe	No Fe					
Caroní (Ciudad Guayana)*/Bolívar	30,8	16,6	5,1	10,6	0,5	7,5	1,7	26,2		1

Caroní (Ciudad Guayana)**/Bolívar	29,9	16,3	4,7	0,3	0,5	0,8	0,3	46,9		0,3
Valencia (Valencia)/Carabobo	13,3	10,4	23,9	4,1	1,2	10,3	1,8	13,9	15,3	5,8
Maracaibo (Maracaibo)/Zulia	17,6	13,5	5,5	3,3	0,6	1,3	-	17,9	35,7	4,6
Área Metropolitana de Caracas	22,3	11,7	4,5	2,0	2,9	4,1	-	37,0	4,3	11,2

\* Residenciales; \* Comerciales

Fuente: Sánchez, Rebeca (2000)

Se debe destacar que la composición de los desechos sólidos municipales varía con la localización, clima, condición económica y muchos otros factores, razón por la cual se deben realizar, para cada caso, estudios especiales sobre la composición de los desechos

#### **4.3.3. Peso unitario**

El peso unitario se define como el peso por unidad de volumen de los residuos sólidos, incluyendo los vacíos, el peso unitario real es el que poseen los residuos tal como se generaron y el aparente es el obtenido luego de ser sometidos a compactación.

Los principales factores que influyen el peso unitario inicial de los desechos sólidos municipales son:

- Composición de los desechos, volumen diario de suelo colocado como cobertura de los desechos; y
- El grado de compactación obtenido durante la colocación de los desechos.

El peso unitario de los desechos viejos depende del grado de descomposición, profundidad y los factores ambientales.

Numerosos autores tales como Landva y Clark, (1990), Sing y Murphy, (1990), Van Impe, (1993), Fassett et al, (1994) y Whitiam et al, (1995) han propuesto pesos unitarios para los residuos sólidos. Los valores propuestos van de 3 KN/m<sup>3</sup> sin compactar o pobremente compactado a 14 KN/m<sup>3</sup> para basura que tiene una buena compactación, con un valor medio en el orden de 9 a 12 KN/m<sup>3</sup>. El peso unitario generalmente se incrementa con la profundidad como resultado de la compresión y consolidación del relleno debido a la presión de sobrecarga aplicada (Figura 4.5).

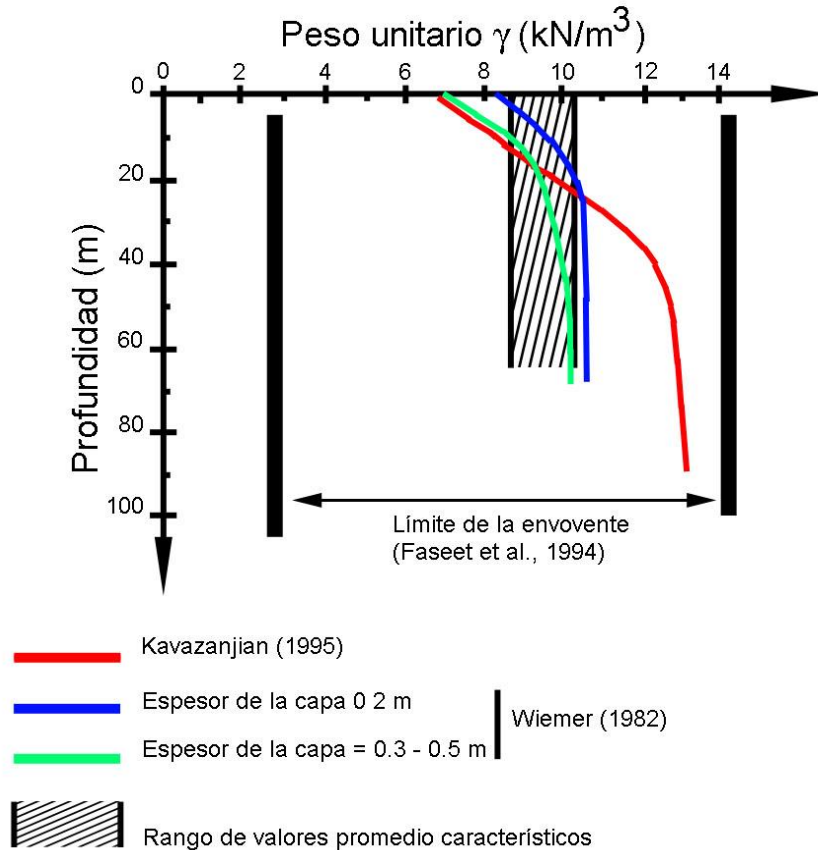


Figura 4.5. Peso unitario de los desechos sólidos municipales (Kavazanjian et al., 1995)

Para profundidades mayores de 10 m, el peso unitario de los desechos, los cuales fueron inicialmente mal compactados en el momento de su disposición, pueden ser comparables a aquellos que fueron bien compactados como capa (Singh & Murphy, 1990, Fasett et al., 1994). Otros autores (Wiemer, 1982, Kavazajian et al., 1995) señalan que solo se obtiene un pequeño incremento en el peso unitario por debajo de una profundidad de aproximadamente 40 m a 45 m.

La relación masa/volumen (densidad) se utiliza con frecuencia para evaluar la masa total y volumen de desechos a manejar. La densidad de los desechos sólidos varía con la localización geográfica, época del año y tiempo de almacenamiento por tanto se deben tener sumo cuidado en la selección de un valor típico. Por otra parte, muchos de los valores reportados en la bibliografía no hacen distinción entre densidades de desechos compactados y sin compactar. Se recomienda trabajar con la densidad de los desechos tal y como se generan. En la Tabla 4.11 se muestran valores característicos de densidad para los desechos sólidos municipales.

#### 4.3.4. Contenido de humedad

Es el contenido de agua expresado en términos de porcentaje, esta agua se presenta como agua libre y se determina su cantidad por gravimetría (diferencia de pesos). La humedad es función del grado de compactación de los residuos sólidos.



**Tabla 4.11.**  
**Valores característicos de densidad**  
**desechos sólidos municipales**

COMPONENTE	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	
	Rango	Típico
Cartón	30 - 80	50
Caucho	90 - 200	130
Compactados (en compactadoras)	180 - 450	300
Cuero	90 - 260	160
Desechos de Alimentos	120 - 480	290
Desechos de Jardín	60 - 225	105
Desechos Sólidos Municipales sin compactar	90 - 180	130
En Relleno Sanitario (bien compactados)	600 - 750	600
En Relleno Sanitario (compactación normal)	350 - 550	475
Envases de hojalata	45 - 160	90
Madera	120 - 320	240
Metales Ferrosos	120 - 1200	320
Metales no Ferrosos	60 - 240	160
Otros orgánicos	90 - 360	240
Papel	30- 130	85
Plástico	30 - 130	65
Textiles	30- 100	65
Tierra, ceniza, ladrillo, etc.	320 - 960	460
Vidrio	160 - 480	195

Adaptado de: Peavy et al (1985)

El contenido de humedad de los residuos sólidos depende de la composición inicial, condiciones climáticas locales, procedimientos de operación de los residuos, la velocidad de descomposición biológica, y la capacidad y actuación de los lixiviados y sistemas de colección del gas con respecto a la cantidad de humedad que entra, y que se generó dentro del relleno. Además, la cantidad de humedad dentro de un relleno puede variar significativamente entre zonas que tienen las composiciones sustancialmente diferentes.

Estudios realizados por Huitric et al., (1979) y Tchobanouglos et al., (1993), demostraron que el contenido de humedad normalmente varía de 15 a 40 %, con una humedad típica de aproximadamente 25% cuando la evapotranspiración excede la precipitación. Otros autores han reportado contenidos de humedad en el rango del 10 % a más del 100 %, con una tendencia a incrementarse con la profundidad (Figura 4.6). Una excepción de estas mediciones fue realizada en el relleno sanitario de Ano Liossia en Atenas, Grecia (Coumoulos et al., 1995) donde el contenido de humedad disminuyó para profundidades mayores de 15 m.

Los contenidos de humedad observados en los residuos sólidos son debidos principalmente al alto contenido orgánico (restos de alimentos y de jardín, etc.) que representa un alto porcentaje en los residuos sólidos. Los componentes inorgánicos de los residuos sólidos como plásticos y productos de papel generalmente tienen un contenido de humedad inferior al 10 %. Como resultado, el contenido de humedad tiende a incrementarse con el contenido materia orgánica de la basura (Landva y Clark, 1990). La basura fresca sin compactar tiene menor contenido de humedad que la

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

basura vieja. Se debe tener presente que la basura es separada por capas intermedias de suelo (cobertura), la cual generalmente tiene un contenido de humedad significativamente menor que los desechos.

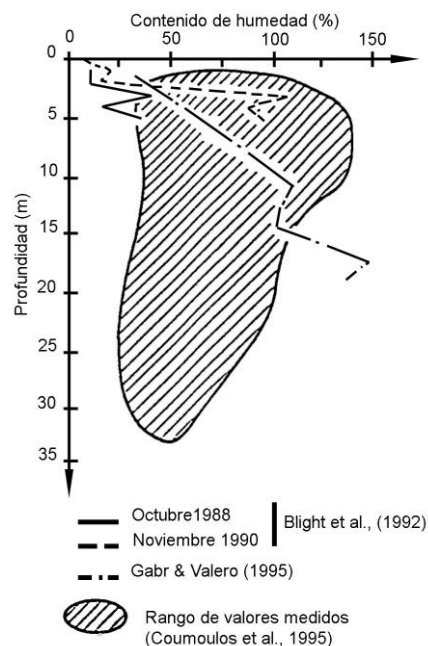


Figura 4.6. Contenido de humedad de desechos sólidos municipales

El contenido de humedad varía entre 15% y 40% en el caso de desechos sólidos municipales y del 10% al 35% en residuos industriales, dependiendo de la composición de los desechos, época del año y condiciones meteorológicas. En la Tabla 4.12 se presentan valores típicos para el contenido de humedad de los diferentes componentes de los desechos sólidos municipales.

**Tabla 4.12.**  
**Valores Típicos de Humedad - Desechos Sólidos Municipales**

COMPONENTE	HUMEDAD (%)	
	RANGO	TÍPICO
Cartón	4-8	5
Caucho	1-4	2
Cuero	8-12	10
Desechos de Alimentos	50 - 80	70
Desechos de Jardín	30 - 80	60
Desechos Sólidos Municipales	15 - 40	20
Envases de hojalata	2-4	3
Madera	15 - 40	20
Metales Ferrosos	2-6	3
Metales no Ferrosos	2-4	2
Papel	4-10	6
Plástico	1-4	2
Textiles	6-15	10
Tierra, ceniza, ladrillo, etc.	6-12	8

Vidrio	1-4	2
--------	-----	---

Adaptado de: Peaty et al (1985)

### 4.3.5. Compactación

Basado en los resultados del ensayo Proctor reportados por Manassero et al., (1996), el peso unitario máximo de los desechos sólidos municipales está en el orden de  $9,3 \text{ kN/m}^3$  y un contenido óptimo de humedad del 31 % (Figura 4.7) Como se puede observar la curva de compactación para la basura es similar a la de los suelo, en la misma se obtendría una saturación completa de la muestra con un contenido de humedad aproximadamente el 70%, considerando al 100% la curva de saturación.

De acuerdo a los datos reportados por Oweis & Khera (1990), la relación de peso unitario compactado a sin compactar de los componentes individuales de la basura es generalmente del orden de 3 a 5 con relaciones altas hasta 10 para plásticos bien compactados.

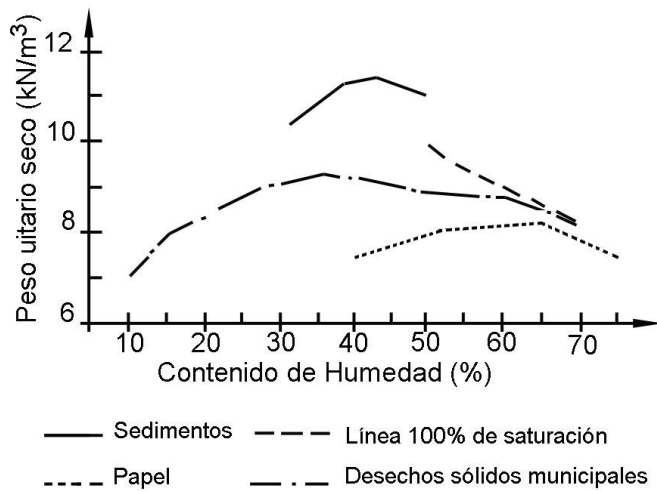


Figura 4.7. Curva de compactación de residuos sólidos (Manassero et al., 1996)

**Tabla 4.13.**  
Densidades de desechos sólidos municipales recolectados y compactados (por 1000 kg de desechos)

Componente	Masa (kg)	Volumen (m3)	Factor de Compactación	Volumen en el relleno sanitario (m3)
Cartón	40	0.50	0.18	0.09
Caucho	5	0.02	0.30	0.01
Cuero	5	0.02	0.30	0.01
Desechos de comida	150	0.32	0.33	0.10
Desechos de jardín	120	0.71	0.20	0.14
Latas	60	0.42	0.15	0.06
Madera	20	0.05	0.30	0.01
Metales ferrosos	20	0.04	0.15	0.01
Metales no ferrosos	10	0.04	0.30	0.01

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

Papel	400	3.01	0.15	0.45
Plásticos	30	0.29	0.10	0.03
textiles	20	0.19	0.15	0.03
Vidrio	80	0.26	0.40	0.10
Cenizas, escombros y polvo	40	0.05	0.75	0.04
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>5.91</b>	-	<b>1.09</b>

**4.3.6. Permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad de la basura es otro parámetro importante en el diseño y operación de los desechos sólido municipales en un relleno sanitario, particularmente por los sistemas de recolección de lixiviados y biogás. Para rellenos sanitarios sin sistemas de recolección de lixiviados, existe un alto potencial de acumulación de lixiviados cuando el coeficiente de permeabilidad del suelo subyacente es significativamente menor que el de los residuos. Esto puede ocasionar fugas de lixiviado en las laderas del relleno sanitario. Además, esta propiedad puede tener un efecto importante (volumen y velocidad) en la producción de biogás.

La permeabilidad es frecuentemente evaluada en ensayos de laboratorio, ensayos en cajas y ensayos de bombeo in situ. La Tabla 4.14 muestra los resultados obtenidos por varios autores, el coeficiente de permeabilidad generalmente varía entre  $10^{-4}$  m/s a  $10^{-6}$  m/s, lo cual es comparable con la permeabilidad de arenas finas o arenas que contengan algo de material fino. Manassero et al. (1996) ha propuesto un coeficiente de permeabilidad de  $10^{-5}$  m/s como aproximación inicial. Sin embargo, siempre tiene que tenerse presente que la permeabilidad de los desechos sólidos municipales es altamente dependiente del procedimiento de colocación de los desechos, del grado inicial de compactación, la presión de recubrimiento y la edad de los desechos.

**4.3.7. Temperatura de los desechos sólidos municipales en el relleno sanitario**

Las temperaturas en los desechos son frecuentemente medidas por metros de profundidad en perforaciones y con la ayuda de equipos electrónicos. La temperatura característica tomada por Coumoulos et al., (1995) en cuatro fechas distintas son mostradas en la Figura 4.8.a conjuntamente con las temperaturas ambientales tomadas el mismo día. Se observa que las temperaturas de los desechos varían entre 40 °C a 60 °C a medida que aumenta la profundidad, y no son afectadas por las variaciones ambientales de temperatura. A profundidades mayores, la temperatura de los desechos puede disminuir considerablemente (entre 5 °C a 15 °C) como puede observarse en la Figura 4.8.b.

**Tabla 4.14.  
Coeficientes de permeabilidad para desechos sólidos municipales  
(Manassero et al., 1996)**

Autor	Coeficiente de permeabilidad (m/s)	Método de ensayo
Koriatas et al., 1983	$3.15 \times 10^{-5}$ - $5.1 \times 10^{-5}$	Ensayos de laboratorio
Oweis & Khera, 1986	$1.0 \times 10^{-5}$	Estimación de los datos de campo
Oweis et al., 1990	$1.0 \times 10^{-5}$	Ensayo de bombeo
	$1.5 \times 10^{-6}$	Ensayo piezométrico
	$1.1 \times 10^{-5}$	Ensayo de carga
Gabr & Valero, 1995	$1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-5}$	Ensayos de laboratorio
Blengino et al., 1996	$3 \times 10^{-7}$ - $3 \times 10^{-6}$	Perforaciones profundas (30 – 40 m)

		Ensayo piezométrico
Manassero, 1990	$1.5 \times 10^{-3} - 2.9 \times 10^{-4}$	Ensayo de bombeo (15-20 m de profundidad)
Beaven & Powric, 1995	$1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-4}$	Ensayos de laboratorio bajo presiones confinantes desde 0 a 600 kPa
Brandl, 1990	$7.0 \times 10^{-3} - 2.0 \times 10^{-4}$ (Compactada con rodillo)	Ensayo piezométrico
	$3.0 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5}$ (Compactación dinámica)	Ensayo de carga
Brandl, 1994	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$ (Pre-tratada)	Ensayos de laboratorio
	$3.0 \times 10^{-4} - 2.0 \times 10^{-5}$ (muy compactada)	

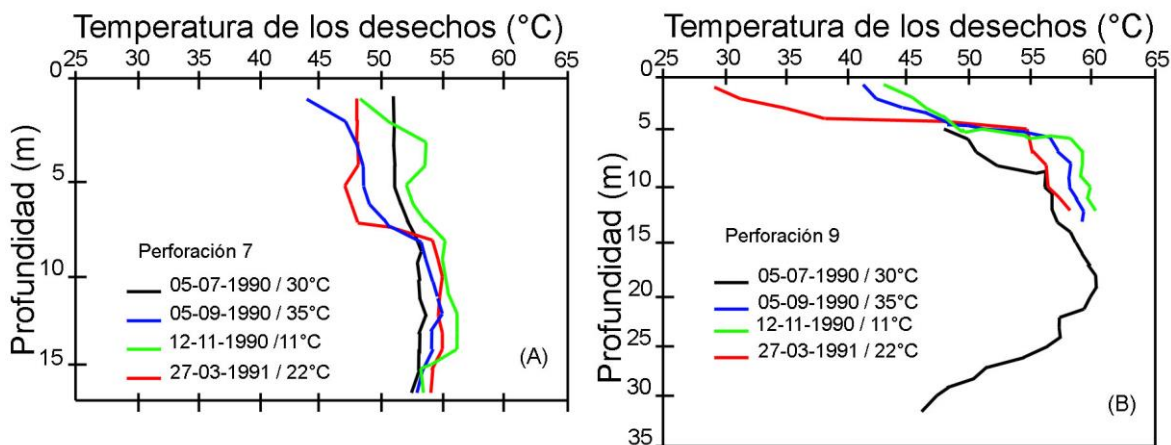


Figura 4.8. Variaciones de temperatura de desechos con la profundidad en el relleno sanitario de Ano Liossia, Atenas, Grecia (Counoulos, et al., 1995)

#### 4.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Las propiedades mecánicas a ser consideradas en el análisis de estabilidad de residuos sólidos (basura) son la resistencia al corte y la compresibilidad, De igual manera como para las propiedades físicas, la información relativa a las propiedades mecánicas de los desechos sólidos municipales es limitada y algunas veces contradictoria. Las propiedades mecánicas son influidas por la composición de los residuos sólidos, así como el comportamiento mecánico de los componentes individuales que pueden ser significativamente diferentes de aquellos que normalmente constituyen los suelos. Por consiguiente, debe tenerse cuidado al aplicar teorías clásicas de mecánica de suelos y métodos analíticos a los desechos sólidos.

Un problema práctico, importante, es la dificultad para obtener muestras representativas de los materiales para los estudios, y la falta de métodos de ensayos universalmente aceptados y contrastados por la comunidad científica. Por lo tanto, los métodos que se emplean habitualmente se deben interpretar con cautela y evaluando la aplicabilidad de las correlaciones utilizadas en el estudio de suelos, a los residuos.

**4.4.1. Resistencia al corte**

La resistencia al corte de los desechos sólidos municipales es frecuentemente determinada de las siguientes maneras:

- Ensayos triaxiales a gran escala;
- Ensayos de corte directo;
- Ensayos in situ;
- Análisis en retrocálculo (back - analysis) de deslizamientos ocurridos.
- Ensayos a escala real

Los parámetros geotécnicos de residuos sólidos (basura) reportados en la literatura, por varios autores se pueden observar en la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15.  
Parámetros Geotécnicos de Residuos Sólidos (Basura)**

Autor	<i>c</i> (KPa)	$\phi$ (°)	Ensayo	Observaciones
Gay et al., 1981	7	42	Compresión simple	9 meses
	28	26,5		Basura fresca
Del Greco y Oggen, 1994	15,7	21	Corte directo	Baja densidad
	24	22		Alta densidad
Landva y Clark, 1986	16 – 19	38 – 42	Corte directo	Basura vieja
	16	33		> de 1 año
	23	24		Basura fresca
Landva y Clark, 1990	19 – 22	24 – 39	Corte directo	$\sigma = 480$ KPa
Golder Associates, 1993	0	41	Corte directo	-
Richardson y Reynolds, 1991	10	18 – 43	In-situ, Corte directo	14 KPa < $\sigma$ < 38 KPa
Cowland et al., 1993	10	25	Back-analysis	Trinchera profunda
Kavazanjian et al., 1995	-	25 - 34	Back-analysis	45 KPa < $\sigma$ < 180 KPa

Fuente: Comité Técnico TC 5 “Geotecnia Ambiental” de la ISSMGE “Stability of Municipal Solid Waste” por (Knochenmus et al., 1998).

Los ensayos de laboratorio en desechos sólidos han demostrado que la resistencia al corte es afectada por los parámetros ambientales como: la edad de los desechos, composición, contenido de humedad y el contenido de materia orgánica, y por los factores físicos como la compactación y el tamaño de la partícula. Como resultado del entramamiento de las partículas, la resistencia al corte de los desechos sólidos generalmente se incrementa con el incremento de los esfuerzos normales. Además, un incremento de la densidad con el tiempo puede mejorar las propiedades de resistencia de los desechos. Un efecto posterior puede superponerse debido a la biodegradación de los desechos los cuales pueden reducir los parámetros de resistencia. Se ha demostrado que el ángulo de fricción para desechos compactados es mayor que en desechos sin compactar, especialmente para deformaciones axiales (Figura 4.9). También se puede observar que el ángulo de fricción para un nivel de deformación dado generalmente se incrementa con el tamaño de la partícula máximo.

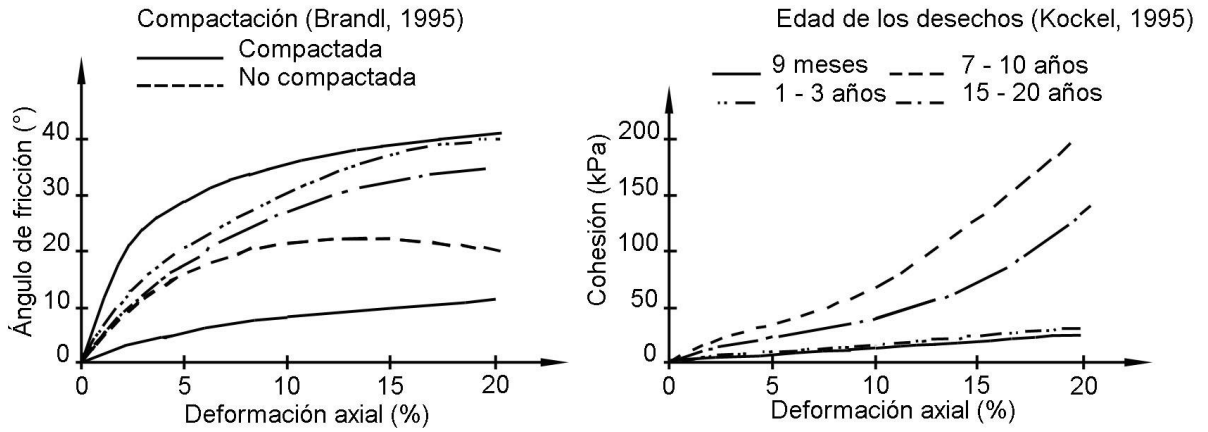


Figura 4.9. Resistencia la corte movilizada bajo varias condiciones (Kockel, 1995)

Mientras que ensayos triaxiales realizadas por Kockel, (1995) han demostrado un aumento de la cohesión con la edad de la basura, excepto la muy vieja. De los resultados de los ensayos de corte Gay et al., 1991 y Landva et al., 1984, obtuvieron que, el ángulo de fricción generalmente se incrementan con la edad de los desechos, mientras que la cohesión disminuye para desechos viejos.

Los ensayos triaxiales realizados por Gabr y Valero, (1995) reportaron una disminución de la cohesión para un aumento en el contenido de humedad (ver Figura 4.10).

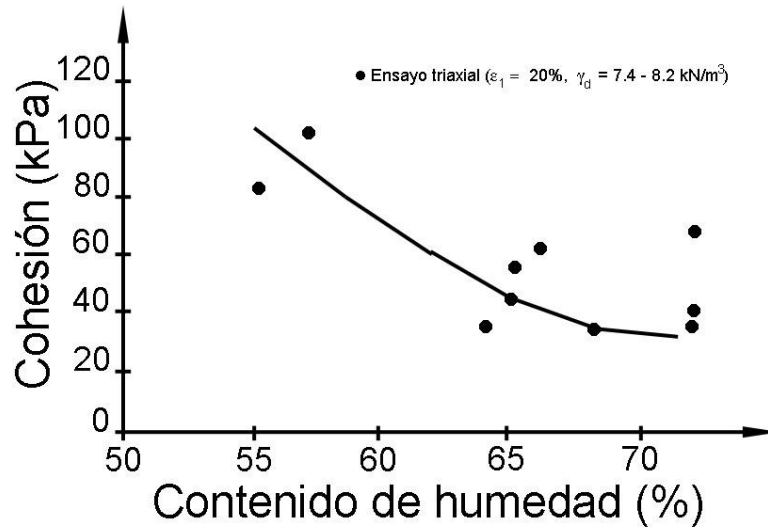


Figura 4.10. Disminución de la cohesión con la humedad (Gabr & Valero, 1995)

Los ensayos triaxiales y ensayos de corte directo han demostrado que los desechos pueden experimentar grandes deformaciones que van del 15% al 20%.

Las propiedades de resistencia de las interfaces pueden ser determinadas por medio de ensayos de laboratorio. Las geomembranas generalmente no pueden movilizar un ángulo de fricción superior a los 15°. En base a análisis en retrocálculo y ensayos de laboratorio se sugiere un ángulo de fricción

de 8° para una interface de geomembrana de HDPE no muy rugoso y alrededor de 15° a 20° para geomembranas texturizadas.

La interacción entre los componentes del relleno deben ser tomados en cuenta en el diseño del relleno sanitario, de manera de asegurar un comportamiento satisfactorio. La baja resistencia al corte en las interfaces entre los desechos y los otros componentes es un factor a tomarse en cuenta en la estabilidad.

El comportamiento mecánico de los residuos sólidos ha sido comparado al de la “tierra armada”, debido al efecto de los elementos fibrosos que se entrecruzan, actuando como refuerzos del material. En este sentido, se puede asumir que el ángulo de fricción interno “ $\phi$ ” es principalmente el resultado de la fricción generada entre los granos del componente de la “matriz básica”, y sólo es influenciado ligeramente por la presencia de los componentes reforzadores (papel, plástico, etc.). Por otro lado, la “matriz reforzadora” tiene un efecto significativo en la cohesión “ $c$ ”.

#### **4.4.2. Compresibilidad y asentamiento**

Los factores principales de asentamientos de rellenos sanitario son numerosos y pueden interrelacionarse (Edil et al., 1990). Ellos incluyen:

- Densidad inicial y relación de vacíos
- Contenido orgánico
- La altura del relleno y la sobrecarga adicional
- Registro de esfuerzos durante y después de la colocación de los desechos.
- Nivel de lixiviados y fluctuación del mismo
- Factores medioambientales como el contenido de humedad, temperatura y producción de biogás

Los mecanismos de asentamientos que gobiernan los residuos sólidos son complejos y numerosos, como resultado de la naturaleza heterogénea de la basura. Basado en varios mecanismos de asentamientos Manassero et al., (1996) han propuesto que el comportamiento del asentamiento de los residuos sólidos puede ser representada por las fases siguientes:

- La disminución de la relación de vacíos y compresión elástica que es el resultado de la distorsión mecánica, mientras se están doblando y aplastando las partículas bajo el mismo peso de la basura y materiales de cobertura.
- Cambios de volumen causados por la migración de partículas pequeñas hacia grandes vacíos.
- Comportamiento viscoso y fenómenos de consolidación que involucran el esqueleto sólido y los demás componentes.
- Asentamientos causados por la biodegradación de materiales orgánicos.



- Colapso causados por los cambios físico-químicos como la corrosión, oxidación y degradación de componentes inorgánicos.

Una fuente adicional de asentamientos son los cambios de volumen, los cuales pueden ocurrir por fundaciones compresibles en suelos localizados en las cercanías del relleno sanitario.

El asentamiento total que ocurre en los rellenos de residuos sólidos está en el orden de 10 a 40% de la altura inicial de la celda que depende del tipo de residuo y el grado inicial de compactación (Edil et al., 1990; Leach y Goodger, 1990; Frantzis, 1991). Un valor característico de 20% ha sido propuesto para un periodo de 15 a 20 años, con un gran porcentaje de los asentamientos ocurrirán durante el primer año.

Los asentamientos en un relleno sanitario pueden ser divididos en dos componente principales:

- Los asentamientos iniciales de basura fresca producida por la consolidación la cual es estrictamente dependiente de la carga. Estos asentamientos son relativamente uniformes y generalmente ocurren dentro de los primeros meses después de aplicar la carga.
- La segunda fase de la compresión es dependiente del tiempo e influenciada por la velocidad de descomposición biológica y las reacciones químicas de los desechos sólidos. La velocidad de que estos fenómenos ocurran, depende de numerosos parámetros incluyendo el grado de compactación.

La compactación efectiva de los desechos sólidos reduce significativamente los asentamientos. De igual manera, al disminuir la porosidad pueden disminuirse las reacciones biológicas, y consecuentemente la velocidad de los asentamientos. Observaciones realizadas en rellenos sanitarios viejos demuestran que un asentamiento secundario puede continuar por largos periodos de tiempo, que pueden exceder los 15 a 25 años. Además, los asentamientos secundarios son altamente dependientes del peso unitario y de la composición de los desechos, asentamientos diferenciales pueden ocurrir dentro del relleno.

Los datos experimentales publicados han mostrado una similitud entre el comportamiento del asentamiento de los residuos sólidos y de los suelos. Sower, (1973) sugirió que el comportamiento del asentamiento de residuos sólidos es parecido a la turba.

Debido a la similitud del comportamiento de los asentamientos, la teoría clásica de consolidación de suelos es frecuentemente aplicada en los desechos sólidos. Una limitante en la aplicación de esta teoría radica en el hecho que los desechos sólidos usualmente no están saturados, lo cual es uno de los supuestos básicos para la teoría clásica de consolidación. Además, el comportamiento de los asentamientos depende de numerosos mecanismos complejos, los cuales tienen muy poca diferencia a los normalmente aplicados a suelos.

#### **4.4.3. Capacidad de carga**

Los desechos sólidos son generalmente compresibles y difíciles de compactar por métodos convencionales; su capacidad de carga es baja, del orden de 25 kPa a 60 kPa. La capacidad de carga es generalmente evaluada utilizando la ecuación de carga convencional empleada en suelos, de los ensayos de superficies de carga o de correlaciones empíricas con ensayos in situ como el SPT o CPT. Sin embargo, estas correlaciones deben ser empleadas con sumo cuidado ya que los parámetros de resistencia se necesitan para evaluar las presiones de carga y es difícil estimarlas y las relaciones son

generalmente derivadas de los suelos. De acuerdo a Zadroga (1996) la capacidad de carga es del orden del 2% al 2.5% de la resistencia a la penetración de cono  $q_c$ .

En el caso de superficies de carga deben realizarse suficientes ensayos a lo largo de todo el relleno de manera de determinar las variaciones.

El espesor del recubrimiento del relleno sanitario tiene un efecto significativo en la capacidad de carga del relleno sanitario. El espesor y la resistencia del suelo de cobertura influyen el mecanismo de falla por capacidad de carga. Cuando esta capa es delgada o meteorizada, el modo de falla generalmente es por corte rotacional. Para coberturas de gran espesor o de gran resistencia, el modo de falla predominante es el punzonamiento.

#### **4.4.5. Velocidad de las ondas de corte**

.La velocidad de ondas de corte es otra propiedad esencial para caracterizar los desechos sólidos, ya que permiten evaluar directamente la magnitud y la variación de pequeñas variaciones en el módulo de deformación con la profundidad sin el uso de correlaciones empíricas. La velocidad de la onda de corte en desechos sólidos puede ser generalmente estimada con métodos geofísicos como la refracción sísmica y levantamientos de campo de down-hole y cross-hole. Una técnica alternativa consiste en el análisis espectral de ondas de superficie. Esta técnica tiene como ventajas, que es rápida, tiene bajo costo, eficiente y no es intrusiva como las perforaciones, eliminando los riesgos inherentes a la salud y la seguridad. Además, las ondas de superficie miden la influencia en un volumen mayor de desechos, lo cual permite tener un promedio de la rigidez a ser empleada en el caso de materiales heterogéneos como los desechos sólidos.

Los datos de velocidades de ondas de corte publicados son pocos, las velocidades de las ondas de corte en desechos sólidos varían entre 50 m/s a más de 350 m/s. Las velocidades de las ondas de corte iniciales están entre 75 m/s y 225 m/s que son consideradas como representativas. En la mayoría de los casos, las velocidades de las ondas de corte a una profundidad dada es normalmente mayor, esto es debido a la edad de los desechos.

## **5. Estabilidad de los Rellenos Sanitarios**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Los análisis de estabilidad son parte del proceso de diseño de los rellenos sanitarios para desechos sólidos municipales, y ayudan a comprender el comportamiento de los mismos por cualquiera de los siguientes mecanismos:

- Asentamientos excesivos;
- Falla por capacidad de carga de las estructuras construidas en el relleno sanitario;
- Falla por deslizamiento.

La estabilidad de los rellenos sanitarios de desechos sólidos bajo condiciones estáticas es controlada por los siguientes factores:

- Resistencia al corte y compresibilidad de los suelos de fundación;
- Peso unitario y resistencia al corte de los desechos;
- Inclinação del talud;
- Altura del relleno y ángulo de inclinación del talud frontal y/o laterales;
- Nivel de los lixiviados y su fluctuación dentro del relleno;
- Composición del recubrimiento del relleno sanitario y su resistencia a la erosión.

En todos los casos la presencia del agua actúa como un agente desestabilizante, ya que reduce las fuerzas resistentes e incrementan las fuerzas desestabilizadoras.

Los asentamientos y la capacidad de carga permitida usualmente son estimadas por los métodos tradicionales de la mecánica de suelos.

---

Existen muchos mecanismos de falla potencial que deben ser evaluados en el análisis de estabilidad de taludes de los rellenos sanitarios de desechos sólidos, entre ellos podemos mencionar:

- La falla de los taludes antes y después de la colocación de los desechos;
- Deslizamiento a través de la pila de desechos;
- Deslizamiento a lo largo de una capa intermedia de relleno, que provoca una translación lateral de los desechos;
- Deslizamiento profundo a través de los desechos, capas intermedias de recubrimiento y el suelo de fundación.

Los rellenos sanitarios tienen una estabilidad de taludes muy particular, ya que en su construcción están involucrados diferentes combinaciones de cortes y rellenos y una gran variedad de materiales que incluyen suelo, roca, agua, desechos sólidos y geosintéticos. Por lo tanto existen tres periodos críticos en la vida del relleno cuando la estabilidad del talud es considerada:

- Selección del sitio y preparación para recibir los desechos;
- Colocación de los desechos; y
- Sello final de cobertura y clausura.

Inicialmente, cuando el relleno sanitario está en su etapa inicial, de selección del sitio y preparación del mismo para recibir los desechos, la estabilidad de los materiales del terreno deben ser analizados dependiendo del tipo de comportamiento, ya sea en corte o relleno y dependiendo del tipo de relleno sanitario utilizado en fosas, trinchera, ladera, en cañones o en montículos (pirámides) sobre el terreno. A medida que los desechos son colocados en el relleno sanitario, los taludes temporales son rellenados y consecuentemente se van llenando las distintas secciones del relleno sanitario. Finalmente cuando el relleno sanitario ha llegado al máximo de su capacidad, una capa de sello es colocada en la parte superior de los desechos en el relleno sanitario a fin de completar el encapsulamiento de los mismos. Cada una de estas tres fases presenta una combinación única de materiales en contacto unos con otros y de parámetros de resistencia, por lo tanto tendrá una condición única de estabilidad.

Los análisis de estabilidad de los rellenos de desechos sólidos son más complejos que las estructuras clásicas en tierra como resultado de las dificultades en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los desechos y las interacciones en las interfaces, así como también de la variación de los parámetros con la profundidad. Adicionalmente a esto, la variación de las propiedades de los desechos con el tiempo debe ser considerada en el análisis. Como parte del análisis de estabilidad, la forma de la superficie de falla potencial debe ser evaluada. Las superficies de falla que pasan a través de los desechos generalmente son circulares. La estabilidad a lo largo de las interfaces son más críticas (desecho/cobertura, cobertura/fundación, etc.), por lo tanto el análisis deberá realizarse considerando una superficie de falla no circular que pase a lo largo de la interface que tenga la resistencia menor. Las falla frecuentemente ocurren en la interface arcilla/geomembrana ya que su resistencia es frecuentemente menor y existe un gran potencial de generar altas presiones de poros como resultado de las acumulaciones de lixiviados en el área. Se ha sugerido que el contacto entre dos capas de geosintéticos puede ser crítico dependiendo del contenido de humedad en los desechos durante su colocación y a los esfuerzos normales aplicados. La

compatibilidad de las deformaciones entre los desechos y los elementos individuales hacen que la capa de fundación y la capa de recubrimiento sean tomadas en cuenta en los análisis de estabilidad de los desechos sólidos.

El análisis de estabilidad de los desechos sólidos en rellenos sanitarios es comúnmente realizado empleando los métodos convencionales de las rebanadas o los métodos transnacionales de cuña, considerando las superficies potenciales de falla en equilibrio límite. El factor de seguridad será determinado por la comparación de las fuerzas resistentes con las fuerzas movilizadas a lo largo de la superficie potencial de falla. Un factor de seguridad entre 1.3 y 1.5 es considerado como aceptable. Sin embargo, no se está seguro de si emplear o no los métodos de equilibrio límite debido a que los desechos sólidos tienen la peculiaridad de permitir grandes deformaciones sin que ocurra la falla. La mayor dificultad en la realización de los análisis de estabilidad para desechos sólidos radica en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los desechos y las condiciones hidráulicas dentro del relleno sanitario y los suelos de fundación.

## **5.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

Las propiedades ingenieriles de los desechos sólidos se han expuesto de manera bastante detallada en el capítulo 4 de este trabajo.

## **5.3. CONSIDERACIONES EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

Deben incluirse consideraciones para el análisis de estabilidad en todas las fases de desarrollo inclusive en la preparación de la subbase, construcción de sellos, colocación de desechos y clausura del relleno sanitario. La estabilidad de los taludes durante la preparación de la subbase puede realizarse por cualquier método convencional de corte y relleno, La estabilidad de los taludes de un relleno sanitario es única después de la preparación de la subbase, múltiples capas de suelo, geosintéticos y desechos son apiladas unas encima de las otras, creando una combinación también única de materiales que tendrán un comportamiento en los parámetros de resistencia al corte únicos (figura 5.1).

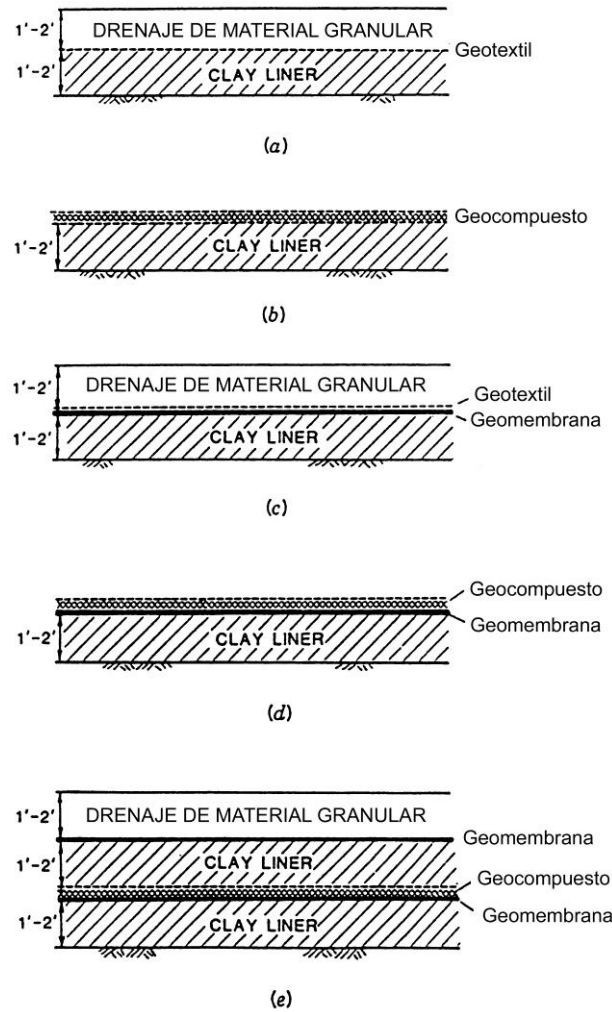


Figura 5.1. Tipos de sistemas de interfaces o sellos dentro de un relleno sanitario

Todos los métodos de análisis de estabilidad de taludes presentados en el apéndice A son aplicables a los rellenos sanitarios.

#### 5.4. TIPOS DE INESTABILIDADES

Las figuras 5.2 y 5.3 ilustran dos tipos de situaciones de estabilidad en rellenos sanitarios. En la figura 5.2 el relleno sanitario descansa sobre una base firme como roca o un área compactada. El relleno tiene un estrato, con un sistema de recolección de lixiviados y sin nivel de lixiviados dentro del relleno. La masa de desechos podrá deslizar a lo largo de la interface (superficie potencial de falla *abc*), o si el talud es más inclinado. Los rellenos sanitarios actualmente se diseñan con una inclinación de los taludes 3H:1V en condición seca, aunque en desechos sólidos los taludes pueden ser más verticales, con una altura de hasta 6 m conservando su estabilidad. En el relleno sanitario de Global (fallado), se observaron taludes de hasta 12 m de altura en la zona de la falla. Si el sistema de recolección de lixiviados falla, el nivel piezométrico de lixiviados aumentara, disminuyendo el factor de seguridad. En este caso, la superficie de falla potencial incluye la fundación del relleno sanitario.

Si los esfuerzos de corte son porcentualmente mayores que la resistencia del suelo de fundación, movimientos en el pie y en la cresta de talud, impactarán las paredes de los taludes, sistema de recolección de lixiviado o superficies de drenaje de aguas de lluvia.

El recubrimiento del relleno sanitario también puede fallar, por el deslizamiento a lo largo de una superficie plana paralela al recubrimiento. Un recubrimiento inicialmente seguro y seco, puede fallar tiempo después por saturación. La saturación incrementa el peso unitario del recubrimiento y disminuye la resistencia friccionante a lo largo de la interface. La fuente más comunes de saturación son las precipitaciones, grietas en recubrimiento y mal drenaje, pero la saturación también puede ser causada por un incremento del nivel de lixiviados dentro del relleno sanitario.

Adicionalmente la falla también puede ocurrir por un deslizamiento entre los componentes de una interface o sistema de recubrimiento. La resistencia a lo largo del contacto entre dos superficies es comúnmente llamada "resistencia interfacial". La interface entre una geomembrana y una geomalla, y entre una geomembrana y una arcilla bien compactada son especialmente críticas. La falla del relleno sanitario de Kettleman es un ejemplo de inestabilidad asociada con la resistencia interfacial.

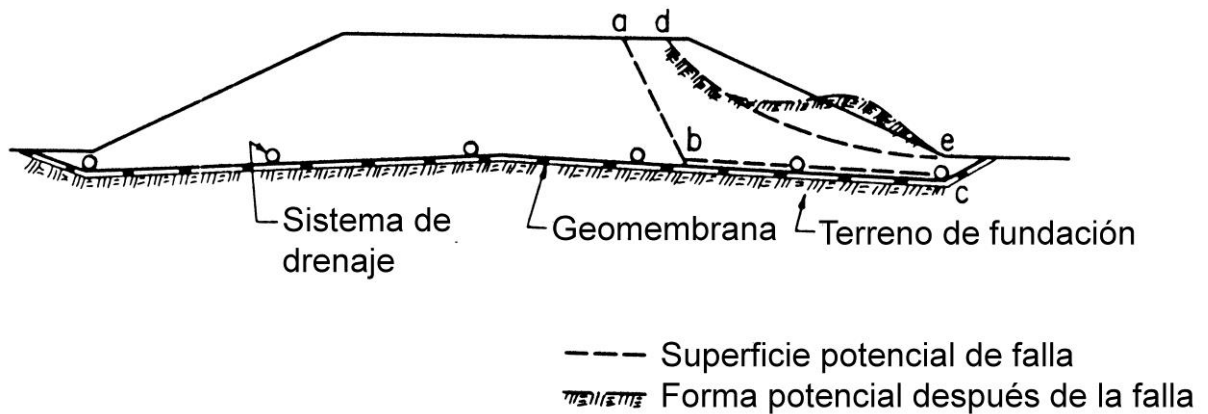


Figura 5.2. Inestabilidad de un relleno sanitario que pasa por el pie del talud con un suelo de fundación rígida

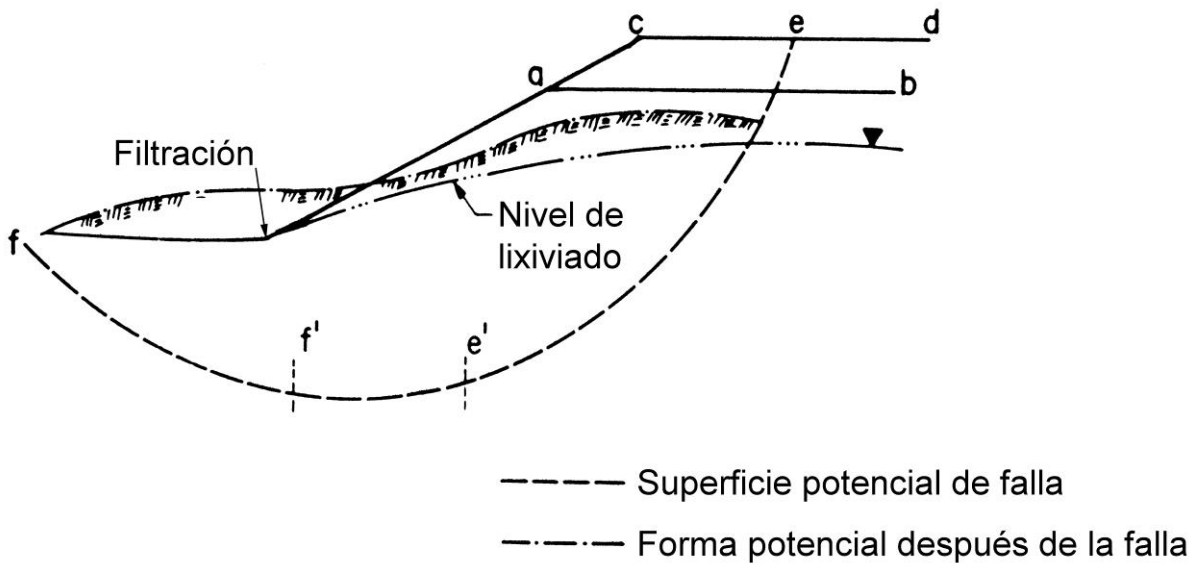


Figura 5.3. Inestabilidad de un relleno sanitario que pasa por debajo del pie del talud con un suelo de fundación blando

#### 5.4. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES INESTABILIDADES EN LOS VERTEDEROS

El proyecto de un vertedero tiene que tener en cuenta, absolutamente, la posibilidad de que en la estructura global o en partes de la misma puedan verificarse fenómenos de inestabilidad, con el fin de asegurar, a tiempo indefinido, la integridad y la continuidad de los sistemas de aislamiento de los desechos, salvaguardando de tal forma el medio ambiente.

En la figura 5.4 se representan, esquemáticamente, los posibles eventos de inestabilidad que pueden provocar una "rotura" del sistema de aislamiento de los desechos:

- Inestabilidad de la formación natural en que se halla el vertedero,
- Inestabilidad en el cuerpo de los desechos,
- Inestabilidad de la formación natural y de la masa de basura,
- Deslizamiento de los sistemas de aislamiento situados en superficies inclinadas de la cuenca del vertedero,
- Deslizamiento de la masa de desechos sobre las estructuras de aislamiento;
- Deslizamiento de los sistemas de cobertura de la masa de basura,
- Asentamientos excesivos o diferenciales de la formación natural bajo la masa de basura o de la misma masa de basura.



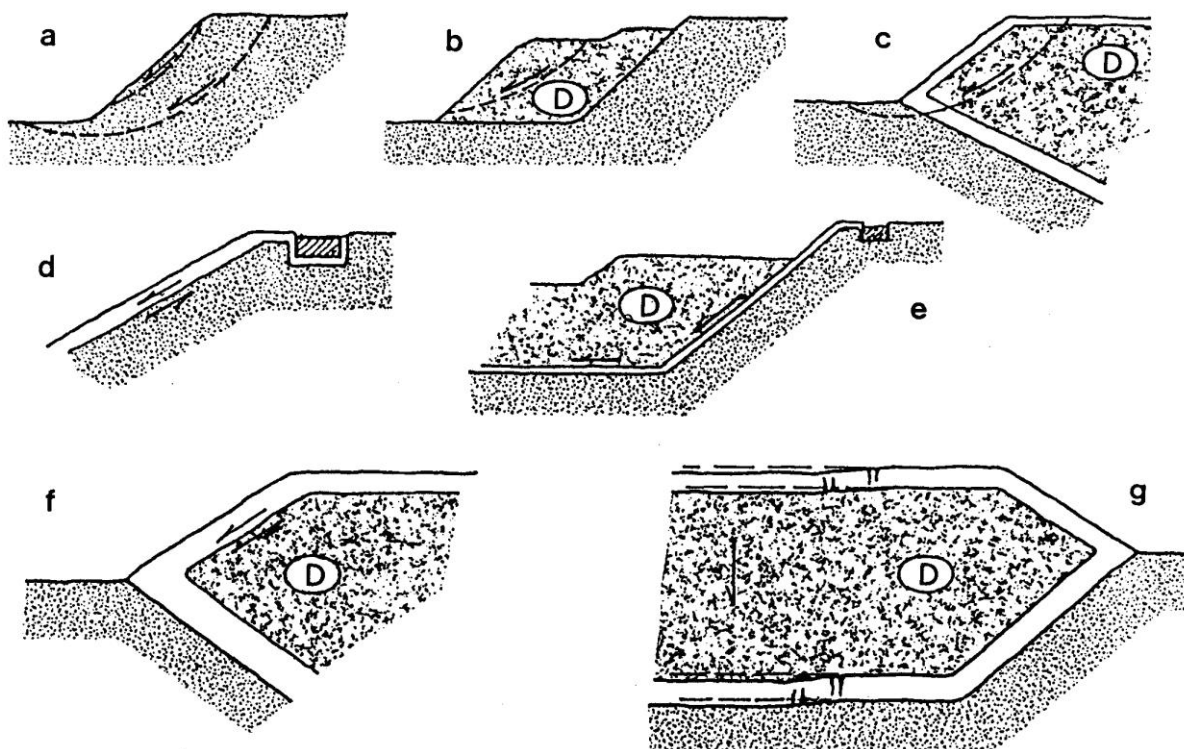


Figura 5.4. Casos de inestabilidad posibles en las estructuras de vertederos

#### 5.4.1. Inestabilidad de la formación natural

Fenómenos de inestabilidad de la formación natural pueden verificarse en el caso de vertederos en fosa, o situados en declives, o bien delimitados por diques de tierra. El riesgo de inestabilidad en estos casos es mayor antes de empezar a llenar el vertedero, cuando aún no existe la acción de confinamiento por parte de los desechos.

Cuando se trata de formaciones de arcilla sobre consolidada, habrá que examinar dos posibles mecanismos de rotura: el deslizamiento rotacional en depósitos homogéneos y el deslizamiento sobre el plano de capas arenosas, por la acción de presiones intersticiales.

Los controles de inestabilidad pueden hacerse con los análisis clásicos basados en el método del equilibrio límite, después de haber hecho las pruebas acostumbradas para la caracterización geotécnica de la formación.

La figura 5.5 ilustra algunos tipos de superficies potenciales de deslizamiento que pueden ocurrir en la etapa de excavación de los taludes.

Para rellenos en foso o en trinchera, es relativamente sencillo ajustar la inclinación de la excavación a fin de alcanzar la estabilidad y los requerimientos constructivos. Debido a que las crestas de los taludes excavados de los rellenos sanitarios es limitada por los límites de la propiedad, taludes poco inclinados de 2H:1V a 3H:1V tienen un efecto significativo en el volumen de desechos que se pueden almacenar. Los propietarios de la mayoría de los rellenos sanitarios siempre tratan de excavar los taludes con la máxima inclinación posible. Las inclinaciones características para rellenos sanitarios en foso y en trinchera son de aproximadamente 3H:1V. Esto es debido a que la mayoría

de los taludes en suelo son estables con esa inclinación y los sellos de arcilla pueden ser construidos en sus laderas con esa inclinación también.

Los rellenos sanitarios construidos en valles y en tipo pirámide son generalmente construidos con inclinaciones mayores de 3H:1V, debido a la poca inclinación de los taludes naturales. Aunque estos taludes pueden tener una inclinación menor de 3H:1V, un volumen significativo puede ser requerido debido a las alturas de los taludes. El nivel freático y estratos de suelo blando también influyen la estabilidad de los rellenos sanitarios en valles y en pirámide. Esto debe ser considerado en los análisis de estabilidad.

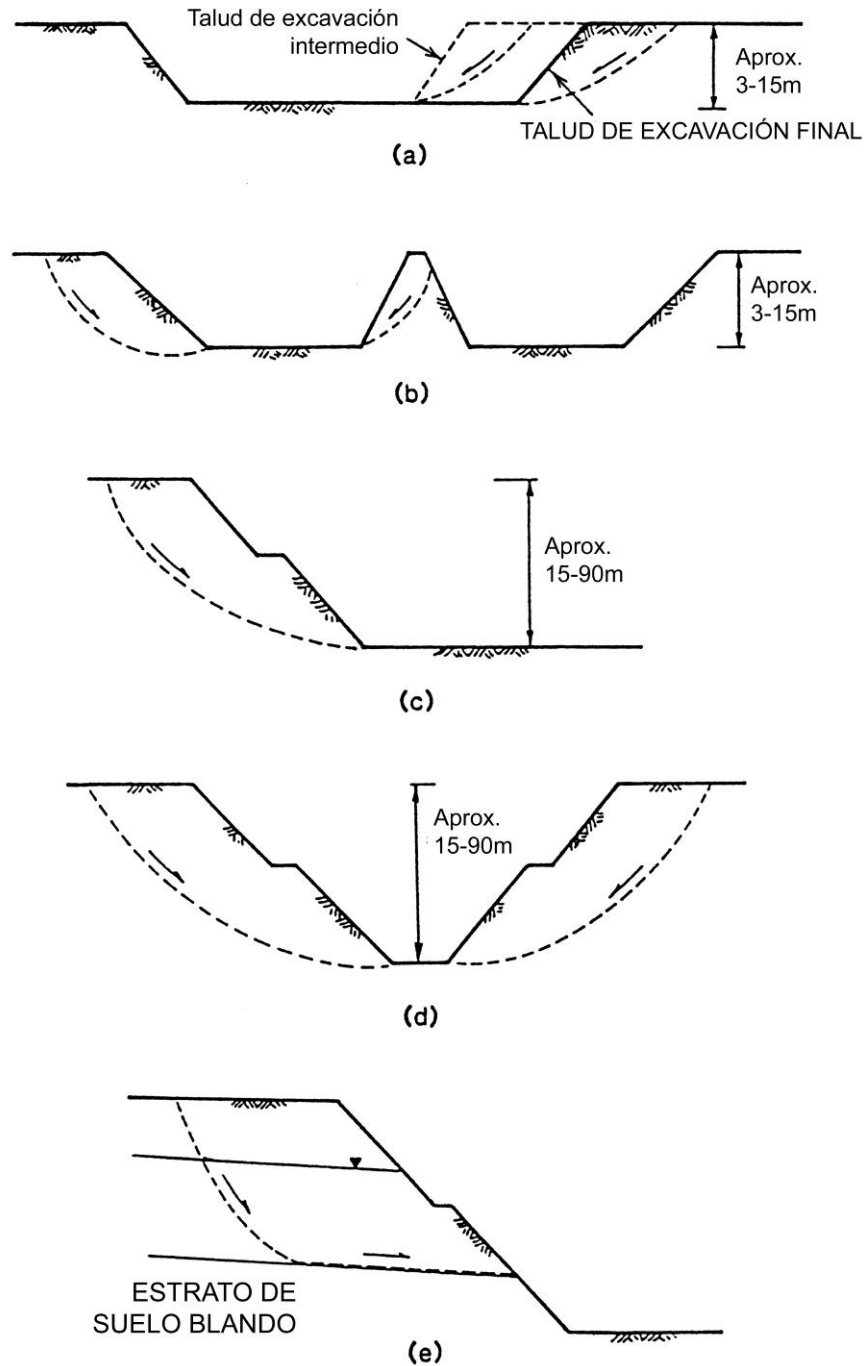


Figura 5.5. Superficies de deslizamiento potenciales en la excavación de los taludes de un relleno sanitario

Para la mayoría de los taludes excavados, las condiciones más desfavorables de análisis ya sea durante la construcción, o inmediatamente después de la construcción deben ser consideradas. Frecuentemente, los desechos colocados al finalizar la excavación actúan como estabilizadores y previenen que ocurra un movimiento.

### 5.4.2. Inestabilidad de los desechos

Las superficies potenciales de falla de un relleno sanitario ocurren de una de las tres maneras que se indican a continuación (Figura 5.6):

- A través de los desechos sólidos;
- A lo largo del sistema de sellos; y
- Una superficie compuesta que pase por los desechos sólidos y a lo largo del sistema de sellos.

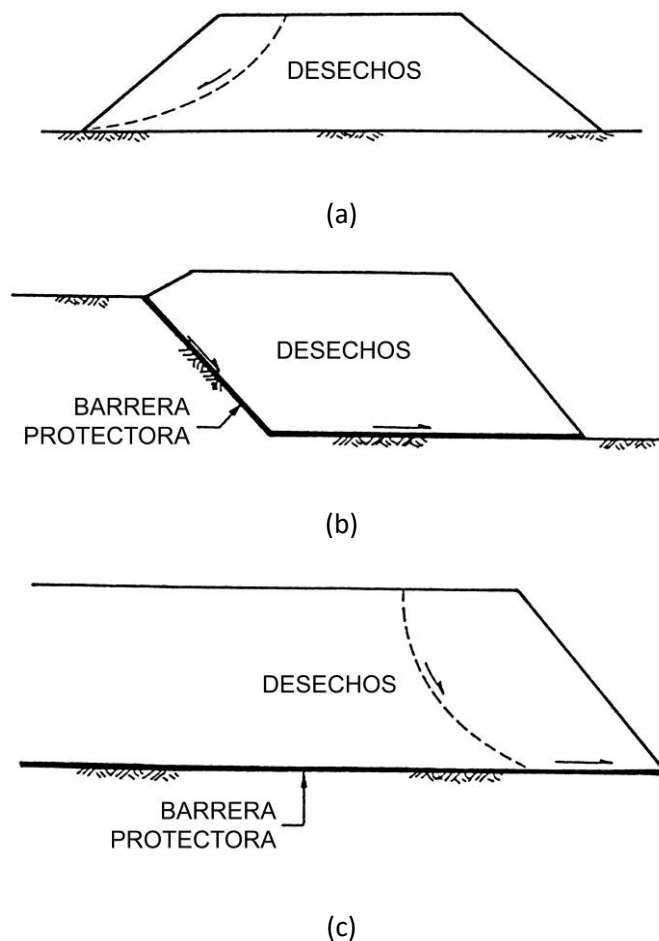


Figura 5.6. Superficies potenciales de falla a través de los desechos de un relleno sanitario

La comprobación de posible inestabilidad en la masa de los desechos o del conjunto basura-terreno requiere que se atribuya a los desechos los valores de oportunas características físico-mecánicas. Es fácil intuir, por consiguiente, las dificultades técnicas que pueden encontrarse en su determinación experimental; en efecto, por una parte, al término genérico de basura corresponde una gran variedad en cuanto a naturaleza y composición y, por otra, sigue siendo muy escaso el conocimiento de las características y del comportamiento de cada uno de estos materiales.

Para abordar este sector particular de investigación se podría hacer una distinción inicial entre los desechos que tienen una analogía con los terrenos (los áridos, material derivado de una excavación en la roca, fangos de distintas clases, cenizas, turba derivada del tratamiento de separación de minerales) y los que son substancialmente distintos al mismo (desechos sólidos urbanos e industriales asimilables a los primeros).

A los desechos del primer grupo pueden aplicarse los mismos sistemas de estudio que suelen emplearse para los terrenos naturales (ya sea en pruebas de laboratorio, o, in situ), mientras que para los demás hay que pensar, necesariamente, en estudios de otro tipo.

En efecto, es preciso considerar la enorme heterogeneidad y variabilidad de estos desechos, la vasta distribución dimensional de los elementos que los constituyen, el contenido de agua que varía con los cambios de estación y la transformación que a lo largo del tiempo tiene lugar por fenómenos de compactación y descomposición de constituyentes orgánicos.

La figura 5.7 muestra superficies de fallas características que pueden ocurrir en rellenos sanitarios tipo fosa y trinchera. Para estos tipos de rellenos sanitarios, la condición de estabilidad crítica ocurre en la etapa de llenado con los desechos, es decir, mientras ocurre el proceso de llenado (Figura 5.7.a). Una vez que la cota del terreno haya sido alcanzada con los desechos, este se convertirá en estable (figura 5.7.b). Si los desechos son colocados a nivel superficial (relleno sanitario en pirámide), dos tipos de superficies de falla pueden ocurrir. Una falla circular que pase por el pie del talud o una superficie de falla tipo compuesta que pase por la base del relleno sanitario.

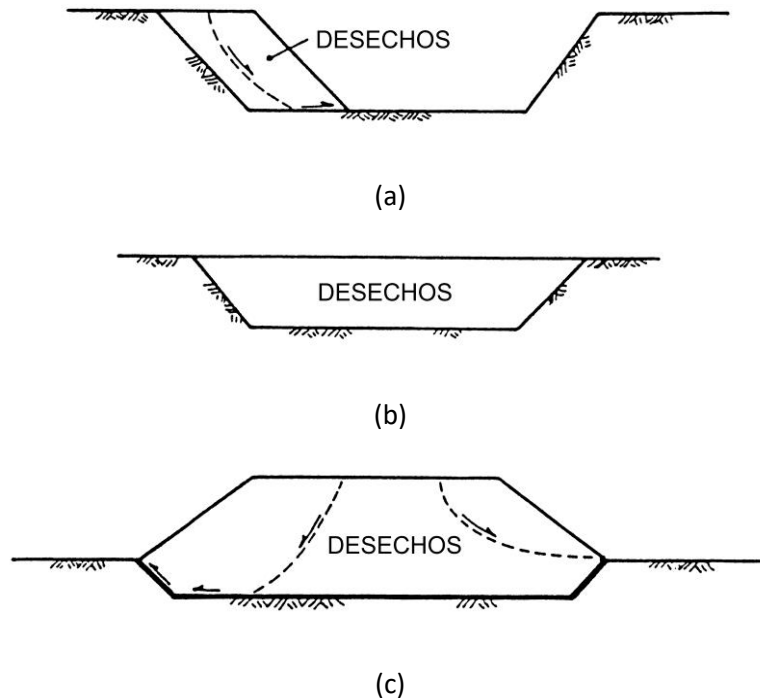


Figura 5.7. Superficie de deslizamiento potencial en desechos para configuraciones de rellenos sanitarios en fosa y en trinchera

La figura 5.8 ilustra las superficies de falla potencial en la estabilidad de los desechos correspondiente a los rellenos en ladera y rellenos en valle. Desde el punto de vista de estabilidad,

lo rellenos sanitarios en laderas es la configuración menos deseada. Esto es debido a que las inestabilidades mostradas en la figura 5.8.a y 5.8.b .tienen un potencial significativo de inestabilidad, especialmente cuando están sobre una barrera de geosintéticos. Los rellenos en valle son generalmente estables en su configuración final (figura 5.8.c), pero puede ser inestable durante el proceso de llenado del rellenos (figura 5.8.d).

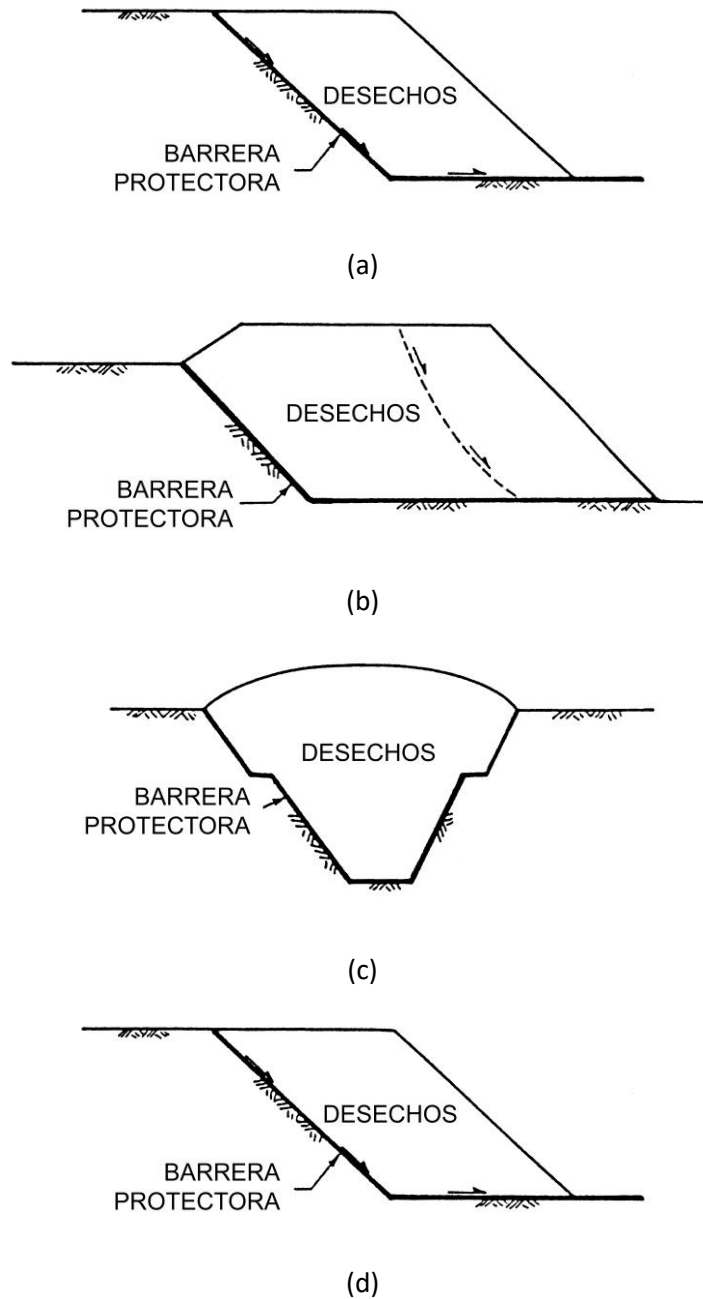


Figura 5.8. Superficies de deslizamiento potenciales en desechos en configuraciones de rellenos sanitarios en valles y en ladera

Finalmente los rellenos sanitarios que son colocados directamente sobre el terreno o tipo pirámide, son generalmente estables cuando tienen como fundación un terreno firme, con algunas superficies potenciales de falla circular si las pendientes de las laderas son muy inclinadas (figura 5.9.a). Si un

sistema de barreras basado en geosintéticos es empleado, una superficie de falla compuesta puede ocurrir a través de la masa de desechos (figura 5.9.b). Los rellenos sanitarios tipo pirámide también son frecuentemente construidos en terrenos que tengan el nivel freático alto o en terrenos blandos. Pueden ocurrir fallas en los rellenos por baja capacidad de carga en el terreno de fundación (figura 5.9.c), por lo que es recomendable verificar este tipo de inestabilidades en estos rellenos.

En todas las configuraciones de rellenos sanitarios ilustradas, la secuencia correcta de llenado puede disminuir muchos de los problemas de inestabilidad que se puedan presentar. La clave para maximizar la parte “resistente” antes de incrementar las parte “activa”. La figura 5.9, ilustra como estos puede lograrse para rellenos sanitarios en trinchera y en ladera.

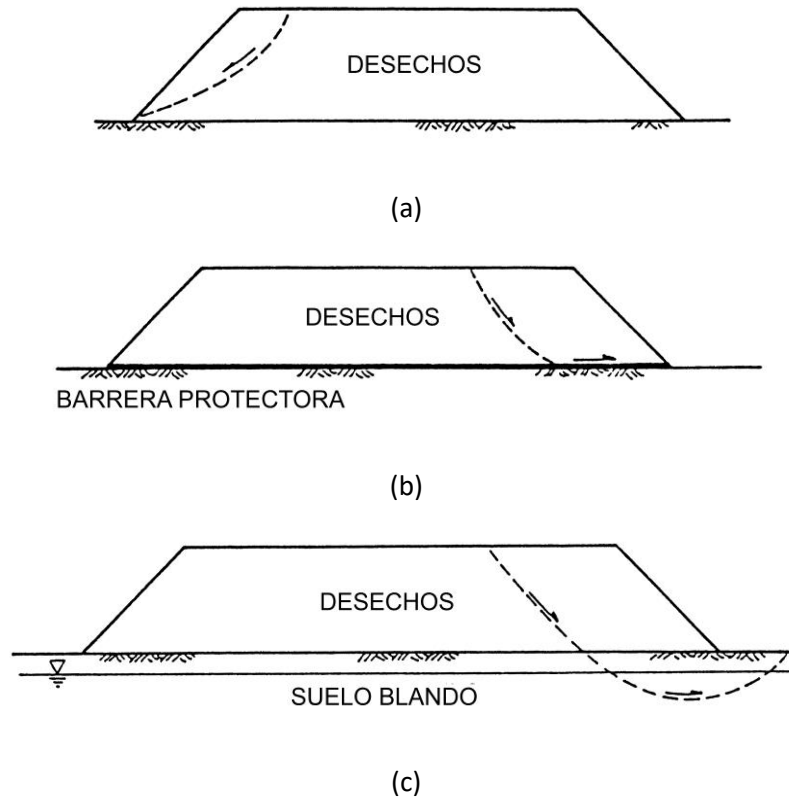
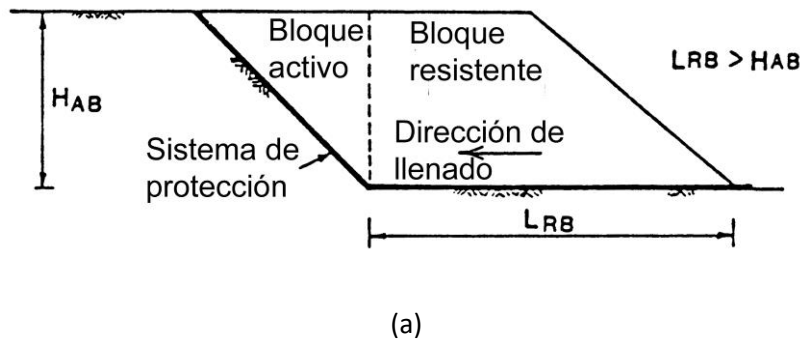


Figura 5.9. Superficies de deslizamiento potenciales en desechos en configuraciones de rellenos sanitarios tipo pirámide



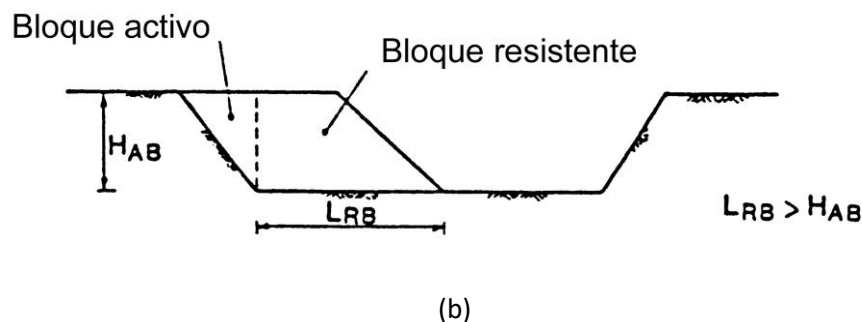


Figura 5.10. Estabilidad activa y pasiva de bloques en rellenos sanitarios del tipo foso y en ladera

### 5.4.3. Inestabilidad a nivel de las estructuras de aislamiento

Respecto a las características de construcción de los sistemas de aislamiento permite deducir que en un vertedero hay numerosas superficies de contacto entre materiales y estructuras diferentes: arcilla - membrana de HDPE; geocompuesto bentonítico - membrana de HDPE; membrana de HDPE - geotextil; geotextil - capa drenante; etc.

Resulta claro, por consiguiente - considerando también los posibles casos de inestabilidad indicados en las figuras 5.3.d-e-f -, que es preciso conocer las interacciones entre estos distintos materiales, especialmente por lo que concierne la resistencia de corte al contacto entre ellos.

En la tabla 5.1 se indican algunos datos numéricos, tomados de la bibliografía, que pueden utilizarse en los análisis de estabilidad:

**Tabla 5.1.**  
**Ángulo de Fricción y Cohesión entre materiales**

Materiales en contacto	Ángulo de fricción residual	Cohesión no drenada (kPa)
Arcilla compactada-Geomembrana HDPE	10°-14°	45±12
Geomembrana HDPE-Geotextil	8°-10°	
Geomembrana HDPE-Georred HDPE	8°-10°	
Georred HDPE - Geotextil	18°-20°	
Geomembrana HDPE-Arena	18°	
Geotextil-Arena	24°-26°	
Geotextil Grava	30°	

Algunas pruebas llevadas a cabo a diferentes temperaturas han indicado que un aumento de temperatura de 25°C a 35°C ha dado lugar a un aumento no insignificante del ángulo de fricción (2°-3°), por lo menos en el contacto entre geomembrana y geotextil. También la presencia de humedad en el contacto entre los materiales influye sobre la resistencia, la cual por lo general tiende a disminuir un poco.



#### 5.4.4. Estabilidad del tipo de cobertura

Durante la etapa de preparación del sitio del relleno sanitario, debe tenerse en cuenta la estabilidad del sistema de recubrimiento final a fin de hacer las previsiones correspondientes de inclinación. La mayoría de los rellenos sanitarios tienen un talud final de aproximadamente 3H:1H, inclinación que generalmente es estable para los sistemas de recubrimiento. El recubrimiento final debe tener las características de manera tal que los asentamientos que ocurran en los desechos puedan ser absorbidos por la cobertura sin que ocurran daños en ella. Por consiguiente los geosintéticos son frecuentemente empleados en los sistemas de recubrimiento final ya que es necesario hacerlo más flexible. Esto sin embargo, nos puede crear problemas de estabilidad.

Los mecanismos de deslizamiento potencial del recubrimiento final generalmente son planares, ocurriendo entre las interfaces de materiales o en el mismo material, son mostradas en la figura 5.11; sin embargo, algunas interfaces son más críticas que otras debido a los planos de debilidad. En algunas situaciones, la peor etapa para el recubrimiento final es la etapa constructiva. Esto es debido a la gran cantidad de carga ejercidas por los equipos durante la etapa de construcción. Las fallas debidas a las cargas de los equipos provocarán superficies de deslizamiento circulares poco profundas, especialmente cuando el recubrimiento final es comenzándose a construir desde el tope del relleno sanitario hacia la base como es ilustrado en la figura 5.12

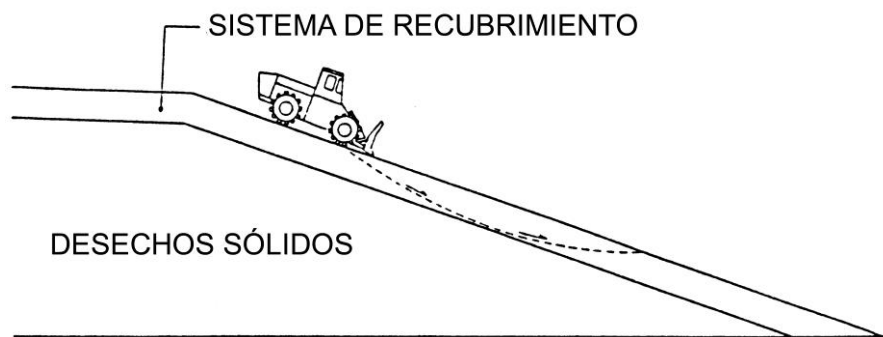
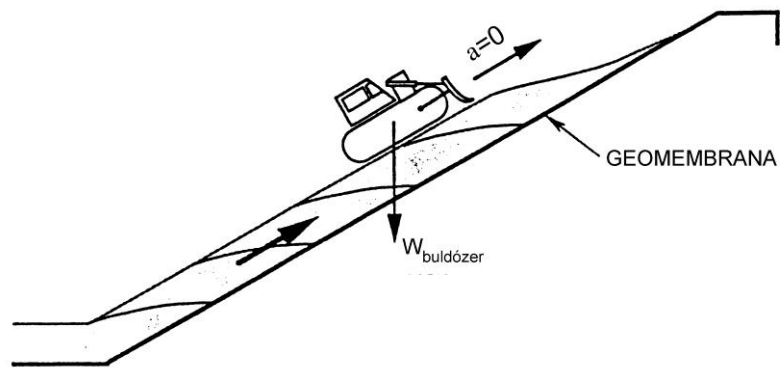
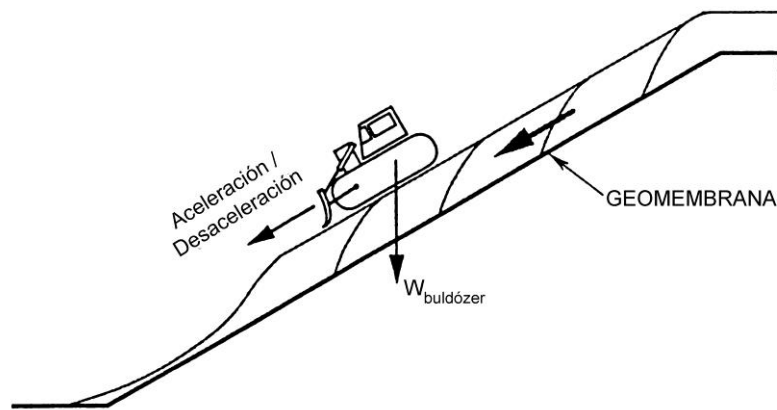


Figura 5.11. Superficie potencial de falla en el recubrimiento final de un relleno sanitario debido al equipo de construcción



(a)



(b)

Figura 5.12. Efecto de las cargas de los equipos constructivos en la estabilidad del recubrimiento final

La estabilidad del recubrimiento del relleno sanitario puede ser realizada empleando el método de la cuña traslacional. La figura 5.13 muestra como deben emplearse los elementos del método al sistema de recubrimiento. La resistencia de la interface es caracterizada por  $c_i$  y  $\delta_i$ . El recubrimiento por unidad de ancho es indicado por la fuerza  $T$ .

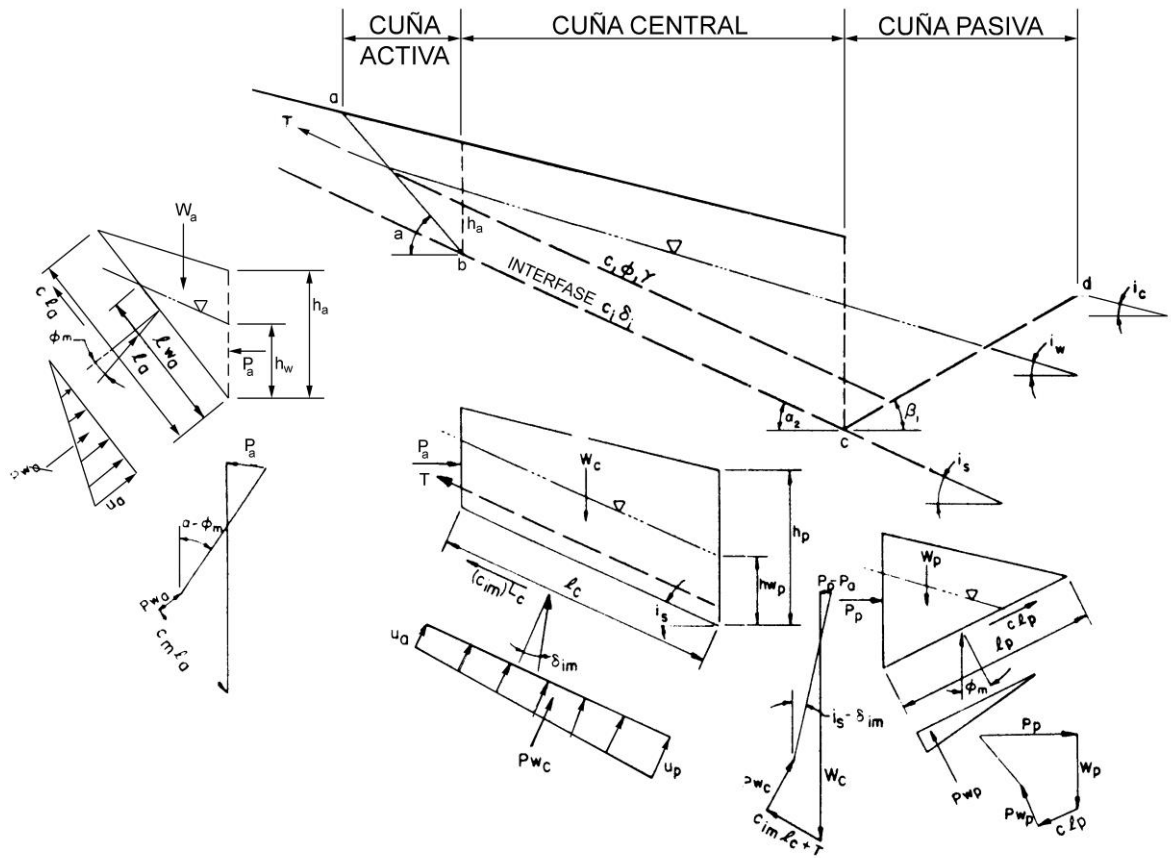


Figura 5.13. Estabilidad del recubrimiento

La superficie de falla potencial es  $abcd$ . Considerando el equilibrio horizontal de la cuña central, la ecuación de estabilidad es escrita de la siguiente manera:

$$P_a + P_c = P_p$$

donde

$$P_a = \left[ W_a - \frac{c}{F} \cdot L_a \cdot \sin \alpha - P_{wa} \cos \alpha \right] F_a - \left[ \frac{c}{F} \cdot L_a \cdot \cos \alpha - P_{wa} \sin \alpha \right] \quad (5.1)$$

$$P_c = \left[ W_c - \left( \frac{c_i}{F} \cdot L_c + T \right) \sin i_s - P_{wc} \cos i_s \right] F_c - \left[ \left( \frac{c_i}{F} \cdot L_c + T \right) \cos i_s - P_{wc} \sin i_s \right] \quad (5.2)$$

$$P_p = \left[ W_p - \frac{c}{F} \cdot \sin \beta - P_{wp} \cos \beta \right] F_\beta - \left[ \frac{c}{F} \cdot L_p \cdot \cos \beta - P_{wp} \sin \beta \right] \quad (5.3)$$

donde

$$F_{\alpha} = \frac{F \tan \alpha - \tan \phi}{F + \tan \alpha \tan \phi} \quad (5.4)$$

$$F_c = \frac{F \tan i_s - \tan \delta_i}{F + \tan i_s \tan \delta_i} \quad (5.5)$$

$$F_{\alpha} = \frac{F \tan \beta - \tan \phi}{F + \tan \beta \tan \phi} \quad (5.6)$$

Los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  son seleccionados de manera de maximizar  $P_{\alpha}$  y minimizar  $P_{\beta}$ . Los ángulos deben ser calculados considerando el equilibrio de las cuñas activas y pasivas y un factor de seguridad de 1.0. Las expresiones resultantes son:

$$\tan \alpha = \tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi - \frac{\tan i_c}{\sin \phi} \cos \phi} \quad (5.7)$$

$$\tan \beta = -\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi - \frac{\tan i_c}{\sin \phi} \cos \phi} \quad (5.8)$$

Para  $i_c = 0$ ,  $\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$ , y  $\beta = 45 - \frac{\phi}{2}$

Para taludes grandes,  $P_{\alpha}$  y  $P_{\beta}$  tienen valores relativamente pequeños y la condición de equilibrio se reduce a  $P_c = 0.0$ . Para una cobertura con un espesor uniforme  $h$  y una superficie de infiltración paralela al talud con una profundidad  $h_w$ , sobre la interface, la ecuación de estabilidad se reduce a:

$$F = (1-t) \left[ \left( \frac{c}{\gamma h} \right) \left( \frac{1}{\sin i_s \cos i_s} \right) + \left( \frac{\tan \delta_i}{\tan i_s} \right) \left( 1 - \frac{\gamma_w h_w}{\gamma h} \right) \right] \quad (5.9)$$

donde

$$t = \left( \frac{T}{\gamma h L_c} \right) \left( \frac{1}{\cos i_s \sin i_s} \right) = \frac{T}{W_c \sin i_s} \quad (5.10)$$

## 5.5. CONSIDERACIONES SÍSMICAS

Las vibraciones sísmicas inducidas por los terremotos agregan fuerzas desestabilizantes y por lo tanto se reduce el factor de seguridad. Durante el terremoto, el factor de seguridad puede ser reducida a 1.0 por un pequeño periodo de tiempo antes de que el efecto se revierta en la dirección de la fuerza sísmica o finalice el movimiento. Newark (1965) evaluó los efectos sísmicos en taludes

en términos de deformación. Los elementos del método de Newark fueron detallados posteriormente por Franklin y Griffin (1981), simplificando las suposiciones, donde el método fue aplicado empleando los registros de un sismo. Empleando las suposiciones simplificadas y considerando el movimiento solo hacia abajo, el movimiento del talud puede ser aproximado por la siguiente ecuación (Newark, 1965): de la manera siguiente:

$$U = \frac{V^2}{2gN} \frac{A}{N} \left(1 - \frac{N}{A}\right) \quad (5.11)$$

donde

$U$  = Desplazamiento;

$V$  = Velocidad del suelo;

$A$  = Aceleración del suelo; y

$N$  = Aceleración requerida para obtener un factor de seguridad  $FS=1.0$  (es decir, factor de resistencia).

El parámetro  $N$  debe ser determinado por un análisis pseudo estático donde la fuerza horizontal es sustituida por la fuerza dinámica. La velocidad del suelo debe ser estimada de los análisis de la respuesta del suelo o por correlaciones disponibles.

Levantamientos en la zona de California (USA) realizados después de ocurrir eventos sísmicos, revelan grietas que pudieron haber sido generadas antes del sismo. El relleno sanitario de OII, en el sureste de California, con una altura de 24 m y fundado sobre roca, se le realizó un seguimiento a fin de evaluar los efectos del sismo. El terremoto de Pasada (3 de Diciembre de 1988,  $M = 5.0$ , con el epicentro localizado a 15 km del relleno sanitario) produjo una aceleración horizontal de 0.22  $g$  en la base y de 0.1  $g$  en la cretas del relleno sanitario. La amplificación ocurre a frecuencias menores de 2 Hz, la cual constituye un pequeño segmento del contenido de frecuencias. Ocurrió una atenuación para frecuencias mayores de 2 Hz. El sismo de Malibu (18 de enero de 1989,  $M = 5$ , epicentro localizado a 50 km del relleno sanitario) produjo aceleraciones horizontales de 0.01  $g$  en la base y tope del relleno sanitario. Las frecuencias menores de 3 Hz fueron amplificadas, mientras que para las frecuencias superiores a 3 Hz ocurrió una atenuación. Considerando una frecuencia predominante de 2 Hz, la velocidad de corte promedio del relleno sanitario fue de 195 m/s (capas uniformes sobre la base rígida). Para el relleno sanitario de Richmond, California, se han reportado velocidades de 200 m/s para mediciones de velocidades de ondas de corte en down-hole.

No existen casos históricos de rellenos sanitarios que hayan fallado o se hayan dañados debido a la licuefacción de la basura saturada. La conductividad hidráulica de los desechos sólidos municipales típicos es del orden de  $10^{-3}$  cm/s y bajo un movimiento sísmico una presión de poro excesiva puede desarrollarse. Debido a que la resistencia al corte sin drenar para desechos sólidos no es conocida, es recomendable aplicar un factor de seguridad mayor que el factor de seguridad en los análisis de estabilidad bajo resistencias pasivas en los desechos sólidos de los rellenos sanitarios que tengan lixiviados en áreas sísmicamente activas.

## **5.6. ASENTAMIENTO DE LOS DESECHOS Y DE LA DEFORMACIÓN DE BASE**

Queda por examinar un último tipo de inestabilidad: la que se debe a un excesivo asentamiento vertical de partes de la estructura de un vertedero, cuya consecuencia podría ser, una vez más, la interrupción de la continuidad de los sistemas de aislamiento. Por tal motivo, hace falta limitar tales deformaciones y, en todo caso, cuantificarlas.

Los primeros estudios sobre compresibilidad de vertederos datan de la década de 1940 en Estados Unidos, aunque las primeras publicaciones son de los años 70.

Respecto al sistema de aislamiento de la base, éste podría ser afectado por asentamientos de la formación natural subyacente o, mejor dicho, a raíz de excesivos asentamientos diferenciales cuando las formaciones naturales se presentan poco continuas lateralmente y con diferentes características de compresibilidad. Minuciosos estudios geognósticos antes del proyecto y la aplicación de la teoría clásica de la consolidación, permiten solucionar el problema de la cuantificación de los asentamientos y comprobar la compatibilidad con la deformabilidad del aislamiento.

Por su parte, el sistema de cobertura del vertedero experimenta siempre grandes deformaciones, debido a la altísima deformabilidad de los desechos; por ello hay que prever un mantenimiento periódico de la cobertura; además, no debe soldarse la membrana de HDPE de la cobertura con la de las paredes del vertedero, para evitar que, durante los hundimientos de la estructura, se produzcan tensiones excesivas que podrían provocar la rotura de las membranas (o, mejor dicho, de su soldadura).

Hay que evitar también que, a raíz del hundimiento de la cobertura, se formen concavidades en las cuales se estanquen las aguas superficiales. Esto puede evitarse hallando un correcto compromiso entre la magnitud de los asentamientos y la inclinación dada inicialmente a la cobertura del vertedero. El problema de evaluar cuantitativamente los asentamientos de una masa de basura ha sido abordado por numerosos especialistas pero, por las características de los desechos, no es fácil hallar una solución.

La necesidad de proteger el entorno del potencial contaminante de los residuos y particularmente de los lixiviados y gases generados, obliga a confinar el vertedero de manera que no se produzca ningún tipo de migración de gases o lixiviados por el fondo, paredes laterales o por la superficie.

En las situaciones en que no se cuenta con un suelo natural suficientemente impermeable, y no es admisible la contaminación de aguas o suelos que ocasiona el vertedero, se debe disponer una barrera impermeable que ejerza esa función. Las barreras deben evitar también la infiltración de aguas de escorrentía superficial y de precipitaciones al relleno.

Entre los materiales comúnmente empleados en la confección de sellos, está el suelo arcilloso compactado en capas con coeficientes de permeabilidad inferiores a  $10^{-7}$  m/s y las geomembranas con coeficientes de permeabilidad hasta  $10^{-12}$  m/s a  $10^{-14}$  m/s. La permeabilidad del suelo disminuye con estabilizaciones, que pueden ser de polímeros, cemento, asfalto o arcillas puras como bentonita. También se han utilizado sellos combinados con hormigón hidráulico y hormigón asfáltico. En los últimos años se han desarrollado diversas geomembranas, las cuales tienen permeabilidades muy bajas, pero debido a sus características deben ser dispuestas en conjunto con suelo compactado y/o mejorado.

El TC-5 de la ISSMGE define entre los antecedentes más importantes que se debería tratar de obtener de los residuos, para el diseño a: la humedad, densidad, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad, resistencia al corte, compresibilidad, deformabilidad, capacidad de soporte desde la velocidad de propagación de ondas. Se reconoce la dificultad que tiene obtener estos parámetros a través de ensayos no tradicionales y la interpretación de los resultados.

Otra importante participación de la geotecnia en los rellenos sanitarios es la que se refiere a la estimación de la compresibilidad. Ello porque los residuos sólidos depositados en un vertedero sufren grandes asientos, con lo cual su volumen disminuye y la capacidad del vertedero aumenta. La importancia de cuantificar los asientos que se producen y el tiempo que se extenderán se debe, no sólo al aprovechamiento que se puede hacer de la capacidad real del vertedero, sino también de las previsiones a realizar durante la fase de diseño. Así mismo, la evaluación de los asientos tiene gran importancia a la hora de definir la posible utilización del vertedero en su fase de rehabilitación. El ritmo de producción de los asientos en un vertedero es variable con la edad, presentando velocidades que disminuyen con el tiempo, pero que en todo caso se mantienen perceptibles durante años. Se ha podido comprobar que en vertederos con alto contenido de residuos orgánicos, los asientos son importantes durante los primeros 10 años.

La consolidación (y por tanto, los asentamientos verticales) de los desechos depende de diferentes mecanismos:

- Composición, características de las basuras y espesor de la celda en el relleno.
- Humedad del residuo, capacidad de campo del relleno.
- Tipo y metodología de rellenos empleada; equipo usado en la operación de compactación y densidades alcanzadas por residuos y material de cobertura.
- Tipo y espesor del material de cobertura, relacionados con la evolución de la T° y humedad, entre otros factores, que influyen en el proceso de descomposición.
- Condiciones climáticas, tanto de pluviometría, como temperaturas ambientales
- Edad del vertedero, condición fundamental en la estabilidad de este.
- Una acción mecánica que actúa sobre la deformabilidad de cada uno de los componentes de la masa de basura,
- La percolación y la erosión por parte del agua que transporta hacia abajo las fracciones más finas,
- Las transformaciones químico-físicas de los desechos, debidas a la corrosión, oxidación y combustión,
- La descomposición bioquímica de los componentes orgánicos.

Una forma típica de abordar la reproducción del proceso de compresibilidad en vertederos, es la utilización de experiencias de comportamientos semejantes en Geotecnia, siendo varios los autores que utilizan teorías semejantes a los estudios de suelos naturales. Ejemplo de ello es el planteamiento propuesto por Sowers (1973), quien establece que los asientos iniciales producidos

por mecanismos mecánicos, se pueden determinar mediante la expresión de la teoría de la consolidación primaria:

$$S_p = \frac{C_c}{1+e_0} H_0 \left( \frac{\sigma_{v0} + \Delta\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}} \right) \quad (5.12)$$

donde:

- $S_p$  = asiento al final de la consolidación primaria
- $H_0$  = altura inicial del relleno
- $C_c$  = coeficiente de compresibilidad
- $\sigma_{v0}$  = presión efectiva en el relleno
- $\Delta\sigma_{v0}$  = sobrecarga efectiva
- $e_0$  = índice de vacíos

Terminada la primera fase aproximadamente al cabo de un mes según Sowers, se inician los asientos producto de cambios físico químicos, degradación biológica y compresión mecánica secundaria. Ellos tienen un comportamiento más o menos lineal con el logaritmo del tiempo, similar a la compresión secundaria de suelos y se determinan mediante la expresión de la teoría de la consolidación secundaria:

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1+e_0} H \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right) \quad (5.13)$$

donde:

- $S_s$  = asiento durante la consolidación secundaria al tiempo  $t_2$
- $H$  = altura de la celda al tiempo  $t_1$
- $C_\alpha$  = índice de compresión secundaria
- $e_0$  = índice de vacíos
- $t_2$  = tiempo de estimación de asientos
- $t_1$  = tiempo de inicio de la consolidación secundaria



La obtención del coeficiente de compresibilidad ( $C_c$ ) y del índice de compresión secundaria ( $C_\alpha$ ) se hace a partir de la relación de estos parámetros con el índice de poros ( $e_0$ ) en los gráficos propuestos por Sowers (1973) en la figura 5.13. Estos parámetros han sido contrastados por diversas experiencias, arrojando adecuadas correlaciones. Este criterio ha sido el más empleado hasta ahora en Iberoamérica para predecir los asientos en un relleno sanitario.

Una conclusión interesante es que la compresión primaria es dominante en la producción de asientos en la fase de operación del vertedero y la compresión secundaria es la más evidente una vez que ha concluido la vida útil del relleno.

Un problema práctico importante, es la dificultad para obtener muestras representativas de los materiales para los estudios, y la falta de métodos de ensayos universalmente aceptados y contrastados por la comunidad científica. Por lo tanto, los métodos que se emplean habitualmente se deben interpretar con cautela y evaluando la aplicabilidad de las correlaciones utilizadas en el estudio de suelos a los residuos.

Con posterioridad al planteamiento de Sowers se han desarrollado una serie de modelos conducentes al estudio de la compresibilidad de los rellenos. La mayoría de ellos se basa en las hipótesis iniciales planteadas por dicho autor. Una excepción a esto lo constituye el trabajo de Zimmerman, Chen y Franklin (1977), quienes plantean una ley de comportamiento que considera dos niveles de porosidad (macro y micro porosidad) en los residuos, y proponen una relación de la disipación de la presión intersticial con el tiempo.

Rao et al (1977), realizaron estudios en terreno y laboratorio, desarrollando una técnica para predecir asientos en vertederos sometidos a sobrecarga. Souza y Rodríguez (1980) estudiaron la compresibilidad de un vertedero, considerando la forma de disposición de las basuras. Utilizaron dos sistemas diferentes: el primero consistió en depositar las basuras desde la parte superior de un talud, para luego compactar con maquinaria pesada desde arriba hacia abajo; en el segundo se depositaba la basura al pie del talud, compactando en tongadas con la misma maquinaria. Los asientos medidos con ambos sistemas disminuyeron de un 17 a un 5%, si se utilizaba el segundo método de compactación, lo que deja de manifiesto la importancia del proceso constructivo y de operación.

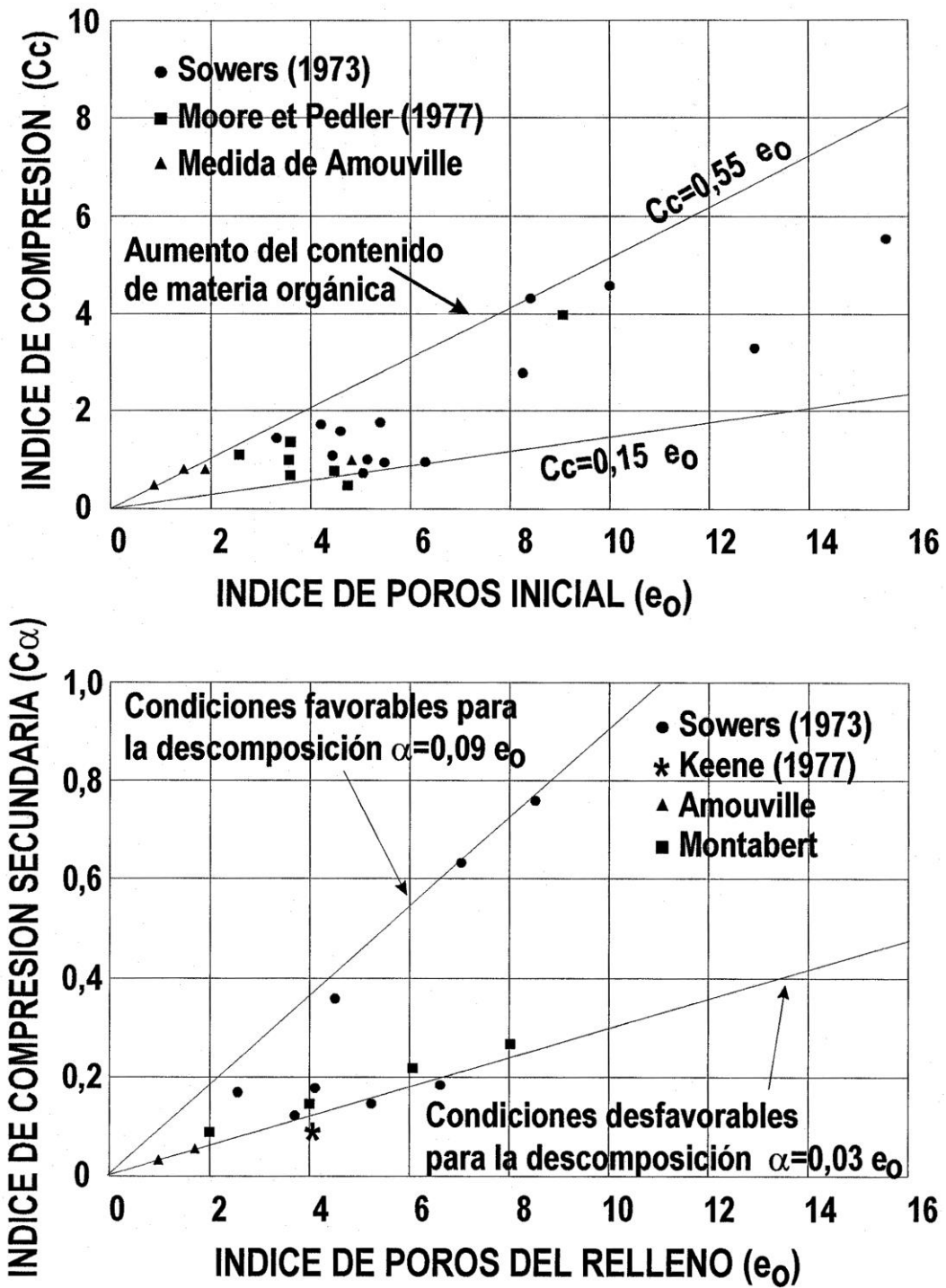


Figura 5.13. Parámetros deformacionales para rellenos sanitarios (Sowers, 1973)

Bookter y Ham (1982), han estudiado el grado de descomposición de los residuos sólidos en rellenos sanitarios de U.S.A., para distintas condiciones y situaciones geográficas, llegando a desarrollar un método para conocer el grado de estabilización de la basura, útil para ayudar a predecir asientos.

Cartier y Baldit (1983) proponen una ley de variación de la densidad en función de la profundidad, de acuerdo a mediciones realizadas con densímetro nuclear. Además proponen parámetros para residuos sólidos, los que son de gran utilidad para aplicar al modelo propuesto por Sowers (1973) y han sido empleadas en varios diseños de vertederos en el mundo.

Así mismo Landva y Clark (1990), recomiendan el empleo de rellenos de prueba para evaluar la compresibilidad de los vertederos. Estos ensayos son muy eficaces, mientras que los ensayos geotécnicos convencionales de laboratorio, generalmente no son aplicables para rellenos de basuras, principalmente por el tamaño y heterogeneidad de los materiales.

Los asentamientos de una masa de basura se producen a plazos muy largos y dependen también de la evacuación desde la masa, de las fases líquidas y gaseosas.

Cuando los desechos están expuestos a la acción de una carga, experimentan una deformación inmediata de tipo pseudo-elástico, a la cual sigue una deformación, denominada "primaria", más lenta y gradual, durante un mes, aproximadamente.

En esta fase se puede expresar, con la fórmula siguiente (Sowers, 1973), la disminución del índice de los vacíos de la masa de desechos cuando aumenta la carga vertical:

$$\Delta e = C_c \cdot \log \left[ \frac{(\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_{vo})}{\sigma'_{vo}} \right] \quad (5.14)$$

donde:

$\sigma'_{vo}$  Es la tensión vertical que actúa en los desechos,

$\Delta\sigma_{vo}$  Es el incremento de tensión debido a la carga

$C_c$  Es el "coeficiente de compresión primaria".

El significado físico de este coeficiente es, entonces, la relación entre la disminución de espesor de un estrato de basura y el espesor de la sola fase sólida. Con consideraciones teóricas y experimentales se ha calculado que el valor de  $C_c$ , varía de 0,15 a 0,55 y se incrementa al aumentar el contenido de sustancias orgánicas en los desechos. Después de la fase de hundimiento primario sigue un hundimiento secundario, que se manifiesta en un período de tiempo mucho más largo; éste se debe a las transformaciones químicas y biológicas de los desechos, así como también a una lentísima disipación de la presión intersticial de los microporos de los desechos en los macroporos de la masa (fenómeno de "creep").

El asentamiento secundario puede expresarse con la fórmula siguiente:

$$\Delta e = C_\alpha \cdot \log \left[ \frac{t_2}{t_1} \right] \quad (5.15)$$

en la cual  $C_\alpha$  es el "coeficiente de compresión secundaria", cuyo valor estimado varía entre 0,03 y 0,09.

La fase de consolidación primaria de los desechos es muy breve, si la comparamos con el tiempo de explotación de un vertedero; en cambio, la fase secundaria se prolonga por muchos años más. Por tanto, para el cálculo del proyecto se tendrá en cuenta sólo el asentamiento secundario.

Finalmente, mediante pruebas de compresión en celdas de gran tamaño (Jessberger, 1991), se ha determinado el módulo de deformación de los desechos, el cual crece de 0 MPa a 5 MPa con el incremento de la tensión vertical hasta 0,6 MPa, aproximadamente.

En la Universidad Católica de Valparaíso también se han realizado experiencias para obtener parámetros de diseño durante las etapas de operación de los vertederos El Molle de Valparaíso y Limache de la V Región (Espinace et al.1989). Las investigaciones en este último vertedero sanitario de baja densidad midieron asientos de alrededor del 30% de la altura inicial al cabo de 7 años. Estos valores coinciden con los obtenidos en otros vertederos de Chile, tales como "La Feria" o "Lo Errazuriz" en Santiago (Espinace et al, 1991) y los expuestos por Hinkle(1990).

Entre los modelos para el estudio de asientos, destacan la ley exponencial propuesta por Gandolla (1992), y el modelo Meruelo (Arias,1994), (Palma,1995). Este modelo es uno de los más avanzados actualmente y ha sido desarrollado en España, entre la Universidades Católica de Valparaíso y de Cantabria. Es el único modelo que considera en su planteamiento inicial y en su formulación, los fenómenos de degradación de la materia orgánica como causantes de los asientos secundarios no debidos a sobrecargas externas. Los parámetros fundamentales considerados son el tiempo, el contenido de materia orgánica en los residuos, la humedad y el ritmo de desarrollo de los procesos de degradación, entre otros.

Para el desarrollo del modelo de predicción de asientos se considera el proceso con un inicio definido, aplicado a una masa de material degradable también definida, existente en el instante inicial, sin aportes adicionales de masa una vez que el proceso de degradación ha comenzado. El modelo incluye los aportes de masa que se producen durante la operación. Este planteamiento implica que para un período de tiempo prolongado, la materia orgánica biodegradable debería desaparecer en su totalidad. Sin embargo, se considera que una parte de los rellenos sanitarios urbanos no son orgánicos y no sufren degradación y por otra no toda la materia orgánica se degrada.

Actualmente, en la Universidad Católica de Valparaíso, se desarrollan investigaciones iniciadas en 1996, que estudian la velocidad de estabilización y la modelación de los asientos registrados en experiencias a nivel de laboratorio y en un vertedero experimental a escala real. Se ha comparado el caso de vertederos operando con recirculación de lixiviados tratados en un digestor anaerobio, con el caso en que no existe ningún proceso de recirculación, empleando residuos sólidos representativos de país (Espinace et al 1997). A los asientos medidos, se han ajustado los modelos de Sowers y de Meruelo; se ha obtenido los parámetros para cada caso y se ha realizado una predicción de los asientos esperados. Los modelos geotécnicos utilizados se ajustan a las medidas reales y los parámetros obtenidos, permiten predecir los asentamientos que ocurrirán. Además se estudia la reducción en los tiempos de estabilización de la degradación de los residuos sólidos. Los resultados preliminares obtenidos del análisis de los asientos, indican que la recirculación de lixiviados tratados en un digestor anaerobio, provoca un aumento efectivo en los asentamientos de los rellenos de residuos sólidos. La causa del incremento de asientos no parece estar en un aumento de la actividad biológica, asociada a procesos de degradación, sino que parece estar en fenómenos de colapso del relleno, provocados por la adición de líquido a tasas que causan cambios a nivel estructural. Un indicador de la baja actividad biológica registrada en las experiencias, es la

reducida producción de biogás en los rellenos, que se verificó durante la investigación, aunque en los digestores anaerobios utilizados para depurar los lixiviados, se registró una buena producción de biogás.

Otro tema de alto interés es la capacidad de soporte de los vertederos sanitarios. Ella, en general es reducida y dependerá de factores como espesor del suelo de cobertura, composición de los residuos sólidos, método de construcción y maquinaria utilizada entre otros. El factor más significativo es el espesor relativo de la capa superficial de suelo sobre el relleno sanitario más esponjoso y flexible. Cuando la cimentación es relativamente pequeña comparada con el espesor del suelo de cobertura o capa superficial, puede punzonar a través de la capa superficial y hacia el interior del relleno de residuos. Cuando la cimentación es algo mayor y el relleno de residuos no es significativamente menos débil que la capa superficial superior, la rotura puede ocurrir por rotación de un segmento de suelo de cobertura y del relleno actuando como unidad (Sowers, 1968).

Según este autor la capacidad de soporte está entre  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  y  $0,40 \text{ kg/cm}^2$ , advirtiéndose que los ensayos de placa de carga con placas pequeñas pueden ocasionar impresiones equivocadas en la capacidad de soporte de un relleno. Para Cartier y Baldit (1983) la capacidad portante está entre  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  y  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

El CEDEX de España, plantea que las investigaciones realizadas hasta la fecha, indican que los rellenos sanitarios urbanos compactados tienen un comportamiento muy dúctil y no presentan una tensión de rotura determinada, sino que en la mayoría de los casos, se agota la capacidad de deformación de los sistemas de ensayo sin llegar a alcanzarse un valor de tensión constante. Por lo tanto, no es fácil definir valores de parámetros resistentes en rotura y hay que adoptar otros criterios como establecer límites en las deformaciones.

El comportamiento mecánico de los rellenos sanitarios urbanos ha sido comparado al de la "tierra armada" debido al efecto de los elementos fibrosos que se entrecruzan actuando como un refuerzo del material. Es por esta razón que únicamente se describen roturas con planos de cizalla a través de este tipo de materiales en casos de zonas especialmente debilitadas o debidas a pérdida de estabilidad por efecto del agua. En este sentido, se puede asumir que los residuos son materiales compuestos consistentes en una "matriz básica", que comprende las partículas medias y finas, más semejante a un suelo y cuyo comportamiento es friccionante, y en una "matriz reforzada".

Entre las experiencias desarrolladas en terreno, están los ensayos de penetración siendo los más ampliamente utilizados los de penetración dinámica. Estos permiten hacer evaluaciones cualitativas de la resistencia relativa del relleno a diferentes profundidades. Además repitiendo su realización periódicamente, se pueden contrastar ensayos realizados en diferentes ocasiones, lo que permite evaluar la variación de las características resistentes de un relleno en el tiempo o por un tratamiento de mejora. Resultados de esta aplicación fueron presentados en el IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, observándose que aun cuando el relleno prospectado puede ser muy heterogéneo, la serie de puntos de ensayo de un mismo sector arrojan resultados coherentes entre sí, lo que indica que la masa se comporta como un todo homogéneo, salvo en aquellos sectores en los que se encuentran residuos de características distinta a los residuos sólidos domiciliarios. Los ensayos de penetración dinámica realizados en el relleno sanitario "El Molle" de Valparaíso entre los años 1986 y 1990 para determinar su vida útil, no mostraron variaciones significativas en la resistencia a la penetración, lo que indica que el proceso de estabilización del vertedero es lento.

En Francia se han utilizado penetrómetros estáticos (Gouda) y presiómetros en el relleno sanitario de d'Arnouville-lès-Mantes (Cartier y Baldit, 1983). Los autores concluyen que ensayos de penetración estática pueden ser de utilidad para identificar zonas relativamente débiles dentro del vertedero o para evaluar cualitativamente si la resistencia al corte de los residuos cambia con el tiempo.

Otro de los ensayos muy empleado es el de carga en rellenos sanitarios. Varias investigaciones muestran experiencias de ensayos con placas convencionales de diferentes diámetros y ensayos de carga de grandes dimensiones. La heterogeneidad de los residuos y su deformabilidad aconsejan realizar ensayos con placas de grandes dimensiones y mediciones de asiento prolongadas. Se recomienda una vez efectuado el ensayo, excavar calicatas para determinar algunos datos que tienden a no ser constantes como la composición de los residuos, espesor y tipo de suelo de cobertura, etc.

En el seguimiento geotécnico realizado por la Universidad de Cantabria en el relleno sanitario de Meruelo (Sánchez et al 1991), se efectuaron ensayos sobre placa circular de 45 cm. de diámetro, considerándose que con deformaciones del orden de 45 mm se alcanzaba la rotura. El valor medio de la carga de hundimiento fue de 2,00 kg/cm<sup>2</sup>, para 30 cm. de espesor de cobertura. Con la hipótesis de que la forma de rotura fue por punzonamiento de la capa superior resistente, la resistencia al corte sin drenaje calculada corresponde a un valor de 0,3 kg/cm<sup>2</sup> (análisis  $\phi = 0$ ).

En la investigación efectuada en Benopolis, Brasil (Souza y Rodríguez, 1980) se realizaron ensayos de placa de carga con distintos espesores de cobertura, encontrándose un valor de 0,9 kg/cm<sup>2</sup> para un espesor de cobertura de 25 cm y deformaciones de 25 mm. En esta investigación también se estudió el comportamiento de una edificación experimental de 30 m<sup>2</sup> de superficie, cimentada sobre una solera de hormigón armado de 0,07 m de espesor. La presión máxima sobre el terreno en las zonas de paredes fue de 0,65 kg/cm<sup>2</sup> y la presión mínima en la zona central de la planta fue de 0,2 kg/cm<sup>2</sup>. En las mediciones efectuadas se registraron asientos de 8 cm. en 120 días y no se observaron grietas de importancia por efecto de asientos diferenciales.

En el relleno sanitario de Limache, la Universidad Católica de Valparaíso realiza desde 1989 el seguimiento del comportamiento de una vivienda experimental de 16 m<sup>2</sup>, construida sobre un sector del vertedero de 6 años de antigüedad, siendo el espesor del relleno de 6 m. La edificación es de albañilería reforzada, con cimentación continua de hormigón armado, arrojada con escuadras de refuerzos. Las cargas transmitidas al terreno están entre 0,10 kg/cm<sup>2</sup> y 0,60 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados preliminares mostraron un adecuado comportamiento estructural, con deformaciones asimilables por la construcción.

En la actualidad la dificultad para encontrar emplazamientos de rellenos sanitarios se está superando con la ejecución de vertederos de gran altura, los que pueden ser construidos sobre uno ya existente o sobre un terreno apto. Entre los vertederos se deben distinguir aquellos en pendiente como los emplazados en quebradas y los de altura, propiamente dichos, construidos sobre terrenos planos o sobre un vertedero existente. Con el propósito de evitar problemas geotécnicos durante la fase de explotación y clausura, es necesario estudiar los aspectos geotécnicos relacionados con la estabilidad de taludes. Sin embargo, esta preocupación adquiere más fuerza cuando se trata del periodo de postclausura durante el cual no se tienen los resguardos de seguridad que existen en la etapa de explotación, en la que siempre hay una entidad responsable de dichos resguardos.

En el interior de la masa de residuos de estos vertederos, se pueden originar planos de rotura activos que alcanzan un desplazamiento progresivo. Los deslizamientos en estos rellenos generan fisuraciones y agrietamientos externos que dejan los residuos descubiertos y facilitan la introducción de aguas superficiales que generan un incremento del desplazamiento, disminuyendo progresivamente la estabilidad. En algunos casos, se han producido deslizamientos causados por el peso propio, debido a que aunque el material de relleno es liviano en sí mismo, el suelo de cobertura y de las paredes de las celdas son más pesados.

## 5.7. INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS FACTORES DE INESTABILIDAD

Como puede observarse las variaciones a corto plazo en el factor de seguridad pueden ocurrir debido a variaciones estacionales en el nivel de agua subterránea, mientras que a mediano plazo la estabilidad está afectada por la influencia de la meteorización o a largo plazo por las variaciones de las condiciones de agua subterránea. Estas consideraciones permiten enfatizar que los deslizamientos (e inestabilidades de taludes en general) no son atribuibles a un único factor.

Desde el punto de vista físico es muy recomendable visualizar la estabilidad de los taludes en uno de los siguientes tres estados posibles:

- **Estable:** El margen de estabilidad es suficientemente alto que es capaz de resistir todas las fuerzas desestabilizadoras;
- **Marginalmente estable:** El talud va perdiendo su estabilidad en el tiempo como respuesta a las fuerzas desestabilizadoras que alcanzan cierto nivel de actividad.
- **Inestable:** Cuando las fuerzas desestabilizadoras producen movimientos continuos o intermitentes.

Estos tres estados de estabilidad de los taludes suministran un marco de referencia útil para la comprensión de los factores que causan las inestabilidades y permitir su clasificación en dos grupos en base a su función:

- **Inicio de las perturbaciones:** Son los factores que hacen que el talud sea susceptible a movimientos sin que estas se hayan iniciado y hacen que el talud se mantenga en un estado de estabilidad marginal.
- **Aceleración de la inestabilidad:** Son los factores que inician el movimiento. Estos factores llevan al talud de una condición de marginalmente estable a un estado de inestabilidad activa.

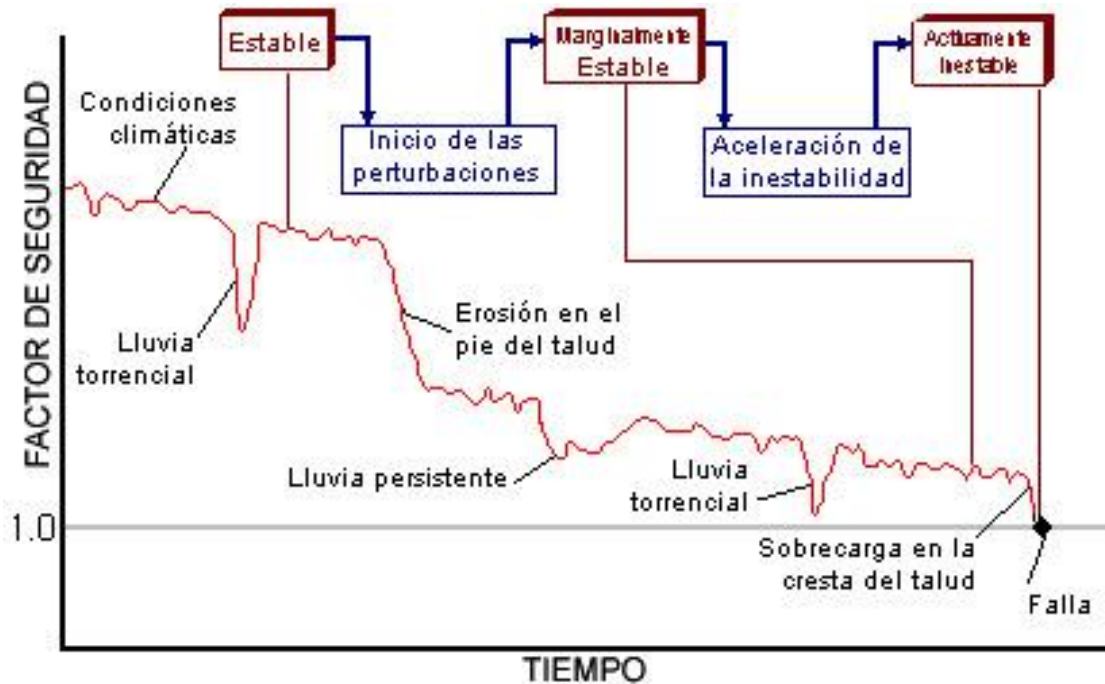


Figura 5.1. Influencia de los distintos factores de inestabilidad

Ejemplos de causas externas que conducen a un incremento de los esfuerzos de corte:

- Cambios geométricos;
- Descarga en el pie del talud;
- Sobrecargas en la cresta del talud;
- Sismos y vibraciones artificiales (incluye: tráfico, maquinaria pesada, etc.)
- Cambios en el régimen de agua/lixiviados

Ejemplos de causas internas que provocan una disminución en la resistencia al corte

- Falla progresiva
- Condiciones climáticas
- Erosión por infiltración



## **6. Retrocálculo o Back Analysis**

### **6.1. INTRODUCCIÓN**

La finalidad del retrocálculo o back analysis, es determinar los valores representativos de los parámetros de resistencia al corte del macizo rocoso o suelo (en una zona definida de acuerdo a las formaciones locales), que podrán servir de referencia para los profesionales de esa área específica en los análisis de estabilidad rutinarios, en base al estudio detallado de deslizamientos que ya han ocurrido.

### **6.2. LINEAMIENTOS GENERALES**

El estudio tendrá como finalidad definir los valores característicos para la cohesión y el ángulo de fricción drenado en el macizo rocoso o suelo alterado de relativa homogeneidad, a través de los análisis en retrocálculo de los fenómenos de inestabilidad idóneos ocurridos en la zona en estudio. Tales aproximaciones, debido a su simplicidad son esencialmente empíricas y han tenido bastante éxito en Estados Unidos e Inglaterra, para la definición de los parámetros de los proyectos en terrenos estructuralmente complejos.

### **6.3. CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTO POR RETROCÁLCULO**

#### **6.3.1. Requisitos mínimos**

1. Determinación de la zona afectada
  2. Buena evidencia morfológica del área de deslizamiento
  3. Conocimiento del perfil original y/o historia del movimiento
  4. Dimensiones del deslizamiento
  5. Determinación de tipo de deslizamiento
-

6. Accesibilidad

**6.3.2. Requisitos preferenciales**

1. Datos de la activación del deslizamiento
2. Cercanía a la estación lluviosa
3. Disponibilidad de los datos geológicos y/o geotécnicos

**6.3.3. Recolección de datos**

1. Levantamiento geológico-técnico (identificación de las formaciones geológicas, nivel freático, discontinuidades geológicas, etc.).
2. Levantamiento topográfico del deslizamiento y de las inmediaciones (zona estable)
3. Definición de la superficie de deslizamiento (ensayo Penetrómetro Dinámico Medio Standard)
4. Medición Piezométrico del deslizamiento y en las áreas inmediatamente circundantes.
5. Obtención de muestras del deslizamiento para la determinación de las características físicas (distribución granulométrica y propiedades índices) y de los parámetros de resistencia residual y de estado crítico. Estos ensayos deben realizarse en el laboratorio.
6. Obtención de fotografías aéreas de vuelos previos al deslizamiento, a fin de observar rasgos geomorfológicos existentes en la zona.
7. Estudios geológicos y/o geotécnicos existentes de la zona en estudio.

**6.3.4. Posibilidades de extensión del estudio**

1. Incremento del número de deslizamientos en la zona.
2. Inicio de los estudios geológicos más detallados de la zona.
3. Inicio de los estudios de los planos de deslizamiento.
4. Seguimiento de la evolución de los deslizamientos de la zona mediante instrumentación.
5. Obtención de muestras Imperturbado para la determinación del grado de sobre consolidación y de los parámetros de resistencia pico.

**6.3.4. Limitaciones**

Puede observarse que el significado de los parámetros de resistencia determinados con el análisis de retrocálculo, depende de la precisión con la cual se determine la geometría del perfil del talud antes y después del deslizamiento, la posición de la superficie de deslizamiento y la distribución de las presiones del agua subterránea en el momento de ocurrir el deslizamiento. Este último factor,

en particular, representa una notable fuente de incertidumbre y limita la aplicabilidad del método a fenómenos caracterizados por condiciones hidráulicas simples y bien definidas.

Por otro lado, la resistencia movilizada a la rotura puede variar notablemente en función de la variabilidad litológica y granulométrica del suelo, por lo tanto, los resultados obtenidos dependerán necesariamente de los casos estudiados. De hecho, la línea de deslizamiento en estudio tiene sus parámetros de resistencia propios y los mismos no podrán ser empleados de manera indiscriminada como sustitución de las investigaciones in situ y de laboratorio, ya que esto sólo indicará un “rango de valores” que podrán servir de parámetros de referencia y control de los parámetros obtenidos de las investigaciones directas.

#### 6.4. TEORÍA

La técnica del análisis en retrocálculo (back analysis) permite estimar los parámetros de resistencia movilizada en el momento que ocurre la rotura en un talud sobre una superficie de deslizamiento dada.

Recurriendo a un modelo de estado límite, el equilibrio a la rotación de una superficie de deslizamiento circular en torno a un centro de rotación es fácilmente obtenible:

$$\tau = \frac{\sum W_i \cdot \text{sen } \alpha_i}{L} \quad (6.1)$$

Atribuyendo al terreno parámetros de resistencia al corte arbitrarios y calculando el factor de seguridad  $F$  (por ejemplo con el método de Bishop, observe la presión intersticial) es posible representar en el plano los esfuerzos, la envolvente de la resistencia movilizada, es decir, la recta de los parámetros:

$$c'_m = \frac{c'}{F} \quad (6.2)$$

y

$$\phi'_m = \arctan \frac{1}{F} \cdot \tan \phi' \quad (6.3)$$

El esfuerzo medio eficaz resultará de la intersección con la envolvente de resistencia y la recta horizontal que representa la resistencia de corte movilizada o, por vía matemática:

$$\sigma'_m = \frac{\tau_m - c'_m}{\tan \phi'_m} \quad (6.4)$$

Teniendo a la disposición de varios fenómenos de deslizamiento en una formación homogénea, es posible estimar los parámetros de resistencia característicos de una unidad litológica.

En la práctica se trata de obtener, como se ha visto anteriormente, el estado de esfuerzos medio a la rotura de cada fenómeno de deslizamiento. Tales valores de esfuerzos, si la formación es suficientemente homogénea, la representación en el plano de los esfuerzos se dispondrá de una

envolvente rectilínea a la cual le corresponderán los valores de resistencia al corte efectivamente disponibles.

## **6.5. COMO REALIZAR UN ANÁLISIS DE RETROCÁLCULO**

El análisis por retrocálculo es un procedimiento de ensayo y error que nos permitirá determinar los requerimientos de sostenimiento del terreno. Este procedimiento de análisis en retrocálculo puede ser empleado en deslizamientos que ya han ocurrido y en el diseño de los taludes existentes. Este nos permitirá obtener respuesta a la siguiente interrogante ¿Qué parámetros de resistencia existen realmente en el terreno?, en vez de ¿Es estable el talud?

El análisis en retrocálculo puede ser aplicado en cualquier modelo, empleando también cualquiera de los métodos de análisis de estabilidad disponibles, pudiendo realizarse un análisis simple o un análisis múltiple. Para un análisis por retrocálculo simple se define el Factor de Seguridad, mientras que para el análisis múltiple se definen grupos de factores de seguridad, obteniendo una curva para cada factor de seguridad definido.

El análisis en retrocálculo es una poderosa herramienta para desarrollar modelos analíticos de taludes que hayan fallado o existan síntomas de un deslizamiento inminente. Este modelo usualmente consiste de cinco componentes:

1. Geometría del deslizamiento incluyendo la superficie del terreno, superficie de deslizamiento y localizaciones de los distintos materiales que conforman el talud;
2. Presiones de poros en la superficie de deslizamiento en el momento de ocurrir el deslizamiento. Estas son necesarias para el análisis de esfuerzos efectivos;
3. Cargas externas actuantes en el talud en el momento de ocurrir la falla;
4. Pesos unitarios de los materiales involucrados en el deslizamiento; y
5. Resistencia de los materiales a lo largo de la superficie de deslizamiento.

Frecuentemente, los primeros cuatro componentes del modelo pueden ser evaluados con razonable exactitud basado en los ensayos in situ y de laboratorio. El análisis en retrocálculo es frecuentemente empleado para establecer el quinto componente del modelo, que son, las resistencias del suelo, con la suposición que el factor de seguridad es igual a 1 en el momento de la falla. Debido a las grandes deformaciones, la resistencia residual es la que actúa a lo largo de las superficies de deslizamiento y las resistencias de los materiales pueden ser caracterizadas por los valores de los esfuerzos efectivos, ángulo de fricción residual y la cohesión efectiva.

El modelo anterior es aplicable a geometrías de superficies de deslizamiento constituidas con un solo material. En el caso donde existan dos o más materiales a lo largo de la superficie de deslizamiento, el análisis en retrocálculo tal como se ha mencionado anteriormente, no permite obtener un único resultado del ángulo de fricción residual y de cohesión para estos materiales. En tales circunstancias, el análisis en retrocálculo propuesto por Filz et al., (1992) debe incluir los siguientes cuatro pasos:

1. Los ensayos de laboratorio y/o las correlaciones con las propiedades índices (figura 6.1) son empleadas frecuentemente para establecer los valores de prueba de resistencia al corte a lo largo de las superficies de falla.
2. El análisis de estabilidad debe realizarse empleando la geometría del talud, nivel freático y cargas externas en el momento de ocurrir la falla. El análisis del factor de seguridad obtenido, corresponderá a los parámetros de resistencia asumidos en el paso anterior.
3. Los parámetros de resistencia de prueba del paso 1 serán ajustados empleando el factor de seguridad calculado en el paso 2, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\phi'_r(\text{ajustado}) = \tan^{-1} \left[ \frac{\tan \phi_r(\text{prueba})}{FS} \right] \quad (6.5)$$

$$c'_r(\text{ajustado}) = \frac{c_r(\text{prueba})}{FS} \quad (6.6)$$

Si se tiene una gran experiencia local con un material en particular, las ecuaciones 6.5 y 6.6, las resistencias de algunos materiales deben ser ajustadas más que otros. Observe que  $\phi'_r$  es fijo a cierto valor y  $c'_r$  variará de acuerdo a la experiencia local de manera de ser mas expedito el análisis en retrocálculo.

4. Los resultados del paso 3, pueden ser verificados reanalizando el deslizamiento empleando los parámetros de resistencia calculados. Los parámetros de resistencia finales del análisis en retrocálculo serán aquellos que producen un factor de seguridad igual a la unidad, para la superficie de deslizamiento existente, donde la resistencia de corte ha sido reducida a su valor residual.

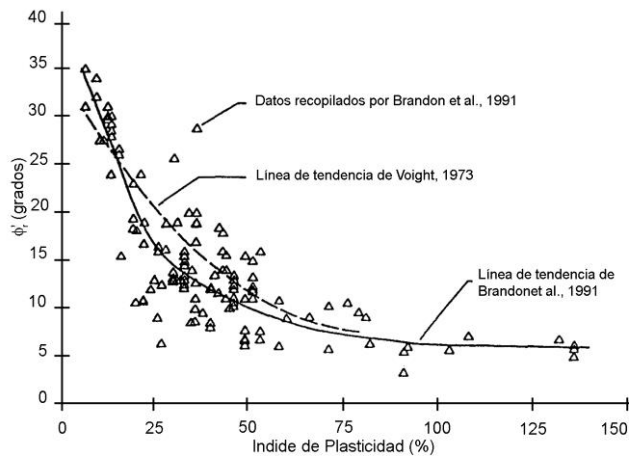


Figura 6.1. Relación del Índice de plasticidad residual versus el ángulo de fricción. (Voight, 1973, and Brandon et al., 1991.)

Observe que la confianza en el análisis en retrocálculo es incrementado cuando con el mismo grupo de parámetros de resistencia obtenemos un valor del factor de seguridad cercano a la unidad para varias secciones transversales a través del deslizamiento y cuando los parámetros de

resistencia obtenidos por retrocálculo están en concordancia con los ensayos de laboratorio y correlaciones con las propiedades índices.

El análisis en retrocálculo también puede ser empleado como un análisis de sensibilidad, que nos permitirá responder la siguiente pregunta ¿Cómo podemos asegurar que las propiedades de los materiales que emplearemos son realmente representativas del talud?

En la figura 6.2 se muestran los resultados de un análisis múltiple por retrocálculo (Cada curva es señalada con su factor de seguridad relevante)

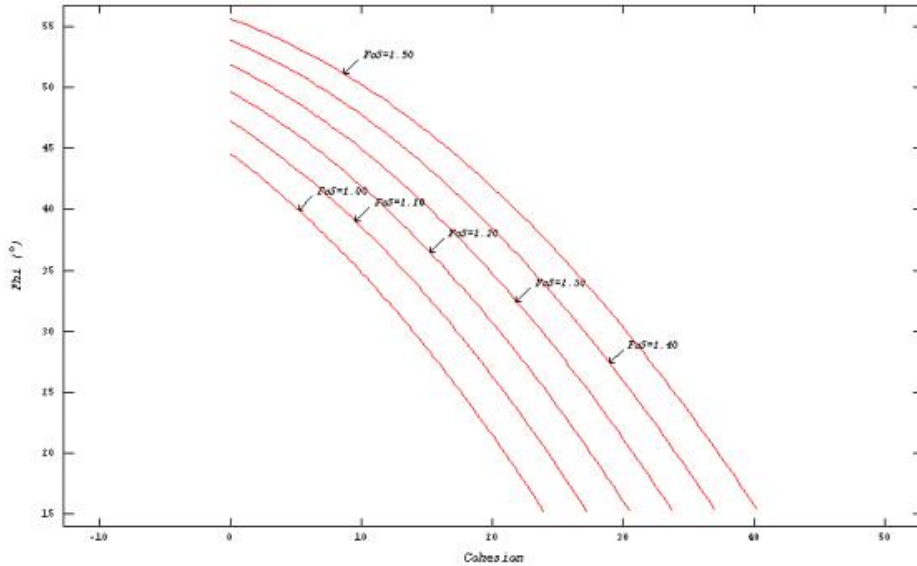


Figura 6.2. Resultados de un análisis múltiple por retrocálculo (Cada curva es señalada con su factor de seguridad relevante)

## 6.6. ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD

### 6.6.1. Análisis de sensibilidad una sola variable

El análisis de sensibilidad, permite al ingeniero determinar la “sensibilidad” de la variación del factor de seguridad con respecto a la variación de los parámetros de entrada. Este análisis es realizado modificando una variable cada vez, mientras las demás se mantienen constantes, posteriormente se realiza un gráfico del factor de seguridad versus la variable (figura 6.3).

### 6.6.2. Análisis de Sensitividad de múltiples variables

El análisis de sensibilidad de múltiples parámetros nos permite determinar cual de ellos tienen la mayor influencia en el factor de seguridad. En este caso, en el eje horizontal (abscisas) será en términos de Cambio porcentual. El cambio porcentual es la diferencia relativa entre el mínimo valor de la variable (0%) y el máximo valor de la variable (100%) (Figura 6.4).

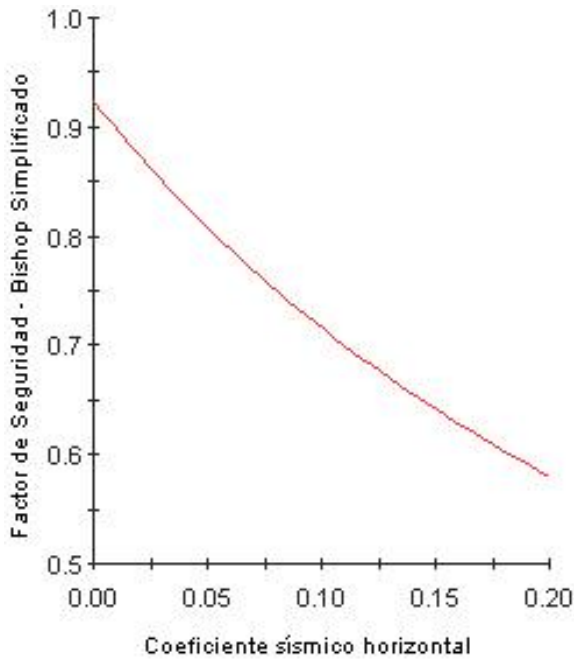


Figura 6.3. Gráfico de la distribución de un análisis de sensibilidad del factor de seguridad con respecto al coeficiente sísmico.

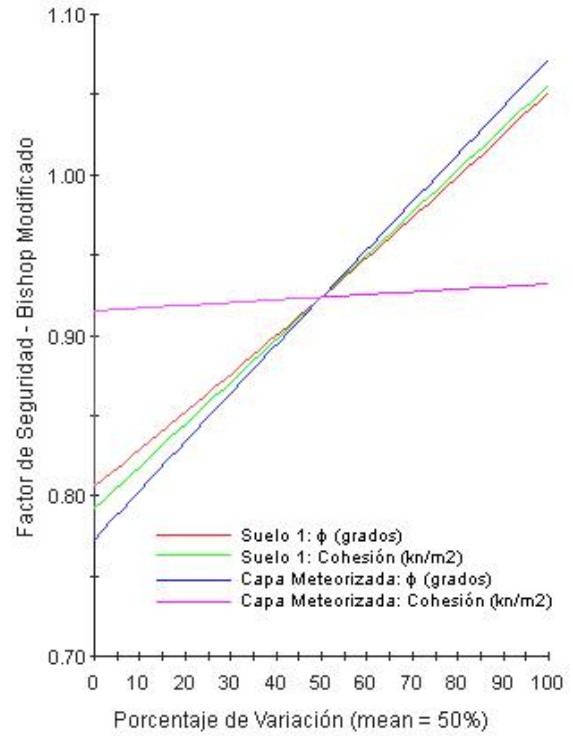


Figura 6.4. Representación gráfica de un análisis de sensibilidad con múltiples variables

**6.6.3. Análisis de sensibilidad para determinar el valor del parámetro para un factor de seguridad definido**

Algunas veces uno quiere obtener puntos de valores exactos en las curvas de sensibilidad. Esto puede ser realizado gráficamente trazando una línea paralela al eje de las abscisas en el Factor de seguridad deseado. Esto nos permite obtener el valor exacto del parámetro para el cual es dado el Factor de seguridad (por ejemplo, FS=1.0) o el factor de seguridad al cual corresponde un valor específico para el parámetro (Figura 6.5).

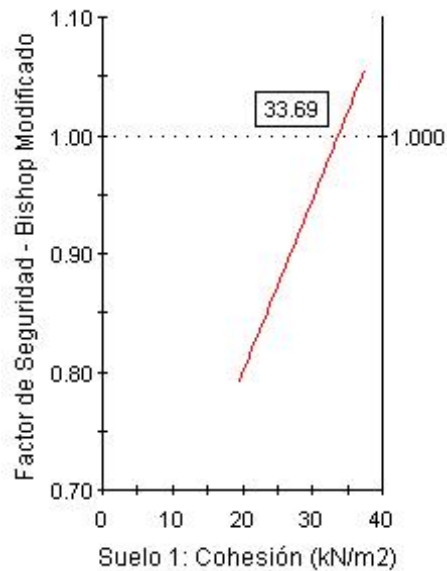


Figura 6.5. Gráfico de sensibilidad, en la que la línea horizontal punteada intercepta la curva del análisis de sensibilidad para la cohesión. El valor de 33.69kPa nos da un factor de seguridad FS=1.0.

## 6.6 ANÁLISIS EN RETROCÁLCULO: DISEÑO DE SOSTENIMIENTO

Esta es otra opción del análisis en retrocálculo, uno puede calcular la carga de refuerzo para alcanzar un factor de seguridad dado para las superficies de deslizamiento analizadas. Muchas veces se requiere diseñar para un factor de seguridad dado o simplemente se quiere comenzar el soporte desde una elevación dada. El empleo del análisis en retrocálculo, en el diseño preliminar, permite realizar el diseño final mucho más rápido. También se puede emplear este método para ver la confianza del diseño existente, así como verificar que el sostenimiento que ha sido diseñado excede las cargas de refuerzo necesarias a fin de garantizar la estabilidad (Figuras 6.6 y 6.7).



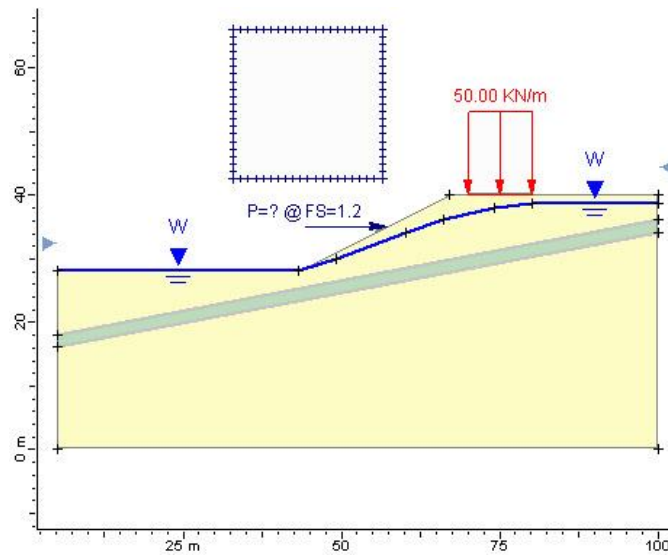


Figura 6.6. Localización de las fuerzas de soporte, para la obtención de un FS=1.2 para la geometría dada y la retícula de búsqueda del factor de seguridad

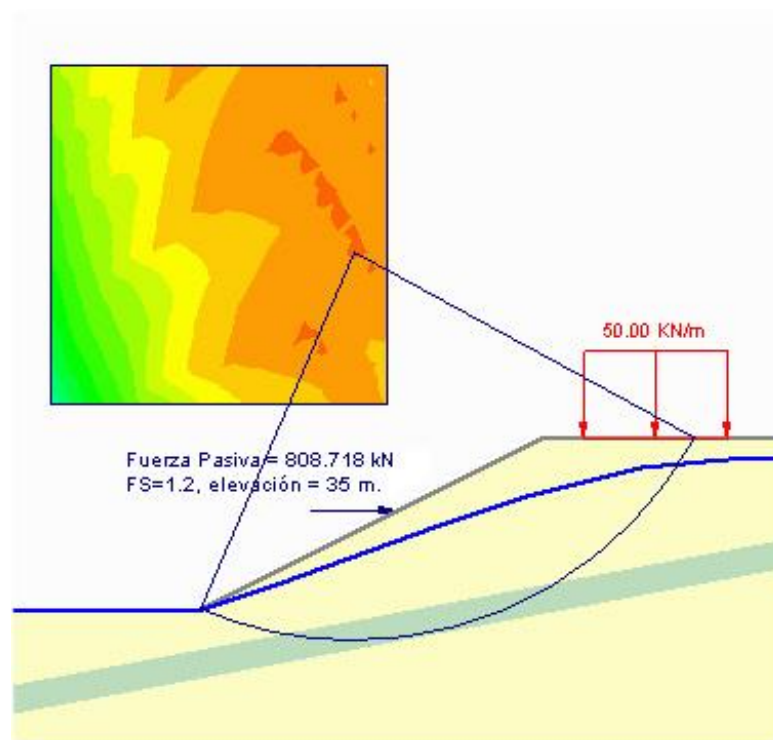


Figura 6.7. Después de haber realizado el análisis, el programa mostrará las fuerzas iguales o en exceso para el factor de seguridad dado para todas las superficies críticas calculadas. También mostrará la superficie que requiere exactamente esta fuerza para obtener el factor de seguridad requerido. Las fuerzas de sostenimiento pasivas ya activas pueden ser mostradas.

## **6.7. ANÁLISIS EN RETROCÁLCULO EMPLEANDO, ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD Y ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS**

El análisis de sensibilidad y el análisis probabilístico puede ser empleados para el análisis de retrocálculo de las propiedades de los materiales, condiciones de agua subterránea y otros parámetros del talud. Si tenemos un talud que ya ha fallado, podemos utilizar la geometría de falla y el factor de seguridad ( $\leq 1$ , implícito por la ocurrencia de la falla), para determinar los valores de los parámetros probables del talud en la falla.

Un análisis de sensibilidad puede ser empleado para este propósito, si consideramos una sola variable para nuestro análisis en retrocálculo (por ejemplo: la cohesión de un material o la magnitud de una carga).

Un análisis probabilístico nos permitirá considerar más de una variable al mismo tiempo en el retrocálculo. Por ejemplo, si en nuestro talud tenemos una capa meteorizada, con unas propiedades que no conocemos muy bien, entonces podemos especificar para esta capa una distribución uniforme para los valores de cohesión y del ángulo de fricción entre unos valores máximos y mínimos posibles. Después de realizar el análisis, realizaremos una representación de la distribución de estos valores de cohesión versus los valores del ángulo de fricción para el material. En el gráfico resaltaremos los valores dentro de un rango del Factor de Seguridad = 1 (es decir: 0.99 a 1.01). Esto nos indicará las posibles combinaciones de cohesión y ángulo de fricción, que combinadas conducen a la condición de falla del talud.

## **6.8. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN TALUDES DE DESECHOS SÓLIDOS**

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores la cuantificación de las propiedades mecánicas de los desechos sólidos es muy difícil, por las siguientes razones:

- Las propiedades están controladas por la naturaleza del material, por los métodos de colocación y compactación;
- La composición inconsistente de los materiales del relleno sanitario conllevan a que los valores de los parámetros tengan una gran variabilidad;
- Es difícil obtener muestras de suficiente tamaño que sean representativas de la condición del relleno es difícil de lograr;
- Debido a la naturaleza errática de las partículas en los desechos, es difícil realizar el muestreo y los ensayos, de manera que sean fáciles de realizar;
- No existen procedimientos de muestreo y de ensayo generalmente aceptados para desechos sólidos;
- Las propiedades de los desecho varían con el tiempo (edad de los desechos).

Los deslizamientos más comunes en rellenos sanitarios, presentan superficie de rotura aproximadamente circular. En vertederos en altura se dan dos mecanismos con rotura circular. Cuando el relleno de residuos sólidos es inestable, el deslizamiento ocurre en el talud del vertedero,

con círculos de rotura que pueden ser superficiales de pie o de talud. Cuando el vertedero tiene altura excesiva y está cimentado sobre arcillas blandas, se puede producir una rotura general del suelo blando de cimentación causando una superficie de rotura de círculo profundo. De lo anterior se desprende que las causas de los deslizamientos en vertederos son diversas.

La estabilidad de los taludes en los rellenos sanitarios es evaluada generalmente por procedimientos geotécnicos convencionales. Los métodos más utilizados para la estabilización de taludes de rellenos sanitarios urbanos son Bishop y el de desplazamientos translacionales, en una primera fase y de talud infinito en su etapa final y clausura. Los valores medios para taludes de rellenos sanitarios están entre 2-3H:1V. La mayor dificultad que presenta el análisis de la estabilidad de estos taludes, con superficies potencialmente deslizantes, es la selección de los parámetros resistentes a emplear en los métodos tradicionales de cálculo.

Una vía para la obtención de parámetros de diseño, adicional a los ensayos de laboratorio, como odómetros de gran diámetro; de terreno, como ensayos de placa de carga, ensayos a escala real, prospecciones geofísicas o ensayos de penetración tipo SPT o CPT, es realizar cálculos "*a posteriori*" (back-analysis o retrocálculo) a partir de campos de prueba y registros operacionales. La figura 6.8 muestra un resumen realizado por Palma (1995) de parámetros resistentes obtenidos desde diferentes fuentes.

Uno de los más recientes aportes a este tema es el de Hirata, T. et al. (1995), los que dan a conocer una clasificación en cuatro grupos, de diferentes tipos de residuos en rellenos y su relación con propiedades mecánicas y condiciones de recuperación o saneamiento de vertederos. Algunos autores como Singh y Murphy (1990) cuestionan la utilización de los principios de la Mecánica de Suelos para la evaluación de la resistencia y estabilidad de los residuos sólidos. Argumentan que la teoría de Mohr-Coulomb puede no ser adecuada teniendo en cuenta que los residuos sufren grandes deformaciones sin llegar a rotura y la incompatibilidad entre los esfuerzos con deformación que producen rotura por corte en suelos y aquellos que producen rotura por corte en residuos. Esto indica que los análisis de estabilidad de vertederos de residuos están relacionados más con asentos y capacidad de soporte de la cimentación que con la rotura de talud. Este criterio es similar al planteado anteriormente por el CEDEX.

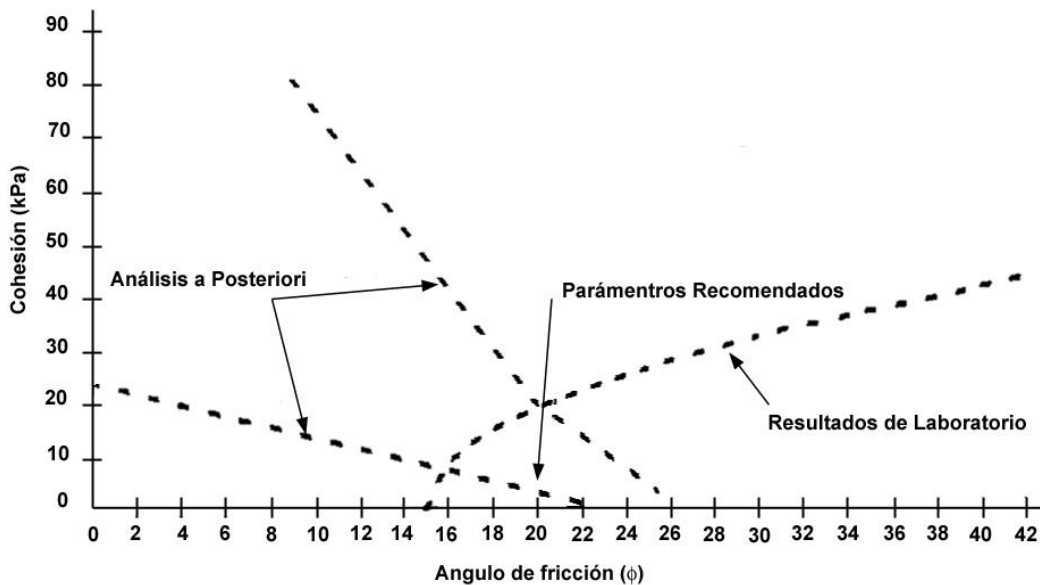


Figura 6.8. Parámetros resistentes en rellenos sanitarios (Palma, 1995)

La mayor limitación de los ensayos de laboratorio surge de la dificultad de obtener muestras de desechos con una distribución de tamaños de partícula y composición representativas. También debe tenerse especial atención cuando empleemos parámetros de resistencia obtenidos en un análisis de retrocálculo (back-analysis), ya que existe un número infinito de combinaciones de pares de "c" y "φ" que satisfacen el equilibrio, y son el resultado de tener una ecuación de equilibrio conocida (factor de seguridad igual a uno (1), condición de falla o carga última) con dos parámetros desconocidos "c" y "φ" resistencia al corte que satisfacen las ecuaciones de equilibrio. (1 ecuación y dos incógnitas) y la solución obtenida precisamente no es la correcta. Para superar esta limitación Howland y Landva, (1992) han propuesto una aproximación gráfica para analizar los resultados obtenidos del "back-analysis" para determinar la combinación de "c" y "φ" más probable.

En la Figura 6.9, se puede observar lo disperso de los diferentes valores de "c" y "φ" obtenidos de back-analysis, esto hace difícil dibujar una envolvente representativa de los residuos sólidos.

Los análisis de retrocálculo de rellenos sanitarios fallados y de ensayo de carga se han realizado en varios lugares. La mayoría de los análisis de estabilidad han sido realizado por ingenieros consultores para los propietarios de los rellenos sanitarios, han empleado parámetros de resistencia obtenidos de ensayos in situ realizados en el relleno sanitario de Monterrey Park, California (Singh y Murphy, 1990). Datos adicionales se han obtenido también del relleno sanitario Global, en New Jersey (Dvirnoff y Muñón, 1986) el cual también falló.

Singh y Murphy (1990) han reportado los datos obtenidos por retrocálculo de la observación del comportamiento satisfactorio de varios rellenos sanitarios ubicados en California (USA) durante eventos sísmicos. Ya que los rellenos sanitarios no sufrieron con los sismos a que fueron sometidos, se realizaron análisis en retrocálculo para determinar los valores de "c" y "φ" asumiendo un factor de seguridad de 1.0, el cual representa la resistencia mínima para que el relleno se encuentre en equilibrio límite y por lo tanto, se asume que son conservadores.

Empleando una aproximación diferente, Howland y Landva (1992), presentaron los datos de resistencia al corte de cinco casos de estudio, representando la resistencia al corte versus el promedio de esfuerzos normales. Esta consiste en trazar los pares "c" y "φ" calculados mediante "back-analysis" que satisfacen el equilibrio en una gráfica de resistencia al corte contra el esfuerzo normal (ver Figura 6.10). El valor de "c" calculado para φ = 0 es en promedio la resistencia al corte movilizada a lo largo de la superficie de falla (punto A). Para un material con una envolvente de resistencia lineal, el punto del par "c" - "φ" que satisfacen el equilibrio (punto B, Figura 6.10) indica una medida del promedio de esfuerzo normal a lo largo de la superficie de falla (punto C). El punto de cruce (punto B) es considerado que es un datum consistente derivado de un caso individual de estudio. El punto de cruce de cada caso de estudio mediante "back-analysis" se transfiere para en resumen trazar la resistencia al corte contra el esfuerzo normal para así obtener una envolvente de resistencia al corte de los residuos sólidos. El esfuerzo normal promedio basado en el punto de cruce es verificado estimando la localización de la superficie de falla y calculando del esfuerzo normal promedio basado en la densidad de la basura y cualquier carga aplicada.

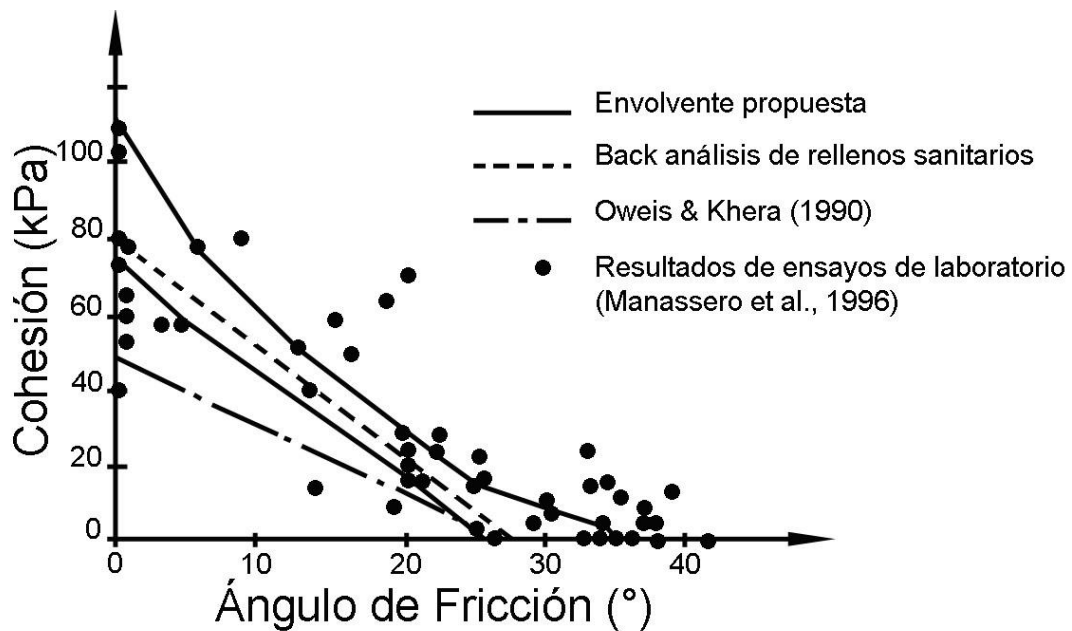


Figura 6.9. Parámetros Geotécnicos de Residuos Sólidos. (Manassero et al., 1990)

Se ha encontrado que el ángulo de fricción puede variar entre 10 ° y 53 °, mientras que la cohesión puede variar desde 0 a 67 kPa. Es importante observar que, que muchos de los valores bajos son contradictorios en las observaciones de campo en los taludes de rellenos sanitarios. De la Figura 6.9, se puede observar que existe una gran dispersión de los datos obtenidos de los ensayos, haciendo difícil estimar con exactitud los parámetros de resistencia al corte.

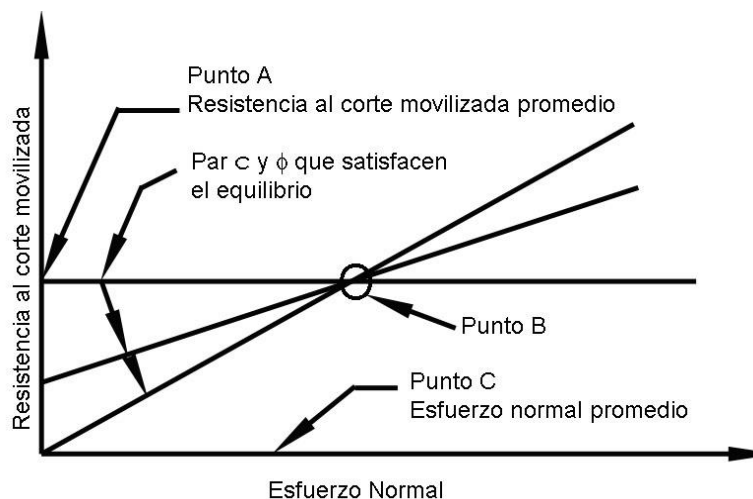


Figura 6.10. Método de Análisis de los Parámetros Geotécnicos (back-analysis) de Residuos Sólidos (Howland y Landva, 1992)

El ángulo de fricción movilizado es principalmente el resultado de la fricción generada entre las partículas componentes de la matriz básica y la influencia por la presencia de componentes reforzadores es insignificante (papel, plástico, etc.). La matriz reforzadora tiene un efecto importante en la cohesión movilizada. Esto puede observarse cuando ocurren grandes deformaciones de corte que excedan el 20% para poder movilizar el efecto reforzador de la basura.

## 6.9. CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA REALIZAR UN ANÁLISIS POR RETROCÁLCULO

1. Los análisis en retrocálculo son muy útiles ya que sirven como patrones para evaluar los parámetros de resistencia al corte, este análisis no debe emplearse de manera aislada. La aplicación del retrocálculo o back analysis debe tomarse como una aproximación para el diseño de medidas preventivas o trabajos de estabilización. Los estudios de estabilidad deben estar acompañados de una investigación geotécnica rigurosa, que incluya la investigación de subsuelo, ensayos de laboratorio y deben estar acompañados de un levantamiento geológico de manera de obtener una base de sustentación más real de los parámetros de resistencia al corte.
2. Debe tenerse extremada precaución en la adopción de parámetros de resistencia al corte extremadamente altos derivados del análisis en retrocálculo los cuales pueden incorporar el efecto de succión. Cuando las masas de suelo sean relativamente homogéneas que no tengan cantos rodados, raíces de árboles, efectos tridimensionales derivados de la geometría del talud, etc., los parámetros de resistencia obtenidos por el análisis de retrocálculo cuyos valores sean superiores a los obtenidos en los ensayos de laboratorio en muestras saturadas deben ser descartados.
3. El principio de estabilidad continua, de un talud existente debe ser corroborado después de que haya soportado una tormenta y debe ser tratado con precaución. Factores tales como el deterioro de las condiciones iniciales del talud, deformación progresiva del talud y cambios en las condiciones ambientales (es decir, aumento de la infiltración por

percolación, etc.) debe ser considerada antes de realizar cualquier análisis en retrocálculo. En particular, el empleo de un análisis en retrocálculo para la obtención de los parámetros de resistencia al corte para realizar cualquier tipo de trabajo en el talud, debe realizarse con extrema precaución donde esos trabajos propuestos involucren el remplazo de una superficie de recubrimiento dura por una capa vegetal.

4. Cuando el análisis en retrocálculo es empleado, deben considerarse un posible rango de combinaciones de los parámetros de resistencia al corte, Si existe mas de un suelo predominante involucrado, la aproximación por retrocálculo, si es empleada, deben ser evaluados los parámetros de resistencia para el tipo de suelo en particular con la mayor incertidumbre (es decir, alta variabilidad espacial, dificultad en obtener muestras representativas para los ensayos de laboratorio, etc.).
5. El análisis en retrocálculo de los parámetros de resistencia para ciertas secciones de un talud, no deben ser aplicados a otras secciones del talud, en el caso que exista gran variabilidad en la forma del talud (es decir, en términos de geometría, geología) como en su longitud. Deben obtenerse diferentes grupos de parámetros de resistencia por el análisis en retrocálculo para las secciones seleccionadas del talud.
6. El análisis en retrocálculo de un deslizamiento o de un talud con signos que evidencien su inestabilidad es muy útil en lugares donde existe suficiente información disponible de las condiciones del terreno y de la geometría de la superficie de falla. Esto ayuda al diagnóstico de los mecanismos de falla y permite evaluar las distintas combinaciones de parámetros de resistencia y condiciones del nivel freático en el momento de ocurrir la falla. Para el diseño de los trabajos correctivos, sin embargo, el análisis en retrocálculo de las condiciones del nivel freático prevalente en el momento de ocurrir el deslizamiento no necesariamente deben ser tomadas como condiciones de diseño. Esto es debido a que el nivel freático es consecuencia de las precipitaciones a que haya sido sometido en términos de intensidad, duración y periodo de retorno son distintas, y debido a las condiciones hidrogeológicas del talud fallado estas condiciones pueden haber sido alteradas por el deslizamiento y/o los trabajos correctivos propuestos.
7. Los puntos señalados anteriormente, para un análisis en retrocálculo son generalmente aplicables al diseño de trabajos correctivos o preventivos de muros de contención.





## **7. Casos históricos de deslizamientos en rellenos sanitarios**

### **7.1. ¿LA ESTABILIDAD DE LOS RELLENOS SANITARIOS ES UN PROBLEMA?**



Foto 7.1. Deslizamiento en un relleno sanitario

---

El gran problema de las áreas urbanas es su expansión, ya que en corto tiempo llegan a encontrar en su desarrollo a rellenos sanitarios que originalmente se encontraban en áreas alejadas de las zonas urbanas. Más aún, cada día es más difícil encontrar sitios apropiados para la construcción de nuevos rellenos sanitarios. Razón por la cual los propietarios y/o operadores de estos rellenos tratan de incrementar la capacidad de los rellenos sanitarios existentes aumentando su altura y el ángulo de inclinación de los taludes que lo conforman. El impacto del aumento de la altura y de la inclinación de los ángulos de los taludes en la estabilidad es incrementada por la tendencia a recirculación de los lixiviados y a la tecnología del biorreactor, que requiere la reinyección de los lixiviados en la masa de desechos sólidos, que tradicionalmente se mantenía en el estado más seco posible. Recientes deslizamientos en rellenos sanitarios han ocurrido en ciudades de Estados Unidos (Cincinnati y Ohio), Colombia (Doña Juana y Navarro) y Filipinas (Payatas), ilustran el impacto de la altura y la reinyección de lixiviados en la masa de desechos. El efecto neto de esta tendencia es que los ingenieros continúan colocando límites a la estabilidad, a medida que los peligros potenciales se incrementan.

El problema de los deslizamientos en los rellenos sanitarios controlados radica en:

- Los rellenos sanitarios tienen una alta resistencia al corte debido a la cohesión entre las fibras;
- Los ingenieros dan largas a los problemas de estabilidad confiando en la resistencia al corte de los desechos sólidos.
- Desconocen de los parámetros de resistencia al corte, métodos de análisis y riesgo debido a la ausencia de seguimiento e investigaciones.

Recientes tragedias provocadas por deslizamientos dejan de manifiesto la importancia del papel de la geotecnia en estas obras. Una de las más, reciente es el alud de basura que dejó más de 230 muertos, 7.800 desaparecidos, en un poblado de Manila en Filipinas en el mes de Julio del 2000. Allí, un gigantesco basural se derrumbó y enterró un grupo de precarias viviendas y sepultó unas 100 casas debido a las intensas lluvias provocadas por el tifón Kai-Tak. En el poblado de precarias viviendas viven más de 80.000 personas, que en su mayoría obtienen el sustento vendiendo objetos que rescatan de la basura. El vertedero absorbe un cuarto de las 4.500 toneladas de basura que producen cada día los habitantes de Manila, una ciudad con 10 millones de habitantes.

Por otra parte, importantes lecciones geotécnicas dejó el deslizamiento ocurrido el 27 de septiembre de 1997 en el vertedero Doña Juana de Colombia, donde la masa deslizada cubrió aproximadamente 10 hectáreas y los desechos llenaron varios cientos de metros de un Río cercano a un área poblada.

Allí, en el análisis de estabilidad se asumió que la basura sólida tenía un ángulo de fricción efectivo de  $28^\circ$ , una cohesión efectiva de  $2,5 \text{ t/m}^2$ , y un peso unitario total de  $1,2 \text{ t/m}^3$ . Los análisis de estabilidad fueron realizados presumiendo superficies de falla circulares, (método de Bishop); y superficie de fallas translacionales (método de Janbu). Los diseños preliminares indicaban que para un mecanismo de falla circular el factor de seguridad oscilaba entre 1,4 y 1,5. Para el mecanismo de falla deslizante por traslación, la superficie de deslizamientos supuesta se encontró en la base del vertedero a lo largo de la interfaz entre la geomembrana y los materiales granulares de la zona de recolección del lixiviado. Los resultados indican que el ángulo de fricción en la superficie de deslizamiento para un  $FS$  calculado de 1,0 fue de  $22^\circ$ , valor aproximadamente igual a la resistencia

máxima de interfaz entre un material de geomembrana liso y el material granular de recolección de lixiviado.

El motivo principal de la falla se debe a que los lixiviados generados en el relleno no pudieron ser drenados adecuadamente y por consiguiente se empezaron a acumular desde el comienzo de la operación. Ello debido a que los filtros quedaron parcial o totalmente llenos. Razón fundamental es que existía recirculación de lixiviados funcionando ininterrumpidamente, siendo incorporados a la masa, en todos los niveles de las celdas. Al no existir salida, el líquido se fue acumulando en los vacíos del vertedero, haciendo subir la posición del nivel de la superficie libre y aumentando las presiones neutras. Esta acumulación contribuyó al aumento de presiones internas de gases debido a que los lixiviados dentro del relleno no permitían el flujo normal de los gases hacia la superficie y chimeneas. Estas presiones de gases disminuyeron aún más la capacidad de drenaje de los lixiviados. La acumulación de lixiviados y las presiones del biogás dentro del relleno se incrementaron con el tiempo, causando igualmente una disminución con el tiempo de los factores físicos que favorecen la estabilidad del relleno, disminuyendo las fuerzas resistentes sobre las superficies de deslizamiento y aumentando la masa y el impulso de la masa de la basura.

Los aspectos del diseño, operación y construcción que pudieron causar las excesivas "*presiones de poros*" fueron: La capa de protección ubicada en la parte superior de los filtros y tuberías de fondo que contribuyó significativamente a la reducción de la capacidad de drenaje de los lixiviados; las capas intermedias de baja permeabilidad que contribuyeron a la deficiencia del drenaje de los lixiviados dentro del relleno; las concentraciones de hierro y calcio en los lixiviados que colmataron la capa de protección de los drenajes de fondo; la falta de implementación de un sistema de extracción forzada de gases que influyó en la concentración de estos en el relleno; las bolsas plásticas sin romper y compactadas que pudieron afectar localmente el drenaje de los lixiviados y gases.

Esta experiencia demuestra que el diseño y operación de los rellenos sanitarios son campos de la ingeniería y la ciencia relativamente nuevos y no se ha establecido en forma definitiva los criterios y procedimientos que se deben seguir. La operación de un Relleno Sanitario es algo de mucho cuidado, no es solamente colocar basura siguiendo un diseño, sino también analizar las fisuras, los caudales de todos los efluentes, los análisis físicos y químicos, las cantidades de basura que se colocan, entre otros, para prevenir desastres. El insuficiente desarrollo de la ingeniería práctica en estos aspectos exige el establecimiento de medidas preventivas durante la operación del relleno, especialmente cuando se incluye un proceso relativamente nuevo como la recirculación de lixiviados.

Es fundamental en estos casos contar con medidas preventivas y de control durante la operación del relleno, como por ejemplo: instrumentar los Rellenos Sanitarios con piezómetros, inclinómetros y redes topográficas, para controlar, los movimientos de estas grandes masas; sistemas de control entre los lixiviados producidos y recolectados que permitan determinar la acumulación de líquido en el relleno y la factibilidad de la recirculación de estos; elementos de medición de presiones internas dentro del relleno en áreas críticas; elementos de presión de gases dentro del relleno que permitan establecer las modificaciones necesarias en el sistema de alivio; un programa de Seguridad Geotécnica que permita establecer la importancia de cada uno de los factores enunciados anteriormente. En los estudios de Impacto Ambiental se debe incluir, como factor importante, el análisis de la estabilidad de los taludes.

Como medidas de precaución para evitar este tipo de fallas geotécnicas se debe tener presente que en la actualidad todos los Rellenos Sanitarios, recientes o antiguos están saturados o próximos a la saturación y por tanto deben ser drenados a corto plazo. Además todas las lagunas existentes sobre la masa de la basura deben ser secadas. Para evitar posibles fallas donde el principal motivo es el aumento de la presión intersticial, es indispensable que se cuente con sistemas de drenaje interno de los líquidos y secundariamente de los gases. Se recomienda, entre otros, la ejecución de trincheras, galerías de drenaje y drenes horizontales de alivio.

Por otra parte, en algunos antiguos vertederos donde se han realizado proyectos de re inserción después de varios años de abandono, la participación geotécnica ha consistido principalmente en el reconocimiento del subsuelo generalmente mediante calicatas y ensayos de penetración dinámica; la caracterización de los materiales a través de ensayos de laboratorio; la estimación de la deformabilidad principalmente aplicando los modelos planteados por Sowers (1973), y últimamente modelos de tipo exponencial. La capacidad portante se ha estudiado principalmente a través de ensayos de placa de carga, ensayos de carga en canchas de prueba, y el seguimiento del comportamiento de estructuras experimentales. El análisis de la estabilidad de taludes tanto en condiciones drenadas como no drenadas, se ha realizado principalmente mediante back analysis.

Se ha podido comprobar que la alternativa de construir, sobre estos terrenos es factible siempre que se cuente con los estudios previos necesarios y se consideren los resguardos aquí mencionados. Se mantiene la incertidumbre de cual será el comportamiento de las estructuras construidas en países con importantes eventos sísmicos, los que no se han presentado en la zona central de Chile en los últimos 15 años.

El Comité Técnico TC 5 de la ISSMGE cuenta con un subcomité (SC 9) dedicado al estudio del comportamiento de los vertederos sanitarios ante condiciones de carga extrema, como los terremotos. Entre los mecanismos de falla que se recomienda emplear se mencionan: deslizamientos, distorsiones de corte de vertederos o suelo de fundación; rotura del suelo de cobertura; rotura de los taludes internos del vertedero; fallas en el sistema de recolección del gas; roturas en las geomembranas; roturas en el vertedero por fallas en el suelo de fundación; movimientos tectónicos del subsuelo; licuefacción del vertedero o suelo de fundación. Este Comité recomienda emplear aceleraciones de diseño de 0.2 g para dar seguridad al comportamiento del vertedero sanitario. Este valor podría ser aún insuficiente en países de alta sismicidad.

Es claro que el conocimiento actual sobre la conducta geotécnica en vertederos sanitarios es aún insuficiente y se requieren mayores investigaciones sobre el tema. De igual forma, el comportamiento de los vertederos sanitarios durante un terremoto, deberá ser motivo de futuras investigaciones, mediante el análisis de métodos experimentales y matemáticos.

## **7.2. DESLIZAMIENTO DEL VERTEDERO DE PAYATAS (FILIPINAS)**

### **7.2.1. Introducción**

En la mañana del 10 de julio de 2000, un deslizamiento ocurrió en el vertedero de Payatas, que está localizado en la ciudad de Quezón ubicado en el noroeste de Manila, capital de Filipinas (Figura 7.1). En los alrededores del vertedero se encuentra el poblado de Payatas. Este deslizamiento puede describirse como un flujo rápido de desechos sólidos municipales. El vertedero inicialmente tenía una altura entre 18 y 30 metros con taludes muy inclinados y recientemente había sido sometido a dos tifones, el último tifón llamado Kai-Tak, produjo grandes precipitaciones en la zona. En el

deslizamiento perecieron 216 personas, mas de 100 personas desaparecidas y 500 familias con mas de 2900 personas fueron evacuadas de sus casa que estaban ubicadas en la base del relleno sanitario (foto 7.2).



Figura 7.1. Plano de ubicación del poblado de Payatas y del vertedero en el Área del Metro de Manila.

Este deslizamiento del vertedero es particularmente importante por dos razones:

1. En la mayoría de los deslizamientos en rellenos sanitarios documentados la falla involucra falla en la fundación (Falla del relleno sanitario de Rumpke , 1996 en la ciudad de Cincinnati, reportado en este capítulo) o falla en un relleno con interfaces de geosintéticos (Relleno de Kettleman Hills); y
2. La tendencia actual es a la recirculación de lixiviados y a la tecnología del biorreactor que requiere que los lixiviados producidos por los desechos sólidos sean introducidos nuevamente en los rellenos que históricamente se habían mantenido en el estado mas seco posible, y el impacto de los lixiviados en los parámetros de resistencia de los desechos sólidos municipales que aún no es bien comprendido y generalmente no está considerado en el diseño del biorreactor.

### 7.2.2. Características del vertedero de Payatas

El vertedero de Payatas está localizado en la esquina noroeste de la ciudad de Quezón, la cual se encuentra en la isla de Luzón en Filipinas (Figura 7.1). Es la más grande de las seis ciudades que se encuentran en el área del Metro de Manila. Manila tiene una población (2000) de 1.673.000 habitantes, es la capital de Filipinas, el principal puerto del país y un importante centro comercial. La población del área metropolitana de Manila es de 9.600.000 habitantes. Otras ciudades importantes son: Quezón (2.160.000 habitantes), forma parte del área metropolitana de Manila, con un área de 15.100 hectáreas, y actuó como capital del país desde 1948 hasta 1976; Davao (1.147.000 habitantes), capital provincial y puerto marítimo; Cebú (662.000 habitantes), puerto

marítimo y centro comercial de una región agrícola y minera; y Zamboanga (600.000 habitantes), también puerto marítimo.



Foto 7.2. La foto muestra el área de residencia del pueblo, localizada en el área frontal del vertedero en el mes de marzo de 2000, antes de que ocurriera el deslizamiento. Frecuentemente en países en desarrollo, la gente no solo vive en los alrededores de los vertederos, sino también viven dentro de él.

El poblado de Payatas, esta emplazado en una zona de taludes moderados, la cual comenzó a desarrollarse al inicio de 1970 como un desarrollo habitacional en un área de 30 hectáreas, tiene una población aproximada de 80.000 habitantes. La Foto 7.3 muestra una vista noroeste del área de Payatas donde se desarrollaron buenas vías de comunicación con viviendas relativamente grandes en primer plano. En la parte norte de la foto puede observarse un barrio bastante denso de viviendas. Los desechos sólidos comenzaron a ser almacenados en el relleno sanitario en 1973. Por más de una década, este dio servicio al desarrollo habitacional de Payatas. En 1988, el relleno sanitario de Smokey Mountain que estaba localizado al noroeste de la ciudad de Manila fue clausurado y los desechos de la ciudad fueron enviados al relleno sanitario de Payatas. Con el pasar del tiempo, el relleno sanitario de Payatas fue incrementando su tamaño de manera significativa. Al punto de que en 1996 el área del metro de Manila generaba un promedio de 6000 toneladas de desechos sólidos diariamente, de los cuales cerca de 1500 a 1800 toneladas fueron depositados en el relleno sanitario de Payatas de 18 hectáreas. El relleno debía ser clausurado definitivamente en 1998. Sin embargo, el gobierno de la ciudad de Quezón, pospuso su clausura ya que no disponían de los fondos necesarios para concluir la construcción del nuevo relleno sanitario de San Mateo, en el distrito de Rizal (Ver Figura 7.1). La clausura se pospuso por parte de Metro Manila Development Authority hasta un mes antes de la falla.



Foto 7.3. Vista noroeste del área de Payatas en la cual puede observarse el relleno sanitario en el centro. Un segundo relleno que está siendo iniciado puede verse en la esquina superior derecha.

Como puede verse de la Foto 7.3 no existe ninguna barrera física entre el relleno y el área residencial adyacente. La mayoría de la población que vive en los alrededores y dentro del relleno sanitario, trabajan como recicladores de papel, cartón, aluminio, vidrio, etc. Cuando los desechos son llevados al relleno, este recibe una pequeña compactación mecánica con buldózer. La basura es esparcida en área grande, para que ésta sea escarbada por los recicladores del área. Esto permite que la basura sea distribuida en pequeñas capas. Esto hace que los desechos sean compactados algo más por el pisoteo de las personas que allí trabajan, ayudando a la limitada compactación mecánica de los equipos.

El área del relleno esta conformada por dos áreas de desechos separadas (Foto 7.4). En la parte superior de la Foto 7.4, podemos observar la presa Novaliches (Novaliches Water Reservation) que esta escasamente a solo 200 a 300 metros del relleno sanitario, pero está a una cota superior que el relleno sanitario. El área de fundación del relleno sanitario es un material arcilloso mezclado ocasionalmente con capas de material grueso a una profundidad de más de 50 metros. La inclinación del área es aproximadamente 1:20 de derecha a izquierda (Foto 7.4). Estas condiciones hacen que la recarga al agua subterránea sea baja. De aquí que las precipitaciones del áreas tengan una escorrentía superficial.



Foto 7.4. Vista de los dos rellenos sanitarios de Payatas, el pequeño ocupa una extensión de 5,3 hectáreas y está ubicado a la izquierda del principal que está a la derecha y tiene una extensión de 12,7 hectáreas. El deslizamiento puede verse en la parte frontal del relleno sanitario mayor. Los incendios, indicados por el humo en ambos rellenos, no fueron extinguidos cuando se iniciaron.

En 1992, el relleno fue considerado que debía ser clausurado ya que la altura final de diseño había sido alcanzada. Las curvas de nivel en el diseño indican que los desechos en el área afectada por la falla, era inactiva, al menos en ese momento. Adicionalmente a los mapas de curvas de nivel también muestran que tiene menos altura que lo actualmente observado. De esto se puede inferir que los desechos sólidos involucrados en el deslizamiento son relativamente jóvenes y que han sido depositados en los últimos 8 años. La sección transversal realizada a través del relleno coincide muy bien con la falla ocurrida (Figura 7.2). En esta sección transversal, puede observarse que las inclinaciones máximas de los taludes es de 1V:3H donde es especificado. También puede verse que la topografía original es recubierta con los desechos con una inclinación que es la misma de la falla. Debido a que la localización exacta del plano de deslizamiento no es conocida, la afectación también es desconocida. El reporte de diseño también señala precauciones a tomar en cuanto a las inclinaciones de los taludes generados:

Desde el punto de vista geotécnico, la porción más sensitiva del trabajo de construcción es el riesgo de deslizamientos en el relleno a lo largo de la cresta. El talud es también muy inclinado y en combinación con el riesgo que el relleno sea lavado en momentos de altas precipitaciones, deslizamientos locales pueden ocurrir en el futuro.

Los taludes que se han tratado tienen una inclinación de 1V:1.5H y se había recomendado disminuir su inclinación hasta 1V:4H. La Foto 7.5 muestra un lateral del talud del relleno en el lado de la falla, al compararlo con la Figura 7.2 observamos que se ajustan perfectamente en longitud, orientación e



inclinación. Basado en la Foto 7.5, los laterales de los taludes del relleno adyacente del área de falla es estimada con una inclinación de 1V:1.5H, exactamente la inclinación de la cual había que tener precauciones por su alto riesgo, tal como fue señalado hacía 8 años atrás.

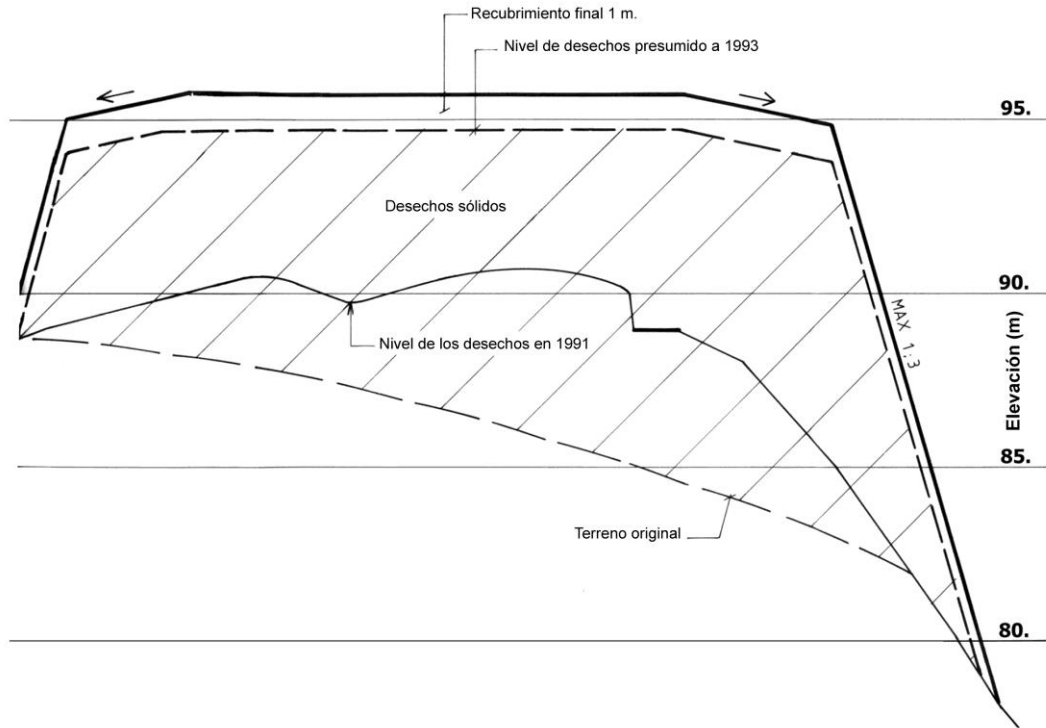


Figura 7.2. Sección transversal del talud final de diseño en 1992, donde la falla ocurrió



Foto 7.5. Foto de la falla desde un ángulo oblicuo mostrando el talud después de la falla. El talud remanente tiene una inclinación la cual es mostrada con la línea amarilla, la cual es muy cercana a 1V:1.5H.



Foto 7.6 Al fondo se observa parte del talud, el cual se mantiene sin fallar. En la parte frontal el deslizamiento de 1,2 millones de metros cúbicos de desechos sólidos, este deslizamiento ocurrió de izquierda a derecha sepultando una gran parte del pueblo. (Angulo derecho).

A finales de 1999, la compañía que maneja el relleno sanitario, comenzó a colocar desechos en el área media del relleno y luego la empujaba a los bordes. Esta práctica tuvo dos efectos. El primero, es que los taludes se hicieron más inclinados y el segundo, se hizo una gran depresión en el tope del relleno, que presionó de manera no uniforme la base del relleno. En las épocas lluviosas esta depresión almacenaba gran cantidad de agua, tal como ocurrió días antes de que ocurriera el deslizamiento, el personal de operaciones drenó el área por un lateral del relleno lo que originó la erosión de la ladera. Otra razón por la cual el relleno mayor falló, es que no se evidenció la presencia de cunetas que recogieran las aguas de lluvia. Sin embargo en el relleno sanitario más pequeño puede observarse que los desechos se colocan en la parte superior y luego son esparcidos en la ladera, así como también el drenaje en trinchera en la base del talud como puede verse de la Foto 7.7 esto hacía que los taludes fueran reperfilados de vez en cuando con maquinaria pesada. La Foto 7.3 muestra como estos trabajos de reperfilamiento y banqueo se hacían en la esquina frontal del relleno. En otras áreas de ésta, puede verse la colocación de desechos y que estos aún se encuentran en su ángulo de reposo, y todavía no han sido reperfilados.

La manera en la cual estas personas viven es el factor más importante para que ocurrieran tantos fallecidos, esto puede ser evidenciado en las fotos 7.8, 7.9 y 7.10. Los recicladores viven en viviendas construidas con materiales recolectados de los mismos desechos que encuentran en el relleno sanitario, la mayoría de las viviendas son pequeñas (1.3m x 1.6m) 2.08 m<sup>2</sup> y son construidas una al lado de la otra sin dejar espacio entre ellas. Las mejores viviendas son aquellas que actualmente se encuentran en los lados del relleno sanitario (afueras, lado derecho de la Foto 7.7). Los materiales recolectados para construir las viviendas son los desechos de plantas procesadoras de madera y láminas de corrugadas de metal (láminas de zinc). Cuando el deslizamiento comenzó, las posibilidades de escape del lugar fueron muy pocas debido a lo congestionado del lugar por el

apiñamiento de las viviendas y la gran cantidad de personas que trataban de escapar de sus viviendas frente a un movimiento de desechos sumamente rápido.



Foto 7.7. Vista del relleno sanitario menor de 5.3 hectáreas mostrando una cárcava profunda excavada desde el área central al borde. Esto evidencia que los desechos son colocados en el tope y caen por la ladera.



Foto 7.8. Vivienda construida con materiales extraídos del relleno sanitario. Las viviendas son ampliadas en el tiempo con los mismos materiales de desecho.



Foto 7.9. Esta foto muestra viviendas construidas con desechos extraídos del relleno sanitario.



Foto 7.10. Viviendas abandonadas después de ocurrir la tragedia, las cuales no fueron destruidas.



Foto 7.11. Las fotos muestran las acciones de rescate de las personas fallecidas. El grupo de rescate encontró 216 personas fallecidas, pero se reportó un total de 100 personas desaparecidas.



Foto 7.12. En esta fotografía se muestra la situación del vertedero en agosto de 2000, casi cuatro semanas después de ocurrir la falla. Los trabajos de rescate fueron suspendidos antes del cierre. La vista muestra la falla desde la cresta del talud no deslizado así como el área descubierta por el deslizamiento.



Foto 7.13. La misma localización de la Foto 7.12, vista desde abajo.

### 7.2.3. Cambios meteorológicos preceden el deslizamiento

Las dos semanas anteriores al deslizamiento, el área del metro de Manila fue atacada fuertemente por las lluvias de dos tifones: el tifón Kirogi (conocido en Filipinas como tifón Ditang) y el tifón Kai-Tak (conocido en Filipinas como tifón Edeng). El tifón Kai-Tak fue el que tuvo mayor impacto en Filipinas. Este tifón se inició por un área de baja presión en el sur del Mar de China, el cual es el principal cuerpo de agua entre China y Filipinas. En la mañana del 4 de julio de 2000, esta perturbación se desarrolló como una tormenta tropical (denominada Tropical Storm 06W) justamente en la costa oeste de la isla de Luzón, la isla más al noroeste del archipiélago Filipino. Todas las agencias meteorológicas predecían que la tormenta se movería hacia al noroeste siguiendo la trayectoria del primer tifón Kirogi. Sin embargo, la tormenta tropical estuvo divagando por días al norte de la isla Luzón, causando lluvias de manera significativa en la isla. Por la mañana del día 8 de julio de 2000, la tormenta ya había dejado sin vivienda a 700.000 personas y había causado la muerte a 26 personas en la parte noroeste de la isla Luzón, esta tormenta fue incrementando su intensidad al punto que se convirtió en tifón y fue denominada Kai-Tak. La Foto 7.14, muestra el tifón Kai-Tak, con el ojo de la tormenta bien desarrollado sobre el sur del mar de China, con una circulación de la humedad horaria, que abarcaba la parte superior del archipiélago Filipino (Isla de Luzón). También puede observarse en la Foto 7.14, flujo de humedad que se extiende desde la parte superior derecha de las Filipinas, el cual es la cola del tifón Kirogi. La población Laog, al noroeste de la isla Luzón, recibió el promedio mayor de lluvia en solo 48 horas. La estación meteorológica de la ciudad de Quezón, la cual se encuentra a 9.5 km del relleno de Payatas, registró (Figura 7.3) la gran cantidad de precipitaciones. Después de mantenerse virtualmente estacionario o realizando pequeños movimientos en el área noroeste de Luzón por un

gran periodo de tiempo, el tifón Kai-Tak se movió al norte de Taiwán donde continuo causando muerte y destrucción.

Los efectos combinados de estos dos tifones generaron grandes precipitaciones sobre el área de la isla Luzón, como puede observarse del registro de precipitaciones (Figura 7.3) de la ciudad de Quezón para el períodos del 1 de mayo de 2000 al 31 de julio de 2000. Para los siete días anteriores al deslizamiento, un total de 0.681 m de precipitación fue registrado. La precipitación total para el periodo es de 1.79m. De aquí que el 38% del total de las precipitaciones ocurrieron en los siete días anteriores al deslizamiento.

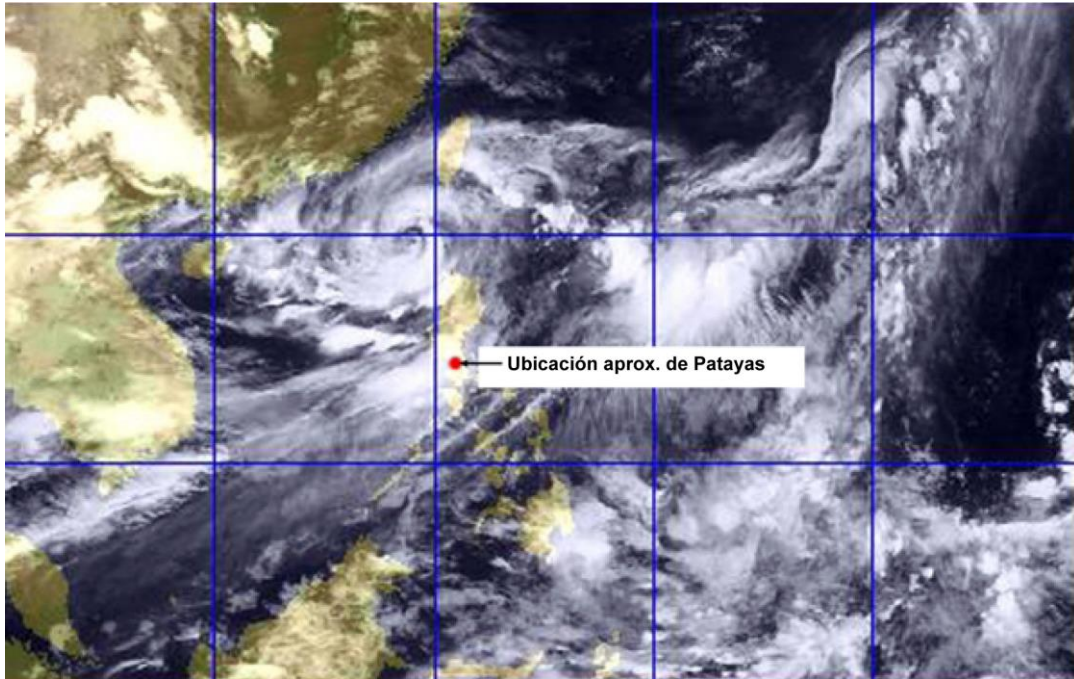


Foto 7.14. Foto satelital del tifón Kai-Tak a las 0700 GTM, 8 de Julio de 2000 (Japan Meteorological Society, 2000)



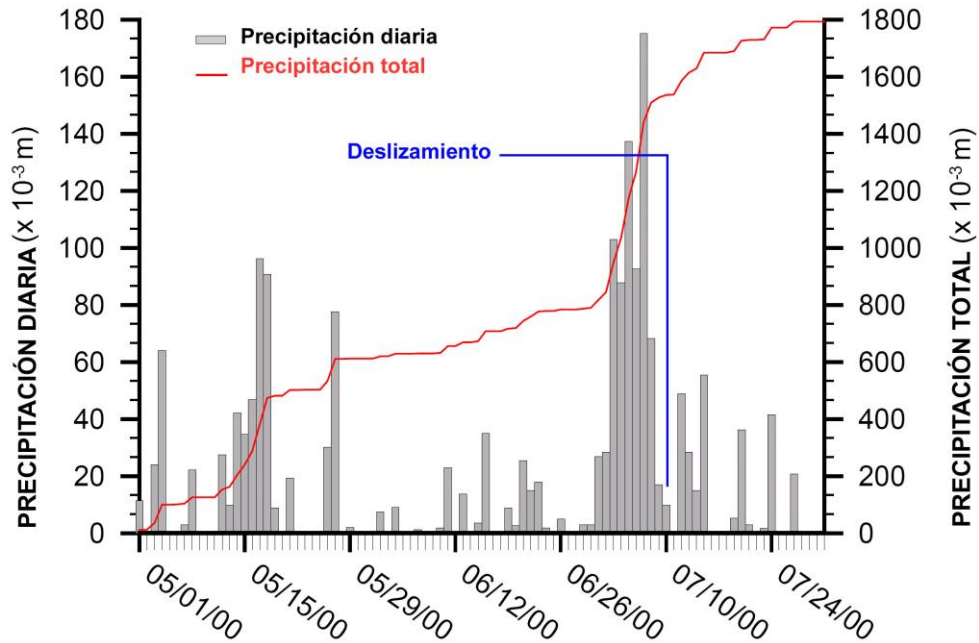


Figura 7.3. Registro de precipitaciones en la estación meteorológica de la ciudad de Quezón (N14.6370° E121.0771°) para el periodo del 1 de mayo de 2000 al 31 de Julio de 2000.

#### 7.2.4. Características del deslizamiento

Aproximadamente el día 10 de julio de 2000, a las 04:30 a.m. hora local de Manila (MLT), se empezaron a oír ruidos en el interior del flanco noroeste del relleno sanitario. Al amanecer se empezaron a llenar de lixiviados las grietas existentes. Entre las 07:30 a.m. y 07:45 a.m., una gran masa de desechos sólidos comenzó a moverse la cual parecía un flujo de derrubios sepultando las casas y personas que se encontraban en su trayectoria. La masa deslizante derribó líneas de tendido eléctrico, produciendo cortocircuitos e iniciando un incendio dentro de la masa de desechos sólidos. El incendio, fue acompañado por pequeñas explosiones. El total de desechos involucrados en el deslizamiento fue estimado entre 13.000 y 16.0000  $\text{m}^3$ , la masa total involucrada fue de  $16,7 \times 10^6$  a  $20,5 \times 10^6 \text{ kg}$  (16.700 ton a 20.500 ton).

Después de varias semanas de rescate, 58 persona fueron rescatadas, 278 muertes y de 80 a 350 desaparecidos (esta imprecisión de la cifra se debe a que la mayoría de los recicladores no estaban registrados, razón por la cual el número de fallecidos no se conoce)(Foto 7.11).

En la fotografía aérea (Foto 7.15 y 7.16) tomada el 31 de julio de 2000 muestra el área del deslizamiento. En esta toma los taludes laterales de cada lado del deslizamiento muestran los taludes antiguos y concuerdan con la Figura 7.2.



Foto 7.15. Vista aérea del Norte al sur del deslizamiento del relleno sanitario



Foto 7.16. Vista aérea del relleno sanitario de Payatas mostrando el deslizamiento en el lado noroeste

### 7.2.5. Biogás y lixiviados del Relleno Sanitario

Después de ocurrir el deslizamiento grandes cantidades de lixiviados drenaban por la zanja que originalmente había sido construida para este propósito (Foto 7.14). Adicionalmente el lixiviado burbujeaba continuamente con biogás. La Foto 7.18, muestra un área de lixiviado con muchas burbujas de biogás en la superficie. El lixiviado pareciera que esta hirviendo, pero se encuentra frío.

Es aceptado que la generación de gas crea una gran cantidad de problemas en la fase de construcción, clausura y recubrimiento del relleno sanitario. La presión de biogás puede causar daños significativos a los sistemas de recubrimiento. Adicionalmente, las presiones de poros generadas por el biogás de un relleno sanitario sobre los desechos sólidos y geomembranas empleadas en su construcción y los esfuerzos efectivos de todos los materiales expuestos a la presión del biogás pueden reducirse significativamente, como si estuviera actuando una presión de poros causada por el agua. En rellenos sanitarios sin protección final, no saturados, el biogás podrá escapar de acuerdo a la permeabilidad de los desechos, si la presión del biogás es relativamente alta. Sin embargo (Thiel (1999) demostró que mientras el nivel de saturación se incrementa, la permeabilidad de los desechos al gas disminuye de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$k_g = k_d (1 - S_e)^2 \left( 1 - S_e^{\left( \frac{2+\lambda}{\lambda} \right)} \right) \quad (6.1)$$

donde:

$k_g$  = Coeficiente de permeabilidad del gas en una condición de parcialmente saturado;

$k_d$  = Coeficiente de permeabilidad del aire en una condición seca;

$S_e$  = Grado efectivo de saturación,  $S_e = \left( \frac{S - S_r}{1 - S_r} \right)$ ;

$S_r$  = Saturación residual, en el punto en el cual un incremento en la matriz de succión no crea un incremento apreciable en la saturación  $S$ .

$\lambda$  = Distribución del tamaño de poro, generalmente se toma 4 para desechos sólidos.



Foto 7.17. De manera de proteger el pueblo de los lixiviados que corrían fuera del vertedero, se abrió una zanja alrededor del área deslizada. (N14.71798° E121.10622°; 2 de agosto de 2000)

En esta ecuación, se puede observar como la saturación  $S$  tiende a la unidad, el grado efectivo de saturación  $S_e$  tiende hacia 1. Como puede ocurrir, el coeficiente de permeabilidad del gas en estas nuevas condiciones de saturación tiende hacia cero. Por esto, el gas no puede escapar hacia fuera del sistema. Las burbujas de gas son compresibles, pero no infinitamente, tal como lo señala la ley de Boyle. El biogás formado por la degradación de los desechos sólidos tiende a formar burbujas de gas en los espacios vacíos de los desechos. Estas burbujas tienden a expandirse hasta que la presión interna de las burbujas es cercana o casi igual a la presión estática del agua (lixiviado) en el exterior. Pero para la burbuja expandirse, debe desplazar el agua del sistema saturado. Esto no puede ocurrir de forma instantánea, particularmente en un relleno grande como el de Payatas. La condición a corto plazo de una condición de carga sin drenar es creada y la presión de poros puede alcanzar niveles mayores que los que se pueden esperar por la mecánica estática de los fluidos.



Foto 7.18. Acercamiento a una zona de acumulación de lixiviados en el pie del talud, mostrando las burbujas de biogás producido en el relleno sanitario.

#### 7.2.6. Efectos posteriores al deslizamiento

Cinco días después del deslizamiento, el relleno sanitario de Payatas fue clausurado permanentemente, por orden presidencial. A finales del año 2000, el relleno sanitario de San Mateo comenzó a llenarse y este fue cerrado por el gobierno de Rizal, por problemas ambientales. Los cuatro meses siguientes a la clausura del relleno sanitario de Payatas, el área de influencia del Metro de Manila padeció la falta de un sitio de disposición de residuos. Como consecuencia de esta decisión se creó un gran problema de salud pública. Los desechos sólidos eran colocados en terrenos baldíos, en las orillas de las carreteras y autopistas, en propiedad privada, como puede observar en la Foto 7.19. En virtud de no disponer de un lugar adecuado para la disposición de basura, el Presidente de Filipinas, el 10 de noviembre de 2000, nuevamente autorizó la reapertura del relleno sanitario de Payatas. Los recicladores volvieron a su trabajo usual. El único cambio que ocurrió, fue que se constituyó una zona de peligro que consistía en una franja de 50m de ancho alrededor del relleno sanitario y todas las viviendas dentro de esta zona fueron demolidas por el gobierno de la ciudad de Quezón.



Foto 7.19. Acumulación de desechos sólidos un mes después de ocurrir el deslizamiento. Esta acumulación de desechos que puede verse en la fotografía, es un terreno privado adyacente a la estación de Quezón, perteneciente al sistema de transporte rápido de Manila. Observe también el camión azul recolector de basura, que acaba de descargar unos desechos sólidos.

### **7.2.7. Conclusiones**

Los tres principales factores a los que se les puede atribuir la falla del relleno sanitario de Payatas son;

1. Las altas precipitaciones ocurridas en el lugar;
2. La producción de biogás dentro de la masa del desechos del relleno sanitario; y
3. La carencia ingenieril en el desarrollo del relleno sanitario, así como la inadecuada supervisión durante su operación.

### 7.3. DESLIZAMIENTO DE RUMPKE (ESTADOS UNIDOS)

Otro gran deslizamiento ocurrió en el mega relleno sanitario de Rumpke (USA), 1996, el análisis forense del mismo se realizó de acuerdo a un nuevo método en 1999.

La compañía Rumpke Consolidada, es la compañía privada más grande de manejo de desechos y la número 4 a nivel de Estados Unidos. En Colerain, un pueblo cercano a Cincinnati (Ohio), esta compañía opera el relleno sanitario de Rumpke (Rumpke Sanitary Landfill), este es uno de los mega rellenos sanitario del centro de los Estado Unidos. Establecido en 1945, en él se depositan 1,6 millones de toneladas de desechos sólidos municipales cada año. Actualmente, el área en uso del relleno sanitario abarca 30 hectáreas, el cual está localizado al noroeste de un área de un relleno clausurado de 54 hectáreas. Esta área clausurada fue destruida por la falla de un talud el 9 de marzo de 1996, cuando 1.2 millones de m<sup>3</sup> de desechos deslizaron.



Foto 7.20. Vista aérea del relleno sanitario de Rumpke, después de ocurrir el deslizamiento



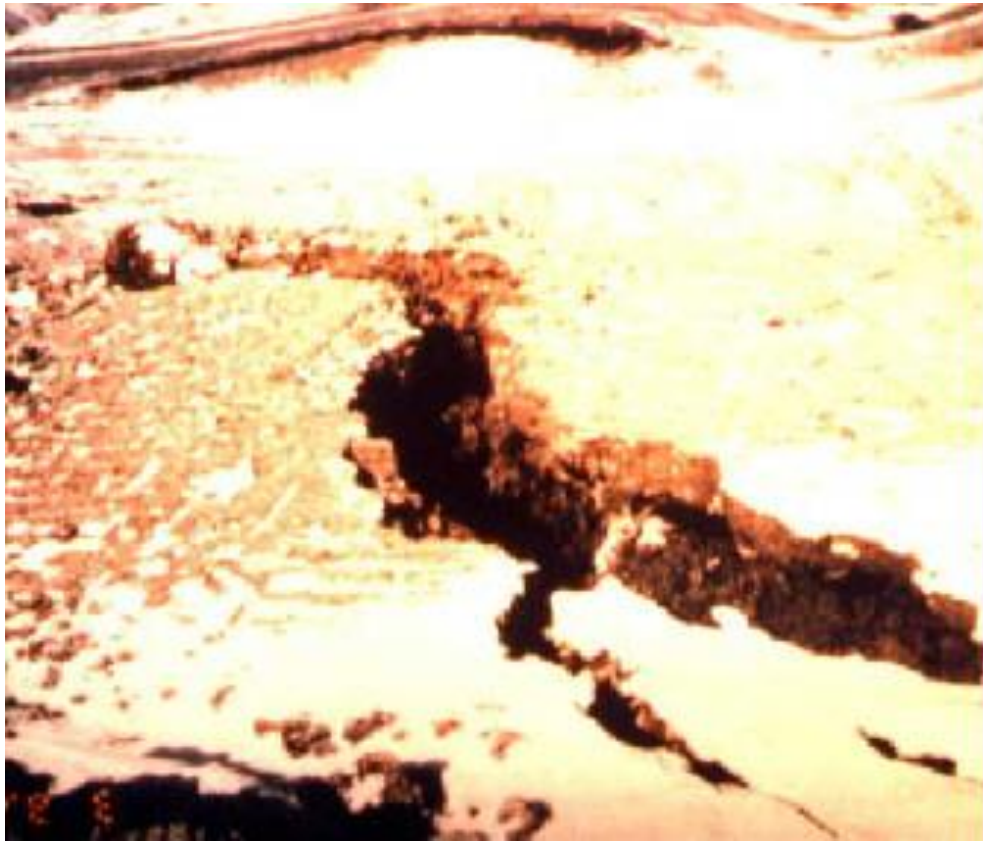


Foto 7.21. Grietas de tracción el material de relleno que sirve como cobertura de los desechos sólidos, en la cresta del talud

En algunas partes del relleno sanitario clausurado, este tiene una elevación de 75 m sobre la superficie del terreno original. La parte noroeste del talud, donde el deslizamiento ocurrió, tiene una inclinación promedio de 1 : 2.6 (21 °). El relleno sanitario no tenía sistemas de extracción de biogás. El sistema de drenaje de lixiviados, sólo se disponía en el pie del talud. 18 meses antes de ocurrir la falla, el terreno original a lo largo del talud noroeste fue excavado 42 m, a fin de preparar una expansión del área de relleno. La inclinación del talud de esta excavación fue 1 : 2.3 (23.5 °). Adicionalmente en octubre de 1995, el pie del talud fue cortado verticalmente con una altura de 2.5 m, a fin de tener espacio y poder construir una carretera de acceso. El 4 de marzo de 1996, el grupo de ingenieros observan pequeñas grietas de tracción en el suelo colocado como cobertura en la cresta del talud. Inicialmente las grietas fueron identificadas como el resultado de los asentamientos que ocurren de manera regular en el relleno sanitario y estas fueron rellenadas, para evitar la infiltración de las aguas de lluvia. Pero en los días subsiguientes, las grietas volvieron aparecer de nuevo en la cresta del talud y su número y extensión fue aumentando progresivamente. Hasta que en la mañana del día 9 de marzo, las grietas se expandieron hasta el pie del talud. Los movimientos horizontales del pie del talud indicaban que el talud completo se encontraba en movimiento. Cerca de las 11:00 a.m., el talud se había movido de 3 a 5 m hacia delante, las grietas ya tenían una separación de 1 m. Ya entrando la noche, más grietas se abrieron y un lixiviado negro comenzó a salir bajo una gran presión. Ya entrada la noche, el talud entero se estaba moviendo y en 5 minutos 1.2 millones de m<sup>3</sup> de desechos comenzaron a deslizarse fuera del área del relleno sobre un área de 5 hectáreas y 360 m de deslizamiento. Una pared vertical con forma de concha, con una

altura de 60 m con una extensión de 300 m fue lo que quedo del relleno después del deslizamiento (Fotos 7.20, 7.21, 7.22 y 7.23).



Foto 7.22. Forma de concha del área fallada



Foto 7.23. Área de expansión de los desechos sólidos después del deslizamiento

## 7.4. DESLIZAMIENTO EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA (BOGOTÁ, COLOMBIA)



Foto 7.24. Fotografía del relleno de Doña Juana, en la cual se a delimitado la zona en la cual ocurrió el deslizamiento.

### 7.4.1. Antecedentes

Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital de la República de Colombia, al igual que la mayoría de las ciudades latinoamericanas, ha tenido muchos problemas con la organización del sistema de recolección, transporte y disposición final de sus residuos sólidos.

Los periódicos, a través del tiempo, se han ocupado de denunciar la verdad sobre lo que se hace con la basura. En el año de 1900, Bogotá operaba el sistema por medio de una institución denominada Sociedad de Aseo y Ornato, la prensa de ese tiempo decía: "*es insoportable el desaseo de las calles de Bogotá; por donde quiera se va amontonando la mugre y la basura, no hay una sola calle limpia*". En 1904 se creía que el problema era el operador y entonces la Administración Municipal, tomo el manejo del servicio directamente. Pero tampoco mejoró.

En Mayo de 1922 se dispuso la basura en un botadero ubicado en donde hoy es el barrio Quiroga y se recomendaba "*quemarla con petróleo, cosa que ha dado magníficos resultados, pues se disminuyen las moscas y los malos olores*".

En 1929, el Concejo Municipal autorizó adquirir lotes para instalar hornos crematorios y ubicar botaderos de basura, cercanos a éstos, como estaciones de transferencia provisionales. Esto fue

caótico, porque aumentó el desaseo en todas estas áreas y, finalmente, no adquirieron los hornos crematorios.

En 1940 se construyó el Horno Crematorio tan esperado, como solución definitiva para la ciudad, pero ya en 1943 se dieron cuenta que no era la panacea, como lo indicaron los vendedores. El mantenimiento era excesivamente caro y el presupuesto municipal no alcanzó; los hornos se cerraron y volvieron a la costumbre de buscar huecos para rellenar y, como relata el Profesor Alfredo D. Bateman, donde hoy esta la Academia Colombiana de la Lengua, fue un antiguo botadero de basura.

En 1956 hubo otra crisis y la Caja Agraria efectuó un estudio donde se plantearon soluciones. Se consideró entonces que lo mejor era crear una empresa responsable y el Concejo del Distrito Especial de Bogotá, le dio vida a la Empresa Distrital de Servicios Públicos (EDIS).

En 1971, el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, presentó a la Empresa Distrital de Servicios Públicos, un interesante estudio donde propone como solución, para la disposición final, las siguientes alternativas: Fabricar abono orgánico, Incinerarlas con recuperación de calor, Hacer un Relleno Sanitario, Fabricar bloques para obras civiles, Recuperar parte de ellas, Combinar varios de los métodos anteriores. El estudio recomienda, como la mejor solución para la ciudad, hacer un Relleno Sanitario. En ese tiempo reportan que la producción de basura, era de 1.236 toneladas diarias.

En 1972 la Empresa Distrital de Servicios Públicos, contrató a la firma inglesa Kennedy & Tonkín para hacer un estudio de Factibilidad de Almacenamiento, Recolección, Transporte y Tratamiento de la basura. La recomendación, de esta firma, para la disposición final, era la de construir cinco estaciones pulverizadoras en la ciudad y transportarlas, por un cable aéreo, detrás de los cerros, al oriente de la ciudad.

En 1980, existían dos botaderos grandes de basura y alrededor de 30 pequeños dispersos por toda la ciudad. Dentro del perímetro urbano existían los denominados "*montones de basura*". Los principales botaderos eran El Cortijo, ubicado al noroccidente, sobre la margen derecha de la autopista a Medellín, sobre la margen izquierda del Río Bogotá, al lado del puente, en una zona inundable y donde existían algunos humedales; y el otro botadero llamado Gibraltar, que se inició en 1979 como un Relleno Sanitario y se convirtió rápidamente en un botadero de basura, por falta de material de cobertura. La prensa denunciaba a diario, el malestar por el mal manejo de la disposición final de los residuos sólidos, la Administración Distrital, optó en 1984, cerrar el botadero de basura de El Cortijo. Algún alcalde comentó: "*las basuras de Bogotá, son la frustración de todos los alcaldes*".

Ante el caos identificado, la Caja Agraria, en el año de 1984, contrató un estudio con la firma Colombo americana INGESAM-URS, para ubicar y diseñar la disposición final de las basuras de la ciudad de Bogotá y los municipios aledaños, Funza, Madrid, Mosquera y Soacha.

Este estudio concluyó que se debía recoger la basura de la zona norte y centro de la ciudad y transportarla a una Estación de Transferencia, ubicada en el actual sitio de Protecho (donde realmente se construyó), de este lugar, en tractomulas, se debía llevar hasta un Relleno Sanitario diseñado y denominado Doña Juana, ubicado al sudeste de la ciudad y con capacidad de 47'000.000 de m<sup>3</sup>; la basura del sudeste de la ciudad, se transportaría directamente al mismo Relleno Sanitario Doña Juana y la basura producida por el sudoeste, se transportaría a otro Relleno Sanitario, también

diseñado, en el sitio denominado Alicachín y con capacidad de 9.000.000 de m<sup>3</sup>, el cual nunca se construyó

Finalmente, el 1 de noviembre de 1988 se cerró el botadero de basura de Gibraltar y se inauguró el Relleno Sanitario Doña Juana, en un lote diferente, pero cercano al que había diseñado el Consorcio INGESAM/URS, para la Caja Agraria.

#### **7.4.2. Relleno sanitario Doña Juana**

##### **7.4.2.1. Operación**

El Relleno Sanitario Doña Juana está ubicado al sur de la ciudad, en la zona rural del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá, en terrenos pertenecientes a la vereda "Mochuelo Bajo" del Municipio anexo de Usme, a 4,5 Kilómetros de su zona urbana. Forma parte de la subcuenca correspondiente a la Quebrada Yerbabuena; el sitio se encuentra entre los 2.715 y 2.800 metros sobre el nivel del mar. La Figura 7.4 muestra la localización aproximada del Relleno Sanitario.

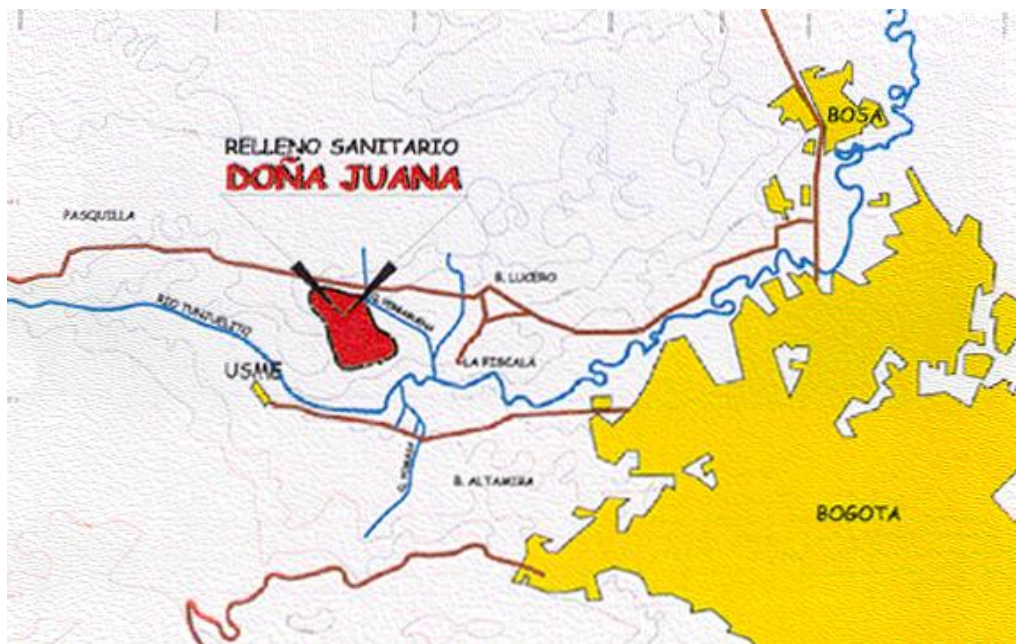


Figura 7.4. Localización general del relleno sanitario Doña Juana

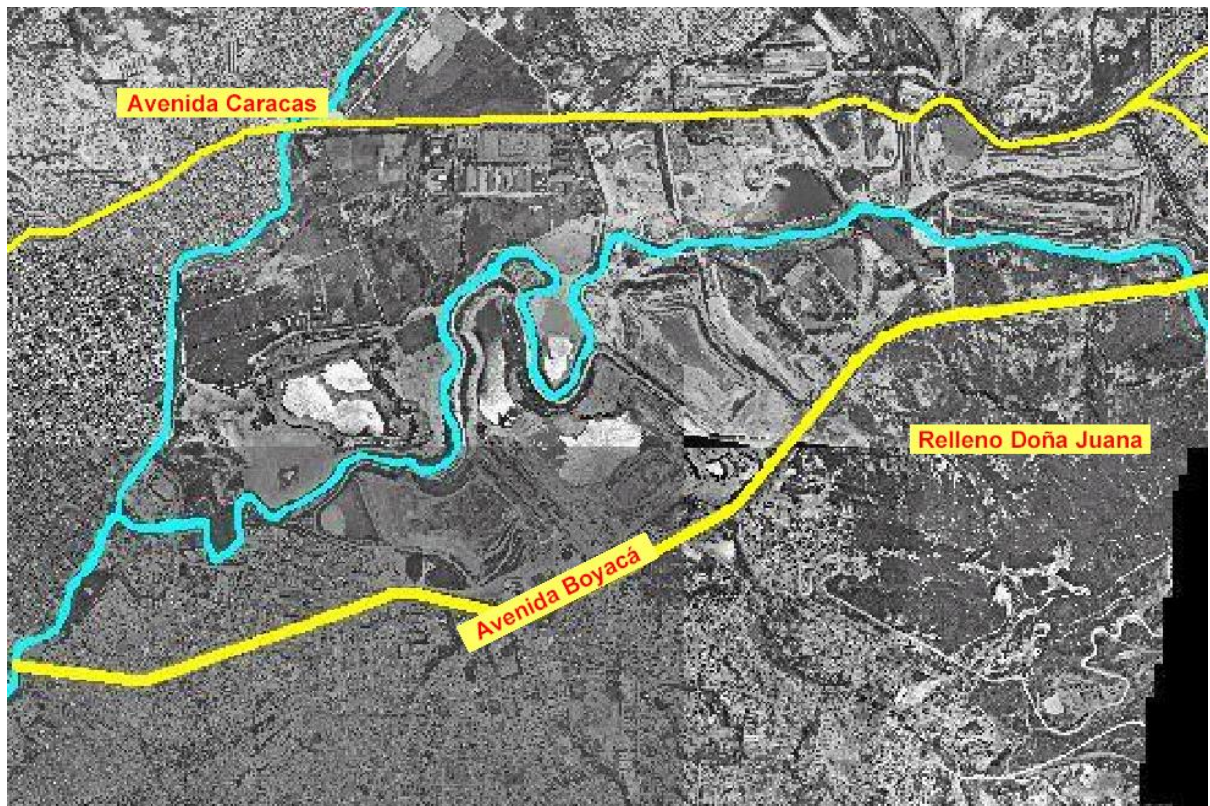


Foto 7.25. Fotografía área de la Ciudad Santa Fe de Bogotá y el Relleno Sanitario de Doña Juana

Según el estudio efectuado para la Caja Agraria, por INGESAM/URS en 1984 este lugar de Doña Juana fue escogido de un paquete de 84 sitios preclasificados, de los cuales se preseleccionaron 35, a los que se le aplicaron criterios de selección y se escogieron 14 que fueron seleccionados como "aptos"; teniendo en cuenta el orden de elegibilidad y las características urbanas de Bogotá, que inciden en el diseño de los programas de recolección y disposición de los residuos sólidos. Este estudio llegó a la conclusión, que para atender las necesidades de la Zona Urbana de Bogotá, se debían utilizar, mínimo dos rellenos sanitarios; el análisis de costos de las diferentes alternativas de disposición final, indicó que el desarrollo de un Relleno Sanitario en el sector de Doña Juana es conveniente para recibir las basuras producidas en los sectores Norte, Centro y Sur oriente de la Ciudad. El Sur Occidente de la Ciudad debía ser atendido por el Relleno Sanitario de Alicachín (que nunca se construyó).

El área del Relleno Sanitario Doña Juana se escogió, porque, respecto a otros lugares, se destacaban los siguientes aspectos:

- Su gran extensión y por ende una capacidad apreciable para recibir basura.
- Cercanía a la Autopista al Llano, lo que asegura una vía arterial con buenas especificaciones y capacidad de recibir alto tráfico automotor.
- Densidad poblacional prácticamente nula (Posterior a la iniciación del Relleno Sanitario, se construyeron viviendas más cercanas)
- Zona de muy baja actividad agrícola.

- Zona con gran espesor de arcilla, que hace presumir una buena impermeabilidad, con bajos costos.
- Volumen considerable de material de cobertura.
- Buena calidad de material de cobertura.
- Factibilidad de recibir residuos peligrosos.

En el estudio de Impacto Ambiental, para el Relleno Sanitario Doña Juana, efectuado por el Consorcio INGESAM/URS, se estudiaron los posibles daños en el área de influencia de Aguas, Aire, Suelos, Biota, y Población; se llegó a la conclusión, que en los factores físicos del ambiente: agua, aire y suelos; la ejecución del Relleno Sanitario Doña Juana, de acuerdo con el Manual de Operación y Mantenimiento, limitaría su zona de influencia al área de trabajos y sus alrededores cercanos, (se anota que el proyecto inicial consideraba una planta de tratamiento de lixiviados que nunca se construyó) exceptuando las emisiones gaseosas y de partículas producidas por el tráfico vehicular; sin embargo, la magnitud de esta influencia no tendría gran importancia, en comparación con las fuentes que actualmente afectan la calidad del aire, como son las emisiones de los vehículos que transitan por las vías cercanas y las emisiones de las numerosas industrias extractivas y ladrilleras que funcionan en vecindades del sitio del Relleno Sanitario.

Se estimó que el Relleno Sanitario, técnicamente operado no afectaría extensivamente la flora, ni la fauna de la región; el potencial estético o recreativo tampoco se afectaría notoriamente, debido al estado actual de los terrenos (en buena parte afectados por procesos erosivos acelerados) y la localización del sitio (relativamente cercanos a barrios marginados del Sur de la ciudad, como son Meisen, San Francisco y Lucero Alto) que a largo plazo del proyecto, beneficiará a los habitantes de estos barrios, ya que una vez cerrado debidamente, podrá servir como un área natural y de recreación para este sector de la ciudad.

El diseño inicial elaborado, para la CAR, por la firma INGESAM/URS, en 1986, tuvo que ser adecuado para la EDIS, en 1988, por la Firma del Ingeniero Sanitario Héctor Collazos, porque los terrenos que adquirió el Distrito Especial de Bogotá, no fueron exactamente los mismos en donde se hizo el diseño original. Además se presentó, en ese momento, una situación de urgencia después de un cambio de Gobierno Distrital y de fuertes protestas de la comunidad por el manejo que se le estaba dando al botadero de basura de Gibraltar

La Operación del Relleno Sanitario Doña Juana se inició, siguiendo unos planos de construcción y unos Manuales con todos los detalles para su desarrollo. Se tuvo en cuenta: la cantidad de basura producida y recogida en Bogotá, los aspectos hidrogeológicos, meteorológicos, la adecuación del sitio, el sistema vial, la estructura de las celdas y su construcción, el material de cobertura, el procedimiento de descargue, el registro de los vehículos, su peso e inspección, el control de insectos y de roedores, el control de plásticos y papeles, el control de gases, el mantenimiento de drenajes y de vías, la recolección de los lixiviados, la prevención y control de incendios, la operación durante épocas de lluvias, el equipo para operarlo, el personal y su manual de funciones, el uso futuro y un completo programa de monitoreo para evitar cualquier tipo de contaminación. El diseño no comprendía tratamiento para lixiviado, ni manejo de residuos peligrosos. El estudio también comprendía la Estabilidad de Taludes.

En el Relleno Sanitario Doña Juana se recibió, a partir del 1 de noviembre de 1988, todos los residuos sólidos domésticos, comerciales, institucionales, de barrido de calles y áreas públicas e



industriales producidos en el área urbana del Distrito Especial de Bogotá y algunos municipios cercanos. Después de recibirlos, se esparcían sobre un frente de trabajo de aproximadamente 75 metros, se compactaban y tapaban para conformar las celdas de 5 metros de altura; la basura después de tres horas de haber llegado al Relleno Sanitario, en promedio, se tapaba con capas de 0,20 metros de material de cobertura.

Por medio de un canal se interceptaban las aguas lluvias para que estas no llegaran a la basura arrastrándola o produciendo líquidos efluentes.

Cuando el Relleno Sanitario alcanza el nivel final indicado en el diseño, las celdas se cubrían con 0,60 metros de arcilla del lugar y se sembraba pasto kikuyo.

La operación y mantenimiento del Relleno Sanitario Doña Juana, desde su inauguración hasta la fecha, ha sido efectuado por firmas privadas.

Al Relleno Sanitario llegaban en ese tiempo, en promedio 450 vehículos diariamente; en algunos momentos entraban hasta 10 vehículos cada minuto; funcionaba (y funciona aún), 24 horas al día, durante todos los días, inclusive los domingos y festivos.

El diseño inicial, denominado actualmente Zona I, con algunas modificaciones se aplicó hasta aproximadamente Febrero de 1995 donde se inició la operación con un diseño efectuado por la firma Hidromecánicas Ltda.

Según este último diseño, el sistema de impermeabilización en la base, consta de 2 capas de arcilla compactada, cada una con 20 centímetros de espesor, una geomembrana de calibre 40 mil, una capa de arena de 30 centímetros de espesor, un geotextil y finalmente 20 centímetros de suelo sobre el cual se dispone finalmente la basura. Como la zona es bastante montañosa, fue necesario llevar el sistema de impermeabilización hasta determinadas alturas sobre la ladera, esto obligó a utilizar un anclaje especial para los geotextiles y geomembranas.

Los residuos sólidos se disponen diariamente en celdas compactadas que tiene una altura constante de 2,5 metros, una profundidad promedio de 51,3 metros y un frente de trabajo constante de 35 metros. Las celdas tienen un recubrimiento de 0,25 metros con material arcillo-limoso, proveniente de excavaciones en la misma área del Relleno Sanitario.

El Relleno Sanitario actual, es una estructura conformada por niveles de 2,75 metros de altura cada uno. La capacidad de cada nivel depende de la conformación final de cada una de las terrazas y de la topografía del terreno. El talud de cada nivel se diseñó con una inclinación de 33°, se previeron terrazas de 10 metros de ancho, que van cada 4 niveles a lo largo de todo el límite perimetral de cada nivel.

Se diseñó una vía principal de acceso; la vía circunda la zona y permite llegar a cada una de las diferentes terrazas mediante vías secundarias. Existen además, vías internas de acceso que permiten alcanzar el frente de trabajo en cada uno de los diferentes niveles.

Para facilitar la operación nocturna se cuenta con una red de iluminación constituida, por una parte permanente y otra transitoria.

Una vez se alcanzan los niveles finales y definitivos, se procede a colocar la cobertura final, cuya conformación es una capa de 60 centímetros de arcilla, una capa de 20 centímetros de grava, otra

de 40 centímetros de limo orgánico. Finalmente se procede a empradizar con vegetación nativa del área del proyecto.

En el momento del derrame de la basura (27 de septiembre de 1997) estaban llegando al Relleno Sanitario entre 4.500 y 4.600 toneladas diarias de basura, que eran dispuestas en el frente de trabajo

#### **7.4.2.2. Manejo actual de los lixiviados**

El diseño inicial captaba los lixiviados por medio de unos filtros tipo francés, en espina de pescado, en el terreno inicial y una serie de filtros primarios y secundarios, que en cada nivel, los recolectaba y se entregaban a un tanque de almacenamiento de donde salían por canales abiertos, hasta el río Tunjuelito.

El sistema diseñado por Hidromecánicas Ltda funciona: para la captación, por gravedad y para el tratamiento, por un sistema de recirculación por gravedad a través de pozos verticales de infiltración en la Zona I o antigua (1 de Noviembre de 1988 a Febrero de 1995); en la Zona II, el sistema para el tratamiento funciona por inyección a presión, por medio de tuberías horizontales, que se van construyendo, a medida que avanza el Relleno Sanitario.

La tubería de inyección tiene tramos ciegos y tramos perforados. La tubería principal (ciega) va sobre la cobertura final de los niveles y sobre las terrazas hasta puntos específicos, por donde penetra el nivel correspondiente a ese ramal de la tubería, sus diámetros varían consecutivamente desde 10", 8", 6", 4", 3", hasta 2". A 10 metros de esta penetración la tubería se cambia por tubería perforada, esta tiene como objetivo distribuir, dentro de cada nivel, el lixiviado que es bombeado. La perforación se encuentra en la parte superior del tubo a cada 1,50 metros, sobre ella se coloca un pedazo de tubo de diámetro mayor, con el objeto de evitar la obstrucción de ellos (Figura 7.5).

La colocación de la tubería va ligada a la secuencia de la operación del relleno; la tubería perforada se coloca sobre la cobertura de cada nivel antes de comenzar a disponer los residuos sobre este.

Los filtros longitudinales secundarios son distribuidos en forma tal que permiten el mayor tiempo posible de permanencia del lixiviado dentro de Relleno Sanitario, este llegará por gravedad hasta los filtros longitudinales secundarios y principales y de aquí al sistema de recirculación nuevamente.

El sistema de recirculación de la Zona II presentó fallas, razón por la cual, algunos días antes del Deslizamiento hubo que revisarlo, adicionalmente se habían observado agrietamientos en los meses de Agosto y Septiembre.

#### **7.4.2.3. Manejo de los gases**

Inicialmente se extraían los gases, por medio de unas chimeneas en piedra, colocadas desde el terreno natural y pasando por todos los niveles de basura.

El diseño de Hidromecánicas Ltda., varió el diseño inicial, colocando una tubería de PVC perforada dentro de las piedras (Figura 7.5).

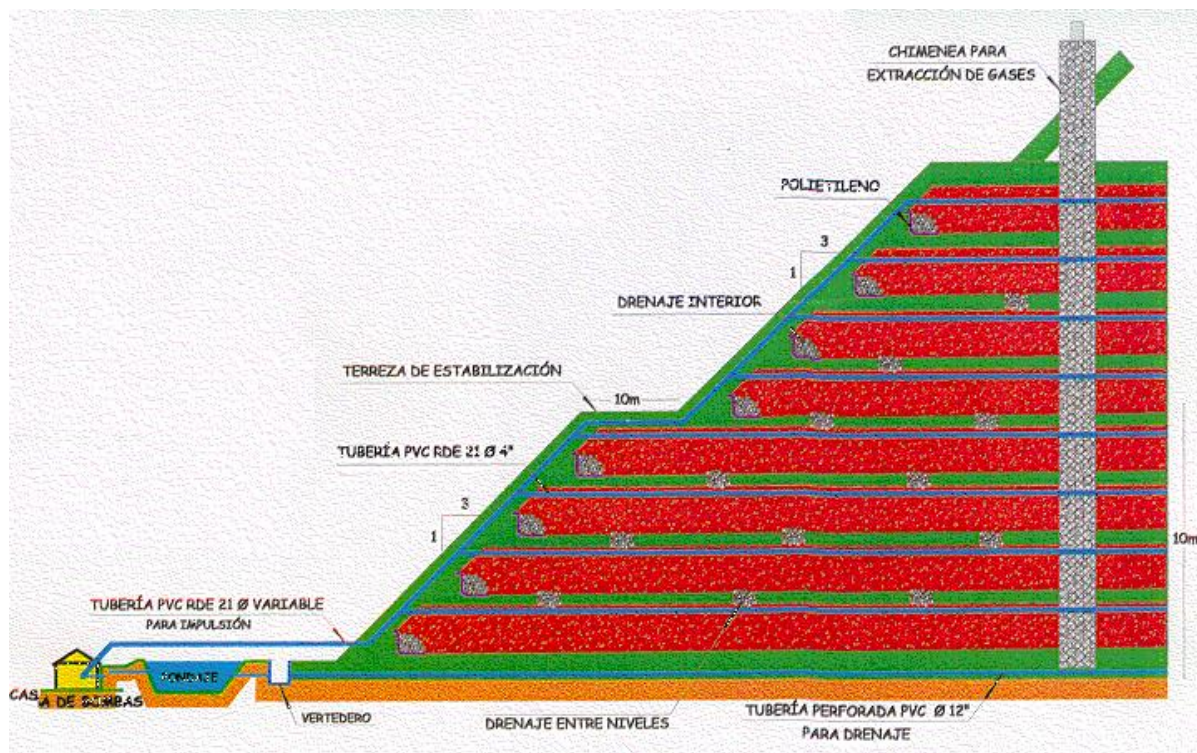


Figura 7.5. Estado actual zona II, corte transversal, relleno Sanitario Doña Juana

### 7.4.3. Deslizamiento

Según la versión dada por personas cercanas al Relleno Sanitario, aproximadamente el 26 de septiembre de 1997 se presentó un asentamiento en la parte alta del talud exterior de la Zona II que no indicaba mayor gravedad. El 27 del mismo mes, en las horas de la mañana, se observaron agrietamientos más marcados, a tal punto que se presentó un desplazamiento de la línea de impulsión; a las 4 de la tarde se inició el deslizamiento, en ese momento estaba el ingeniero Ricardo Vega que era el Interventor y vio todo lo que sucedió. La basura empezó a deslizarse hacia el Nororiente, hasta llegar a la estación de bombeo donde encontró como obstáculo un cerro natural que la desvió más hacia el oriente encañonándola por la base de la cuchilla, hacia el costado sur del campamento donde existía una vía de acceso, por esta cañada bajó hasta llegar al río Tunjuelito, donde lo obstruyó.

El deslizamiento fue de un millón de toneladas de basura. Hoy, de ese accidente que no dejó víctimas sólo queda como huella en una gran montaña impregnada de restos de basura.

La firma GeoSyntec Consultants (GeoSyntec) de Chicago, Illinois y Luis Fernando Orozco y Cía. (LFR) de Bogotá, contratados por la firma Operadora del Relleno Sanitario Prosantana, relata así el Deslizamiento:

A raíz de las conversaciones sostenidas con varios testigos oculares entendemos que los movimientos principales del deslizamiento ocurrieron desde aproximadamente las 4:20 p.m. hasta las 4:40 PM del 27 de septiembre. La primera aparición de fisuras en la Zona II se observó, aproximadamente a las 11:00 AM del día 26 observaron movimientos de nuevo en esta área a la 1:00 PM del día 27 y en este momento, personal del Relleno Sanitario, observó un volumen

relativamente grande de lixiviado fluyendo en la cara del área de la Zona II. Entendemos que este flujo de lixiviado, se pensó que era el resultado de la ruptura de un tubo de reinyección, pero no hay fotografías, ni ninguna otra evidencia directa de que este haya sido el caso.

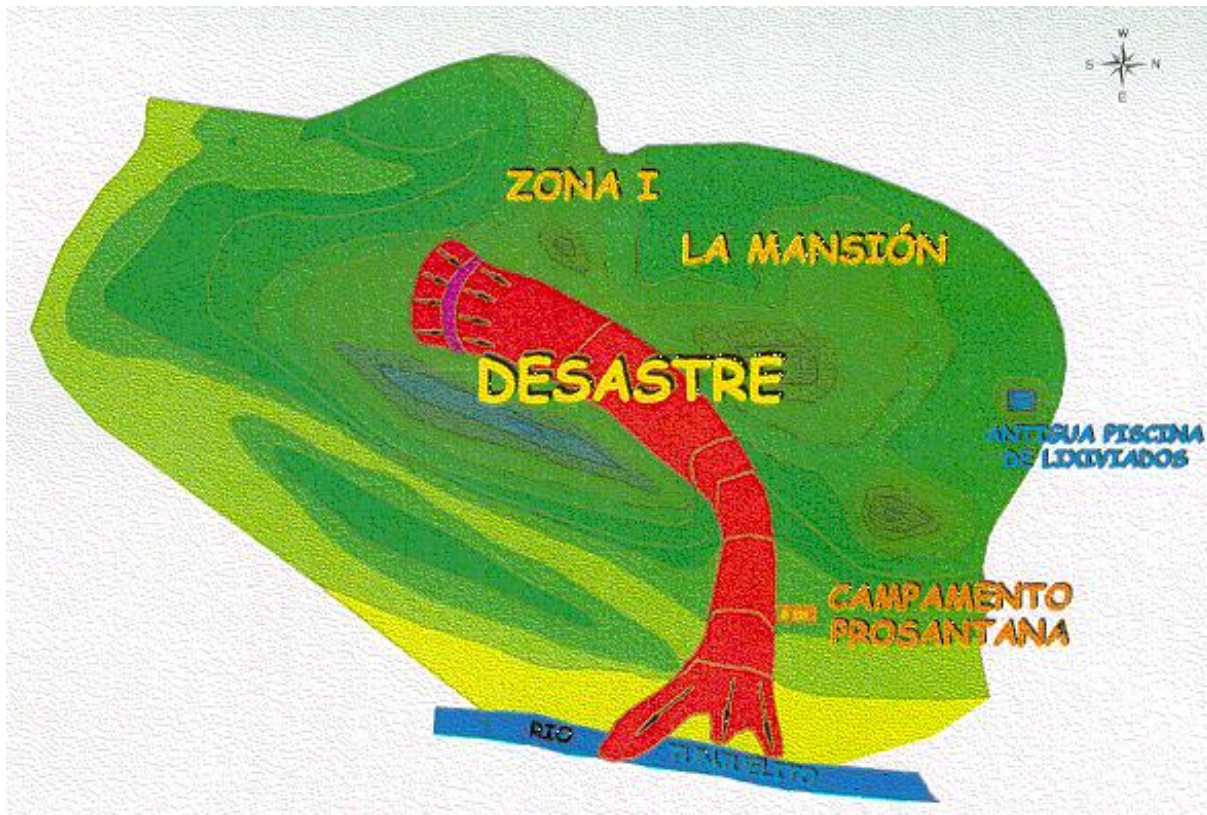


Figura 7.6. Topografía general, Área desastre, relleno sanitario Doña Juana

Más o menos a la misma hora que se observó el flujo de lixiviado de la cara de la Zona II, se observaron fisuras adicionales, formándose justo por debajo de la cresta de la Zona II cerca del nivel 19 (nivel de basura), en el límite occidental de la Zona II. Las fisuras aparecieron inicialmente con unos pocos milímetros de ancho y no parecían estarse moviendo en sentido horizontal, ni vertical, cuando fueron observadas por primera vez. Aproximadamente a la 1:30 PM aparecieron, por primera vez, fisuras en el área de la pata del relleno, cerca al Nivel 9 (nivel de basura). Se dice que en el lapso transcurrido entre la 1:00 PM y aproximadamente las 3:30 PM las fisuras se ensancharon de una manera relativamente lenta y consistente. Aproximadamente a las 3:30 PM la rapidez de movimiento de estas fisuras empezó a aumentar visiblemente, hasta aproximadamente las 4:20 PM, cuando un bloque de la cara de la Zona II falló de manera incontrolada y sobrepasó la berma de terreno compactado en la pata de la Zona II (Figura 7.6). Los relatos de los testigos oculares y las fotografías muestran que los desechos sólidos fluyeron por la ladera, como un líquido viscoso en dirección oeste hasta el valle del Río Tunjuelito.

Luego de haber ocurrido los grandes movimientos en el bloque de falla de la cara de la Zona II, se formaron progresivamente cuñas de falla más pequeñas en una dirección sur occidental (ladera arriba) desde el extremo mas hacia el sur del bloque inicial de falla. Esta progresión de falla continuó hasta un punto aproximadamente a 300 metros hacia el sur occidente de los bloques iniciales de falla. En total, las basuras fluyeron en una dirección nororiental hacia abajo del Valle a lo

largo de una distancia aproximada de 1.200 metros, desde la pata original de la Zona II. El flujo se detuvo cuando los desechos sólidos llegaron al área plana del Valle del río, bloqueando su caudal.

No se ha hecho ningún estimativo detallado sobre el volumen de desechos sólidos que se movieron durante el evento. Se considera que pueden ser entre 750.000 toneladas a 1.000.000 de toneladas. Actualmente la masa deslizada cubre aproximadamente 10 hectáreas y la basura se encuentra descubierta. Los desechos fallados han llenado varios cientos de metros del canal del Río Tunjuelito. Existe evidencia visual de la formación de piscinas de lixiviado en áreas limitadas de la superficie de la masa de basura deslizada en el área de la Zona II y a lo largo del área de flujo entre los límites del sitio y el río

#### **7.4.4. Medidas de emergencia**

##### **7.4.4.1. Emergencia inmediata**

El deslizamiento sucedió un sábado en las horas de la tarde, cuando la recolección de basura es poca: El frente de trabajo para recibir la basura se perdió totalmente, la vía de acceso fue obstruida y el río Tunjuelito se empezó a represar peligrosamente. El Relleno Sanitario Doña Juana no estaba en condiciones de recibir basura, en esta zona.

Los aspectos más importantes de solucionar en ese momento eran: prestar el servicio de recolección de basura en la ciudad y solucionar el problema del represamiento del río Tunjuelito.

El Operador del Relleno Sanitario tomó, a las 10 de la noche, la decisión de abrir la Zona IV o de Emergencia al servicio y fue así como sólo se dejó de recibir basura, durante aproximadamente 6 horas.

Las autoridades del Distrito Capital encabezadas por el Alcalde Mayor, visitaron el mismo día 27, el lugar y ordenaron el Sistema Distrital de Emergencias.

La Secretaría de Salud del Distrito declaró Alerta Amarilla en los hospitales de los barrios aledaños a la zona del deslizamiento.

El Alcalde Mayor de la Ciudad informó a la ciudadanía lo que había sucedido, por medio de una rueda de prensa y la Policía Nacional se hizo presente en la zona para controlar la situación de orden ciudadano.

Al día siguiente, 28 de septiembre, la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Secretaría de Obras Públicas del Distrito, iniciaron la construcción de un canal con capacidad de 50 m<sup>3</sup>/s para desviar el río Tunjuelito y un dique para aislar la basura y el Deslizamiento, del nuevo canal.

El 29 de Septiembre se dictaron los Decretos 953, por medio del cual, el Alcalde Mayor de Santa Fe de Bogotá, Declaró el Estado de Emergencia o Alerta Roja en el Relleno Sanitario Doña Juana y en la zona del Río Tunjuelito afectada por el deslizamiento de basura del día 27 de septiembre de 1997 y el Decreto 954 por medio del cual se establece la estructura de administración y responsabilidades sobre la emergencia; posteriormente el 3 de Octubre, el Alcalde Mayor dictó el Decreto 968, por medio del cual designó al Doctor Eduardo Uribe Botero, Director del Departamento Administrativo del Medio Ambiente, como Coordinador de todas las acciones operativas y administrativas, para atender la Alerta Roja en el Relleno Sanitario y la Zona afectada del Río Tunjuelito.

Estos decretos fueron muy importantes, porque permitieron hacer traslados presupuestales para atender la emergencia y unificaron el mando, que estaba causando algunos problemas, puesto que todas las entidades oficiales y particulares, con muy buen ánimo, querían participar y ayudar, sin tener en cuenta lo que hacían los demás

Este mismo día, 29 de septiembre, la Empresa operadora Prosantana, contrató un Ingeniero de Cali, experto en manejo de olores y se inició el control de estos, aplicando cal viva a la basura seca y soda cáustica a los lixiviados y basura húmeda, posteriormente la Alcaldía cambio este procedimiento por permanganato de potasio aplicado inicialmente por tierra y posteriormente por helicóptero.

Adicionalmente, el 29 de septiembre el Operador del Relleno Sanitario (Prosantana), conformó un equipo técnico asesor para el manejo de la Emergencia, este equipo estuvo conformado inicialmente, por Ingenieros Civiles, Ingenieros Geotécnicos, Ingenieros Sanitarios y posteriormente contrató a la firma GeoSyntec Consultans (GeoSyntec) y Luis Fernando Orozco Rojas & Cía. (LFR) y al experto brasileño Ingeniero Civil Eduardo Barbosa Cordero, para asesorar a la empresa, en el manejo de la emergencia. De igual manera contrató a la firma Salazar Ferro Ingenieros para Instrumentar el Relleno Sanitario con piezómetros, inclinómetros y equipos para medir movimientos de superficie.

La Alcaldía de la ciudad, conformó un Comité Técnico, para asesorar el manejo del problema, integrado por el DAMA, la Empresa de Acueducto, las Secretarías de Salud y de Obras Públicas, la Unidad de Servicios Especiales de la Alcaldía, la Policía y los Alcaldes locales del área.

La Secretaría de Salud puso a disposición del área afectada 4 Unidades móviles e inició programas de control de ratas e insectos en las viviendas del área afectada.

Para el 1 de octubre la Empresa Operadora Prosantana ya había iniciado la remoción de fluidos del área de la Mansión y de la Zona I. Este trabajo incluyó: el bombeo de los fluidos de algunas excavaciones en la Zona I para estabilizar los taludes; preparar algunas chimeneas para instalar bombas de extracción de lixiviados; instalar energía eléctrica en las zonas donde se efectuará el bombeo; instalar cajas para los pozos de extracción de gas y lixiviado; y adquirir bombas para la remoción del lixiviado.

La Empresa de Acueducto y la Secretaría de Obras del Distrito construyeron una ataguía, aguas abajo de la zona de deslizamiento, para controlar el flujo del río Tunjuelito.

En ese mismo día, las Autoridades Distritales, diseñaron el Plan de Acción inmediata para la atención de la contingencia que incluyó:

- a) Monitoreo de la estabilidad de las zonas rellenas y zona deslizada;
- b) Monitoreo de aguas superficiales (lixiviados y río Tunjuelito), monitoreo de gases que producen olores ( $H_2S$  y  $NH_3$ );
- c) Monitoreo de gas metano;
- d) Monitoreo de elementos radioactivos;
- e) Atención de consultas a la comunidad; y

f) Atención de orden público.

También definieron los objetivos y alcances de consultorías externas e internacionales en los siguientes aspectos:

- a) Diagnóstico Técnico preliminar de las causas de la contingencia, a cargo de los Ingenieros Ernesto Sánchez y George Tchobanoglous;
- b) Diagnóstico de las causas técnicas del deslizamiento, a cargo de la firma americana SADAT International, Inc.;
- c) Diseño del Plan de Manejo y recuperación de la Zona Afectada y diseño del nuevo Relleno Sanitario, a cargo de la firma americana SCS Engineers; y
- d) Análisis Jurídico, a cargo de la compañía Bejarano, Cárdenas, Ospina y Asociados.

El 2 de octubre se restableció el flujo del Río Tunjuelito a través del canal provisional.

Ese mismo día llegaron expertos internacionales, como apoyo de la Embajada de los Estados Unidos y del Ministerio del Medio Ambiente para hacer recomendaciones para el manejo de la emergencia.

También llegó, el 2 de octubre, el Ingeniero Álvaro Luis G. Cantanhedi de la Oficina Sanitaria Panamericana y Organización Mundial de la Salud, como un aporte del Ministerio de Salud, a la solución de los problemas originados por el deslizamiento de la basura.

#### **7.4.4.2. Medidas a largo plazo**

Las acciones a largo plazo están definidas por los resultados de los estudios contratados para mediciones (monitoreo de estabilidad de taludes, de aguas superficiales, de gases, etc.) y el desarrollo del Plan de Acción Inmediata y los resultados obtenidos con las consultorías externas, definidas anteriormente (Diagnóstico Técnico preliminar, Diagnóstico de las causas Técnicas, etc.).

#### **7.4.5. Análisis del deslizamiento de basura**

##### **7.4.5.1. Análisis del experto Ingeniero brasileño Eduardo Barbosa Cordeiro**

La firma operadora contrató al Ingeniero brasileño, Profesor de Ingeniería y Experto internacional Eduardo Barbosa Cordeiro para conocer su criterio al respecto del derrumbe que nos ocupa.

Algunos aspectos importantes del informe del Profesor Eduardo Barbosa Cordeiro se transcriben a continuación:

##### **7.4.5.1.1. Consideraciones iniciales**

Los Rellenos Sanitarios son estructuras complejas, construidos por el acomodamiento de los residuos sólidos derivados de la recolección urbana, residencial, industrial y hospitalaria, con diferencias bastantes sensibles, en cuanto al comportamiento, a partir de la recomposición y colocación para su destino final.

Cuando se ejecutan proyectos de esta naturaleza se desconocen muchas variables tales como, el grado de homogeneidad y continuidad de las diferentes capas construidas, así como las condiciones actuales y futuras de distribución de los líquidos y los gases contenidos en el interior de la masa del Relleno Sanitario, aún más teniéndose en cuenta, estructuras diferenciadas, como las celdas de la basura, los drenajes filtrantes, tanto de líquidos como de gases y las capas, relativamente impermeables de cobertura de las celdas.

En geomecánica se define como **deslizamiento** el desplazamiento a gran velocidad de una masa inclinada de suelo, roca u otros materiales, tales como basura, arrumes de ceniza o desechos de minería, con movimiento del centro de gravedad de la cuña rota, hacia abajo y hacia el frente, en dirección al fondo del terreno inclinado.

Como causas más comunes de deslizamiento son consideras las siguientes:

1. Alteración de las condiciones externas de estabilidad
2. Aumento de presión intersticial, derivado del aumento del volumen de líquidos y gases mantenidos en los poros (vacíos) de la masa.
3. Deslizamiento rápido del lecho de aguas freáticas en el interior de la masa.
4. Licuefacción espontánea.
5. Choques causados por terremotos.
6. Filtración inducida de fuentes externas de agua hacia el interior de la masa.

El movimiento cesa después de que se tenga un equilibrio entre la parte superior e inferior de la masa rota en relación al nuevo centro de gravedad de la cuña deformada.

Tal afirmación es verdadera, restando solamente un movimiento tipo repteo (creep) durante un cierto tiempo después de la ruptura.

La infiltración y migración de líquidos dentro del Relleno Sanitario hasta alcanzar los drenajes de los lixiviados son afectados de manera extremadamente compleja, inclusive por las formas de ingreso de los lixiviados (precipitaciones pluviométricas y recirculación de lixiviados) y por la colocación de las partículas componentes de la basura por efecto del tipo de disposición y compactación.

La migración de gases provenientes de la transformación bioquímica de la materia orgánica también influye decisivamente en el comportamiento de la masa, como un todo.

#### **7.4.5.1.2. Análisis del proceso de ruptura**

Con base a los elementos obtenidos y constituyentes de los documentos consultados, se realizó un análisis de la concepción del proyecto, tal como fue desarrollado originalmente por la firma Hidromecánica Ltda.

Frente a las características del suelo natural y a partir de la impermeabilización de las fundaciones del Relleno Sanitario se puede suponer, con bastante grado de seguridad, que la falla no se



presentó por debajo de los niveles del terreno regularizado y compactado para asentamiento del Relleno Sanitario, lo que coincide con el proyecto original.

Eventuales diferencias entre los niveles de asentamiento de los planes de construcción, no incidieron en el accidente, aún más teniendo en cuenta el valor de la inclinación del fondo después de regularizado, a saber:

- Valor promedio mínimo 7,2°
- Valor promedio máximo 15,6°
- Valor mínimo 6,4°
- Valor máximo 18,7°

Los taludes finales del Relleno Sanitario, correspondientes a 4 niveles, entre las plataformas (terrazas) son de 1 vertical: 3 horizontal, lo que significa decir  $i=33,3\%$  y  $B=18,1\%$ . Considerando, sin embargo, las plataformas (terrazas), el talud promedio es de  $i=27,0\%$  y  $B=15,2\%$ .

De esta manera, los taludes proyectados y ejecutados son perfectamente adecuados para el sistema.

A partir de la Tabla de la "*Composición Física de la basura*" fueron calculados los parámetros probables de la composición de la basura en sus diversas condiciones, habiendo obtenido los siguientes valores:

a) Basura suelta (no compactada):

- Densidad = 0,5 t/m<sup>3</sup>
- $e = 2,2$
- $n = 0,69$

b) Basura compactada

- Densidad Seca = 0,8 t/m<sup>3</sup>
- Densidad húmeda = 1,0 t/m<sup>3</sup>
- Densidad saturada = 1,3 t/m<sup>3</sup>

De esta forma se estima, que la masa de basura que escurrió después de la falla, está actualmente con densidad menor de 1 t/m<sup>3</sup>. Por encima de este valor la densidad será función del estado de saturación del material, variando probablemente entre 1,2 y 1,0 t/m<sup>3</sup>.

El análisis atento del proyecto de Hidromecánica Ltda., de los Manuales de Operación y Mantenimiento y de las Especificaciones Técnicas del Relleno Sanitario demuestra que todo el proyecto tuvo su concepción basada en la suposición de que el sistema de drenaje interno de líquidos y gases funcionaría perfectamente y que, las presiones intersticiales desarrolladas en los

poros durante la construcción y operación del Relleno Sanitario, tendrían disipación de acuerdo con las hipótesis previstas. **TAL SUPOSICIÓN NO SUCEDIÓ.**

En el interior de la masa, el movimiento del líquido se hace por efecto de la fuerza de gravedad y de las presiones impuestas por los gases eventualmente aprisionados en el interior de las celdas de basura dispuesta, siendo también fuertemente influenciadas por la geometría interna de los materiales que componen el Relleno Sanitario, su textura, estructura (principalmente en función de las películas y membranas de plástico de los más diversos tamaños) y de la disposición y dimensiones de las capas homogéneas y heterogéneas.

Hay que añadir, que la permeabilidad de las capas es bastante diferente si se consideran los sentidos horizontal y vertical, pudiendo variar, la relación entre ambas, de 10 a 100 erráticamente.

Las siguientes razones, fueron, según el Ingeniero Eduardo Barbosa Cordeiro, las causas determinadas de la rotura:

- a) El drenaje de los líquidos no funcionó correctamente, pues los filtros quedaron parcial o totalmente llenos. Esto puede ser comprobado por los derrames a las lagunas de bombeo de los lixiviados, bastante pequeñas, si se considera al volumen de lixiviados generados o recirculados en el interior de la masa (1,2 l/s contra 4,3 l/s).
- b) Existiendo la recirculación de lixiviados en el interior de la masa y no existiendo su salida, el líquido se fue acumulando en los vacíos del Relleno Sanitario, haciendo subir la posición del nivel de la superficie libre y aumentando las presiones neutras.
- c) Por otro lado, en ningún momento, fue considerada la existencia de súper - presión hidrostática a partir de la compactación de la basura dispuesta derivada en parte, por la carga de cada celda y de las que están superpuestas. Es necesario recordar que, en los primeros cinco años de vida de un Relleno Sanitario normal, la compactación que ocurre es del orden del 90% del total,
- d) La recirculación de los lixiviados funcionando ininterrumpidamente y siendo incorporados a la masa, como recomienda el proyectista, en todos los niveles de las celdas, con presiones superiores a 100 kPa (15 psi) introdujo sobre presiones hidrostáticas muy elevadas, en el interior de la masa y de todos sus niveles.

En el proyecto presentado por Hidromecánicas S.A., es oportuno hacer los siguientes comentarios:

- a) En la lámina RCII-4 aparece destacado el "Detalle Drenaje Principal de Lixiviados".

Hay que considerar que:

- El tubo de drenaje está envuelto con piedra partida cuando, según nuestro entender, la granulometría debería ser más abierta;
- Los huecos del tubo están dirigidos hacia arriba, cuando deberían estar dirigidos hacia abajo;

- El manto de geotextil que envuelve el filtro es innecesario y perjudicial para el sistema de drenaje pues, en poco tiempo, queda llena por las partículas sólidas en suspensión del lixiviado.

Bajo ese aspecto transcribimos lo que está definido en la hoja 20 del "*Manual de Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario*"

"d. Tubería de Impulsión

ESTA TUBERÍA SE HA ESPECIFICADO SEA DE MATERIAL DE PVC DE ALTA RESISTENCIA. SE PREVÉ QUE CONSTANTEMENTE TENGA ATASCAMIENTOS, EN RAZON A LA CANTIDAD DE SÓLIDOS QUE LLEVAN LOS LIXIVIADOS..."

Ahora bien, si los lixiviados llegan a atascar las tuberías, mucho antes de esto ya llenó los geotextiles del drenaje principal, haciendo que el sistema de drenaje no funcionara adecuadamente.

Deberían haber sido considerados por el proyectista, modos y maneras de colocar la tubería de drenaje para que no fueran afectadas directamente por la compactación del Relleno Sanitario, de forma que, eventualmente no se deteriore parte del sistema de drenaje. Nos parece que el proyecto fue elaborado sin que hayan sido tenidos en cuenta la compactación a corto y largo plazo.

El mecanismo de deslizamiento, para el Ingeniero Eduardo Barbosa Cordeiro, tuvo el siguiente proceso:

1. Aumento de los volúmenes de líquidos internamente en la masa, por falla del sistema de drenaje proyectado, causando valores de entrada mayores que los valores de salida.
2. Aumento de las presiones intersticiales debido a la posición de los líquidos y de los gases.
3. Inducción de una superficie potencial de rotura a partir de tensiones del basurero iguales a las resistencias a la destrucción, con coeficiente de seguridad igual a 1.
4. Rotura según una superficie aproximadamente circular teniendo su parte superior cerca de 1/3 de largo del talud, en relación al tope y en la parte inferior a 1/6 del largo del talud en relación al dique de contención. La superficie de rotura tangencial al terreno natural.
5. Derrame de la masa rota por encima del dique, chocándose contra la elevación donde estaba instalada la repetidora, transformándose en un líquido viscoso en función del exceso de agua en medio de la masa, inclinándose en dirección a la concavidad del río Tunjuelito, sobrepasando y esparciéndose por los márgenes.
6. Posterior a la rotura general, hubo acomodamiento en la parte superior, a partir de las tensiones locales, formándose peldaños de estabilidad.

#### 7.4.5.1.3. Conclusiones

Las conclusiones del Informe del Ingeniero Eduardo Barbosa Cordeiro son las siguientes:

1. Comparando el proyecto elaborado por Hidromecánica Ltda., con la construcción realizada se comprueba que las alteraciones introducidas, tales como, reubicación del dique de pie, reubicación de tuberías de presión e implementación de nuevos drenajes, no modificó la concepción original, en términos de obra.
2. Hay siempre un riesgo, por lo menos, en drenajes con arena o con geotextiles construidos como rutina, en ciertos trabajos, porque pueden suceder algunos fenómenos no esperados y pasan a ser el factor determinante del comportamiento de toda la obra, aún más como en el presente caso, en que los lixiviados presentan una considerable porción de sólidos en suspensión.
3. No hay duda de que el talud del Relleno Sanitario se deslizó debido a elevadas presiones intersticiales causadas por el aumento del volumen del líquido recirculado y no drenado de la masa del Relleno Sanitario y por los gases de origen bioquímico en contacto con los lixiviados, en ambientes de baja permeabilidad a gases y vapores.
4. La falla del sistema de drenaje se derivó de la concepción inadecuada del funcionamiento de los filtros principales del Relleno Sanitario y probablemente de dificultades internas de filtración de los líquidos para alcanzar esos mismos drenajes.

#### **7.4.5.2. Análisis de GeoSyntec y LFR**

La firma GeoSyntec Consultans (GeoSyntec) y Luis Fernando Orozco Rojas & Cía. (LFR), fue contratada por el Operador del Relleno Sanitario PROSANTANA, para efectuar una evaluación de la causa del deslizamiento, una evaluación de la estabilidad de las demás áreas de desechos sólidos no involucradas en el deslizamiento del 27 de Septiembre de 1997 (Zona I y el área de La Mansión), elaborar un Programa de instrumentación para las instalaciones y unas recomendaciones para la recuperación del área del deslizamiento y la protección de las otras áreas de desechos sólidos, esta firma, presentó el 17 de Octubre un Informe Preliminar, del cual se extracta lo siguiente:

##### **7.4.5.2.1. Área de la zona II**

Los análisis preliminares de estabilidad se realizaron utilizando un corte transversal desarrollado a lo largo del eje de la Zona II donde ocurrió el deslizamiento. Estos análisis fueron realizados empleando información topográfica disponible, tomada del plano del diseño suministrado por la compañía del relleno para establecer la base y las elevaciones de la superficie del relleno inmediatamente antes del deslizamiento. Las propiedades de los materiales de desecho sólidos fueron estimadas por GeoSyntec sobre la base de su experiencia con desechos sólidos. Para los análisis preliminares, GeoSyntec presumió que la basura sólida tenía un ángulo de fricción efectivo de  $28^\circ$ , una cohesión efectiva de  $2,5 \text{ t/m}$ , y un peso unitario total de  $1,2 \text{ t/m}^3$ . Los análisis de estabilidad fueron realizados presumiendo superficies de falla circulares, (método de Bishop); y superficie de fallas translacionales (método de Janbu).

El nivel del fluido en la Zona II, en el momento de deslizamiento, tuvo que inferirse en los análisis. De los recuentos de los testigos oculares, que reportaron sobre una cara del relleno extremadamente húmeda inmediatamente antes del evento, y la revisión de la información del sistema de reinyección, nuestras observaciones de las condiciones de las áreas del relleno restantes y nuestra revisión de la información piezométrica de las áreas del relleno restantes, es claro que el área de la Zona II tenía niveles de fluido que eran muy elevados y posiblemente niveles que eran

casi iguales a la altura de la superficie del relleno. Por lo tanto, los análisis de estabilidad preliminares infirieron que el nivel de fluido estaba aproximadamente 2 metros por debajo de la cara del relleno en estudios paramétricos posteriores. Es de observar que este nivel de fluido, es considerablemente mayor que el nivel utilizado en análisis previos realizados durante el diseño de las instalaciones. Los niveles de fluido, se presumieron paralelos a la superficie superior (talud y cubierta superior) del relleno.

Los resultados de los análisis preliminares indican que para un mecanismo de falla circular el factor de seguridad ( $FS$ ) oscilaba entre 1,4 y 1,5 para las condiciones analizadas. Para el mecanismo de falla deslizante por traslación, la superficie de deslizamientos supuesta se encuentra en la base del material de desechos sólidos y ocurre en una interfaz en el sistema de revestimiento impermeable. Los resultados indican que el ángulo de fricción requerido sobre la superficie de deslizamiento para obtener un  $FS$  calculado de 1,0 es 22 grados. Este valor de ángulo de fricción requerido es aproximadamente igual a la resistencia máxima de interfaz entre un material de geomembrana liso y el material granular de recolección de lixiviado.

Nuestra conclusión preliminar es que el mecanismo crítico de falla incluye un modo de falla por traslación a lo largo de la base del relleno. Además, concluimos que los taludes de la Zona I y del Área de La Mansión deben analizarse presumiendo un mecanismo de falla de bloque translacional y usando una resistencia al corte en la interfaz de 20 a 22 grados, cuando quiera que esta interfaz, esté presente en el corte crítico.

#### **7.4.5.2.2. Área de La Mansión**

Se realizaron análisis de estabilidad preliminares de las secciones críticas del Área de La Mansión. Esta parte de las instalaciones es de gran importancia dada la localización del área con respecto a las otras instalaciones del lugar y su similitud con la Zona II. Los análisis preliminares de estabilidad se realizaron a lo largo del corte.

Los resultados de los análisis preliminares de estabilidad a lo largo de la sección crítica del Área de La Mansión indican que el  $FS$  calculado es marginal y que los taludes se encuentran actualmente a punto de fallar, durante nuestras observaciones del sitio, se observaron fisuras cerca de la cresta superior del Área de la Mansión, en los cuales los resultados de los análisis de estabilidad preliminares indican que la superficie de falla quedará expuesta. Además, se ha medido movimientos verticales ascendentes de 70 mm en cinco puntos de asentamiento de superficie a lo largo de la pata del área de la Mansión. Con base en nuestras observaciones y en los resultados de los análisis preliminares de estabilidad, recomendamos que se adopten medidas inmediatas para reducir los niveles de fluido en el Área de la Mansión hasta un nivel suficiente como para permitir un aumento en el  $FS$  calculado hasta un mínimo de 1,3. Los resultados de los análisis preliminares de estabilidad indican que el  $FS$  calculado aumentará aproximadamente en 0,05 por cada 1,0 m de reducción en el nivel de fluido. Si se ha de alcanzar un  $FS$  de 1,3, los niveles de fluido del área de La Mansión deben reducirse en un mínimo de 6 m por debajo de los niveles medidos el 9 de octubre de 1997.

#### **7.4.5.2.3. Área de la Zona I**

Los resultados de los análisis preliminares de estabilidad indican que el  $FS$  calculado también es de más o menos 1,0 para este corte. También hay un sistema de fisuras de superficie cerca de la cresta de la Zona I cuya ubicación corresponde muy estrechamente con la localización de la superficie de

falla crítica calculada. Los niveles de fluido de nuestros análisis se establecieron sobre la base de la observación visual de los niveles de fluido en varios pozos de prueba excavados previamente en los taludes de la Zona I y sobre la base de la observación visual de los niveles de fluido en pozos verticales instalados en la Zona I, como parte del sistema de reinyección.

Dado el valor de  $FS$  tan bajo, recomendamos que los niveles de fluido de la Zona I sean reducidos inmediatamente, de forma similar y en la misma proporción, que en el Área de La Mansión

#### **7.4.5.2.4. Conclusiones y recomendaciones preliminares**

Aunque se cree que estas conclusiones y recomendaciones son técnicamente sensatas y justificadas, las revisaremos y estarán sujetas a modificaciones continuas a medida que se vaya teniendo datos, observaciones y resultados de análisis adicionales.

##### a) Conclusiones preliminares sobre la causa del deslizamiento en el área de la Zona II.

Con base en el trabajo realizado durante la visita al sitio, creemos que el deslizamiento ocurrió a lo largo de una falla deslizante por traslación en la base de la basura a lo largo de la interfaz entre la geomembrana lisa y los materiales granulares de la zona de recolección del lixiviado. La falla se desencadenó por las altas presiones de fluido y gas resultantes de la ocurrencia de grandes cantidades de fluido y gases en el material de la basura de la zona II. Existen por lo menos dos razones posibles para la existencia de estos altos niveles de presión de fluidos y gases en el relleno:

- (i) La reinyección de fluidos hacia la Zona II, de acuerdo con las pautas de diseño, resultó en un aumento sustancial de presión localmente y posiblemente a lo largo de grandes áreas dentro de la masa de relleno; y
- (ii) El taponamiento del sistema de drenaje de lixiviado y de gas debido a razones biológicas, químicas o físicas que redujeron la posibilidad de que el lixiviado y/o el gas fluyera libremente por los drenajes. La importancia de la ocurrencia de grandes cantidades de presión de fluidos y de gas en los desechos sólidos es que ello condujo a altas presiones de poro dentro del relleno lo cual disminuye las fuerzas resistentes sobre las superficies de deslizamiento y aumenta la masa y el impulso de la masa de basura.

Los resultados de nuestros análisis preliminares de estabilidad muestran que el mecanismo de falla por traslación tenía el menor factor de seguridad calculado. Recomendamos realizar un análisis completo de la localización de la superficie de falla en el estudio definitivo, utilizando técnicas de investigación directa, tales como perforaciones, pozos de prueba, o perforación con barrena de cajón (*caisson auger drilling*). Se recomienda que los datos de este estudio sean utilizados para realizar análisis rigurosos de estabilidad en el área de la Zona II para establecer la causa del deslizamiento y para identificar el mecanismo de falla específico.

##### b) Evaluación preliminar de la estabilidad de las otras áreas de desechos sólidos de las instalaciones.

Concluimos que el factor de seguridad calculado ( $FS$ ) para la sección crítica inferida del área de La Mansión y de la Zona II es de aproximadamente 1,0. Además, concluimos que se

deben emprender acciones inmediatas para proporcionar un aumento considerable de la estabilidad de ambas áreas. Recomendamos que estas acciones inmediatas incluyan el bombeo de fluidos de las zanjas y/o de los pozos de extracción existentes. Hay numerosos pozos existentes en ambas áreas que están siendo utilizados para la extracción de gas del relleno. Creemos que algunos de estos pozos de extracción de gas podrían utilizarse para extraer fluidos del relleno, casi inmediatamente. Desde un punto de vista secuencial, deben instalarse bombas en los pozos existentes en la parte superior de la Zona I. Estos pueden utilizarse inmediatamente. Si los únicos pozos o trincheras disponibles a corto plazo están ubicados cerca de la pata del relleno, debe tenerse cuidado de bombearlos muy lentamente y uniformemente para evitar una desestabilización potencial en el área de la pata como resultado de altos gradientes de flujo y presiones de filtración. Luego del bombeo inicial a ratas bajas, podrá aumentarse la rata de flujo de esos pozos.

También recomendamos que se realicen observaciones visuales del área de la Mansión y de la Zona I, de manera continua, hasta que los piezómetros indiquen que los niveles de fluido se han reducido hasta un nivel que proporcione un  $FS$  calculado superior a 1,3. Como se indicó en las secciones anteriores, nuestros cálculos indican que los niveles de fluido deben reducirse en un mínimo de 6 metros por debajo del nivel del fluido medido en los piezómetros el 9 de octubre de 1997, para alcanzar este  $FS$  calculado. Las observaciones visuales, por lo menos, deben incluir la naturaleza, el tamaño y la extensión de las fisuras existentes; la ocurrencia y la cantidad de filtración de fluido en las áreas del relleno; la ocurrencia de emanaciones de gas desde la cara del relleno y de los pozos, sonidos que puedan indicar movimientos; y cualquier otra observación de cosas que parezcan ser inusuales. Recomendamos que las fisuras superiores a 2,5 mm sean cerradas después de que el observador haga un mapa de su localización, para minimizar el potencial de infiltración de aguas lluvias. Se pueden y se deben establecer puntos de referencia simples a todo lo largo de ambas áreas para ayudar a las observaciones de flujo de fluido y la evaluación cuantitativa de los movimientos.

#### **7.4.6. Conclusiones de la Alcaldía Mayor de Bogotá**

La Alcaldía Mayor de Bogotá presentó el 22 de octubre el Informe Consolidado 01 sobre el Relleno Sanitario Doña Juana, el cual tiene dos objetivos fundamentales:

- El establecimiento de las causas técnicas de la falla y deslizamiento de la Zona II en el Relleno Sanitario Doña Juana ocurrido el pasado 27 de Septiembre de 1997.
- El análisis comparativo entre el diseño, la construcción y operación del relleno con énfasis en los parámetros que causaron la falla y deslizamiento de la Zona II.

Las conclusiones de este Estudio fueron las siguientes:

##### **7.4.6.1. Causa Técnicas del Deslizamiento**

Las conclusiones principales de esta etapa del proyecto se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Los lixiviados generados en el relleno no pudieron ser drenados adecuadamente y por consiguiente se empezaron a acumular desde el comienzo de la operación de la Zona II.

2. Esta acumulación contribuyó al aumento de presiones internas de gases debido a que los lixiviados dentro del relleno no permitían el flujo normal de los gases hacia la superficie y chimeneas. Estas presiones de gases disminuyeron aún más la capacidad de drenaje de los lixiviados.
3. La acumulación de lixiviados y las presiones del biogás dentro del relleno se incrementaron con el tiempo, causando igualmente una disminución con el tiempo de los factores físicos que favorecen la estabilidad del relleno.
4. La recirculación de los lixiviados que comienza el 12 de junio de 1997 acelera el proceso de inestabilidad del relleno, hasta hacerlo fallar en septiembre 27 de 1997.
5. Antes de la recirculación de lixiviados, los factores que favorecen la estabilidad del relleno disminuían con el tiempo, tendencia que muestra que la falla era un evento probable aun sin la recirculación del lixiviados.

#### **7.4.6.2. Resultados del Análisis Comparativo**

El análisis comparativo entre el diseño, la construcción y la operación del relleno, segundo objetivo principal de esta investigación, se desarrolló en dos fases.

- En la primera fase se determinaron todos los criterios de diseño que podrían afectar la estabilidad del relleno. Las principales conclusiones de esta fase de la investigación se pueden resumir de la siguiente manera:
  1. La resistencia de los materiales que componían el relleno no tuvo una influencia importante en la falla del mismo.
  2. El diseño original de la Zona II elaborado por la firma Hidromecánicas se estableció con un análisis de estabilidad que no consideraba la generación de presiones internas debidas a la acumulación de lixiviados y gases.
  3. La infiltración y la generación de lixiviados excedían la habilidad hidráulica de los materiales internos para conducir los líquidos a los drenajes de fondo.
  4. Después de este análisis comparativo, se concluye que la variable más desfavorable para la estabilidad del relleno fue definitivamente las presiones internas causados por los líquidos y gases.
- La segunda fase del análisis comparativo se concentró en aquellos aspectos del diseño, operación y construcción que pudieron causar las excesivas presiones internas de los fluidos, presiones que en términos técnicos se denominan "presión de poros".

De acuerdo con los resultados de la investigación y los conceptos técnicos de nuestro equipo de trabajo, los factores que contribuyeron al incremento de las presiones internas fueron los siguientes:

1. La capa de protección ubicada en la parte superior de los filtros y tuberías de fondo contribuyó significativamente a la reducción de la capacidad de drenaje de los lixiviados.



2. Las capas intermedias de baja permeabilidad contribuyeron a la deficiencia del drenaje de los lixiviados dentro del relleno.
3. Las altas concentraciones de hierro y calcio en los lixiviados colmataron la capa de protección de los drenajes de fondo.
4. El sistema de recirculación de lixiviados y la forma como se operó el sistema.
5. La falta de implementación de un sistema de extracción forzada de gases influyó en la concentración de estos en el relleno.
6. Las bolsas plásticas sin romper y compactadas pudieron afectar localmente el drenaje de los lixiviados y gases.

Vale la pena anotar que el diseño y operación de los rellenos sanitarios son campos de la ingeniería y la ciencia relativamente nuevos y no se ha establecido en forma definitiva los criterios y procedimientos que se deben seguir. Sin embargo, el insuficiente desarrollo de la ingeniería práctica en estos aspectos exige el establecimiento de medidas preventivas durante la operación del relleno, especialmente cuando se incluye un proceso relativamente nuevo como la recirculación de lixiviados.

Determinaron que hubo deficiencias en las medidas preventivas y de control durante la operación del relleno. Por ejemplo:

1. No se instalaron elementos que indicaran las deformaciones y movimientos importantes de las masas de desechos en los taludes.
2. No se estableció un sistema de control entre los lixiviados producidos y recolectados que permitiera determinar la acumulación de líquido en el relleno y la factibilidad de la recirculación de estos.
3. No se instalaron elementos de medición de presiones internas dentro del relleno en áreas críticas.
4. No se instalaron elementos de presión de gases dentro del relleno que permitieran establecer las modificaciones necesarias en el sistema de alivio.
5. No se elaboró un programa de Seguridad Geotécnica que permitiera establecer la importancia de cada uno de los factores enunciados anteriormente.

También señalan, que pesar de la falta de conocimiento de los criterios de diseño y de los procedimientos de operación en rellenos sanitarios, estas medidas preventivas y de control hubieran podido detectar con suficiente anticipación el deslizamiento.

#### **7.4.6.3. Recomendaciones**

Dentro de las recomendaciones dadas por el Profesor, Asesor Internacional, Eduardo Barbosa Cordeiro se encuentran las siguientes:

- a. En la actualidad todos los Rellenos Sanitarios, recientes o antiguos están saturados o próximos a la saturación y deberán ser drenados a corto plazo.

- b. Todas las lagunas existentes sobre la masa de la basura deberán ser secadas.
- c. Tratándose que el principal motivo de falla, fue el aumento substancial de la presión intersticial, es fundamental e indispensable que la corrección del deslizamiento se haga primordialmente a través de un sistema de drenaje interno de los líquidos y secundariamente de los gases. Se recomienda, entre otros, la ejecución de trincheras, galerías de drenaje y drenes horizontales de alivio.

Las recomendaciones de la firma GeoSyntec y Luis Fernando Orozco Rojas & Cía. para la atención del área de deslizamiento fueron las siguientes:

- Desde el punto de vista de estabilidad, la basura que permanece en la Zona II tiene un mayor grado de estabilidad que antes del deslizamiento por los taludes generalmente más planos después del deslizamiento y el alivio de las presiones de fluido y gas. Esto podría cambiar en caso de que ocurriese un evento de lluvia intensa. Recomendamos que se establezca la topografía real de la superficie de la basura y que se establezca la estabilidad calculada de la sección crítica de la basura. Los análisis deberán repetirse a medida que se proporcionen datos sobre las presiones de fluido en estas áreas o después de que ocurran episodios de lluvia intensa. Si los resultados de estos análisis indican un factor de seguridad inferior a 1,3 recomendamos que se diseñe un terraplén para proporcionar peso al pie de las basuras sólidas para alcanzar el mínimo recomendado de factor de seguridad calculado hasta que se elabore un diseño definitivo. Este contrafuerte puede consistir en una combinación de basura sólida y material enrocado, pero debe proporcionarse un sistema de drenaje que evalúe todos los líquidos y el gas que puedan acumularse.
- Otras actividades inmediatas de saneamiento del material del deslizamiento deben consistir en aquellas acciones necesarias para renivelar toda la superficie de la basura expuesta y luego cubrir la basura con el fin de:
  - a. Evitar la ignición de la basura expuesta por causas externas e internas;
  - b. Reducir la infiltración de agua desde la superficie; y
  - c. Minimizar el problema de olor y el problema de vectores. El método más efectivo para proporcionar cobertura inmediata sería colocar una capa de 150 a 300 mm de tierra sobre la superficie renivelada. Una alternativa a la colocación de tierra sobre la basura expuesta sería cubrir temporalmente la superficie renivelada con un material protector asperjado (ej. Posishell, Ltd.). Este material se utiliza normalmente para el cubrimiento diario de la basura y se asperja sobre la superficie de la basura hasta un espesor de 10 mm a 20 mm.

#### **7.4.6.4. Conclusiones**

- a. El Deslizamiento del 27 de Septiembre en el Relleno Sanitario Doña Juana, ha dejado muchas experiencias, entre ellas: la necesidad de contar con asesores en geotecnia y en estabilidad de taludes para el diseño de los Rellenos Sanitarios, la necesidad de investigar sobre sistemas para manejar los lixiviados y gases, la necesidad de investigar sobre el tratamiento de gases y lixiviados.

- b. Este desgraciado accidente nos hace reevaluar nuestros conocimientos sobre la permeabilidad de la basura, su estabilidad, composición, la producción de gases, la compactación, el peso específico, los factores de seguridad de los taludes, etc.
- c. La Operación de un Relleno Sanitario es algo de mucho cuidado, no es solamente colocar basura siguiendo un diseño, sino también analizar las fisuras, los caudales de todos los efluentes, los análisis físicos y químicos, las cantidades de basura que se colocan, entre otros, para prevenir desastres como el que nos ocupa en este informe. Quizás la conclusión del Ingeniero Eduardo Barbosa Cordeiro, se debe repetir en estas conclusiones en el sentido que *"siempre hay riesgos en los drenajes con arena o con geotextiles, porque algún fenómeno no esperado, se puede presentar"*;
- d. Es muy importante instrumentar los Rellenos Sanitarios con piezómetros, inclinómetros y redes topográficas, para controlar, los movimientos de estas grandes masas;
- e. Es muy importante Monitorear las aguas superficiales, subterráneas, gases y lixiviados en los Rellenos Sanitarios, para conocer su impacto ambiental;
- f. No es conveniente hacer Rellenos Sanitarios tan grandes y sobre todo tan altos, como el de Doña Juana;
- g. En los estudios de Impacto Ambiental se debe incluir, como factor importante, el análisis de la estabilidad de los taludes.

Se debe reconocer que tuvo que pasar este incidente para que las autoridades, las universidades y los investigadores reconocieran la importancia del buen manejo de los residuos sólidos.

De los datos obtenidos en el Informe 01 de la Alcaldía de Santa Fe de Bogotá, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- a. No se sabe con exactitud si hubo aportes de contaminación por los lixiviados del Deslizamiento sobre el Río Tunjuelito. Aparentemente no hubo aportes apreciables de la Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, ni Sólidos Suspendedos. Debe ampliarse las mediciones;
- b. La extracción de lixiviados por bombeo debe hacerse con mucho cuidado, para no ocasionar nuevos deslizamientos;
- c. La concentración de  $CH_4$  siempre estuvo muy por debajo de los límites de inflamabilidad;
- d. Con relación al  $H_2S$ , se superó el umbral de olor, pero estuvo muy por debajo de la concentración admisible y nunca representó riesgos para la salud;
- e. La concentración de  $NH_3$  siempre estuvo por debajo del umbral de olor y del máximo permisible;
- f. El aumento de la atención a los pacientes indica la importancia de la promoción en salud, pero no se puede asegurar, que el aumento de las consultas, fue causada por enfermedades debido al Deslizamiento;

- g. Entidades como el Departamento Técnico y Administrativo del Medio Ambiente de Santa Fe de Bogotá, elaboraron Planes de Diagnóstico, Contingencia y Apoyo logístico, que permitieron, en todo momento, conocer el estado de la situación, en cuanto al ambiente y a la salud humana;
- h. La información estuvo muy oportuna, pero quizás se debe tener mucho cuidado, para que siempre sea real y no crear imágenes distorsionadas en la comunidad.

Se han efectuado hasta la fecha, tres investigaciones sobre las causas del deslizamiento en el Relleno Sanitario Doña Juana, a saber:

- 1. Profesor Ingeniero Eduardo Barbosa Cordeiro (brasileño), (identificado a continuación como Barbosa);
- 2. GeoSytec y Luis Fernando Rojas & Cía. (Norteamericano el primero y colombiano el segundo), (Identificados a continuación como GeoSyntec);
- 3. Sadat International, Artuhur D. Little y Universidad de los Andes (Norteamericanos los dos primeros y colombiano el tercero), (identificados a continuación como Sadat).

Las tres investigaciones concuerdan en los siguientes aspectos:

- a. Drenaje:
  - a.1. El drenaje de los líquidos no funcionó correctamente (Barbosa);
  - a.2. La falla del sistema de drenaje se derivó de la concepción inadecuada del funcionamiento de los filtros principales (Barbosa);
  - a.3. El taponamiento del sistema de drenaje de lixiviados y de gas debido a razones biológicas, químicas o físicas que redujeron la posibilidad que el lixiviado y el gas fluyeran libremente por los drenajes (GeoSyntec);
  - a.4. Los lixiviados generados en el relleno no pudieron ser drenados adecuadamente y por consiguiente se empezaron a acumular desde el comienzo de la operación (Sadat);
  - a.5. La capa de protección ubicada en la parte superior de los filtros y tuberías de fondo contribuyó significativamente a la reducción de la capacidad de drenaje de los lixiviados (Sadat);
- b. Lixiviados:
  - b.1. Los lixiviados se acumularon en los vacíos del relleno (Barbosa);
  - b.2. La importancia de la ocurrencia de grandes cantidades de presión de fluidos y de gas en los desechos sólidos es que ello condujo a altas presiones de poros dentro del relleno lo cual disminuye las fuerzas resistentes sobre las superficies del deslizamiento y aumenta la masa y el impulso de la masa de la basura (GeoSyntec).
- c. Recirculación de fluidos

- c.1 La recirculación de los lixiviados introdujo superpresiones hidrostáticas en el interior de la masa de basura (Barbosa).
  - c.2 La reinyección de fluidos hacia la Zona II, de acuerdo con las pautas del diseño, resultó en un aumento sustancial de presión localmente y posiblemente a lo largo de grandes áreas dentro de la masa de relleno (GeoSyntec).
  - c.3. La falla se desencadenó por las altas presiones de fluido y gas resultantes de la ocurrencia de grandes cantidades de fluido y gas en el material de la basura (GeoSyntec).
  - c.4. La acumulación de líquidos contribuyó al aumento de presiones internas de gases debido a que los lixiviados dentro del relleno no permitían el flujo normal de los gases hacia la superficie y chimeneas. Estas presiones disminuyeron aún más la capacidad de drenaje de los lixiviados (Sadat).
  - c.5. La recirculación de lixiviados que comienza el 12 de junio de 1997 acelera el proceso de inestabilidad del relleno, hasta hacerlo fallar en Septiembre 27 de 1997 (Sadat).
  - c.6. El sistema de recirculación de lixiviados y la forma como se operó el sistema fue uno de los factores que contribuyeron al incremento de las presiones internas (Sadat).
- d. Diseño
- d.1 Las alteraciones al diseño no modificaron la concepción original (Barbosa).
  - d.2 La resistencia de los materiales que componían el relleno no tuvo una influencia importante en la falla del mismo (Sadat)
- e. Deslizamiento
- e.1. El talud del Relleno Sanitario se deslizó debido a las elevadas presiones intersticiales causadas por el aumento del volumen del líquido recirculado y no drenado de la masa del Relleno Sanitario y por los gases de origen bioquímico en contacto con los lixiviados (Barbosa).
  - e.2 El diseño original de la Zona II elaborado por la firma Hidromecánicas se estableció con un análisis de estabilidad que no consideraba la generación de presiones internas debidas a la acumulación de lixiviados y gases (Sadat).
  - e.3. La infiltración y la generación de lixiviados excedían la habilidad hidráulica de los materiales internos para conducir los líquidos a los drenajes de fondo (Sadat).

Para concluir el relleno sanitario de Doña Juana es uno de los rellenos más vigilados del mundo. Tiene instalados para su seguimiento 486 piezómetros, 184 inclinómetros y 2.500 puntos de control topográficos, con los cuales se hacen medidas diarias y semanales para detectar cualquier posible falla en movimiento, asentamiento o presión", sostiene el ingeniero Daniel Valderrama.

El sitio de disposición final de basuras funciona desde 1988 y su vida útil culmina en el año 2007.

Uno de los trabajos que más sorprende al visitar el relleno es la recuperación de las zonas que ya cumplieron su vida útil. Estas se recubren con una geomembrana especial y luego se le echan capas

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---

de tierra procesada que impiden la proliferación de malos olores, animales y que a la vez evitan la filtración de aguas lluvias dentro de la basura.

### 7.5. DESLIZAMIENTO EN EL RELLENO SANITARIO DE NAVARRO, CALI COLOMBIA



Foto 7.26. Antiguo botadero de basura de Navarro



Foto 7.27. Preparación de sitio para convertir el vertedero de basura de Navarro en un relleno sanitario, colocación de capa de arcilla



Foto 7.28. Impermeabilización con geomembranas para controlar la contaminación



Foto 7.29. Fase constructiva del relleno sanitario





Foto 7.29. Toda la basura del vertedero (10.950.000 TNT) está en el relleno sanitario



Foto 7.30. Vista aérea de una falla circular de un talud de basura en el relleno sanitario “Navarro” en Cali, Colombia



Foto 7.31. Vista aérea de una falla circular de un talud de basura en el relleno sanitario “Navarro” en Cali, Colombia



Foto 7.32. Vista aérea de una falla circular de un talud de basura en el relleno sanitario “Navarro” en Cali, Colombia



Foto 7.33. Vista aérea de una falla circular de un talud de basura en el relleno sanitario “Navarro” en Cali, Colombia

En 1967 la ciudad de Cali, la segunda de Colombia, construyó un relleno sanitario en el hueco dejado por el aprovechamiento del material arcilloso sacado de un humedal o madre vieja del Río Cauca, cuya cuenca es eje del desarrollo de 185 ciudades levantadas en su ribera por todo el occidente colombiano, el cual almacenará los desechos sólidos de la ciudad de Cali y los municipios de Yumbo y Jamundí

El sitio denominado “Navarro”, está levantado al lado del canal que recoge las aguas de los ríos Cañaveralejo, Meléndez y Lílí sobre una base de 20 Hectáreas, alcanza hoy día una altura de 68 metros desde el suelo, para el año 2000 recogía por día 1.800 toneladas de basura, almacena en la actualidad entre 12 y 15 millones de metros cúbicos de residuos sólidos, y produce en promedio 1.080.000 litros por día de lixiviados, que se vierten al Río Cauca 7 kilómetros antes de la bocatoma de la planta de potabilización de agua de Puerto Mallarino, que surte de agua a 2 millones de personas (fotos 7.26, 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32 y 7.33).

Esta agua para consumo humano, lleva por acción de los lixiviados que produce el Basuro de Navarro, trihalometanos y trazas de metales pesados, que encuentran un fuerte nexo de causalidad con el aumento del cáncer gástrico de la población caleña, como tercer evento de morbilidad y mortalidad según el Plan de Ordenamiento Territorial de Cali del 2000.

La Corporación Regional del Valle del Cauca, autoridad estatal encargada desde 1954 de la protección de los recursos naturales y del medio ambiente, vendió en 1984 a la Empresa de Aseo de Cali el relleno sanitario de Navarro, es decir la madre vieja del Río Cauca protegida por la Convención de Ramsar sobre Humedales de 1971, ratificada por Colombia mediante la Ley 357 de 1997. Solamente a partir de 1995, la Corporación Regional del Valle del Cauca decretó 2 años más

## **DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---

como vida útil del relleno sanitario de Navarro, ordenando su cierre sería a finales de 1997, pero paradójicamente en 1999 le concedió 3 años más de vida útil y el funcionamiento de un relleno sanitario provisional adjunto, para favorecer un negocio de concesión de las basuras con una empresa transnacional (Foto 7.34, 7.35 y 7.36).



Foto 7.34. Preparación del sitio para la construcción de un nuevo relleno sanitario al cerro Navarro



Foto 7.35. Fase constructiva del relleno sanitario adjunto al cerro Navarro



Foto 7.36. Vista lateral del relleno sanitario adjunto al cerro Navarro

La Fundación Biodiversidad desde Septiembre de 1999, solicitó a la Corporación Regional del Valle del Cauca el cierre del relleno sanitario por la terminación de su vida útil y por el grave riesgo sanitario que ocasiona su contaminado funcionamiento, sin tener éxito en su legítima reclamación de interés general, y en Mayo del 2000 acudió en Acción Constitucional al Tribunal Administrativo del Valle del Cauca, para que se ordenara el cierre inmediato y el funcionamiento del relleno sanitario transitorio, mientras se determinaba perentoriamente un nuevo lugar para instalar un relleno sanitario que cumpla con todos los requisitos técnicos y respete el medio ambiente.

El Tribunal del Valle del Cauca, admitió la demanda y ordenó las medidas cautelares que se le solicitaron, pero la Corporación Regional del Valle del Cauca impugnó la decisión y logró que la misma instancia judicial levantara las medidas cautelares.

El día 14 de septiembre del 2001, se produjo el deslizamiento del relleno sanitario de Navarro, ocasionando una emergencia sanitaria y el más grave problema ambiental de la ciudad de Cali.

Posteriormente el tribunal concluyó y ordenó con sentencia en noviembre del 2001:

- El cierre inmediato del basurero;
- El tratamiento de sus lixiviados y gases;

- La reubicación de los recicladores que laboran sobre el relleno sanitario; y
- La imposición de un Plan de Manejo Ambiental para la localización de un relleno sanitario en otro lugar.

La Corporación Regional del Valle del Cauca la Empresa de Aseo de Cali, y la Transnacional favorecida con el funcionamiento del relleno sanitario de Navarro, apelaron la sentencia y lograron que el Consejo de Estado en Abril del 2002 la revocatoria, contrario a la realidad se consideró que las aguas para consumo no están contaminadas por lixiviados del basurero, toda vez que no se probó plenamente, y que mientras no venza el último plazo de 3 años dado por la Corporación Regional del Valle del Cauca de vida útil del relleno sanitario, no puede considerarse que la demandada ha incumplido sus obligaciones.

La Fundación Biodiversidad ante confesión extrajudicial de la Corporación Regional del Valle del Cauca hecha en Abril del 2002 en un periódico de circulación nacional, aceptando la llegada de los lixiviados al Río Cauca que surte de agua a 2 millones de caleños, lo que la jurisprudencia llama declaración de parte, interpuso otra acción constitucional ante la misma corporación judicial como lo ordena un Decreto Presidencial, pero el Consejo de Estado determinó en Julio del 2002 que el relleno sanitario de Navarro no revestía peligro inminente para la población de Cali y confirmó la revocatoria.

#### **7.6. RELLENO SANITARIO DE OPERATING INDUSTRIES INC.**

Un relleno que debe recibir especial atención es de Operating Industries Inc., que se encuentra al sureste de California. Este relleno está localizado aproximadamente 17 km al este del pueblo de los Ángeles. La autopista de Pomona divide el área de 77 hectáreas en dos parcelas. La compañía Monterrey Park Disposal Co. inició las operaciones en este sitio en 1948, y en 1950 del relleno sanitario fue adquirido por Operating Industries Inc. y continuo las operaciones. Durante la operación del relleno, recibió todo tipo de desechos, residenciales, comerciales, líquidos de desecho, y varios desechos tóxicos. En enero de 1984, el estado de California colocó a la Operating Industries Inc. dentro de la lista de prioridades de desechos tóxicos. El relleno no recibió más desechos y fue cerrado finales de 1984. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos le propuso a la Operating Industries Inc. la aplicación de las normas ambientales en el mismo año y se iniciaron los estudios correspondientes de manera de tomar las acciones correspondientes a fin de proteger el entorno local y de las personas que viven cerca del relleno sanitario.

El relleno de Operating Industries Inc. es una montaña de desechos sólidos que tiene una altura entre 21 y 76 m y tiene un espesor máximo de desechos de 100 m. Este relleno sanitario tiene la peculiaridad que en sus adyacencias tiene viviendas y la autopista California State Road 60 (también conocida como autopista de Pomona). Sus taludes tienen una inclinación de 1.5H:1V y tiene una altura aproximada de 76 m. Aproximadamente 23.000 personas viven dentro de un perímetro de 6 km alrededor del relleno y 2.100 personas viven dentro de un perímetro de 700 m del relleno (Foto 7.37).



Foto 7.37 Fotografía aérea del relleno sanitario manejado por Operating Industries Inc. mostrando la autopista de Pomona a la izquierda y un número significativo de vivienda en los otros lados del relleno sanitario.



## 8. Relleno Sanitario La Bonanza

### 8.1. HISTORIA

El Relleno Sanitario La Bonanza esta situado a 27 Km. desde el peaje de Tazón, en la Carretera Nacional que conduce a los Valles del Tuy (Figura 8.1), fue fundado en el año de 1975, pero es a partir del año 1980 cuando la dirección es asumida por el Instituto Metropolitano de Aseo Urbano (IMAU), Instituto Autónomo adscrito al Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR).

Recibe en la actualidad los desechos domésticos y comerciales de Caracas (Municipios Libertador, Sucre, Chacao, El Hatillo y Baruta) y de los Valles del Tuy (Municipios Cristóbal Rojas, Simón Bolívar, Lander, Urdaneta y Paz Castillo), estos en promedio ascienden a 4.000 t/día.



Figura 8.1. Plano de Situación del Relleno Sanitario la Bonanza



Foto 8.1. Vista aérea del relleno sanitario La Bonanza (1997)

La Bonanza entra en funcionamiento, como vertedero, en el año 1981, y no es sino hasta el año 1998 cuando empieza a reestructurarse con miras a convertirse en un Relleno Sanitario (con técnicas y tecnologías adecuadas para preservar el medio ambiente), el período requerido para efectuar la transición entre el "vertedero" y el "relleno" ocupó poco más de un año.

En el período en que La Bonanza operó como vertedero se estima que recibió 20.000.000 Ton de desechos, esparcidos en 60 hectáreas, con espesores variables, pudiendo alcanzar entre los 40 y 50 m, durante su operación como relleno sanitario ha recibido cerca de 3.800.000 Ton, colocadas en aproximadamente 15 hectáreas, y con espesores de hasta 35 m.

Al crearse La Ley de Supresión del IMAU, el Relleno Sanitario La Bonanza pasó a depender de MANCOSER METROPOLITANA, mancomunidad creada el 28 de Enero de 1994, con el fin de prestar el servicio de disposición final de los residuos sólidos del área Metropolitana de Caracas y su zona de influencia.

En el año 1996 realizaban los trabajos de compactación y cobertura de los residuos sólidos, la Compañía Constructora GAL y MANCOSER (Mancomunidad de las Alcaldías del Área Metropolitana de Caracas), encargada de administrar las operaciones del relleno sanitario. En esa época el volumen de basura diario proveniente de la capital era de 4500 toneladas, lo cual arrojaba un promedio de aproximadamente 500 a 800 gramos de basura por persona.

Para el año 1997 se expandieron en tres empresas que laboraban en el relleno y que dependían de MANCOSER. Una de las empresas realizaba trabajos de acarreo, compactación y cobertura de los residuos sólidos, otra empresa hacía el mantenimiento de los respiraderos o fumarolas, constituidos por tubos plásticos recubiertos con grava, para el desalojo del gas metano y evitar la acumulación de este en cada terraza y, por último, la empresa dedicada al mantenimiento de todas las áreas del relleno, la cual no fue utilizada por la administración, lo cual trajo como consecuencia tanquillas obstruidas por residuos y lodo producto de las lluvias.

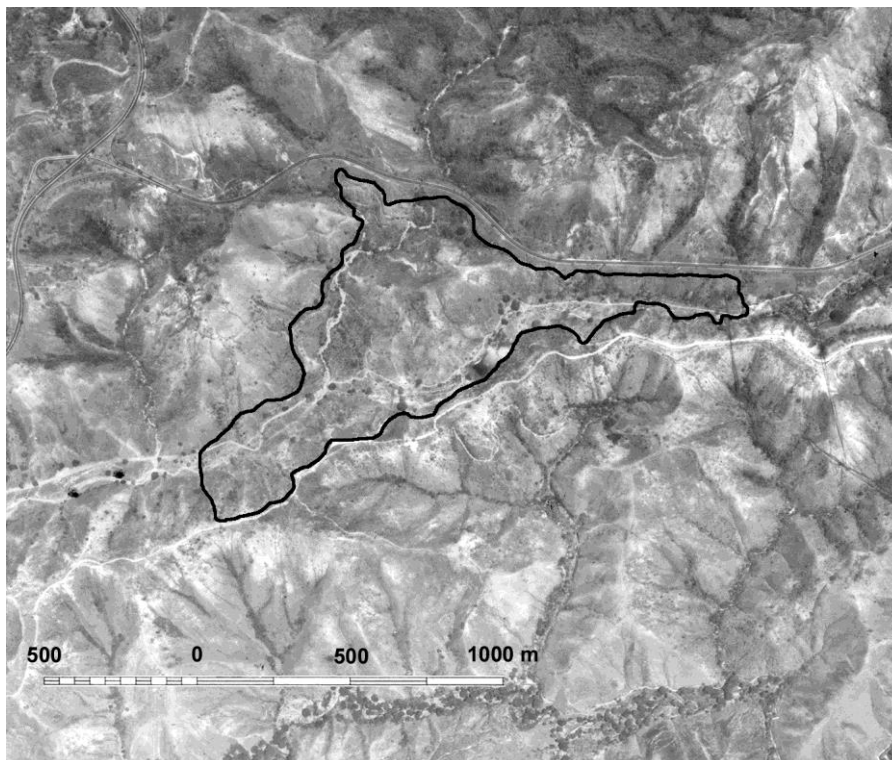


Foto 8.2. Fotografía aérea del área donde está ubicado el relleno sanitario La Bonanza, tomada el 05-04-1975, Escala 1:25.000, Misión 030198, Foto N° 4575. (Instituto Geográfico de Venezuela, Simón Bolívar)

Algunas áreas requirieron ser despejadas por medio de maquinaria pesada, pero la administración no las tenía a su disposición, motivo por el cual, las precipitaciones esparcieron los desperdicios por todas las terrazas.

A mediados de 1997 se genera una crisis, más de doscientas mil toneladas de basura, que no habían sido compactadas y se encontraban esparcidas por todas las terrazas, generándose un problema sanitario.

A finales de ese mismo año, se produce un incendio en el relleno sanitario, el cual se logró extinguir cubriéndose con tierra el volumen de basura incendiado.

A comienzos del año 1998 se procede a realizar una licitación, a la cual concurren cinco empresas, venezolanas y extranjeras, estas presentaron sus propuestas para obtener una concesión por veinte años para operar el área de La Bonanza.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---

Entre las empresas que participaron, se encuentran: Fospuca – Consorcio FDS (Venezuela – España), Caabsa Eagle (México), Consorcio Sabempe – Lirca (Venezuela), Cotécnica - CGEA (Venezuela – Francia) y Rust Enviroment and Infrastructure (USA).

La empresa venezolana “Cotécnica” asociada a la francesa “CGEA” (Compagnie Générale d’Entreprises Automobiles), obtuvo la concesión para operar por veinte años la disposición final de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario La Bonanza.



Foto 8.3. Fotografía aérea del área donde está ubicado el relleno sanitario La Bonanza, tomada el 04-1991, Escala 1:25.000, Misión 0303200, Foto N° 116 (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar)

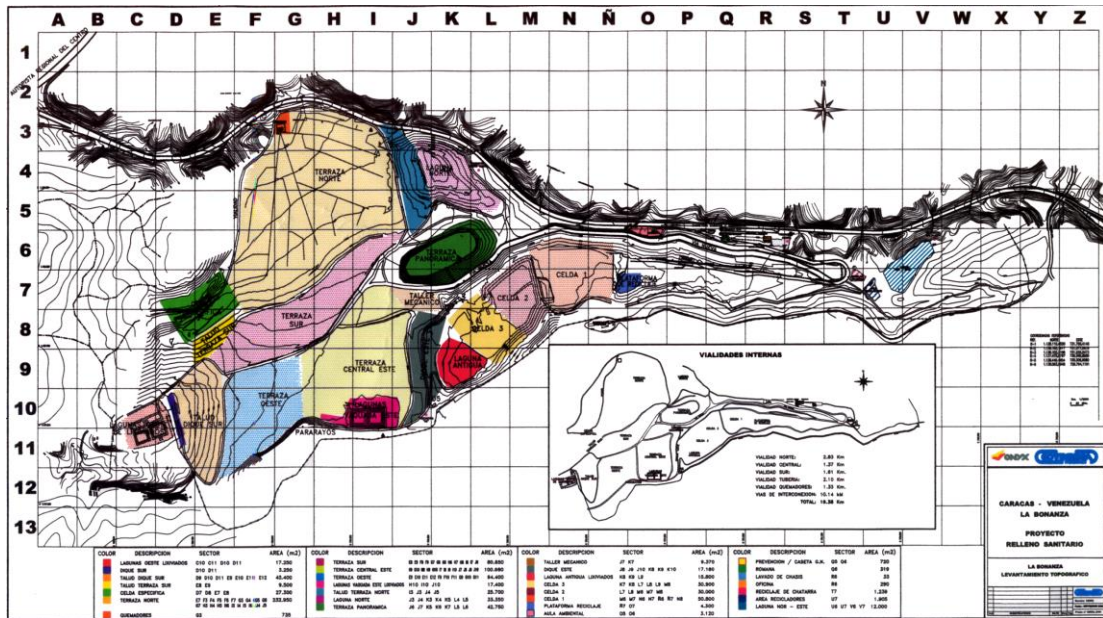


Figura 8.2. Plano general de La Bonanza

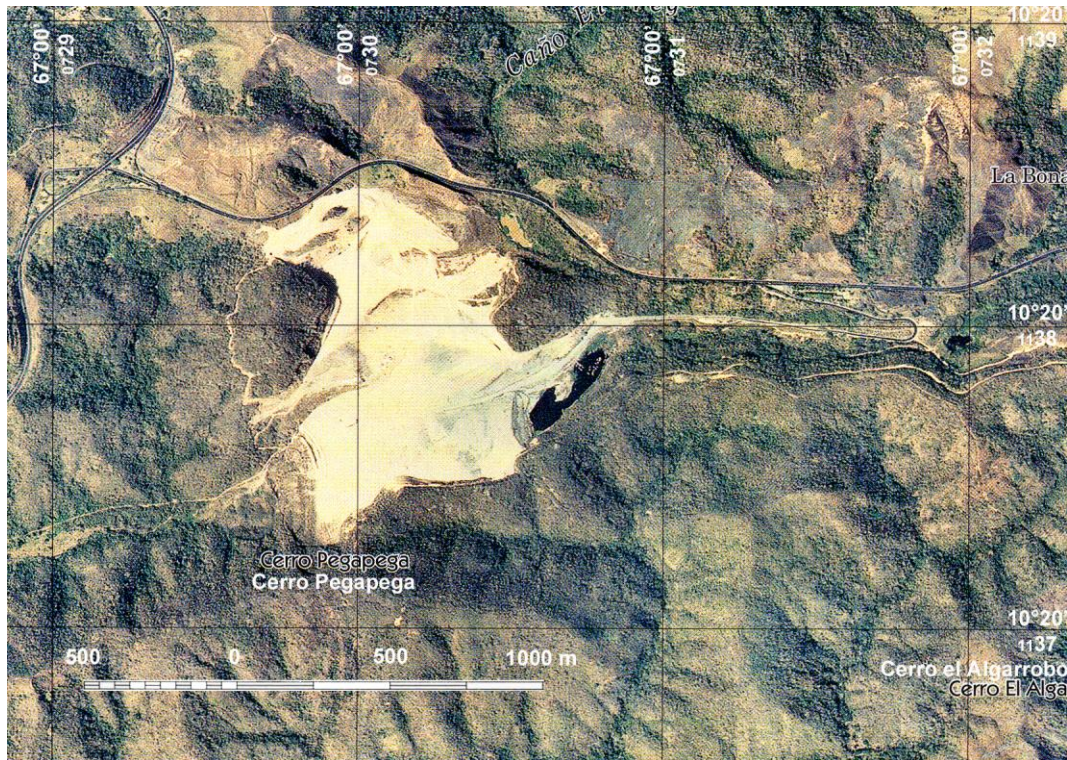


Foto 8.4. Ortomapa del área donde está ubicado el relleno sanitario La Bonanza, realizado a partir de fotografía aérea a color, a escala 1:60.000, obtenida en febrero de 1994, Misión 0304184. Escala del orto mapa 1:25.0000 (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar)

### **8.1.1. Compagnie Générale d'Entreprises Automobiles (CGEA)**

La empresa francesa CGEA tiene experiencia internacional y maneja unos 132 rellenos de basura a nivel mundial.

La CGEA se fundó en Francia en 1912, a partir de la empresa GRANDJOUAN, que funcionaba en la ciudad de Nantes desde 1867. Las actividades de GRANDJOUAN en residuos sólidos comprendían recolección, transporte y disposición final, incluyendo sistemas de compostificación. Estas experiencias traspasadas a CGEA permitieron al grupo expandir sus actividades en Francia, logrando alcanzar en 1921 los servicios de la ciudad de París.

A partir de 1922 las actividades se expandieron a los alrededores de París. En 1931 se incorpora a los servicios la transferencia vía ferrocarril y aparecen las primeras barredoras mecánicas del mercado. La empresa USA, incorporada al grupo de CGEA, opera desde 1931 una planta de incineración.

La recolección selectiva para sistemas de reciclaje comienza a ser operada por CGEA en 1934. A partir del término de la II Guerra Mundial, CGEA expande sus operaciones en Francia y comienza su proyección internacional, logrando constituirse para esa fecha, como la mayor empresa europea en manejo de residuos sólidos.

En 1980 la Compagnie Generale des Eaux, adquiere CGEA, integrándose así a la mayor empresa mundial en manejo de aguas que, además, es la principal empresa privada de transporte y construcción de Europa, presente en el campo inmobiliario, telecomunicaciones y multimedia.

En el año 1999, bajo la nueva administración de Cotécnica – CGEA, se aplicaron técnicas en el tratamiento de lagunas de lixiviado, lo que trajo como consecuencia la disminución en forma considerable del olor a basura que era percibido en las inmediaciones del relleno y la disminución de zamuros en la zona, lo que significaba un peligro para los usuarios del Aeropuerto Caracas.

Actualmente el relleno tiene un buen funcionamiento, las empresas Cotécnica, Sabempe y Fospuca son las encargadas de la recolección de la basura en el área metropolitana, las cuales han implementado en los diferentes municipios a través de instituciones educativas campañas de recolección para el reciclaje de envases de aluminio, cajas de cartón, vidrio, hierro en forma de chatarras, papel, plástico y textiles.

## **8.2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO**

### **8.2.1. Clima y vegetación**

El área de La Bonanza corresponde a una zona templada subtropical, caracterizada por vegetación tipo bosque húmedo montano bajo a pre-montano, abundante y bien desarrollada.

La provincia de humedad corresponde a subhúmeda – semiárido (Holdridge, 1999). La combinación de la cantidad de lluvia en la zona, combinadas con la elevación de las montañas son las responsables del clima presente en la zona y como resultado de estas condiciones, la meteorización es intensa y la vegetación es densa.

### **8.2.2. Relieve**

Desde el punto de vista geomorfológico la zona corresponde a un valle de origen tectónico de rumbo general este-oeste y cuyo eje coincide aproximadamente con el eje actual de la quebrada denominada El Vegote, ubicada en el Relleno Sanitario La Bonanza.

La topografía de frente de montaña, al norte corresponde a montañas con filas asimétricas y cuestas abruptas y al sur montañas más bajas y redondeadas, las cuales presentan rumbo este-oeste aproximadamente y es característico en la zona un alto grado de meteorización y metamorfismo.

### **8.2.3. Drenaje**

El patrón de drenaje general es de tipo dendrítico, denso y condicionado por los espacios entre los planos de foliación, encajado a través de las diaclasas y micro fallas de carácter local asociadas al control tectónico presente en la zona.

El cauce principal “El Vegote” que drena el valle es de tipo intermitente y nace aguas arriba al norte del Relleno Sanitario y su recorrido es hacia el sur, dirección aguas abajo para unirse a la quebrada Charallave la cual es afluente del Río Tuy.

Cabe destacar, que dicha quebrada en la actualidad y en la parte donde atraviesa las instalaciones del Relleno Sanitario fue interrumpida para la construcción de las celdas para la deposición de los residuos sólidos pero su afluencia se maneja a través de tuberías subterráneas denominadas subdrenes.

La combinación del clima y la fisiográfica de la zona originó, esta red hidrográfica densa y cuyos cursos de agua generalmente son de poca trayectoria y caudal pero, en temporadas lluviosas, tiende a acumularse en el Relleno Sanitario originando lagunas.

Smith, (1952), señala que a nivel regional el sistema de drenaje está caracterizado por dos tipos distintos de planos de corriente. El más viejo de ellos fue desarrollado sobre la primera superficie de erosión y está caracterizado por un sistema de meandros semejante al que ahora existe en el valle del Río Tuy. Después del levantamiento el curso fue superimpuesto sobre la roca subyacente en muchos casos, como meandros cortados. El otro aspecto importante asociado con el drenaje es un marcado carácter lineal en algunas partes.

### **8.2.4. Hidrogeología e hidrología**

#### **8.2.4.1. Generalidades**

En este aparte, se describen las características hidrogeológicas e hidrológicas del Relleno Sanitario La Bonanza, realizada por Ramírez y D’Escrivan, (2000).

Las regiones de características geomorfológicas comunes, donde los acuíferos se han formado por iguales procesos geológicos, se llaman provincias hidrogeológicas. De Sola, (1967) delimita las provincias hidrogeológicas según el mapa siguiente:

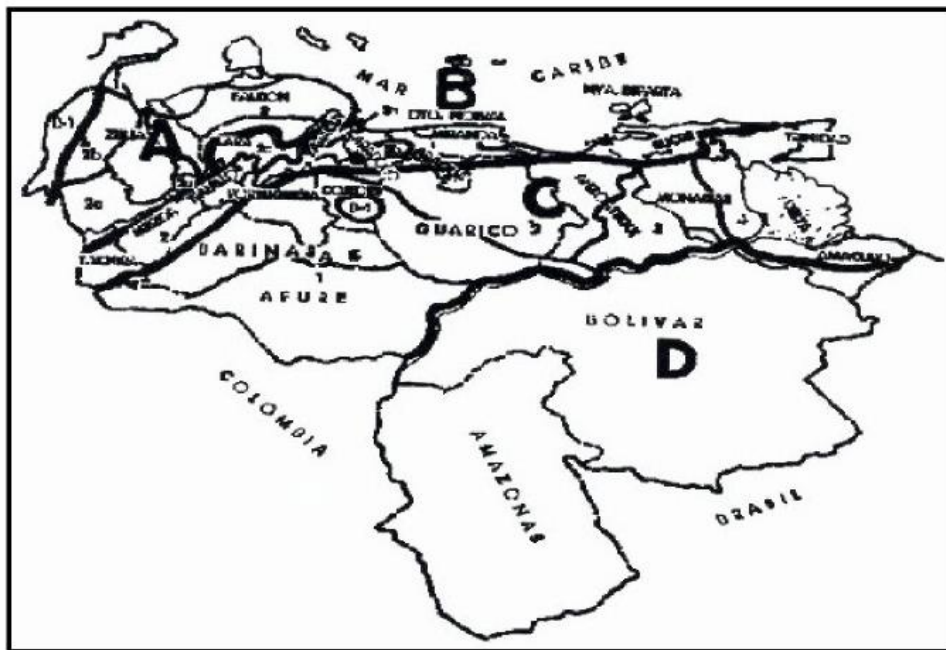


Figura 8.3. Provincias Hidrogeológicas de Venezuela

Correspondiendo el Relleno Sanitario La Bonanza a las provincias de la Cordillera de la Costa, caracterizadas por acumulaciones de agua en grietas con bajos rendimientos y agua generalmente de buena calidad y acuíferos libres ricos, de pequeña extensión, en los valles longitudinales rellenos con sedimentos modernos.

#### 8.2.4.2. Características Hidrogeológicas e Hidrológicas

El Relleno Sanitario La Bonanza está comprendido dentro del macizo de la Cordillera de la Costa, constituida por rocas metamórficas, donde las características litológicas, grado de metamorfismo y donde afloran unidades pertenecientes a la Formación Las Mercedes que, por su origen, procesos orogénicos, plegamientos y fracturamiento, típicos de las rocas metamórficas, presentan una permeabilidad muy baja. Los acuíferos posibles en esta zona son pobres, y la sedimentación aluvial muy escasa.

De perfiles geotécnicos suministrados por Cotécnica La Bonanza (ver Figura 8.4), y en concordancia con estudios efectuados por Conde, (1985), se pueden considerar a los fines hidrológicos dos unidades litológicas.

La primera unidad está constituida por arenas limosas-arcillosas, arcillas y limos poco arenosos con fragmentos alargados de esquistos que en la zona de La Bonanza alcanza espesores pobres no mayores a 1 m, aunque a medida que el valle de la quebrada El Vegote se abre fuera de la zona del relleno y la pendiente es menor, aumenta el espesor de los aluviones, sin embargo, debido a la constitución de los mismos y lo irregular de su porosidad, la permeabilidad es baja e intergranular. El agua en estos acuíferos viaja a través de los poros existentes entre los granos del suelo, hasta alcanzar un estrato impermeable donde se deposita, creando una mesa de agua.



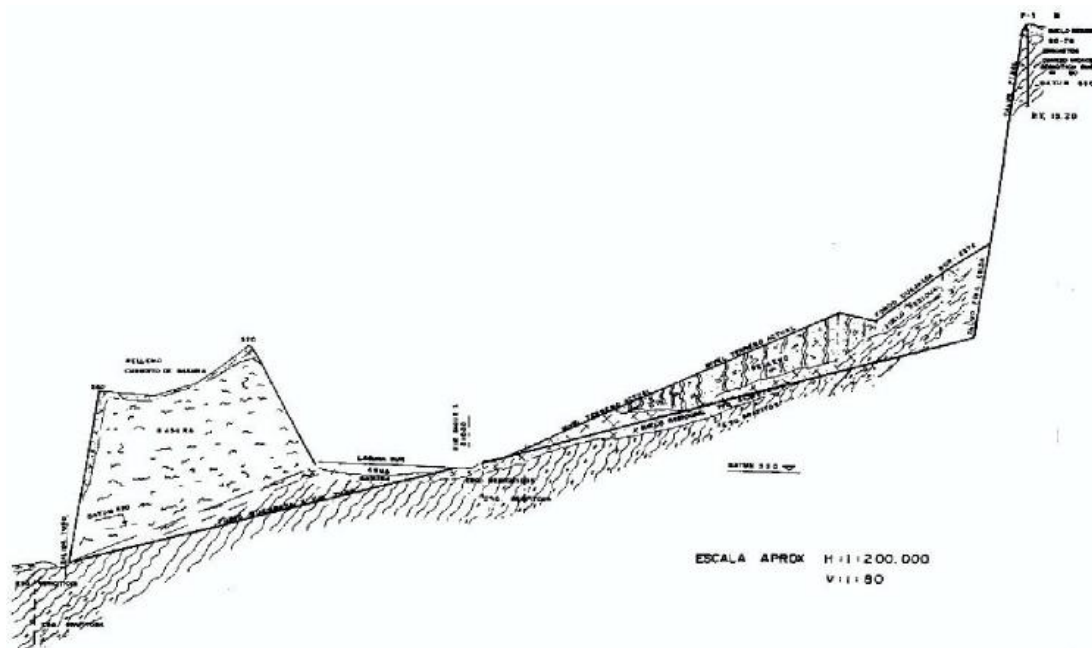


Figura 8.4. Perfil Longitudinal del Cauce de la Quebrada El Vegote

La segunda unidad esta constituida por rocas metamórficas descompuestas a muy meteorizadas superficialmente, duras y resistentes a mayores profundidades, conformadas por las unidades típicas representativas de los afloramientos en el área de La Bonanza, de esquistos cuarzo micáceo y esquistos grafitoso calcáreo de espesores no determinados.

Sin embargo, por las características de los esquistos grafitoso calcáreo, con abundantes vetas de cuarzo, calcita, y su asociación con calizas, se pueden presentar permeabilidades, debidas al fracturamiento y disolución, y actúan como pequeños manantiales, los cuales se aprecian en la Autopista Regional del Centro en el tramo Hoyo de la Puerta-Cortada de Maturín, y en la zona de los taludes cortados por las celdas de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario, han aflorado dichos manantiales, por lo que se tomaron las precauciones para drenarlos fuera de la zona de las celdas.

En las rocas el agua viaja a través de las grietas y zonas de disolución hasta llegar a una zona impermeable donde se depositan, pudiendo seguir caminos subterráneos.

El ciclo hidrológico de lluvias, infiltraciones, evaporaciones, captación de las plantas, efectos climáticos y escorrentía, es lo que permite la recuperación o recarga de los acuíferos, cuya velocidad de recarga dependerá de la permeabilidad, y ésta, de las características de suelos y rocas.

Los niveles piezométrico en pozos de observación aguas abajo de la zona del Relleno Sanitario, siguen el curso de la quebrada El Vegote indicando que el pequeño flujo subterráneo, coincide con el eje del valle y curso de la quebrada, por lo cual el gradiente hidráulico se adapta a la condición de la pendiente topográfica.

La recarga del acuífero aluvional ocurre a lo largo del valle, fuera del Relleno Sanitario y en la zona de inundación de la quebrada, y descarga muy lejos de éste.

### **8.3. GEOLOGÍA**

#### **8.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

La zona en donde está ubicado el Relleno Sanitario La Bonanza pertenece a la Formación Las Mercedes, de Edad Mesozoico (Jurásico – Cretácico). En el siguiente aparte se hará una breve descripción de los tópicos más importantes de dicha formación.

##### **8.3.1.1. Localidad Tipo**

La Formación Las Mercedes ubicada en la antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas, hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann, (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare - Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

##### **8.3.1.2. Descripción Litológica**

Aguerrevere y Zuloaga, (1937), la definen como esquistos, principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas de un tinte rosado-gris con zonas blancas. Según Wehrmann, (1972) y la revisión de González de Juana et al., (1980) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - moscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes que, cuando alcanza gruesos espesores, se denomina "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio y el color característico es el gris parduzco.

La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica.

El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas y son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. Oxburgh, (1965), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes y discrimina una facies oriental de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes.

Además, una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas con abundante granate y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann, (1972), menciona la existencia de metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope de filitas negras poco metamorfizadas con nódulos de mármol negro de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor indica que el tope de la formación se hace más cuarzoso y menos calcáreo en su

transición hacia la Formación Chuspita. Seiders, (1965), menciona, además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerreverre y Zuloaga, (1937), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan la Fase Los Colorados que constituyen excelentes estratos guía. Dengo, (1949), Seiders, (1965), y Wehrmann, (1972), no coinciden con esta formación ya que, según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Urbani et al., (1989), cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, Estado Carabobo. La primera subunidad esta compuesta principalmente de esquistos calcíticos - grafitosos y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad compuesta de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Capital y Estado Miranda, Urbani et al., (1989) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos grafitosos y mármol de metaconglomerado de cuarzo - feldespático - calcáreo y metarenisca de esquistos albiticos - grafitosos. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de pirita que, al meteorizarse, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith, (1952), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada en colores blanco, pardo y marrón que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En sondeos profundos con muestras no meteorizadas esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. Oxburgh, (1965) sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Esta Formación presenta un esquema transgresivo hacia el sur sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con una facies oriental más arenosa.

Talukdar y Loureiro, (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de las calizas indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados indican lo contrario.

Urbani et al., (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, Estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

### 8.3.1.3. Extensión Geográfica

La Formación Las Mercedes aflora en toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, Estado Miranda, hasta el Estado Cojedes (ver Fig. 8.5).

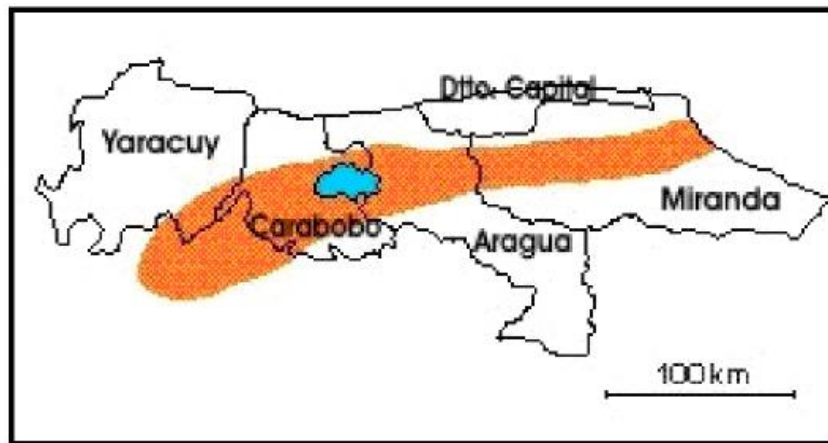


Figura 8.5. Extensión Geográfica de la Formación Las Mercedes

#### 8.3.1.4. Contactos

La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes González de Juana et al., (1980) consideran que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades. En la zona de la Colonia Tovar, Ostos, (1990) señala que el contacto entre el Augengneis de Peña de Mora y el Gneis de la Colonia Tovar, con la Formación Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, como un contacto sedimentario original, mientras que el contacto con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento.

#### 8.3.2. Geología local

El segmento de la Cordillera de la Costa, comprendida en la zona de las instalaciones del Relleno Sanitario La Bonanza y sus inmediaciones Ramírez y D'Escrivan, (2000) dividieron el área en dos unidades litológicas informales basadas en tipos litológicos predominantes, características texturales y situación geográfica.

##### 8.3.2.1. Unidad de Esquisto Cuarzo Micáceo (*Ecm*)

La Unidad de Esquisto Cuarzo Micáceo está caracterizada por un buen desarrollo de la foliación, la presencia de numerosas vetas de cuarzo, microplegamiento local muy meteorizada, presencia abundante de oxidación con patrones de buzamiento de la foliación muy variables e intercalaciones de lentes de mármoles de mayor competencia. Los minerales más abundantes que permiten definir la unidad son el cuarzo y las micas sericitica, muscovita y biotita haciéndose más cuarzosa hacia el tope.

##### 8.3.2.2. Unidad de Esquisto Grafítico Calcáreo (*Egc*)

La Unidad de Esquisto Grafítico Calcáreo se caracteriza por presentar, al igual que la unidad anterior, buen desarrollo de la foliación, microplegamiento local, presencia de numerosas vetas de cuarzo y calcita, microfallamiento local, variaciones de los patrones de buzamiento de la foliación, intercalaciones de lentes de mármoles de mayor competencia, presencia abundante de oxidación.

Los minerales más abundantes presentes y que permiten definir la unidad son el grafito y la calcita, siendo hacia el tope más calcáreo y hacia la base más grafitoso.

La foliación de esquistos de la zona presentan una dirección preferencial N40°W con buzamiento preferencial de 30°S. Las diaclasas en promedio de 1:30 cm a verticales, predominantemente a sub-verticales.

## **8.4. FUNCIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO**

### **8.4.1. Generalidades**

En la siguiente sección se hará un análisis descriptivo del funcionamiento del Relleno Sanitario La Bonanza, considerando no sólo los aspectos relacionados al manejo de residuos sólidos y operatividad, sino también como en todo proyecto de ingeniería, los posibles impactos sobre el ambiente.

### **8.4.2. Descripción del Sitio de Ubicación**

El Relleno Sanitario La Bonanza utiliza como método de vertido de residuos el de Vaguada/Depresión, el cual se va perfilando y modelando hasta convertirlo en celdas.

La Bonanza posee un área de 180 hectáreas, en las cuales se han diseñado celdas para la colocación de los residuos sólidos, las cuales son divididas por medio de diques; actualmente se encuentra en fase de relleno las celdas 2 y 3 (ver foto 8.1)

El proyecto de desarrollo del Relleno Sanitario La Bonanza pretende extender la construcción de celdas para residuos adicionales hacia el este, debido a que en la actualidad las terrazas norte, sur-oeste y centro-este, se encuentran rellenas de residuos pero de manera directa sobre el terreno y pertenecen al método de deposición de residuos utilizada anteriormente, antes de la entrega en concesión del manejo del Relleno Sanitario La Bonanza a la Empresa Cotécnica La Bonanza C.A en 1998 y la cual contiene cantidades muy altas de residuos para ser removidos de la zona.

La condición metanogénica estable en la cual se encuentra la terraza norte produce grandes cantidades de metano y dióxido de carbono a partir de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de la materia orgánica. El gas producido por esta terraza es transportado por medio de tuberías hacia los quemadores, donde su combustión es oportunamente controlada (ver Foto 8.5).



Foto 8.5. Vista de los Quemadores en la Terraza Norte

Los lixiviados se colectan en lagunas para estimular el crecimiento de microorganismos y acelerar el proceso de digestión. Actualmente el relleno cuenta con dos lagunas para los lixiviados, la laguna vaguada este (ver Figura 8.2, sectores H10, I10, J10) y la laguna oeste (ver Figura 8.2, sectores C10, C11, D10, D11).

La laguna norte es utilizada como reservorio de agua, para cualquier uso requerido en las instalaciones, como regar las gramíneas sembradas en la terraza norte; en caso de un incendio, llenado de camiones cisternas para el regadío de las vías de acceso que no están asfaltadas (ver Figura 8.2, sectores K4, L5).

En el centro se encuentra ubicado el taller mecánico, para el mantenimiento y reparación de la maquinaria pesada utilizada, como camiones, palas mecánicas, tractores, compactadoras, motoniveladoras, entre otras, y un tráiler para los empleados que trabajan por turnos (ver Figura 8.2, sectores J7, K7).

Al este de la celda 1 se encuentra la plataforma de reciclaje que es el único lugar permitido para la permanencia de las personas que trabajan como recicladores, dentro de las instalaciones del relleno sanitario y las cuales se encuentran debidamente identificadas (ver Figura 8.2, sectores Ñ7, O7).

Más hacia el este se encuentra una zona para el reciclaje de chatarra tales como calentadores de agua, metales, neveras, lavadoras, entre otros. Muy cercano a la zona de reciclaje de chatarra se encuentra el área de recicladores, destinada para el aseo personal de los recicladores (ver Figura 8.2, sectores T7, U7).

En la vía principal de acceso a las instalaciones del relleno, se encuentra una romana donde se pesan los camiones a la entrada y salida para establecer controles de la cantidad de desechos que ingresan y salen del relleno y el lugar de procedencia (ver Figura 8.2, sector Q6).

Adicionalmente, una vez descargado los desechos, y en la misma vía principal de acceso a la salida se encuentra el lava chasis, que consiste en una ducha rápida por debajo del camión para ser librado de la mayor cantidad posible de desecho y polvo (ver Figura 8.2, sector R6).

La empresa habilitó el Aula Ambiental o Mirador ubicada en el límite norte de las instalaciones del relleno sanitario, y cuyo objetivo principal es poseer un lugar en el cual se puedan dictar charlas o visitas guiadas a escuelas, empresas y grupos que deseen conocer acerca del manejo y funcionamiento del Relleno Sanitario La Bonanza (ver Figura 8.2, sectores O5, O6).

La oficina principal ubicada al mor-este de la zona cuenta con un equipo interdisciplinario conformado por ingenieros de distintas áreas y un personal técnico capacitado para el desarrollo del proyecto, además, la Guardia Nacional y el personal de vigilancia de la empresa ejercen un estricto control para el acceso a las instalaciones y cuya norma de seguridad principal, además de identificarse y contar con la compañía de personal autorizado es la utilización de casco y chaleco industriales (ver Figura 8.2, sectores Q6, R6).

### **8.4.3. Funcionamiento y Proyectos de Desarrollo**

En la actualidad el relleno recibe aproximadamente 4.000 toneladas por día de residuos sólidos recolectados en el Área Metropolitana de Caracas y en ciudades cercanas al mismo. Los residuos provienen de los municipios de Caracas (Libertador, Chacao, Sucre, Baruta y Hatillo) y de los Valles de Tuy (Cristóbal Rojas, Simón Bolívar, Tomás Lander, Urdaneta y Paz Castillo), cuyo manejo está cedido en concesión a la compañía Cotécnica. Los residuos provenientes de los Municipios Libertador y Baruta son compactados en la estación de transferencia Las Mayas, y los demás provenientes de los municipios restantes llegan directamente al relleno sanitario.

#### **8.4.3.1. Preparación de la celda**

Previo a la colocación de los residuos sólidos en el relleno se excava y se prepara el fondo y las superficies laterales del relleno, una vez preparado el fondo para proporcionar drenaje al lixiviado, se perfilan los taludes laterales de la celda con una pendiente 2:1, y se coloca la geomembrana y seguidamente el geotextil para su protección (ver Fotos 8.6 y 8.7).

La impermeabilización del fondo de la celda consiste en colocar seis (6) capas de arcilla de 25 cm de espesor cada una, y son compactadas con un rodillo pata de cabra, seguidamente se colocan la geomembrana y el geotextil (ver Fotos 8.8 y 8.9).

La siguiente capa está compuesta por gravas de un espesor de 50 cm que actúan como filtro de los lixiviados en el fondo de la celda, deben ser silíceas y redondeadas de manera que no punzonen los geosintéticos, ni sean atacados por el lixiviado (ver Figura 8.10), en el centro de la celda se coloca una tubería de 8" de diámetro para la recolección de los lixiviados.

Los cauchos provenientes de los vehículos y que no son reciclables, se utilizan como protección adicional de la geomembrana de los taludes laterales de la celda, porque genera zonas de baja presión en las cuales se acumula el gas y que acelera el proceso de descomposición de los desechos (ver Figura 8.11).

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

---



Foto 8.6. Perfilado del talud



Foto 8.7. Colocación de la geomembrana y Geotextil en el Talud



Foto 8.8. Compactación de las capas de Arcilla



Foto 8.9. Colocación de la geomembrana y Geotextil en el Fondo de la Celda



Foto 8.10. Colocación de Capa de Grava



Foto 8.11. Colocación de Cauchos para la Protección de la Geomembrana



### 7.4.3.2. Colocación de los residuos sólidos

Las operaciones pueden dividirse principalmente en:

- Control de peso
- Reciclaje
- Disposición final.

Los camiones se pesan antes de entrar al relleno, los residuos que transportan pueden ser descargados directamente en las celdas donde las maquinarias lo remueven para su disposición final (ver Figura 8.12), o en la plataforma de reciclaje, esta labor es realizada por personas ajenas al personal de las instalaciones y que se denominan recicladores las cuales se encuentran debidamente identificadas tanto en su vestimenta como con un carnet que le permite acceder a dicha actividad, y que permite mantener el control respecto a la cantidad de personas que acceden al lugar después de la revisión por parte de los recicladores, los residuos son transportados en camiones marca EUCLID cuya capacidad es de 23 m<sup>3</sup> a las celdas para su disposición final (ver Figura 8.13).



Foto 8.12. Descarga de Residuos Sólidos Directamente en la Celda



Foto 8.13. Reciclaje, Carga y Acarreo de Residuos Sólidos hacia la Celda



Foto 8.14. Esparcimiento y Compactación de



Foto 8.15. Colocación de la Capa de

Residuos Sólidos

Recubrimiento

La primera capa de 2 m de residuos sólidos, que se coloca directamente encima de la capa de grava no se compacta, luego se va rellenando la celda esparciendo capas de residuos de 30 cm de espesor aproximadamente y se compacta con un compactador de rellenos sanitarios Caterpillar Modelo 826G, el número de pasadas es cuatro (4), este procedimiento se realiza hasta llegar a una altura de 5 m (ver Figura 8.14), luego se alterna con una capa de recubrimiento “suelo” de 15 cm de espesor la cual es esparcida con un tractor de la Caterpillar modelo D6N, y luego es compactada con un rodillo liso vibratorio entre 2 y 3 pases (ver Figura 8.15). La compactación tanto de los residuos sólidos como del suelo es siempre realizada en dirección a la pendiente del talud de la celda.

#### **8.4.3.3. Proyectos de desarrollo**

Anteriormente y donde en la actualidad se ubican las celdas, correspondía al cauce natural de la quebrada, razón por la cual las aguas por escorrentía natural buscan acumularse allí y la presencia de dicha celda incrementa esta situación, por lo cual se pretende crear un sistema de canales tipo cuneta para desviar dichas aguas hacia la laguna norte y aumentar la cantidad de agua como reserva.

Se encuentra en proyecto a futuro la conexión de la terraza sur al sistema de conexión de gas de la terraza norte e igualmente la creación del sistema de recolección de gases para las terrazas oeste y central-este.

También existe un proyecto de gran importancia a desarrollar, es la reinyección de los lixiviados para generar mayor cantidad de gas que permita de una manera más rápida la descomposición de los residuos.

Otro proyecto que se encuentra en ejecución en la actualidad es la construcción de la celda específica para desechos tóxicos y peligrosos, la cual será ubicada al norte de la laguna oeste de lixiviados (ver Figura 8.2, sectores D7, D8, E7 y E8).

Hasta el momento el diseño y operación del relleno se efectúa de acuerdo a la normativa legal vigente, y debe considerarse que es la primera vez en Venezuela que un relleno sanitario se trabaja con la tecnología de punta utilizada a nivel mundial, y que cuenta con un equipo de trabajo interdisciplinario que permite evidenciar la buena respuesta obtenida en el manejo de los residuos sólidos.

#### **8.4.4. Influencia Sobre el Medio Ambiente**

El proyecto propuesto en la licitación para la construcción y operación del relleno sanitario a desarrollar en etapas se ha cumplido a cabalidad, cuyo funcionamiento es satisfactorio, pero no escapa de presentar situaciones que de alguna manera puedan mejorarse para afectar lo menos posible al medio ambiente.

La presencia de lixiviados en las terrazas norte, sur-oeste y centro-norte en la actualidad no pueden ser controlados debido a que dichas terrazas simplemente están rellenas con desechos de años anteriores al desarrollo del proyecto actual, y a través de canales alrededor de las terrazas se tratan de canalizar para que alcancen por medio de menores pendientes del relleno el nivel de piscina de tratamiento.

Según información obtenida por personal de Cotécnica La Bonanza, se realizan monitoreos de calidad de agua, lixiviado y aire.

Actualmente los problemas presentes para el estudio de calidad del aire son la presencia de partículas en suspensión de polvo levantadas por el paso de maquinaria pesada, como camiones y vehículos en general, y el cual es mitigado con el riego constante de las vías del relleno sanitario con camiones cisternas de agua, y el otro factor que se encuentra en estudio es la corriente de aire caliente que genera el quemador de los gases originados por la descomposición de la basura que podría afectar las condiciones de vuelo de los aviones que se dirigen al Aeropuerto Caracas ubicado en la ciudad de Charallave.

Otro factor que si cumple con las normas es el control de olores, considerado uno de los principales problemas dentro del relleno y el cual ha sido mitigado lo máximo posible.

En cuanto a las pruebas de control de lixiviados cabe destacar que además de ser aireados en la piscina para disminuir el DBO (demanda biológica de oxígeno), se está utilizando una nueva tecnología que consiste en un polvo compuesto primordialmente por una variedad de bacterias que permite fijar vectores altamente contaminantes y oxidar el material metálico en suspensión, sedimentándolo para posteriormente ser extraídos y poder enviar los lixiviados tratados finalmente al cauce natural de la quebrada El Vegote, previo estudio y análisis de calidad de aguas.

Con respecto a la presencia de animales en el relleno sanitario, cabe destacar que la fauna más abundante son los zamuros y cuyo control es tarea compleja debido a que, por recomendaciones de la parte francesa aliada con Cotécnica el tratamiento para ahuyentarlos es la utilización de cohetes pirotécnicos de diferentes intensidades, cuando se requiera alejarlos por cuestiones de construcción de las celdas debido a que punzonan e ingieren los geosintéticos ocasionando que se deba reparar la parte expuesta o en el caso de que se encuentre grupos de personas en calidad de visita o inspección en las instalaciones. En situaciones extremas de desbordamiento de la tasa de natalidad, la recomendación es eliminarlos por ultrasonido, actividad que hasta la fecha no se ha realizado por parte del personal del relleno sanitario y no tiene como prospecto realizarlo por razones de control de fauna y ecología.

Adicionalmente, la presencia de halcones en el área eliminaron por completo la presencia de roedores en las instalaciones y la presencia de animales domésticos como acompañantes de los recicladores no se permite. De acuerdo a información suministrada por personal técnico de La Bonanza es común encontrar fauna tales como culebras, iguanas, aves de diversos tipos, zorros, entre otros y los cuales son sacados de la zona de relleno sin ser maltratados.

La operación del Relleno Sanitario La Bonanza es satisfactoria en cuanto a los controles ambientales a excepción de los referente al monitoreo de las aguas subterráneas.

### **8.5. Caracterización de los residuos sólidos**

En esta sección se recoge la información disponible sobre la composición y características (humedad y densidad) de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) del Área Metropolitana de Caracas, que son los desechos que en mayor volumen llegan al Relleno Sanitario La Bonanza; dicha información será tomada en cuenta en la interpretación de los resultados obtenidos tanto en el ensayo a escala real como en el análisis en retrocálculo (back-analysis).

Es importante resaltar la carencia de registros sistemáticos de información técnica, es por ello que la información cuantitativa presentada corresponde a estimaciones y proyecciones existentes en los documentos disponibles o estudios realizados por personal adscrito a las diferentes instituciones relacionadas con el sector.

### **8.5.1. Clasificación de los Residuos Sólidos**

Existen diversos criterios para definir y clasificar los residuos sólidos, sin embargo, se consideró conveniente agruparlos en categorías, utilizando la misma terminología aplicada por el común de los sectores involucrados.

#### **8.5.1.1. Residuos sólidos municipales (RSM)**

Incluyen todos aquellos materiales provenientes de la actividad residencial, comercial, institucional, industrial (pequeña industria y artesanía), así como barrido y limpieza de calles y áreas libres, ubicadas en el conglomerado urbano y cuya gestión es responsabilidad de las autoridades municipales.

Los residuos sólidos municipales, tal y como se han definido, pueden incluir además de los constituyentes típicos (materia orgánica, vidrio, plásticos, metales, papel cartón, textiles, entre otros) y materiales que presentan riesgo para la salud y el ambiente, entre los cuales cabe mencionar: sustancias químicas, bacterias, fármacos vencidos, jeringas y agujas usadas, etc. (Sánchez, 1998).

#### **8.5.1.2. Residuos hospitalarios**

Definidos como aquellos generados en instituciones de salud que revisten peligrosidad para la salud de las personas y el ambiente.

#### **8.5.1.3. Residuos peligrosos**

Aquí se incluyen aquellos desechos que poseen alguna de las características de peligrosidad establecidas en la normativa vigente al respecto. Son de origen industrial y su gestión aun cuando es responsabilidad del generador, no se puede ignorar el ámbito municipal en donde se producen.

### **8.5.2. Residuos sólidos municipales (RSM)**

#### **8.5.2.1. Generación**

En Venezuela, la generación de residuos sólidos municipales tal y como está definido en el informe "Diagnóstico preliminar sobre la situación actual del sector residuos sólidos en Venezuela" realizado por Sánchez, (1998) varía entre 0,3 a 1,2 kg/hab/día. De la información recopilada en dicho informe se desprende que en los municipios con poblaciones mayores a 500.000 habitantes (Área Metropolitana de Caracas), la tasa de generación alcanza hasta 1,2 kg/hab/día.

#### **8.5.2.2. Composición y características**

Son relativamente pocos los estudios realizados en el país, dirigidos a conocer la composición y características de los residuos sólidos municipales.

En la Tabla 8.1 se agrupan los resultados reportados en el informe “Diagnóstico preliminar sobre la situación actual del sector residuos sólidos en Venezuela” realizado por Sánchez, (1998) sobre la composición de residuos sólidos municipales en el Área Metropolitana de Caracas.

**Tabla 8.1.  
Composición de los residuos sólidos municipales en el Área Metropolitana de Caracas**

Componente (%)									
Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales		Textil	Cauchos y cueros	Restos de Alimentos	Restos de Jardín	Otros
			<i>Fe</i>	No <i>Fe</i>					
22,3	11,7	4,5	2,0	2,9	4,1	-	37,0	4,3	11,2

En cuanto a otras características como el contenido de humedad y densidad de los residuos sólidos municipales, sólo se puede indicar que el contenido de humedad de los residuos, tal y como son generados, varía entre 25 y 40 % relativamente mayor a los valores normalmente reportados en la bibliografía especializada. En cuanto a las mediciones en campo de la densidad real de los residuos sólidos municipales, tal y como son generados, los valores reportados varían entre 150 y 250 Kg/m<sup>3</sup> (Sánchez, 1998).



## **9. Determinación de los parámetros de resistencia al corte**

### **9.1. INTRODUCCIÓN**

La determinación de los parámetros de resistencia al corte podemos realizarla de las siguientes maneras:

- Ensayos de corte en laboratorio
- Ensayos de corte in situ
- Probación de la falla del talud con una sobre carga
- Analizar una falla ocurrida.

A continuación se mostrará el análisis realizado en los dos últimos casos señalados anteriormente. En el caso de la provocación de la falla del talud con una sobre carga, esta fue analizad por Contreras (2002) y se presenta con fines didácticos y comparativos.

En análisis que se realizará en el presente trabajo es analizar una falla ocurrida.

### **9.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE**

Contreras (2002), realiza un procedimiento experimental para la determinación de los parámetros de resistencia al corte en los desechos sólidos del relleno sanitario de La Bonanza. De acuerdo procedimiento descrito a continuación.

#### **9.2.1. Construcción del talud de basura**

El mismo consistió en la construcción del talud a escala real, el cual fue realizado con desechos sólidos que llegaron al relleno sanitario entre los meses de septiembre y octubre de 2001.

---

El talud ensayado perteneció al nivel de la cota 570 de la celda N° 2 (Figura 9.1). Para la construcción se procedió la manera siguiente, se esparcieron los desechos sólidos con un tractor Caterpillar modelo D6R y posteriormente se compactaron los desechos en capas de 30 cm con un compactador de rellenos sanitarios de la Caterpillar modelo 826G, donde el número de pases fue de cuatro (4), esta operación se realizó hasta llegar a una altura de 5 m aproximadamente. El talud de la celda 2 ya tenía una sobre carga de 1 m de espesor aproximadamente.

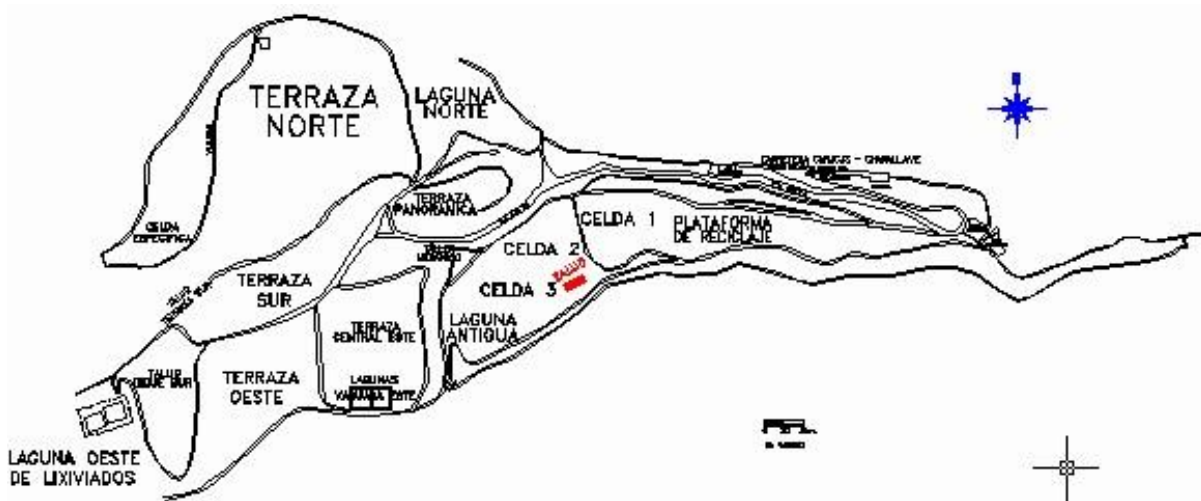


Figura 9.1. Ubicación del talud ensayado

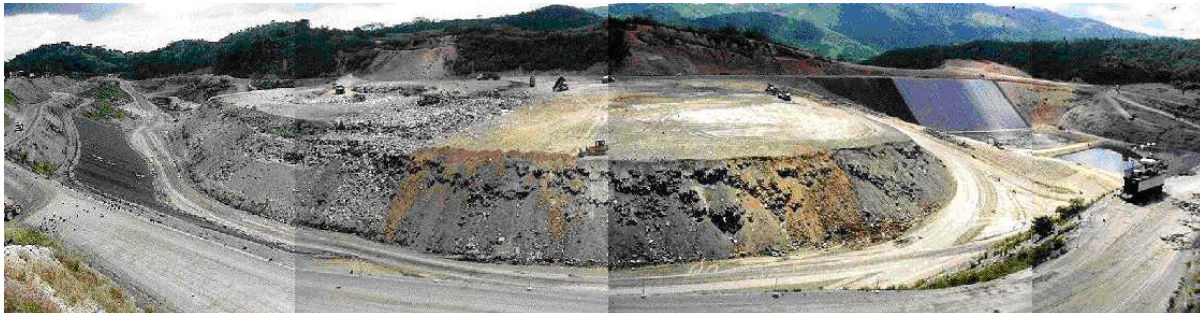


Foto 9.1. Vista de las Celdas 1, 2 y 3 del Relleno Sanitario La Bonanza

A continuación se realizó el levantamiento digital, en la Figura 9.2 se puede observar la topografía original del talud de basura y dos cortes transversales separados una distancia de 10 m. En ambos cortes se observa que el ángulo de inclinación es de  $49^\circ$ .

Para el perfilado del talud de basura se dejaron unos espaldones de soporte para prevenir el deslizamiento del talud durante la colocación y posterior compactación de la sobrecarga adicional.

Para aumentar la inclinación del talud a ensayar se procedió a perfilar con una retroexcavadora de la Caterpillar modelo 225B como se puede observar en la Foto 9.2, y finalmente obtener el talud perfilado con una sobrecarga de 1 m de espesor aproximadamente (ver Foto 9.3).



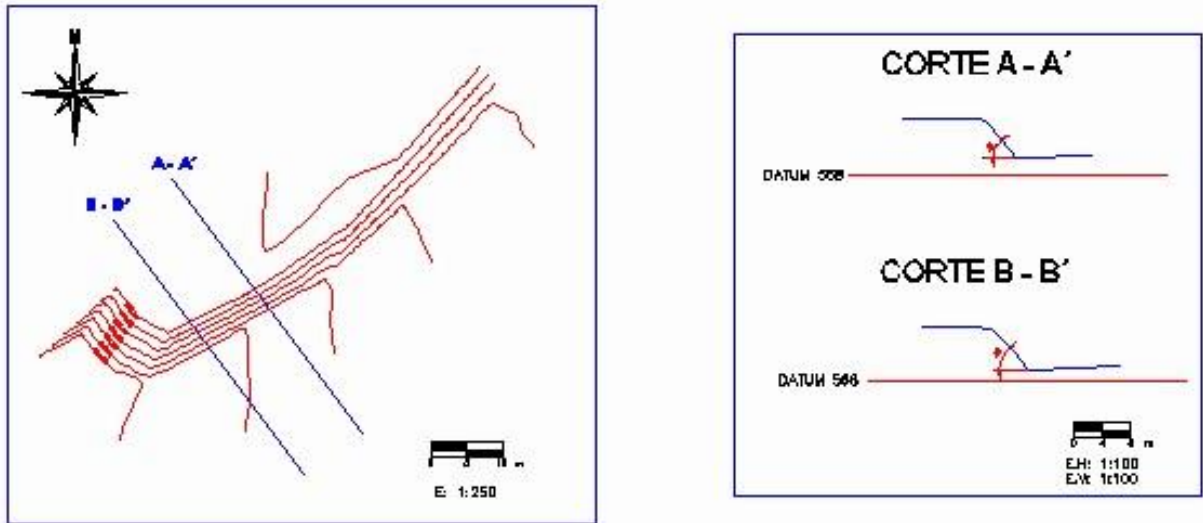


Figura 9.2. Levantamiento topográfico original del talud de basura ensayado



Foto 9.2. Perfilado del Talud de Basura con Sobrecarga Inicial

Foto 9.3. Talud de Basura Perfilado con Sobrecarga Inicial

Para obtener la configuración geométrica del talud de basura, es decir, altura y ángulo de inclinación se procedió a hacer el levantamiento topográfico, esto se hizo levantando tanto el pie como la cresta y la parte posterior del talud de basura, con dicho levantamiento se obtuvo la superficie topográfica mostrada en la Figura 9.3, a la cual se le realizaron tres secciones transversales cada 5 m; como se puede observar el ángulo de inclinación aumentó  $26^\circ$ , lo cual hace que la altura de la sobrecarga adicional para inducir la falla disminuya considerablemente.

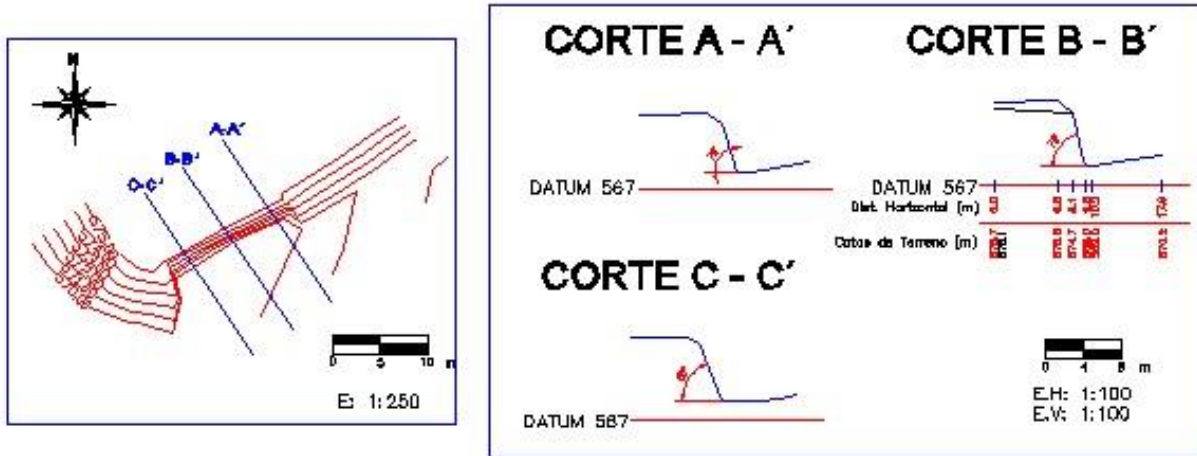


Figura 9.3. Topografía Modificada del Talud de Basura con Sobrecarga Inicial (CASO I)

### 9.2.2. Modelo del talud de basura ensayado

Una vez obtenida la geometría del talud de basura perfilado, se procedió a determinar la sobrecarga adicional para la cual el factor de seguridad sea menor que uno ( $< 1.00$ ). Esto se hace incrementando la sobrecarga que se asumió uniformemente distribuida y vertical sobre el talud.

En el corte  $B - B'$  de la Figura 9.2 se observa que hay una sobrecarga de tierra (préstamo) de 1 m de espesor aproximadamente, las propiedades tanto físicas como mecánicas del mismo fueron reportadas en los informes 944 "Estudio Geotécnico para la Verificación de Suelos en El Relleno Sanitario La Bonanza", y el 946 "Verificación de Suelos y Ensayos de Permeabilidad in situ y Laboratorio", realizados por D'Escrivan, (2000). Estos valores son:

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$c = 10 \text{ KPa}$$

$$\phi = 25^\circ$$

El peso unitario de la basura fue suministrado por el personal técnico del Relleno Sanitario La Bonanza, es importante destacar que dicho peso unitario es el obtenido una vez compactada la basura ( $\gamma = 11 \text{ KN/m}^3$ ).

Tabla 9.1.  
Parámetros Geotécnicos de Residuos Sólidos (Basura)

Autor	c (KPa)	$\phi$ (°)	Ensayo	Observaciones
Gay et al., 1981	7 28	42 26,5	Compresión simple	9 meses Basura fresca
Del Greco y Oggen, 1994	15,7 24	21 22	Corte directo	Baja densidad Alta densidad
Landva y Clark,	16 – 19	38 – 42	Corte directo	Basura vieja

1986	16 23	33 24		+ de 1 año Basura fresca
Landva y Clark, 1990	19 – 22	24 – 39	Corte directo	$\sigma = 480 \text{ KPa}$
Golder Associates, 1993	0	41	Corte directo	-
Richardson y Reynolds, 1991	10	18 – 43	In-situ, Corte directo	$14 \text{ KPa} < \sigma < 38 \text{ KPa}$
Cowland et al., 1993	10	25	Back-analysis	Trinchera profunda
Kavazanjian et al., 1995	-	25 - 34	Back-analysis	$45 \text{ KPa} < \sigma < 180 \text{ KPa}$

Fuente: Comité Técnico TC 5 “Geotecnia Ambiental” de la ISSMGE “Stability of Municipal Solid Waste” por (Knochenmus et al., 1998).

En cuanto a los parámetros geotécnicos de la basura para el ensayo a escala real se tomarán los reportados en la Tabla 9.1 por Del Greco y Oggen, (1994) obtenidos de ensayos de corte directo en basura de alta densidad.

$$c = 24 \text{ KPa}$$

$$\phi = 22^\circ$$

En la Figura 9.4 se observa que el factor de seguridad es mayor que uno (1), por lo cual hay que aplicarle una sobrecarga adicional para inducir la falla hasta que el factor de seguridad sea menor que uno (1) como se observa en la Figura 9.5.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

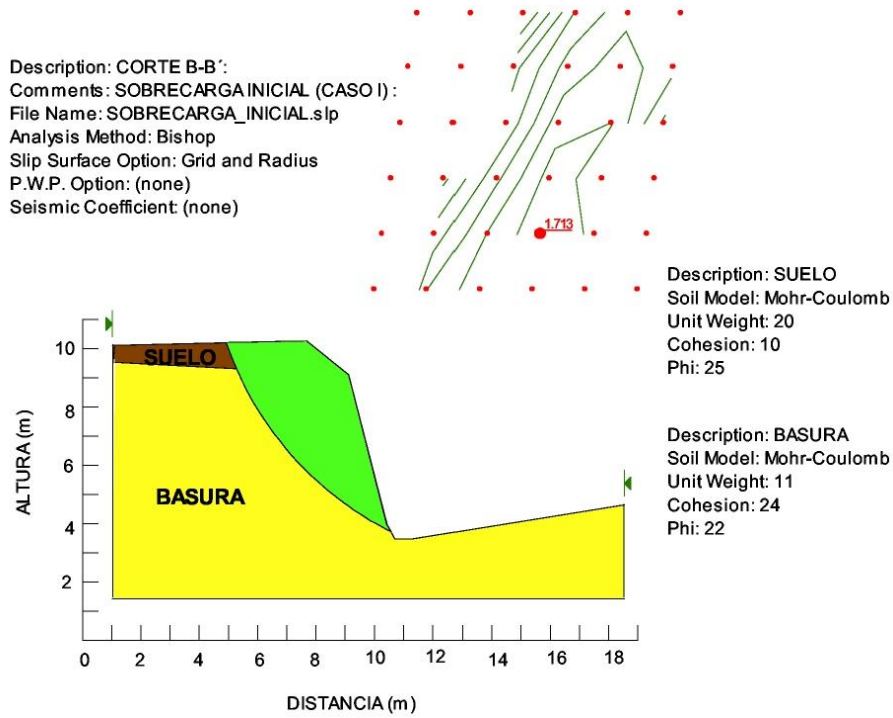


Figura 9.4. Factor de seguridad del talud de basura con sobrecarga inicial (CASO I)

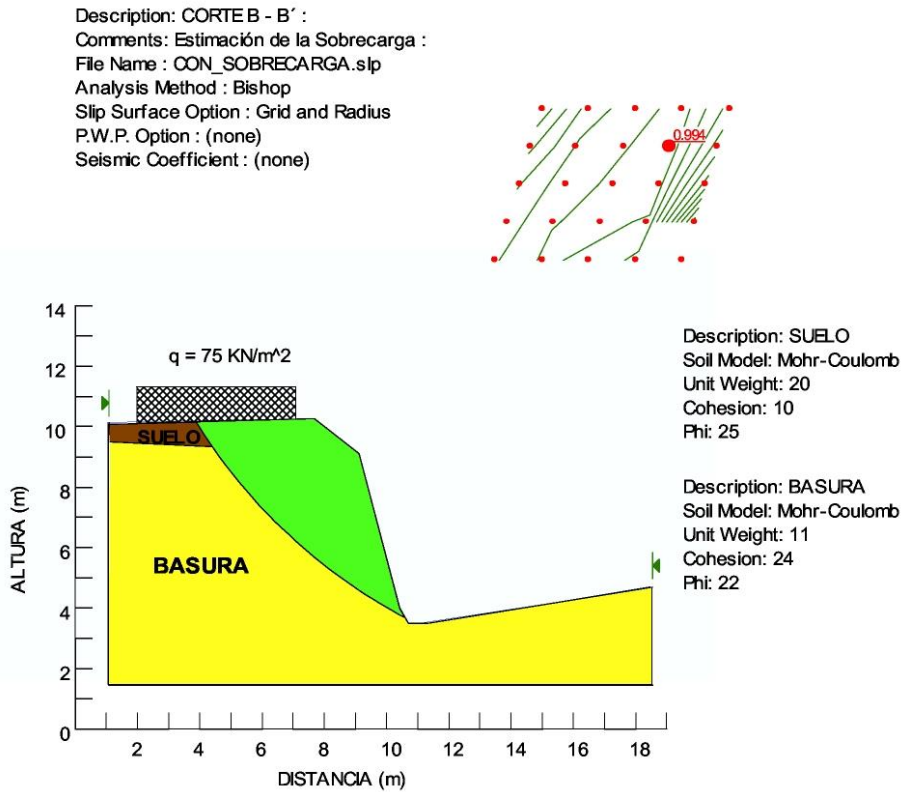


Figura 9.5. Factor de seguridad del talud de basura con la sobrecarga adicional estimada

Para la estimación de la altura de la sobrecarga adicional se utilizó la relación siguiente:

$$H = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{75 \text{ KN/m}^2}{20 \text{ KN/m}^3} = 3,8\text{m}$$

### 9.2.3. Colocación de la sobrecarga

La tierra utilizada como sobrecarga adicional proviene del mismo lugar del material de la sobrecarga inicial, este fue acarreado por camiones de la Fiat modelo ASTRA cuya capacidad es de 14 m<sup>3</sup>, una vez que llegaban los camiones descargaban el material sobre el talud de basura (ver Foto 9.4), seguidamente se esparcía con un tractor de la Caterpillar modelo D6R, como se observa en la Foto 9.5.



Foto 9.4. Descarga del Material de Préstamo



Foto 9.5. Esparcimiento del Material de Préstamo

Una vez extendida la capa de tierra se hacía el control del espesor que debe ser de 30 cm aproximadamente (ver Foto 9.6) y seguidamente se procedió a hacer la compactación con un rodillo liso vibratorio de la Ingresillo-Rand modelo SP-60/106-001, el número de pasadas fue de seis (6) (ver Foto 9.7).



Foto 9.6. Control del espesor de la capa de tierra



Foto 9.7. Compactación de la sobrecarga adicional

El procedimiento de colocación de capas de tierra y posterior compactación se realizó hasta que la altura de la sobrecarga adicional fuera mayor de 3,8 m.

El perfilado del talud basura se volvió a realizar para aumentar la inclinación del material de sobrecarga, así como también eliminar, los espaldones que hacían la función de confinamiento del talud de basura (ver Fotos 9.8 y 9.9).



Foto 9.8. Perfilado del talud de basura con sobrecarga adicional



Foto 9.9. Talud de basura con sobrecarga adicional

El levantamiento del talud de basura con sobrecarga adicional se realizó con el teodolito digital, tanto del pie como de la cresta del talud de basura y el tope de la sobrecarga (ver Figura 9.6), para el *corte B-B'* el factor de seguridad es mayor que uno (1) como se observa en la Figura 9.7, por lo cual se fue incrementando la sobrecarga adicional y haciendo el levantamiento diariamente hasta obtener la geometría de la sobrecarga final para la cual el factor de seguridad fuera menor que uno (1) (ver Figuras 10.8 y 10.9).

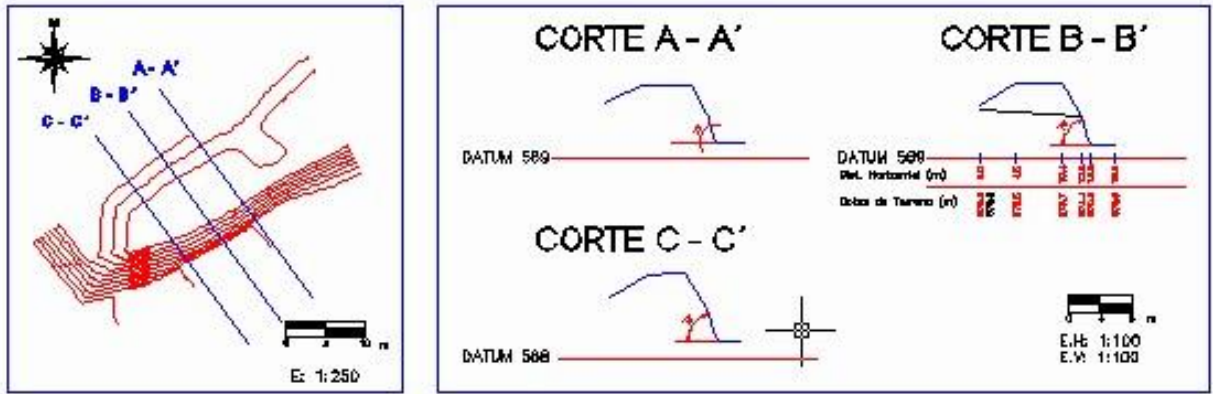


Figura 9.6. Topografía del talud de basura con sobrecarga adicional (CASO II)

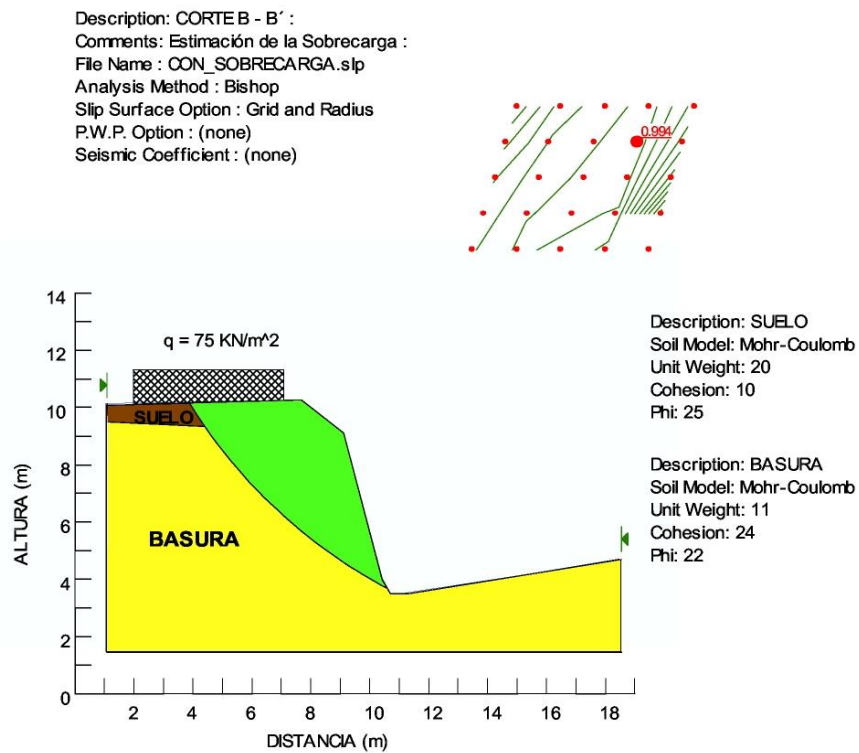


Figura 9.7. Factor de seguridad del talud de basura con sobrecarga adicional (CASO II)





9.2.4. Resultados experimentales

9.2.4.1. Determinación de los parámetros geotécnicos

La determinación de los parámetros geotécnicos, mediante el "back-analysis", para cada uno de los casos analizados en el Capítulo VI se realizó de igual forma para cada uno.

Para cada uno de los CASOS I, II y III como se muestran en las Figuras 10.4, 10.7 y 10.9, respectivamente, que conforman la geometría del talud para cada estado de sollicitación de sobrecarga, se halla el Factor de Seguridad ( $F$ ) para distintos valores de cohesión " $c$ " y de ángulo de fricción interno " $\phi$ " (ver Tablas 10.2 y 10.3). A continuación se procede a graficar el Factor de Seguridad en función de la cohesión para cada ángulo de fricción interno (ver Figuras 10.10, 10.11 y 10.12). De cada gráfica, para cada curva de ángulo de fricción interno, se obtiene la cohesión en el equilibrio límite ( $F = 1$ ), los cuales son reportados en la Tabla 9.4. El esfuerzo normal máximo a la superficie de falla ( $\sigma^*$ ), reportado en dicha tabla, es el obtenido para el par " $c$ " y " $\phi$ " en el equilibrio límite, el cual será posteriormente comparado con el esfuerzo normal promedio ( $\sigma^{**}$ ) obtenido por el método gráfico de Howland y Landva, (1992).

Para cada caso se halló la resistencia al corte y el esfuerzo normal promedio aplicando la metodología propuesta por Howland y Landva, (1992), la cual consiste en graficar las envolventes de resistencia al corte contra el esfuerzo normal, con los parámetros geotécnicos encontrados en el equilibrio límite (ver Figuras 10.13, 10.14 y 10.15). De cada gráfica se obtiene el esfuerzo normal promedio para cada resistencia al corte, los cuales son reportados en la Tabla 9.4.

**Tabla 9.2.**  
**Factor de Seguridad en Función de los Parámetros Geotécnicos (CASOS I, II y III)**

	$c = 0$ KPa			$C = 5$ KPa			$C = 10$ KPa			$C = 15$ KPa			$C = 20$ KPa		
	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)
$\phi = 0^\circ$	0,124	0,101	0,100	0,263	0,175	0,149	0,524	0,326	0,276	0,784	0,468	0,395	1,040	0,602	0,509
$\phi = 5^\circ$	0,104	0,156	0,153	0,374	0,306	0,278	0,637	0,446	0,395	0,894	0,580	0,506	1,150	0,711	0,614
$\phi = 10^\circ$	0,162	0,265	0,256	0,468	0,424	0,390	0,738	0,558	0,503	1,000	0,687	0,609	1,255	0,814	0,714
$\phi = 15^\circ$	0,238	0,347	0,321	0,554	0,512	0,474	0,836	0,655	0,587	1,099	0,783	0,697	1,362	0,903	0,797
$\phi = 20^\circ$	0,315	0,419	0,391	0,643	0,595	0,550	0,928	0,734	0,663	1,201	0,861	0,770	1,462	0,982	0,866
$\phi = 25^\circ$	0,396	0,491	0,458	0,733	0,666	0,610	1,020	0,809	0,725	1,304	0,936	0,834	1,569	1,054	0,930
$\phi = 30^\circ$	0,482	0,563	0,522	0,817	0,731	0,667	1,119	0,870	0,779	1,402	1,006	0,889	1,684	1,126	0,984
$\phi = 35^\circ$	0,576	0,637	0,586	0,910	0,798	0,725	1,229	0,932	0,834	1,510	1,067	0,937	1,791	1,188	1,027
$\phi = 40^\circ$	0,677	0,720	0,660	1,015	0,869	0,781	1,353	0,998	0,888	1,632	1,127	0,974	1,912	1,246	1,035

**Tabla 9.3.**  
**Factor de Seguridad en Función de los Parámetros Geotécnicos (CASOS I, II y III)**

	$c = 25$ KPa			$c = 30$ KPa			$c = 35$ KPa			$c = 40$ KPa		
	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)	F (I)	F (II)	F (III)
$\phi = 0^\circ$	1,29 4	0,73 0	0,61 6	1,54 7	0,85 5	0,71 9	1,79 9	0,97 6	0,81 9	2,05 1	1,09 6	0,91 7

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

$\phi = 5^\circ$	1,40 5	0,83 8	0,72 0	1,65 9	0,96 0	0,82 1	1,91 1	1,08 0	0,92 0	2,16 3	1,19 4	1,01 1
$\phi = 10^\circ$	1,50 9	0,93 8	0,81 7	1,76 2	1,05 4	0,90 9	2,01 6	1,16 7	1,00 1	2,26 9	1,27 9	1,09 1
$\phi = 15^\circ$	1,61 6	1,02 0	0,89 1	1,86 9	1,13 6	0,98 3	2,12 2	1,25 0	1,07 5	2,37 4	1,36 2	1,16 5
$\phi = 20^\circ$	1,72 4	1,09 6	0,95 9	1,98 1	1,20 9	1,04 9	2,23 3	1,32 2	1,13 8	2,48 5	1,43 4	1,17 3
$\phi = 25^\circ$	1,83 0	1,17 0	1,02 1	2,09 1	1,28 2	1,11 1	2,35 1	1,39 3	1,14 6	2,60 4	1,50 3	1,16 5
$\phi = 30^\circ$	1,94 5	1,23 9	1,07 5	2,20 5	1,35 2	1,10 9	2,46 5	1,46 3	1,13 9	2,72 5	1,53 3	1,15 7
$\phi = 35^\circ$	2,07 2	1,30 3	1,07 2	2,33 1	1,40 7	1,10 3	2,59 1	1,47 0	1,13 3	2,85 0	1,52 1	1,15 0
$\phi = 40^\circ$	2,19 2	1,33 7	1,06 7	2,47 3	1,41 2	1,09 7	2,73 3	1,46 0	1,12 6	2,99 2	1,50 8	1,14 2

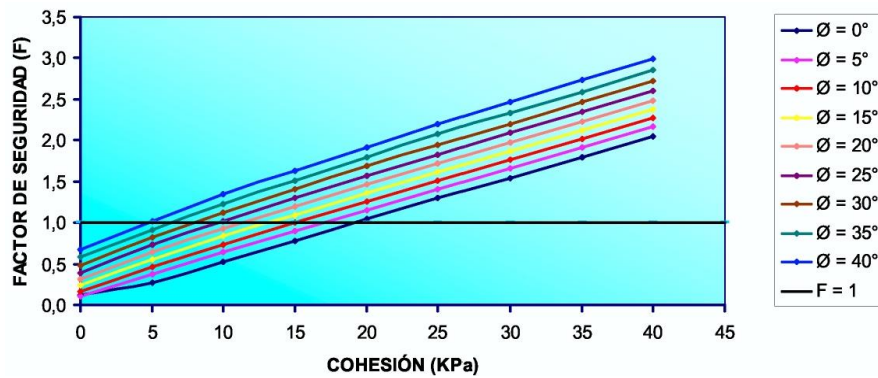


Figura 9.10. Factor de seguridad en función de la cohesión (CASO I)

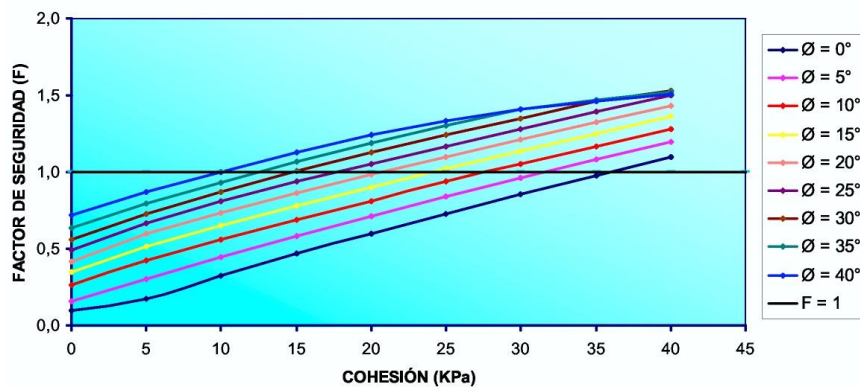


Figura 9.11. Factor de seguridad en función de la cohesión (CASO II)

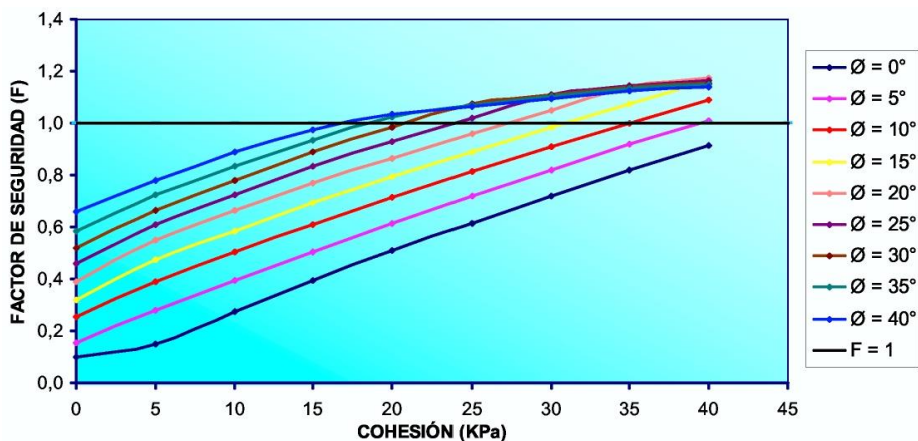


Figura 9.12. Factor de seguridad en función de la cohesión (CASO III)

Tabla 9.4.  
Parámetros Geotécnicos en el Equilibrio Límite (CASOS I, II y III)

F = 1							
Envolve nte	$\phi$ (°)	CASO I		CASO II		CASO III	
		c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)*	c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)*	c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)
1	0	19,19	52	33,43	82	43,46	100
2	5	16,99	46	30,43	77	38,61	85
3	10	14,90	45	26,95	65	34,66	78
4	15	13,10	37	24,58	58	30,79	68
5	20	11,27	28	21,04	55	29,51	66
6	25	9,55	27	17,74	48	23,41	56
7	30	7,98	26	14,56	41	20,62	55
8	35	6,42	18	12,45	38	18,98	53
9	40	4,70	17	9,98	37	16,58	44

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

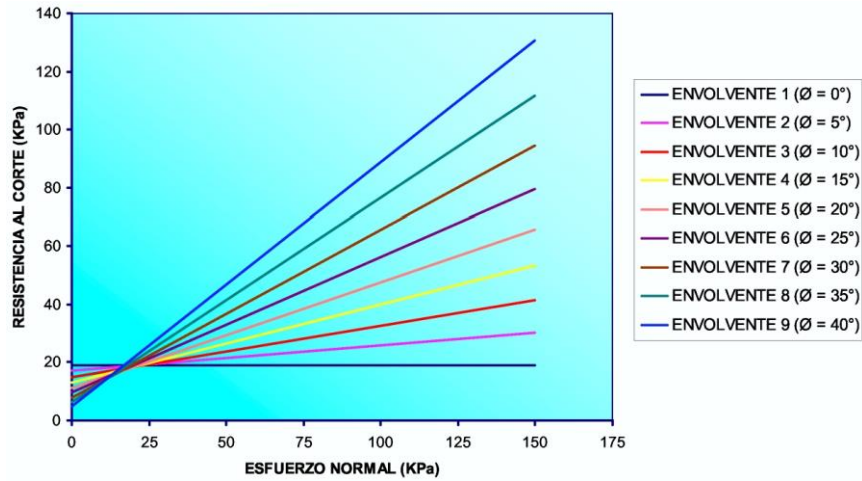


Figura 9.13. Resistencia al corte en función del esfuerzo normal (CASO I)

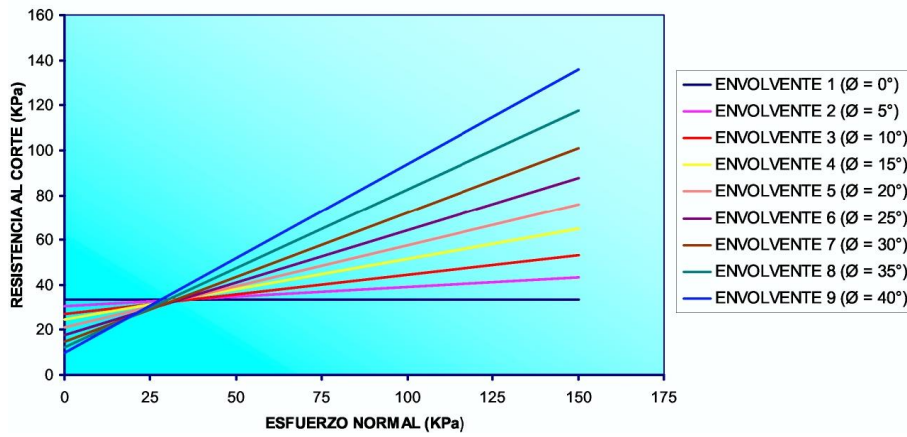


Figura 9.14. Resistencia al corte en función del esfuerzo normal (CASO II)

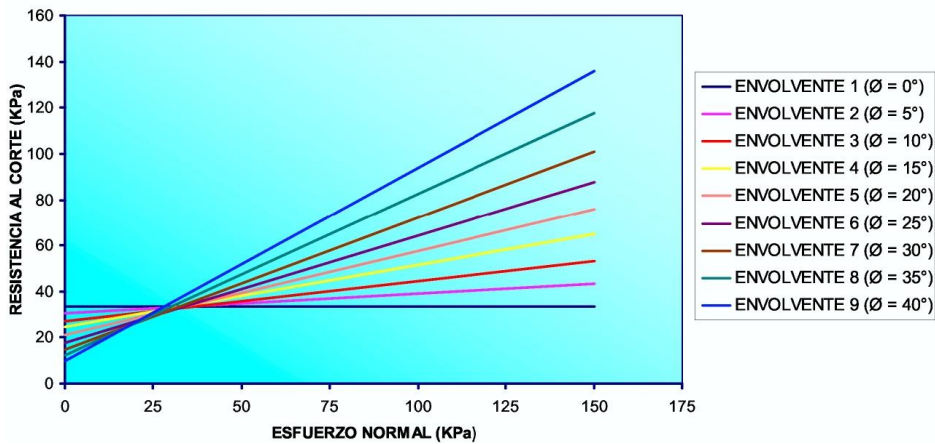


Figura 9.15. Resistencia al corte en función del esfuerzo normal (CASO III)

**Tabla 9.5.**  
**Esfuerzo Normal promedio para cada envolvente de falla (CASOS I, II y III)**

F = 1							
Envolvente	$\phi$ (°)	CASO I		CASO II		CASO III	
		c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)**	c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)**	c (KPa)	$\sigma_n$ (KPa)**
1	0	19,19		33,43		43,46	
2	5	16,99	25,14	30,43	34,29	38,61	55,43
3	10	14,90	24,33	26,95	36,76	34,66	49,91
4	15	13,10	22,73	24,58	33,03	30,79	47,29
5	20	11,27	21,76	21,04	34,04	29,51	38,32
6	25	9,55	20,67	17,74	33,65	23,41	43,00
7	30	7,98	19,41	14,56	32,68	20,62	39,56
8	35	6,42	18,24	12,45	29,96	18,98	34,96
9	40	4,70	17,27	9,98	27,95	16,58	32,03

En la Tabla 9.6 son reportados el par de resistencia al corte y esfuerzo normal máximo para los tres (3) casos

**Tabla 9.6.**  
**Resistencia al Corte y Esfuerzo Normal (CASOS I, II y III)**

CASO	$\sigma_n$ (KPa)**	$\tau_n$ (KPa)**
I	25,14	19,19
II	36,76	33,43
III	55,43	43,46

Los parámetros geotécnicos obtenidos del “back-analysis” para los CASOS I, II y III son graficados en la Figura 9.16, en la misma se puede observar lo difícil de obtener una envolvente definitiva para el talud en estudio.

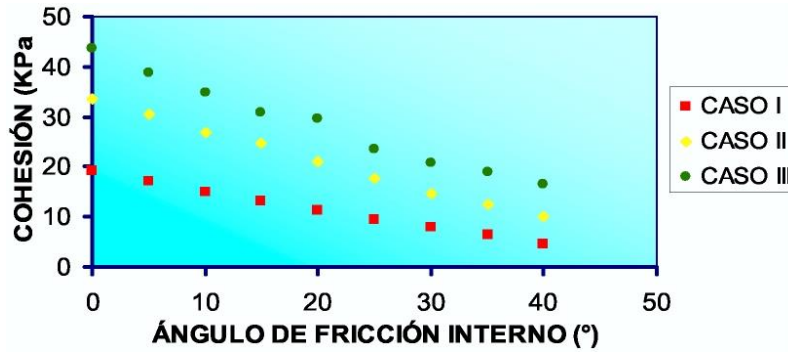


Figura 9.16. Parámetros Geotécnicos en el Equilibrio Límite (Back-Analysis)

Los puntos de la Tabla 9.5 son llevados a una gráfica de resistencia al corte contra esfuerzo normal para así obtener una envolvente de Coulomb para el talud de basura ensayado, y así obtener el par “ $c$ ” y “ $\phi$ ” más probable para el diseño del talud de basura final (ver Figura 9.17).

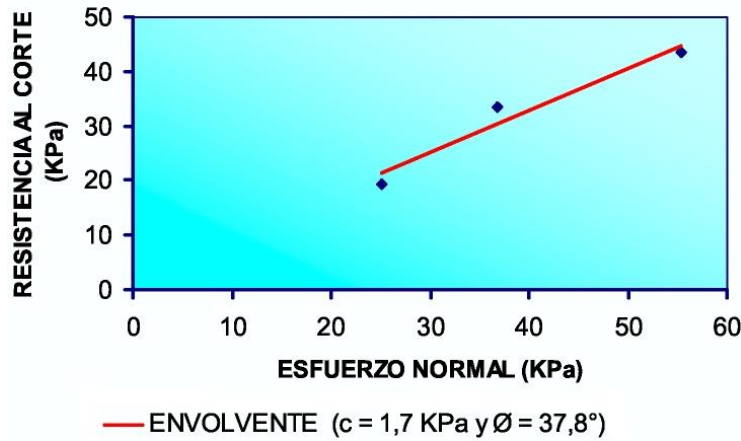


Figura 9.17. Envolvente de falla obtenida (Casos I, II, III)

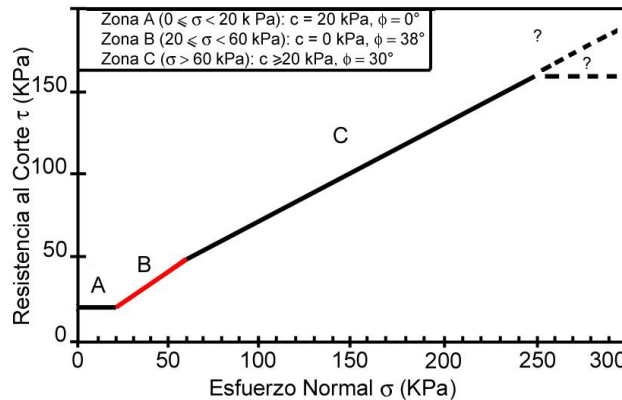


Figura 9.18. Parámetros Geotécnicos Recomendados para el Diseño de Taludes de Basura (Van Impe y Bouazza, 1996)

La envolvente obtenida para el talud ensayado mediante el método gráfico propuesto por Howland y Landva, (1992) para un nivel de esfuerzo normal entre 25 y 55 KPa (ver Figura 9.17), tiene un comportamiento similar a la “Zona B” de la envolvente propuesta por Van Impe y Bouazza, (1996), para dicha zona los autores recomiendan los siguientes parámetros geotécnicos ( $c = 0$  KPa y  $\phi = 38^\circ$ ), que son casi iguales a los obtenidos.

El Relleno Sanitario La Bonanza, según la zonificación sísmica de Venezuela, pertenece a la “Zona 5”, donde la aceleración horizontal máxima es de 0,30g, por lo cual en el análisis sísmico la aceleración se incrementará desde 0,10g hasta 0,30g para hallar la aceleración horizontal crítica.

### **9.2.5. Conclusiones**

Durante la experiencia realizada por Contreras (2002), el talud ensayado a escala real no falló con la sobrecarga impuesta, con los parámetros geotécnicos asumidos de ( $c = 24$  kPa y  $\phi = 22^\circ$ ), debido a las siguientes razones:

1. El plástico constituye el 11.70% de los desechos, lo cual representa un valor alto de acuerdo a la literatura especializada lo cual genera un efecto reforzador (Figura 9.10). En la figura (9.11) se observa la matriz reforzadora que tiene un efecto cohesivo que disminuye a medida que el plástico falla por fluencia y, por ende, aumenta la matriz básica que tiene un efecto friccionante. Por otro lado, la humedad hace que disminuya la cohesión y, a medida que aumenta la biodegradación de la materia orgánica, la matriz básica aumenta, ocasionando un aumento del ángulo de fricción interna.
2. La dirección del talud ensayado es perpendicular a la dirección de avance de la celda y a la dirección de compactación (Foto 9.12).
3. La configuración de los elementos de compactación favorece la orientación de los materiales (Foto 9.13) creando estratos en el sentido de avance de la celda creando posibles superficies de falla en las interfaces de suelo que recubren la celda diaria
4. Se crea una zona de mayor resistencia en el sentido perpendicular a la dirección del avance y de compactación. En la Foto 9.10 podemos observar como las fibras se orientan de manera perpendicular al talud de corte que se estaba ensayando en aquel momento.
5. La acción reforzadora en la dirección perpendicular a la dirección de avance de la celda, hace que el talud tenga un comportamiento similar al de un muro de tierra reforzada, en la que los elementos de sujeción son los geosintéticos en la dirección de la cara del talud, en nuestro caso la acción reforzada lo constituye la gran cantidad de plástico depositado en el relleno (Figura 9.19). El principio de la Tierra Armada, consiste en el aprovechamiento del rozamiento. La idea de intercalar unos elementos lineales, las armaduras, dentro de un volumen de tierra, permite construir macizos de Tierra Armada que presentan mayor cohesión que los mismos macizos de tierra que no han sido armados. La acción reforzadora de las fibras se extiende prácticamente a todo lo largo de la cara de avance del talud, reforzando la dirección perpendicular al avance.
6. En el análisis realizado al talud de basura con los parámetros geotécnicos asumidos en el ensayo a escala real ( $c = 24$  kPa y  $\phi = 22^\circ$ ) el factor de seguridad fue de 1,264, el cual es

- aceptable, pues, para taludes temporales el factor de seguridad recomendado oscila entre 1,1 y 1,2.
7. En el análisis sísmico se puede observar que a medida que aumenta el coeficiente sísmico horizontal disminuye el factor de seguridad, así como la superficie de falla se hace más profunda. Se encontró que el coeficiente sísmico horizontal crítico es 0,16, siendo este un valor aceptable ya que los taludes son de carácter temporal.
  8. No se consideró la presencia de lixiviados y la acción del empuje de gas, los cuales son los principales factores de las causas de inestabilidad en taludes de desechos, tal como se ha visto en el capítulo de casos históricos de deslizamientos en rellenos sanitarios.
  9. La determinación del ángulo de inclinación máximo ( $\alpha = 45^\circ$ ) para una altura de 25 m se realizó con los parámetros obtenidos del "back-analysis" ( $c = 1,7$  kPa y  $\phi = 37,8^\circ$ ), ya que los mismos son valores conservadores, la cohesión es baja y el ángulo de fricción es alto, lo cual ocurre en la basura a medida que transcurre el tiempo.
  10. El esfuerzo normal máximo ( $\sigma_n = 100$  kPa) a la superficie de falla obtenido con los parámetros geotécnicos asumidos en el ensayo a escala real ( $c = 24$  kPa y  $\phi = 22^\circ$ ) es igual al obtenido en el CASO III ( $\sigma_n^*$ ) en el equilibrio límite; esto indica que la sobrecarga aplicada produce el mismo esfuerzo normal que para un talud de  $45^\circ$  de inclinación y 25 m de altura, sin sobrecarga.



Foto 9.10. Cara del talud ensayado, puede verse que los desechos están orientados de manera perpendicular a la cara.





Foto 9.11. Efecto reforzador del plástico en el talud



Foto 9.12. Dirección de disposición de avance de la celda con la dirección de compactación, también puede apreciarse que el talud ensayado es perpendicular a estas direcciones



Foto 9.13. Detalle de los elementos compactadores de los desechos sólidos, su configuración permite la orientación preferencial.

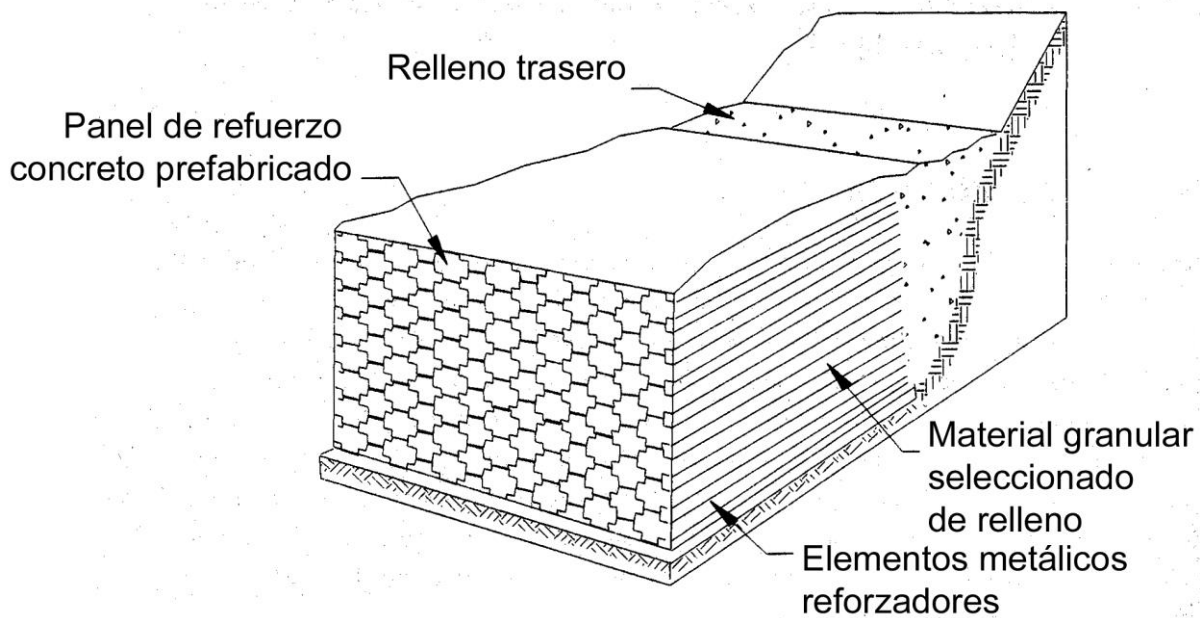


Figura 9.19. Esquema de un talud en tierra armada o suelo reforzado

### 9.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN UN TALUD FALLADO

#### 9.3.1. Inestabilidad del talud existente entre las celdas 3 y 4

La masa de desechos que conforma el talud existente entre las Celdas 3 y 4, presentó una inestabilidad, y esto se manifestó con grietas transversales, cambios de cota y desplazamiento de los materiales.

Este aparte tiene por objeto presentar dicha situación, analizar las posibles causas, sus consecuencias, el manejo de la situación, así como las conclusiones, que sobre este hecho, se desprenden.

##### 9.3.1.1. Antecedentes

A finales del mes de abril de 2002, comenzó a manifestarse una grieta transversal en la parte superior de las celdas 3 y 4, la cual se encuentra aproximadamente 60 metros del borde del talud, y que se extendía de un extremo a otro de la superficie (en sentido norte - sur). Inicialmente se presumía que dicha grieta podía ser consecuencia de la unión entre dos "explotaciones" separadas en el tiempo (ver Figura 9.20) y del asentamiento diferencial entre ambas masas de desechos. La grieta en cuestión, fue sellada en diversas oportunidades, pero se volvía a manifestar, dando indicios de que no se trataba de una grieta superficial sino de una grieta profunda.

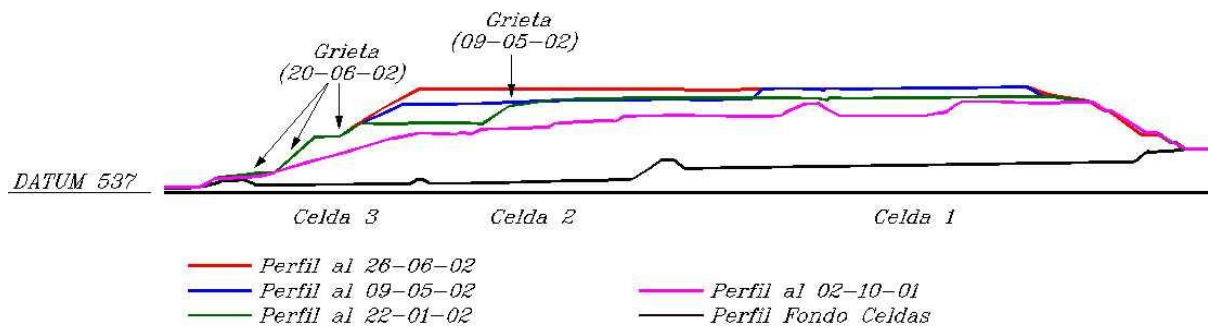


Figura 9.20. Histórico de las explotaciones y ubicación de las grietas.

Posteriormente, en la primera quincena del mes de junio del mismo año, se manifestó un conjunto de grietas (longitudinales y transversales), esta vez en la vía que enlaza la berma sur con la parte inferior de la Celda 4, así como en la superficie del talud y en la base del mismo (ver fotos 9.14 y 9.15). Estas grietas ya eran una muestra inequívoca del desplazamiento de la masa de desechos. En el mes de julio aparece el corrimiento en la base del talud lo que confina el movimiento del talud (Foto 9.16).



Foto 9.14. Grieta longitudinal (en la superficie de contacto entre los desechos y el talud sur) y transversal. Junio, 2002.



Foto 9.15. Grietas en la superficie del talud (junio 2002)



Foto 9.16. Corrimientos en la base del talud (julio, 2002)



Foto 9.17. Grieta transversal actualmente (de 5 a 6 metros de ancho), (agosto 2002)



Foto 9.18. Asentamiento del material desplazado (de 2 a 3 metros), (Agosto 2002).



Foto 9.19. Grieta superior, a todo lo ancho de las celdas.



Foto 9.20. Asentamiento general de la masa en movimiento (1 m).

Se monitoreo el desplazamiento de la masa de desechos (ver Figura 9.21), con miras a establecer en que momento se detenía o alcanzaba una velocidad tal que permitiera implementar medidas correctivas, con un cierto margen de seguridad.

**Tabla 9.7.**  
**Monitoreado de desplazamientos entre el 02-Julio y 23-Agosto de 2002**

Fecha	Medida	Desplazamiento Acumulado	Desplazamiento interdiario promedio
02-Julio-2002	12	0.00	0.00
03-Julio-2002	13.00	1.00	1.00
09-Julio-2002	14.80	2.80	0.30
16-Julio-2002	16.00	4.00	0.17
22-Julio-2002	16.60	4.60	0.10
30-Julio-2002	17.40	5.40	0.10
06-Agosto-2002	17.80	5.80	0.06
23-Agosto-2002	17.90	5.90	0.01

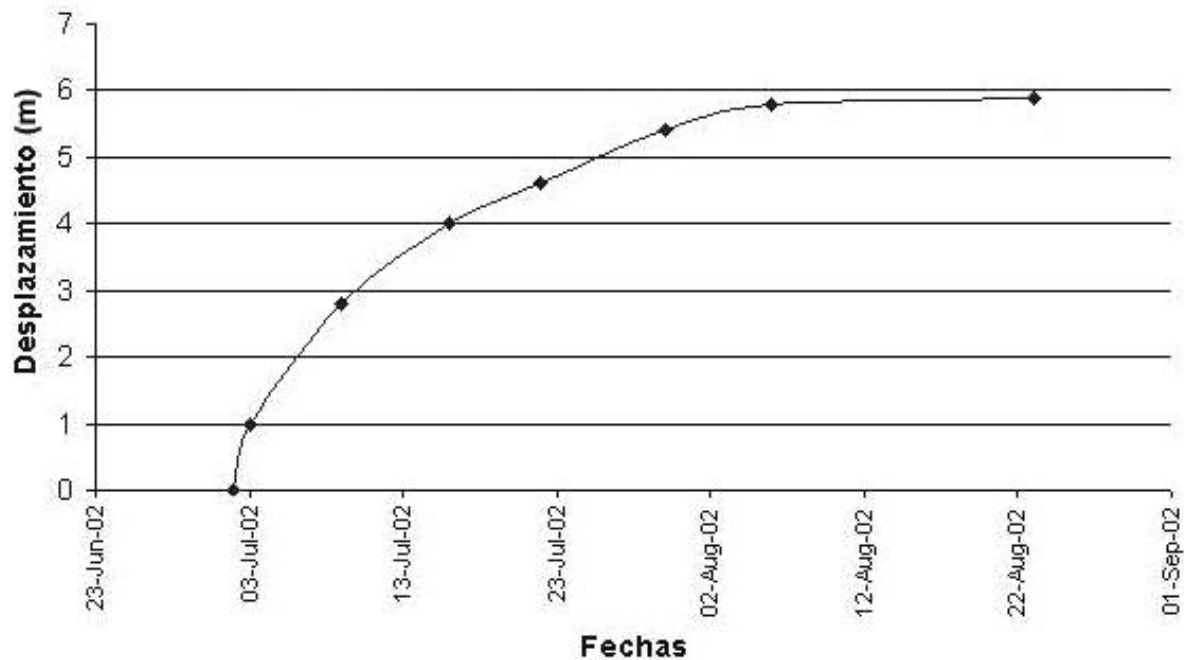


Figura 9.21. Desplazamiento de las masas de desechos en función del tiempo (al inicio se desplazaba 1 m/día, para septiembre se desplazaba tan solo 1 cm/día).

#### 9.3.1.2. Causas

Se desconoce a ciencia cierta cual puede ser la causa de la inestabilidad del talud, sin embargo entre estas podrían encontrarse las que se mencionan a continuación, o una sumatoria de las mismas.

- Explotación en planos inclinados:** Por razones imputables a la necesidad imperiosa de no explotar la Celda 4 (para ser utilizada como almacenamiento de lixiviados), se requirió continuar explotando la Celda 3 sobre el talud que originalmente se había dejado de explotar (el cual tenía una pendiente 3:1), incrementando considerablemente la pendiente del mismo (ver Figura 9.20). Por otra parte, el hecho de trabajar en talud y sin confinamiento, disminuye sustancialmente la posibilidad de compactar de manera adecuada.
- Sistema de drenaje de lixiviados insuficiente:** En ese momento los lixiviados que se estaban produciendo en las celdas no están siendo drenados de manera satisfactoria, ya que solo se están drenando los del fondo (y ya es conocida la colmatación de las tuberías que se dejaron para tal fin). Por otra parte, no se implementaron sistemas adicionales, tales como trincheras horizontales a distintos niveles (solo se implemento una de estas trincheras a nivel de la vialidad, ver fotos 9.14 y 9.15). La presencia excesiva de lixiviados dentro de la masa de desechos incrementa sustancialmente los empujes y va en detrimento de la estabilidad.
- Biogás:** Para el momento en que se manifestó la inestabilidad, no se estaba drenando el biogás que se estaba produciendo en las celdas, lo que generó empujes adicionales. No se



implemento ningún sistema adicional para drenar el biogás (tales como gaviones verticales), mientras se esperaba por la implementación del sistema de drenajes definitivo (pozos).

- d) **Geometría:** El talud que mostró las evidencias de deslizamientos posee la mayor altura libre del relleno (ver Figura 9.22), y una pendiente de 2:1, esto puede estar incidiendo de manera negativa en su estabilidad.

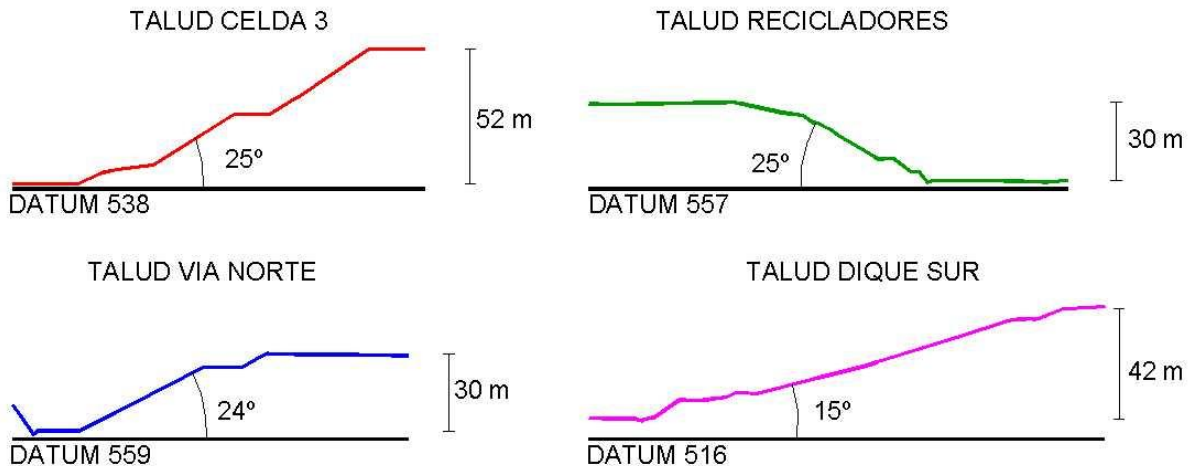


Figura 9.22. Alturas libres y ángulos de inclinación, de los distintos taludes en desechos en el relleno.

### 9.3.1.3. Manejo de la situación

La situación se manejó de la siguiente manera:

- a) En primera instancia, la explotación se concentro en el pasillo que interconectaba el área de reciclaje con la celda 4 (ver Foto 9.21).



Foto 9.21. Explotación del pasillo entre Recicladores y Celda 4

- b) Tan pronto como fue posible, se trasladó la explotación a la sub Celda 4 Norte. Con miras a generar una plataforma de descarga aceptable para poder explotar la sub celda 4 Sur, al tiempo que se trasegaban los lixiviados que se encontraban en dicha sub celda (ver Foto 9.22).



Foto 9.22 Inicio de la explotación en la sub Celda 4 Norte.

- c) Una vez que el ritmo del desplazamiento de la masa de desechos disminuyó, de manera sustancial, se procedió a reperfilado del talud desplazado y a sellar las grietas (ver Foto 9.23).



Foto 9.23. Perfilado del talud y sellado de las grietas.

- d) Una vez trasegados, buena parte de los lixiviados presentes en la sub Celda 4 Sur, se procedió a explotarla, con miras a que esta masa de desechos, contrarrestara los empujes de los desechos en movimiento (ver Foto 9.24).



Foto 9.24. Explotación de la sub Celda 4 Sur.

La siguiente secuencia de figuras resume los trabajos realizados:

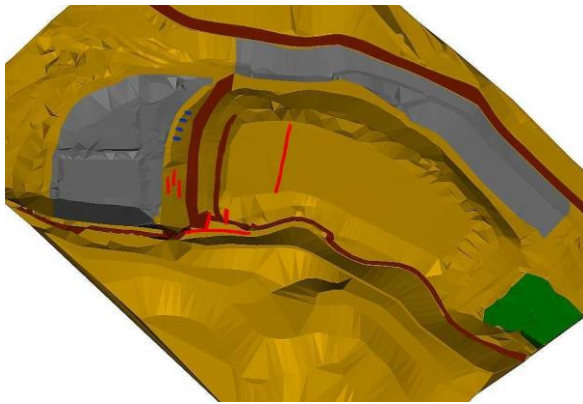


Figura 9.23. Condición inicial: En rojo las grietas; en azul el corrimiento; en marrón las vías internas.

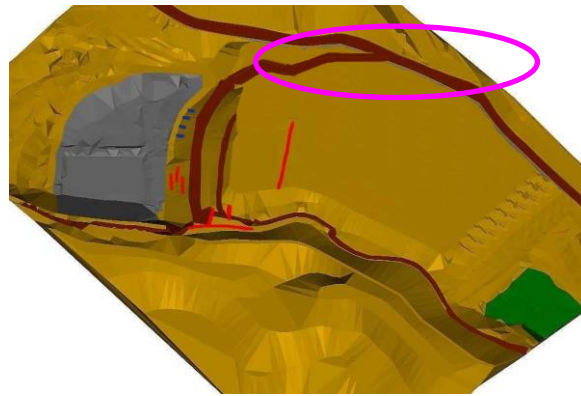


Figura 9.24. Explotación del pasillo que interconectaba Reciclaje con celda 4.

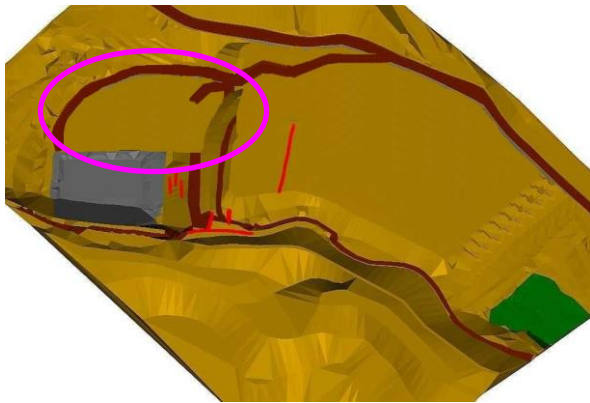


Figura 9.25 Explotación sub Celda 4 Norte

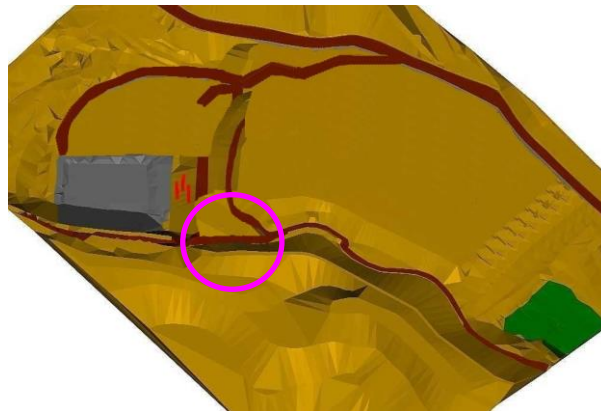


Figura 9.26. Perfilado del talud y sellado de grietas.



Figura 9.27. Explotación sub Celda 4 Sur

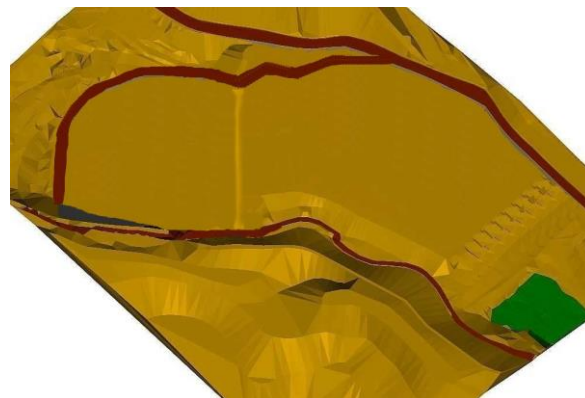


Figura 9.28 Conformación de un talud 3:1 (entre la base de la Celda 4 y la Cresta del Talud de la Celda 3). Esta etapa está en pleno

desarrollo

- e) Paralelamente a los trabajos de explotación se implementó varias redes de trincheras, para el drenaje de los lixiviados (a distintas alturas de las celdas) y se perforaron los pozos de la red de captación de biogas (ver Foto 9.25)



Foto 9.25. En la foto se aprecian parte de las perforaciones, así como algunas de las trincheras implementadas para la extracción de lixiviados

- f) Finalmente, se implemento una red de trincheras en el fondo de la sub Celda 4 Sur, con miras a drenar los lixiviados del fondo de la celda (ver Foto 9.22).



Foto 9.26. Red de trincheras en el fondo de la sub Celda 4 sur

- g) La explotación de la Celda 4 se efectuará de manera tal, que se genere un talud, con pendiente 3:1, desde el dique final de dicha celda hasta la cresta del talud de la celda 3 (ver Figura 9.27).

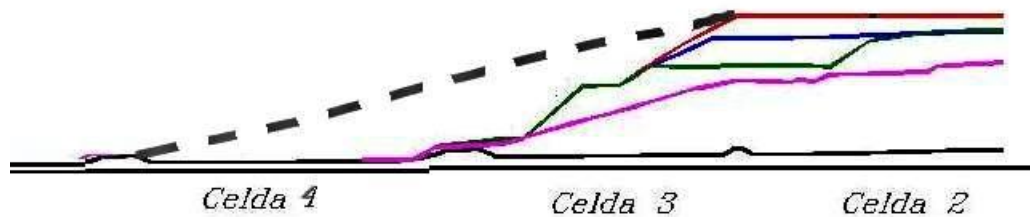


Figura 9.29 Talud con pendiente 3:1, entre el final de la Celda 4 y la cresta del talud Celda 3.

#### 9.3.1.4. Análisis de estabilidad del talud de la celda 4

Con la finalidad de establecer los parámetros de resistencia al corte se procedió analizar el talud de la celda 4, ya que se conoce los parámetros básicos para realizar un análisis en retrocálculo o back análisis.

Para realizar este análisis en retrocálculo se procedió a estudiar el talud y determinar los parámetros de resistencia con un  $FS = 1$  bajo las siguientes situaciones, que como se dijo anteriormente la falla del talud pudo haber sido una o una combinación de las siguientes causas:

- 1) **Explotación en planos inclinados:**
- 2) **Sistema de drenaje de lixiviados insuficiente**
- 3) **Sistema de extracción de Biogas insuficiente**

Los casos analizados serán los siguientes:

- 1) **Geometría del talud considerando la presencia de lixiviados**
- 2) **Geometría del talud sin considerar presencia de lixiviados**
- 3) **Se considerarán dos superficies de fallas una definida por una línea y otra por un arco de círculo**

Ya que cualquiera de las demás posibles combinaciones, presentarán condiciones más desfavorables a las analizadas.

El caso 1) para determinar los parámetros críticos de resistencia al corte y la segunda para determinar el factor de seguridad con los parámetros críticos determinados anteriormente con los mismos parámetros críticos en la condición más favorable con un sistema de recolección eficiente de lixiviados

El Relleno Sanitario La Bonanza, según la zonificación sísmica de Venezuela, pertenece a la “Zona 5”, donde la aceleración horizontal máxima es de 0,30g, por lo cual en el análisis sísmico la aceleración se incrementará desde 0,10g hasta 0,30g para hallar la aceleración horizontal crítica. Del estudio realizado por Contreras (2002), se encontró que el coeficiente sísmico horizontal crítico es 0,16, siendo este un valor aceptable ya que los taludes son de carácter temporal.

**9.3.4.1. Geometría del talud**

Para el análisis en retrocálculo tomaremos el perfil de la celda 3, el cual es el más desfavorable de todos con una altura de 52 m (Figura 9.30).

Como ya se ha señalado entre las posibles causas del deslizamiento se estableció que no existía un drenaje apropiado de los lixiviados. Por no contar con mediciones piezométricas se asumió la superficie piezométrica mostrada en la Figura 9.30.

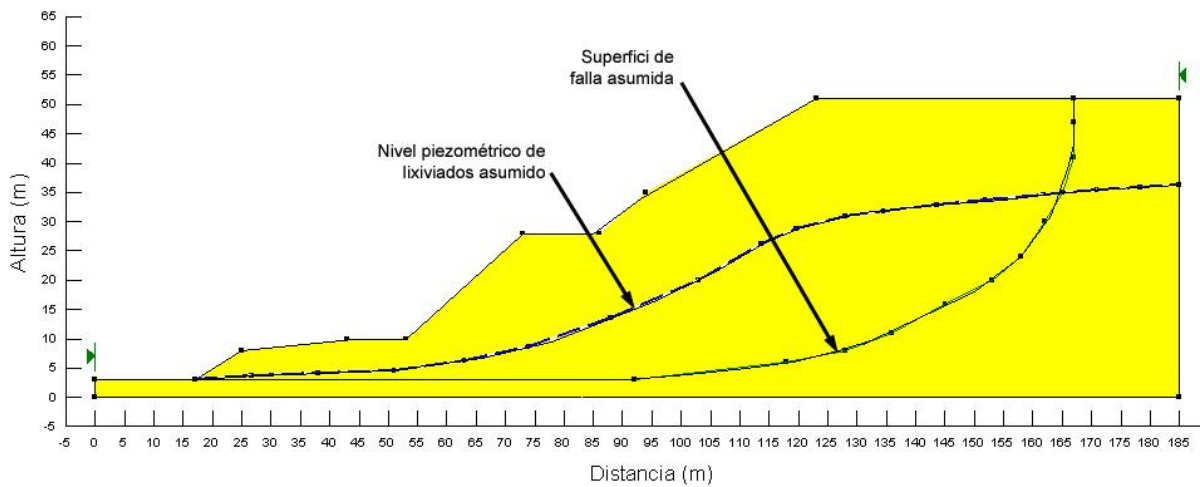


Figura 9.30. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida

**Tabla 9.8.**  
Factores de seguridad considerando la presencia de lixiviados ( $r_u = 0.25$ ,  $\gamma_d = 11 kPa$ )  
(Método de Morgenstern y Price)

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.172	0.258	0.344	0.430	0.516	0.602	0.688
$\phi = 5^\circ$	0.125	0.207	0.339	0.375	0.460	0.545	0.630	0.715	0.801
$\phi = 10^\circ$	0.253	0.339	0.421	0.504	0.588	0.672	0.752	0.837	0.922
$\phi = 15^\circ$	0.393	0.473	0.555	0.637	0.720	0.803	0.887	0.971	1.055
$\phi = 20^\circ$	0.534	0.614	0.695	0.777	0.859	0.942	1.025	1.108	1.192
$\phi = 25^\circ$	0.684	0.764	0.845	0.926	1.008	1.090	1.173	1.256	1.339
$\phi = 30^\circ$	0.847	0.927	1.007	1.088	1.170	1.252	1.334	1.417	1.500

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

$\phi=35^\circ$	1.027	1.107	1.187	1.268	1.349	1.431	1.513	1.595	1.678
$\phi=40^\circ$	1.231	1.310	1.391	1.471	1.553	1.634	1.716	1.798	1.880

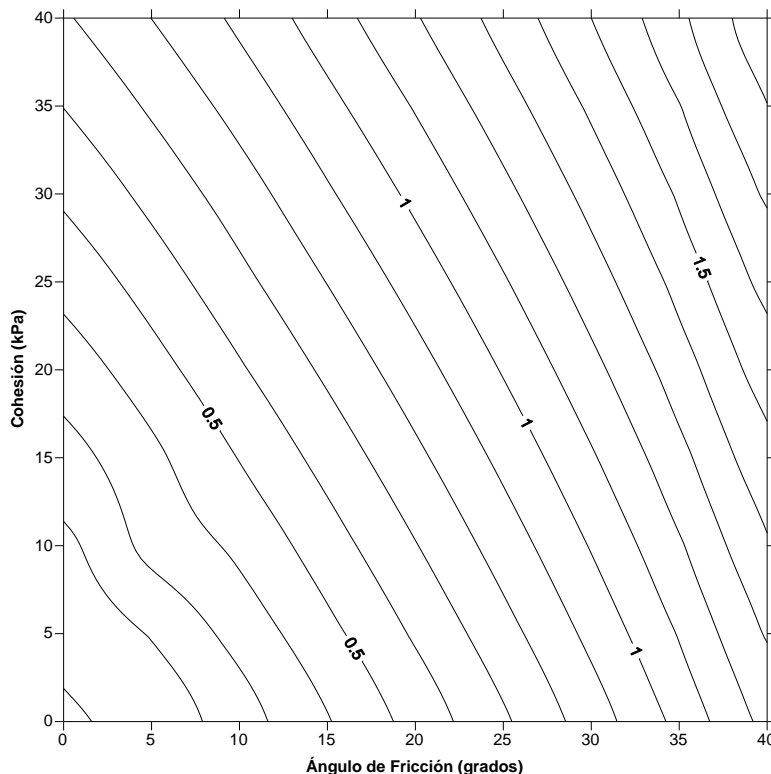


Figura 9.31. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.8

Del análisis anterior podemos observar que es una basura joven por su alto valor del ángulo de fricción, por otra parte los valores los parámetros de resistencia con factor de seguridad de equilibrio límite son altos, el reanálisis de la misma geometría sin la presencia de lixiviados produce la tabla 9.9

**Tabla 9.9.**  
Geometría del talud sin considerar presencia de lixiviados  
(Método de Morgestern y Price)

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.172	0.258	0.344	0.430	0.516	0.602	0.688
$\phi = 5^\circ$	0.358	0.441	0.525	0.609	0.694	0.779	0.864	0.949	1.034
$\phi = 10^\circ$	0.721	0.804	0.888	0.972	1.056	1.140	1.224	1.309	1.394
$\phi = 15^\circ$	1.096	1.179	1.262	1.346	1.429	1.513	1.598	1.682	1.766
$\phi = 20^\circ$	1.488	1.571	1.655	1.738	1.822	1.905	1.990	2.074	2.158
$\phi = 25^\circ$	1.907	1.990	2.073	2.156	2.240	2.324	2.407	2.491	2.575



$\phi=30^\circ$	2.361	2.444	2.527	2.610	2.694	2.777	2.861	2.945	3.029
$\phi=35^\circ$	2.863	2.946	3.029	3.113	3.196	3.280	3.363	3.447	3.530
$\phi=40^\circ$	3.431	3.515	3.598	3.681	3.764	3.847	3.931	4.014	4.098

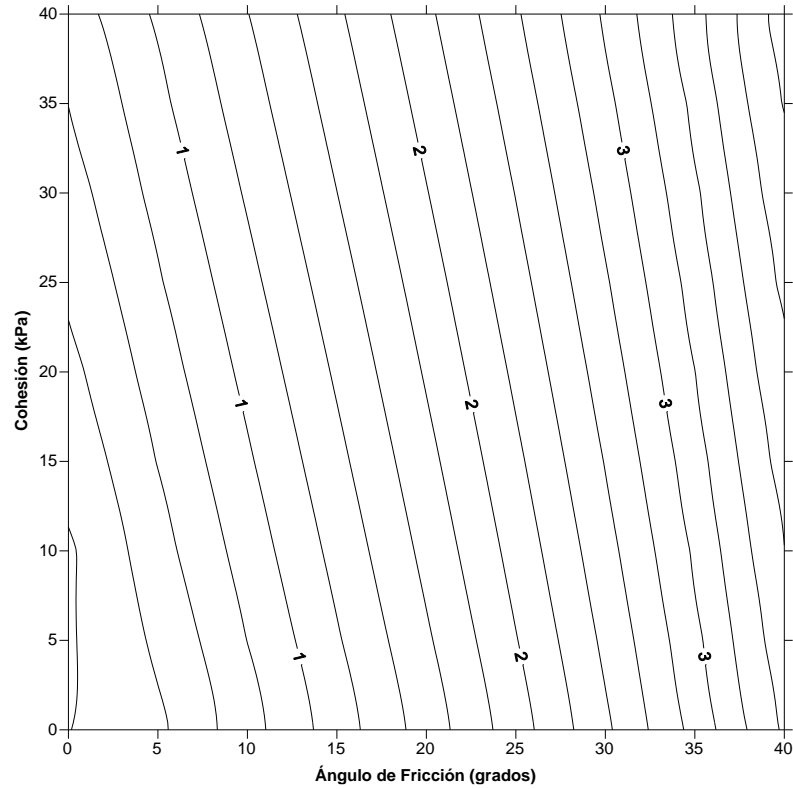


Figura 9.32. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.9

Se observa el aumento considerable del factor de seguridad, limitando el equilibrio límite entre  $14^\circ$  de fricción aproximadamente con una cohesión de 0 kPa a  $5^\circ$  de fricción con una cohesión de 40 kPa.

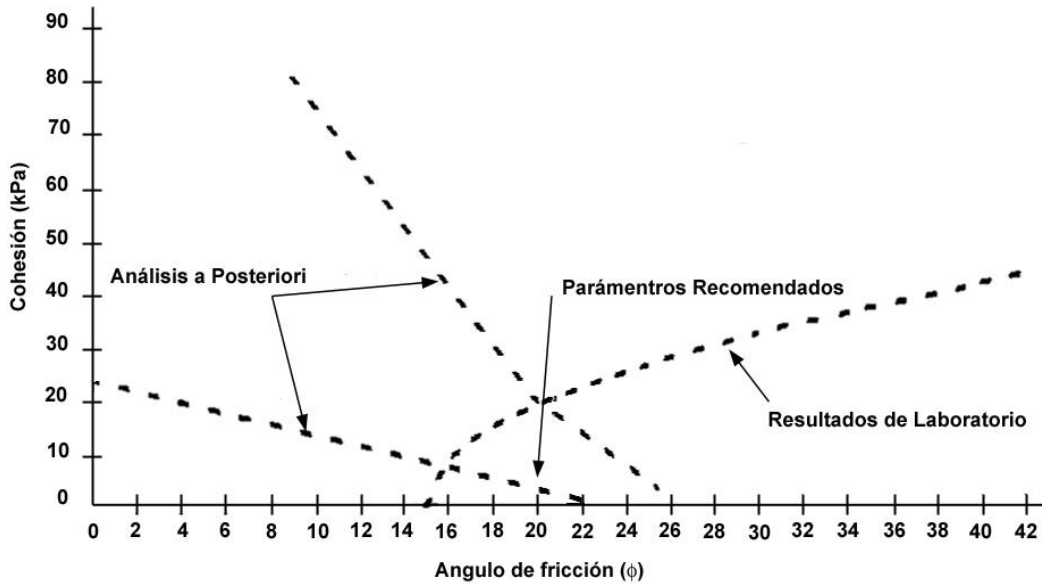


Figura 9.33. Parámetros resistentes en rellenos sanitarios (Palma, 1995)

Otra de las razones por las cuales los valores obtenidos no concuerdan de una manera más precisa puede ser debida a lo poco inclinado en la base de la superficie de deslizamiento, lo cual implica unos esfuerzos bastante altos para que la misma pueda ocurrir el deslizamiento.

Visto lo anterior se procedió a realizar otro análisis con la superficie de falla dada en la figura 9.34.

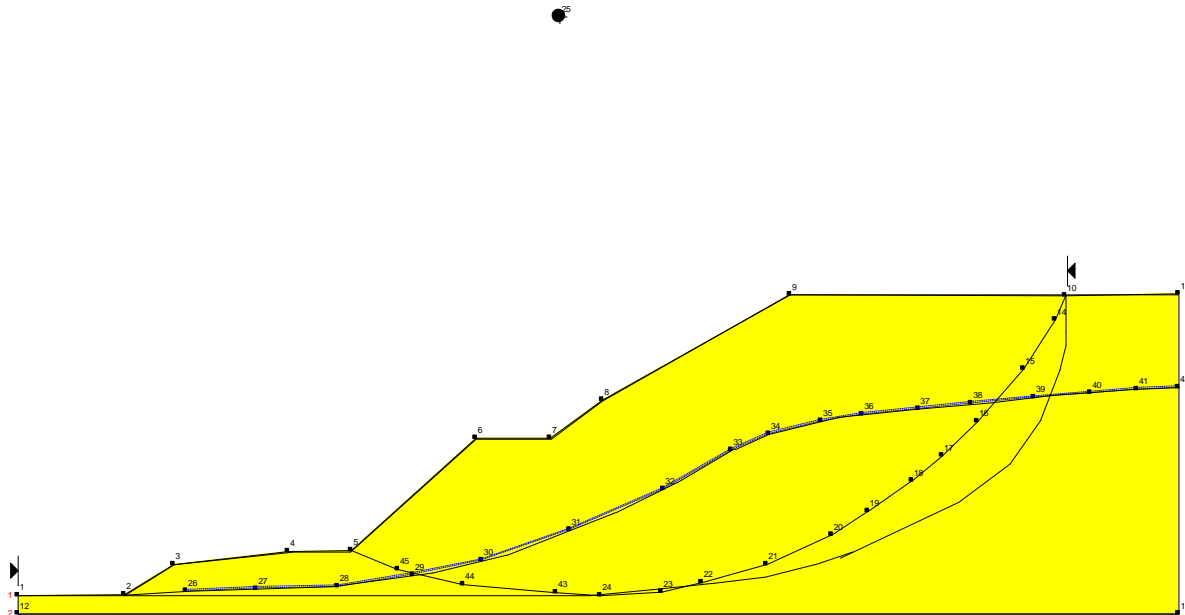


Figura 9.34. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida, caso II

**Tabla 9.10.**  
**Factores de seguridad considerando la presencia de lixiviados ( $r_u = 0.25$ ,  $\gamma_d = 11kPa$ )**  
**Caso II (Método de Morgenstern y Price)**

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.156	0.236	0.298	0.387	0.451	0.526	0.602
$\phi = 5^\circ$	0.134	0.205	0.280	0.355	0.431	0.508	0.586	0.649	0.724
$\phi = 10^\circ$	0.270	0.340	0.413	0.486	0.561	0.636	0.712	0.788	0.865
$\phi = 15^\circ$	0.411	0.480	0.552	0.624	0.698	0.772	0.847	0.922	0.997
$\phi = 20^\circ$	0.580	0.647	0.715	0.784	0.843	0.916	0.990	1.064	1.139
$\phi = 25^\circ$	0.743	0.810	0.877	0.946	1.016	1.086	1.157	1.217	1.291
$\phi = 30^\circ$	0.920	0.986	1.054	1.122	1.191	1.261	1.331	1.402	1.473
$\phi = 35^\circ$	1.116	1.182	1.249	1.317	1.386	1.455	1.525	1.595	1.666
$\phi = 40^\circ$	1.337	1.403	1.470	1.538	1.606	1.675	1.744	1.814	1.884

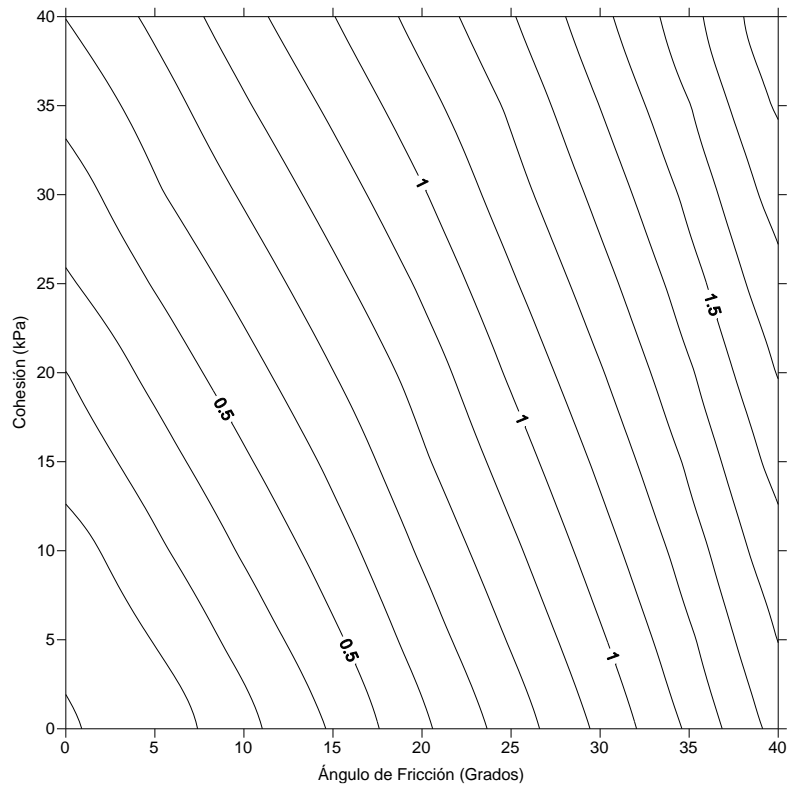


Figura 9.35. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.10

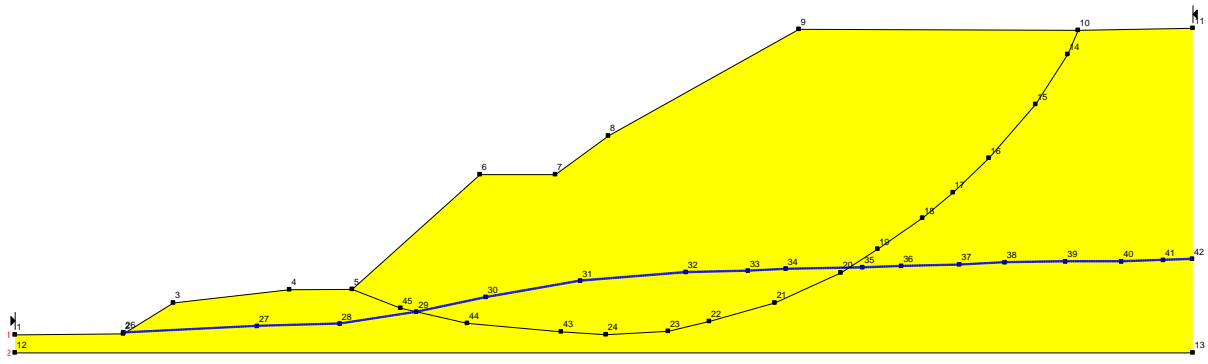


Figura 9.36. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida, caso III

**Tabla 9.11.**  
**Factores de seguridad considerando la presencia de lixiviados ( $r_u = 0.25$ ,  $\gamma_d = 11kPa$ )**  
**Caso III, (Método de Morgenstern y Price)**

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.156	0.236	0.298	0.387	0.451	0.527	0.602
$\phi = 5^\circ$	0.215	0.291	0.368	0.445	0.522	0.600	0.678	0.756	0.819
$\phi = 10^\circ$	0.451	0.524	0.598	0.662	0.739	0.816	0.893	0.970	1.048
$\phi = 15^\circ$	0.685	0.758	0.832	0.905	0.980	1.054	1.128	1.194	1.271
$\phi = 20^\circ$	0.930	1.003	1.077	1.150	1.224	1.298	1.373	1.447	1.521
$\phi = 25^\circ$	1.192	1.265	1.338	1.412	1.486	1.559	1.633	1.708	1.782
$\phi = 30^\circ$	1.475	1.548	1.622	1.695	1.769	1.843	1.917	1.991	2.065
$\phi = 35^\circ$	1.789	1.862	1.936	2.009	2.083	2.156	2.231	2.304	2.378
$\phi = 40^\circ$	2.144	2.217	2.291	2.364	2.437	2.511	2.585	2.659	2.733

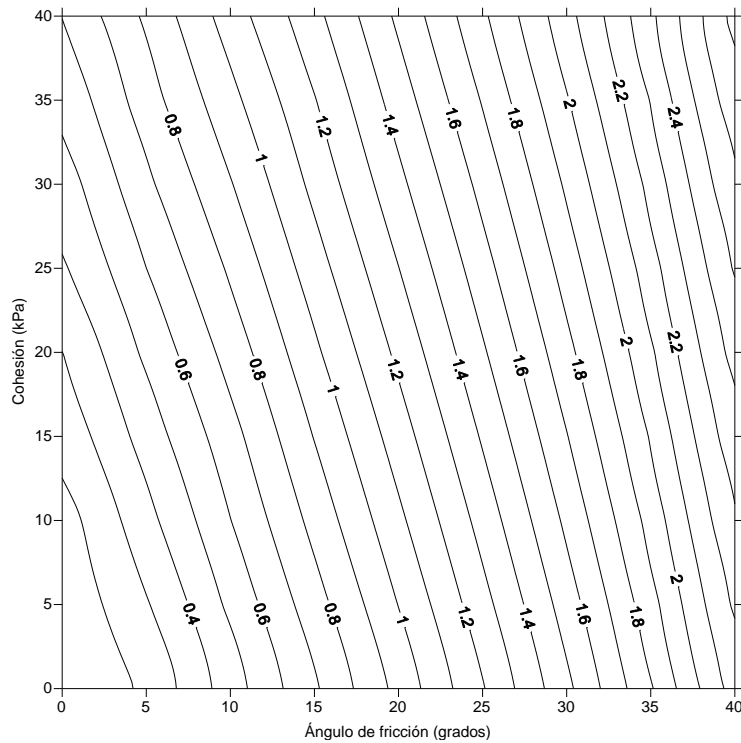


Figura 9.37. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.11

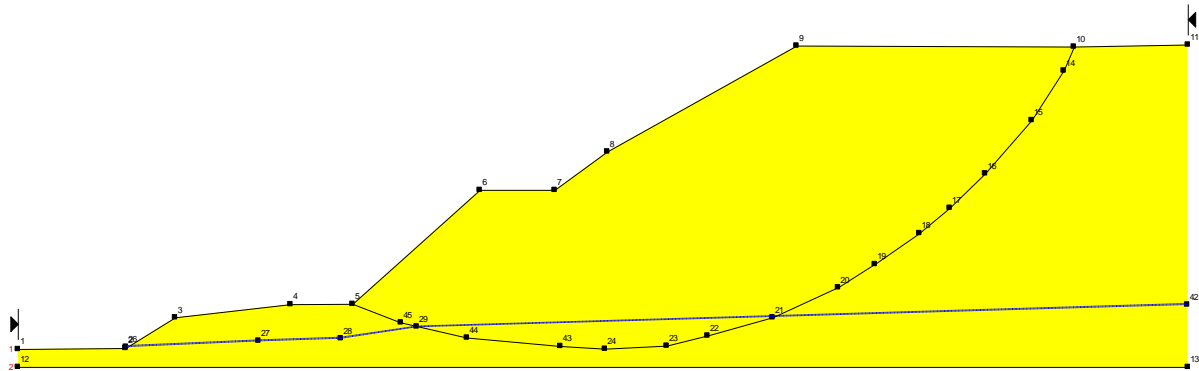


Figura 9.38. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida, caso IV

Tabla 9.12.

Factores de seguridad considerando la presencia de lixiviados ( $r_u = 0.25$ ,  $\gamma_d = 11 \text{ kPa}$ )

Caso IV, (Método de Morgenstern y Price)

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.156	0.236	0.298	0.387	0.451	0.527	0.681
$\phi = 5^\circ$	0.245	0.321	0.398	0.475	0.552	0.630	0.708	0.786	0.860
$\phi = 10^\circ$	0.517	0.590	0.664	0.738	0.812	0.877	0.954	1.031	1.109
$\phi = 15^\circ$	0.786	0.859	0.933	1.006	1.080	1.155	1.229	1.303	1.378
$\phi = 20^\circ$	1.067	1.141	1.214	1.288	1.362	1.435	1.510	1.584	1.658
$\phi = 25^\circ$	1.367	1.441	1.514	1.588	1.661	1.736	1.810	1.884	1.958
$\phi = 30^\circ$	1.693	1.766	1.840	1.913	1.987	2.061	2.135	2.209	2.283
$\phi = 35^\circ$	2.041	2.127	2.200	2.273	2.347	2.421	2.495	2.569	2.643
$\phi = 40^\circ$	2.446	2.520	2.594	2.668	2.742	2.828	2.902	2.976	3.050

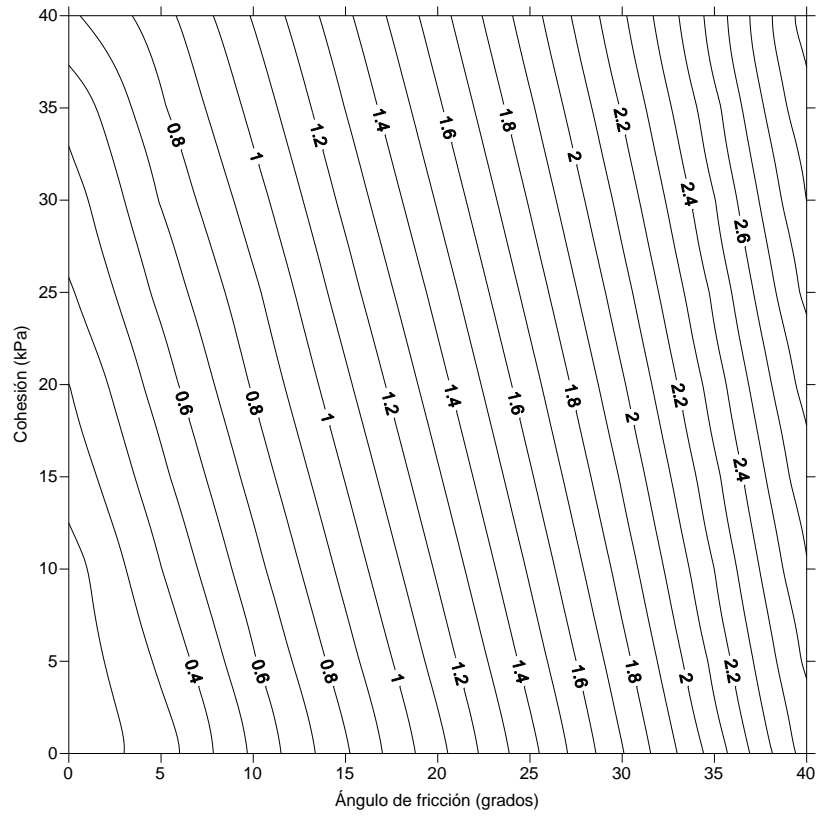


Figura 9.39. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.12

•

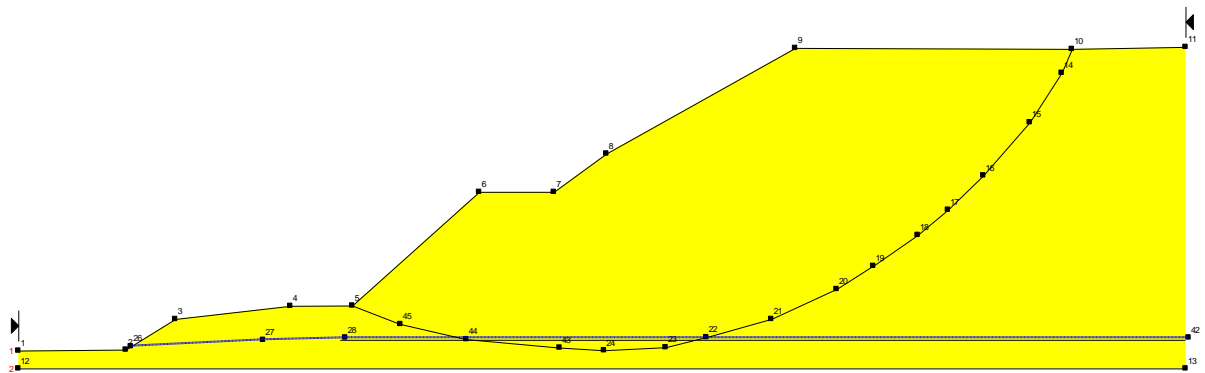


Figura 9.40. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida, caso V

**Tabla 9.13.**

**Factores de seguridad considerando la presencia de lixiviados ( $r_u = 0.25$ ,  $\gamma_d = 11 \text{ kPa}$ )**

**Caso V, (Método de Morgenstern y Price)**

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.156	0.236	0.298	0.387	0.451	0.527	0.602
$\phi = 5^\circ$	0.264	0.340	0.417	0.493	0.571	0.649	0.726	0.804	0.878
$\phi = 10^\circ$	0.558	0.631	0.705	0.779	0.853	0.927	0.991	1.069	1.146
$\phi = 15^\circ$	0.848	0.921	0.994	1.068	1.142	1.216	1.290	1.365	1.439
$\phi = 20^\circ$	1.151	1.224	1.298	1.371	1.445	1.519	1.593	1.667	1.742
$\phi = 25^\circ$	1.475	1.548	1.621	1.695	1.768	1.843	1.917	1.991	2.065
$\phi = 30^\circ$	1.826	1.899	1.973	2.046	2.120	2.194	2.268	2.341	2.415
$\phi = 35^\circ$	2.201	2.275	2.361	2.435	2.509	2.582	2.656	2.730	2.803
$\phi = 40^\circ$	2.638	2.712	2.786	2.860	2.934	3.008	3.095	3.169	3.231



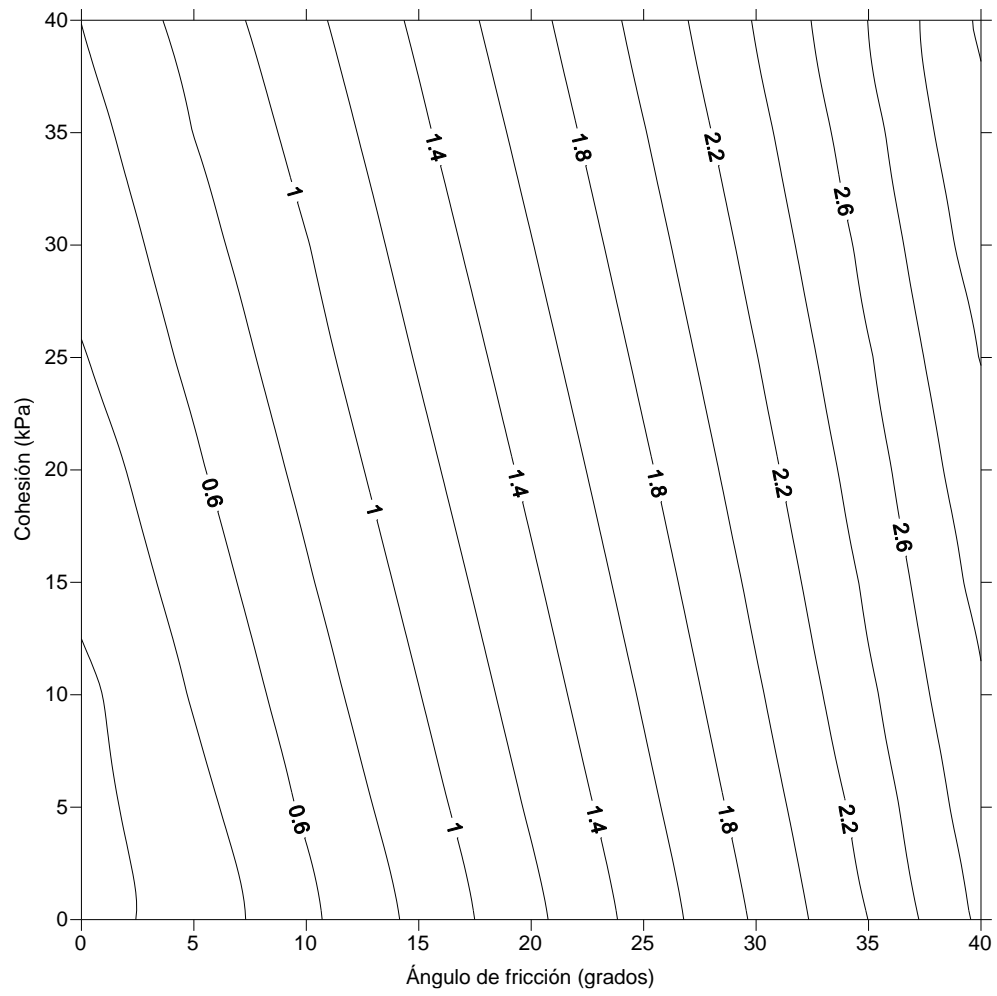


Figura 9.41. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.13

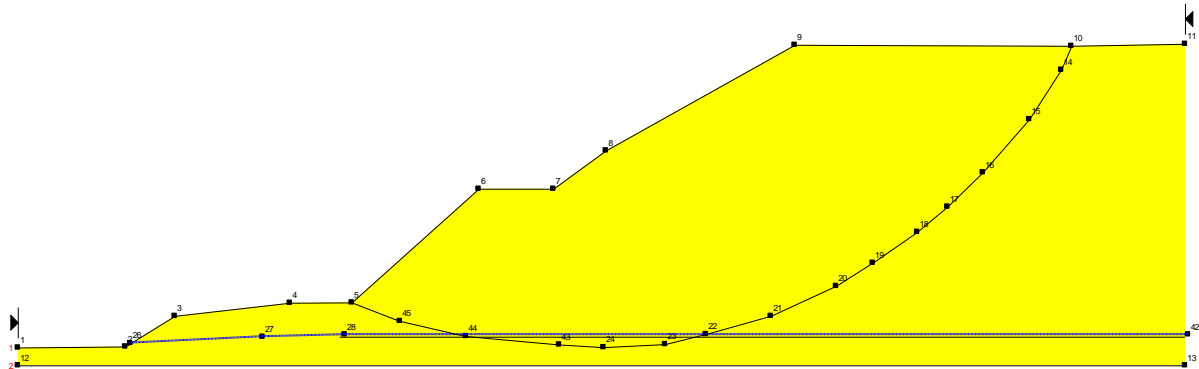


Figura 9.42. Geometría del talud, con la superficie de falla y línea piezométrica asumida, caso V

Tabla 9.14.  
Factores de seguridad sin considerar la presencia de lixiviados ( $\gamma_d = 11kPa$ )  
Caso VI, (Método de Morgenstern y Price)

	$c = 0$ kPa	$c = 5$ kPa	$c = 10$ kPa	$c = 15$ kPa	$c = 20$ kPa	$c = 25$ kPa	$c = 30$ kPa	$c = 35$ kPa	$c = 40$ kPa
$\phi = 0^\circ$	-	-	0.156	0.236	0.298	0.387	0.451	0.527	0.602
$\phi = 5^\circ$	0.337	0.409	0.483	0.547	0.624	0.702	0.780	0.857	0.931
$\phi = 10^\circ$	0.678	0.751	0.824	0.898	0.972	1.046	1.120	1.194	1.268
$\phi = 15^\circ$	1.030	1.103	1.176	1.249	1.323	1.397	1.471	1.545	1.619
$\phi = 20^\circ$	1.399	1.472	1.545	1.618	1.692	1.766	1.840	1.913	1.987
$\phi = 25^\circ$	1.793	1.865	1.938	2.012	2.086	2.159	2.233	2.306	2.385
$\phi = 30^\circ$	2.205	2.279	2.353	2.439	2.512	2.586	2.659	2.723	2.797
$\phi = 35^\circ$	2.675	2.748	2.822	2.896	2.970	3.044	3.118	3.192	3.266
$\phi = 40^\circ$	3.205	3.279	3.353	3.426	3.500	3.574	3.648	3.722	3.796

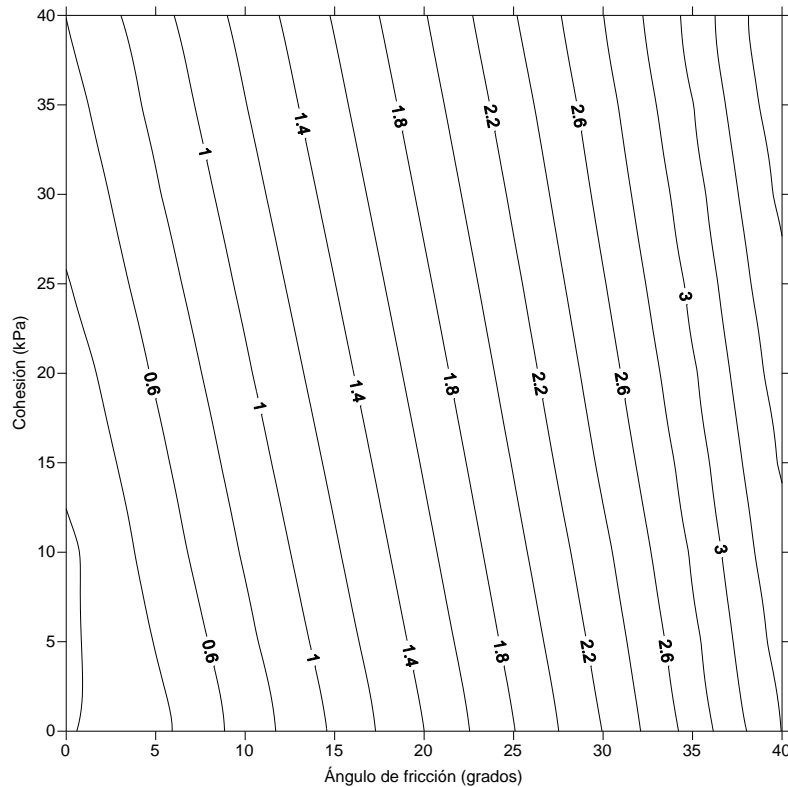


Figura 9.43. Curvas de igual Factor de seguridad referidos a la tabla 9.14.

#### 9.4. CONCLUSIONES

La falla ocurrida indica que la zona más crítica para que estas ocurran es la zona de contacto entre dos celdas, es decir contacto entre dos tipos de materiales.

A través del retrocálculo se verifica para que pueda ocurrir, deben presentarse condiciones extremas en los parámetros de resistencia, una fricción inferior a los 10° y valores de cohesión pobres (0 a 10 kPa).

La presencia de drenajes de lixiviados es fundamental para garantizar la estabilidad de los rellenos sanitarios, así como también el sistema de captación de biogás producto de la descomposición de los desechos orgánicos.

En líneas generales, se podría decir que la situación fue subsanada de la mejor manera posible. Corregir todos los inconvenientes generados por el desplazamiento de la masa de desechos, hubiese generado grandes costos, amén de no contar, para el momento en que se presentó la falla, con espacio suficiente para colocar todo el material que fuese necesario extraer de la celda.

Sin duda, el no poder considerar oportunamente los distintos factores, estimados como posibles causas de la inestabilidad, en el proceso operativo, puede acarrear graves riesgos.

A fin de corregir la inestabilidad la operación se realizó la implementación de trincheras horizontales y verticales, para facilitar la extracción de los lixiviados y el biogás, y quedando descartado operar en pendientes superiores a 3:1.

### **9.5. RECOMENDACIONES**

- Es recomendable la realización de ensayos de corte directo in situ y en laboratorio en muestras de gran tamaño con la finalidad de afinar de una manera precisa los parámetros de resistencia. Estos ensayos deben realizarse en basuras de diferentes edades a fin de cuantificar dichos parámetros en el tiempo.
- Estudiar la permeabilidad de los residuos sólidos así como también con lixiviados y evaluar la transmisividad de los fluidos en los desechos.
- Realizar estudios de permeabilidad en desechos sólidos con distintos grados de compactación

## Bibliografía

### BIBLIOGRAFÍA

ABRAMSON, LEE W, THOMAS S LEE, SUNIL SHAMA, y GLENN M BOYCE. *Slope Stability and Stabilization Methods*. 2 ed. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

ALVARADO, J. «Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela.» *MEM. VII Congreso Geológico Venezolano*. Barquisimeto, Venezuela., 1989.

ALVAREZ, MARÍA CORAZÓN. «Where does Metro Manila's trash go?» *Balik Kalikasan (Tagalog, Return to Nature)* 6, nº 132 (julio 2001): 1-15.

DEL GRECO, OTELLO. «Problemas geotécnicos en la realización de depósitos de desechos. Politécnico de Torino, Italia.» *XIII Seminario Venezolano de Geotecnia, Experiencias Venezolanas en Geotecnia Ambiental*. Caracas, venezuela, 8 al 12 de noviembre de 1994.

Gabr, M.A., y S.N. Valero. «Geotechnical properties of municipal solid waste.» *Geotechnical Testing Journal* 18 (1995): 241-251.

Landva, Arvid, y David G. Knowles. «Geotechnics of waste fill.» En *Geotechnics of waste fill - Theory and Practice*, de Clark, J.I. Landva. A.O.-, 86-103. Wasington, DC: ASTM Special Technical Publication 1070, 1990.

- ABRAMSON, LEE W., LEE, THOMAS S., SHAMA, SUNIL y BOYDE, GLENN M. (2002): "Slope Stability and Stability and Stabilization Methods" (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc. 712p.
- ALVARADO, J. (1989). **Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela**. MEM. VII Congreso Geológico Venezolano. Barquisimeto, Venezuela.
- ALVAREZ, MARÍA CORAZÓN (2001), "Where does Metro Manila's trash go?", Balik Kalikasan (Tagalog, Return to Nature) Vol. 6, No. 132 July 1-15. [http://www.bwf.org/bk/2001/13/n\\_01.html](http://www.bwf.org/bk/2001/13/n_01.html)
- ARIAS, A., (1994), "Modelo de Asentamiento de Vertederos Controlados de Residuos Sólidos Urbanos". Tesina de Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental D.C.T.A. y M.A., Universidad de Cantabria, España..
- BAGCHI, A. (1994). **Design, Construction and Monitoring of Landfills**. Wiley & Sons. 2nd Edition. John. U.S.A. 361p.
- BACALZO, S.J., (2001) "Garbage still being dumped at Payatas", Balik Kalikasan (Tagalog, Return to Nature) Vol. 6, No. 2, January 16-31, [http://www.bwf.org/bk/2001/02/n\\_03.html](http://www.bwf.org/bk/2001/02/n_03.html)
- BOYNTON S.S., DANIEL D.E.:(1985): "Hydraulic Conductivity Tests on Compacted Clay". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 111,n.4.
- CANTANHEDE, ALVARO, "Manejo de residuos sólidos domésticos", CEPIS/OPS, 03/Feb/97. <http://www.cepis.ops-oms.org>
- CARTIER, G., Y BALDIT, R., (1983) "Comportement Géotechnique des Décharges de Residus Urbains". Bull. Liaison, Lab. C. Ponts et Chaussées,128, Nov-Dec, pp. 55-64.
- CASTILLEJO, M. (1993). **Análisis Comparativo de los Métodos de Estabilidad de Taludes y su Control**, Apuntes de Clase, Dpto. de Ingeniería de Minas. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- CASTILLEJO, M. (1996). **Movimientos de Masa y su Mitigación**. Apuntes de Clase, Dpto. de Ingeniería de Minas. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- CASTILLEJO, MIGUEL, "Geología Ambiental", Apuntes de Clase, Departamento de Minas, Universidad Central de Venezuela, 2001.
- CATERPILLAR (1998). **Manual de Rendimiento**. Edición 29. Illinois. USA. 600 p.
- CONTRERAS, CARLOS E. (2002) Determinación de la altura crítica y ángulo de inclinación máximo de taludes de basura (Relleno Sanitario La Bonanza, Charallave, Estado Miranda). Tesis de Grado.
- D'ESCRIVAN, G. (2000). **Estudio Geotécnico para Verificación de Suelos en El Relleno Sanitario La Bonanza**. Informe No 944. Caracas, Venezuela.
- D'ESCRIVAN, G. (2000). **Verificación de Suelos y Ensayos de Permeabilidad in situ y en Laboratorio**. Informe No 946. Caracas, Venezuela.

- DANIEL D.E. (1991): "**Compacted Clay and Geosynthetic Clay Lining**". XV Conferenza di Geotecnica di Torino.
- DANIEL, D. (1993). **Geotechnical Practice for Waste Disposal**. Chapman & Hall. 1st Edition. U.S.A. 683 p.
- DEL GRECCO, O y OGGERI, C. (1993). **Geotechnical Parameters of Sanitary Waste**. IV Congreso Internacional de Rellenos Sanitarios. Sardinia, Italia.
- DI MOLFETTA A. (1991): "**La protezione delle risorse idriche sotterranee**". XV Conferenza di Geotecnica di Torino.
- DÍAZ MARTA, COLLAZOS HÉCTOR, (1998): **Deslizamiento de basura en el relleno sanitario Doña Juana**, Santa Fe de Bogotá, Enero 1998. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
- ESPINACE R., CAFFARENA J., PALMA J. (1999) "**Patologías en Construcciones Sobre Áreas Impactadas por el Vertido de Residuos Sólidos**". V Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevideo, Uruguay.
- ESPINACE, R., PALMA J., (1990) "**Problemas Geotécnicos de los Rellenos Sanitarios**", Revista Ingeniería Civil del CEDEX, Nº77, Edición Octubre, Noviembre y Diciembre de 1990, MADRID, ESPAÑA.
- ESPINACE, R.,(1983), "**Compresibilidad de Vertederos Sanitarios**" y "El Vertedero Sanitario y su empleo como Suelo de Fundación", V Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y del Ambiente, celebrado en Temuco.
- ESPINACE,R. DIAZ, I., PALMA J., (1991) "**Propiedades Mecánicas del Relleno Sanitario de Limache**". IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Viña del Mar.
- ESPINACE,R. ET AL. (1989) "**Recuperación de Vertederos Sanitarios. Caso Vertedero Experimental de Limache. Chile**". 1º Congreso de Ingeniería Ambiental Bilbao, España.
- FANG H.Y., SLUTTER RG., KOERNER KM. (1977): "**Load Bearing Capacity of Compacted Waste Disposal Material**". Proc. 9th Int. Conf on Soil Mech. and Foundation Eng., Tokyo.
- GANDOLLA, M., DUGNANI, L., BRESSI, G., Y ACAIA, C., (1992), "**The determination of subsidence effects at municipal solid waste disposal sites**". Proc. Int. Solid Waste Association Conference. pp. 1-17 (sin paginar), Madrid, Junio.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. et al., (1980). **Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas**. Tomo I. FONINVES. Caracas, Venezuela. 405 p.
- HIRATA, T., HANASHIMA M., MATSUFUJI, Y., YANASE, R., AND MAENO Y., (1995), "**Construction of facilities on the closed lanfills**". Sardinia 95. Fifth International Landfill Symposium, (1995), editorial CISA, Italia.

HOEK, E. & BRAY, J. (1981). **Rock Slope Engineering**. Institute of Mining and Metallurgy. 3rd Edition. London. 358 p.

<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/gtz/deslbasu/deslbasu.html>

KNOCHENMUS et al., (1998). **Stability of Municipal Solid Waste**. Comité Técnico TC 5 Geotecnia Ambiental de la ISSMGE.

KOERNER KM. (1990): "Designing with Geosynthetics". 2nd edition, Prentice - Hall.

KOERNER, R. (1981). **Designing with Geosynthetics Slope Engineering**. Prentice Hall. New Jersey. USA.

KOERNER, R. (1987). **Construction and Geotechnical Engineering**. John Wiley & Sons. Using Synthetic Fabrics. New York. USA. 527 p.

LANDVA, A.O., Y CLARK, J.I., (1990), "Geotechnics of waste fill". Geotechnics of Waste fills -Theory and Practice, ASTM STP 1070, Arvid Landva, G. David Knowles, editors, ASTM, Philadelphia, pp. 86-103.

MANASSERO, M. et al., (1997). **Waste Disposal and Containment**. Comité Técnico TC 5 Geotecnia Ambiental de la ISSMGE.

MANASSERO, M. et al., (1998). **Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects)**. Comité Técnico TC 5 Geotecnia Ambiental de la ISSMGE.

MARNR. (1998). **Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos**. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 5.212 . Extraordinario.

McBEAN, E. et al., (1995). **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. Prentice Hall. U.S.A. 512 p.

PACHECO, B. y GÓMEZ, R. (2001). **Diseño y Estabilidad de Taludes de la Celda Específica Final para Desechos Tóxicos en el Relleno Sanitario La Bonanza. Charallave, Edo. Miranda**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

PALMA J., ESPINACE R., VALENZUELA P., SZANTO M.(1999): "Reducción de los tiempos de estabilización en rellenos sanitarios operados con recirculación de lixiviados tratados". Universidad Católica de Valparaíso. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS. Antofagasta, Chile. Octubre de 1999

PALMA J.H. (1995). "Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos". Tesis doctoral, U. de Cantabria, Santander, España.

PETROLEOS DE VENEZUELA-INTEVEP (1997). **Léxico Estratigráfico**. (Libro en línea). Disponible: <http://www.pdv.com/léxico>. (Consulta: 2001, octubre).

POPESCU, M.E. (2002), **Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options**, Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and safety of Infra-Structures, Singapore, p 61-81.



- PULLEY, R.V. (2003) "Down in the Dumps and Rising From It!," in newsletter, City Development Strategies Executive Association,  
[www.cdsea.org/Archives/Kcontrib/down\\_dumps.htm](http://www.cdsea.org/Archives/Kcontrib/down_dumps.htm)
- USACE report on "Engineering and Design - Introduction to Probability and Reliability Methods for use in Geotechnical Engineering", 1999, ETL 110-2-547.
- RAMÍREZ, N. y D'ESCRIVAN, E. (2000). "Influencia de la Geología de la Zona de La Bonanza Formación Las Mercedes en la Permeabilidad de Suelos y Rocas con los Lixiviados del Relleno Sanitario". Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Caracas, Venezuela.
- RAO, S.K., MOULTON, L.K., SEALS, R.K., (1977), "Settlement of refuse landfills". Proc. Conf. on Geotechnical practice for disposal of solid waste materials, U. of Michigan, ASCE, pp. 574-598.
- RODRIGUEZ, A. (1990). **Estudio y Comparación de Proyectos del Sistema de Canalización de las Aguas Superficiales y del Lixiviado en el Relleno Sanitario La Bonanza**. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Caracas.
- SISON, M.N. (2001) "Firm Linked to Estrada Got Metro Manila Garbage Contract", reporte, Philippine Center for Investigative Journalism, January 24-25,  
[www.pcij.org/stories/2001/garbage.html](http://www.pcij.org/stories/2001/garbage.html)
- SOWERS G.F. (1973): "Settlements of Waste Disposal Fill". 8th Int. Conf on Soil Mech. and Foundation Eng., Moscow.
- SOWERS, G.F., (1968), "Foundation Problems in Sanitary Landfills". Journal of the sanitary division, ASCE, vol. 94, Nº SA1, pp. 103-116.
- TCHOBANOGLIOUS, G. et al., (1993). **Gestión Integral de Residuos Sólidos**. Volumen I y II. McGRAW HILL.
- USACE report on "Engineering and Design - Introduction to Probability and Reliability Methods for use in Geotechnical Engineering", 1999, ETL 110-2-547.
- USER'S GUIDE SLOPE/W, Versión 5.0 (2003). **Slope Stability Análisis**. Licencia Nº 95.849
- ZIMMERMAN, R.E., CHEN, W.H., FRANKLIN, A.G., (1977), "Mathematical Model for Solid Waste Settlement". Proc. Conf. on Geotechnical practice for disposal of solid waste materials. Univ. of Michigan, ASCE pp. 210-226.
- The 7th Buchanan Lecture series, presented by J. M. Duncan (1999) "Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering". Available by the Department of Civil Engineering at Texas A& M University.
- DRAFT ISO CD 14.040.2. **Environmental Management - Life Cycle. Assessment - Principles and Guidelines**.
- HEMENWAY, C.G.; GILDERSLEEVE, J.P. **ISO 14.000 - O que e?** Sao Paulo. IMAM, 1995.

ASTM, **Environmental Assessment; Hazardous Substances and Oil Spill Responses;  
Waste Management; Environmental Risk Management** , Volume 11.04,  
September 2003

## Glosario

### Glosario

<b>Abiótico</b>	<p>Hecho físico o químico, parte de un ecosistema o del ambiente que no ocurre dentro de un organismo vivo.</p> <p>Denominación que reciben todos los componentes que no tienen vida, como son las sustancias minerales, los gases y los factores climáticos que influyen en los organismos.</p>
<b>Absorción</b>	<p>Integración de moléculas o sustancias en un todo en el cual no se pueden diferenciar las partes originales individualmente.</p>
<b>Acidez de un agua residual</b>	<p>Se debe a la presencia de ciertos ácidos minerales y/u orgánicos, o a la hidrólisis sufrida por la existencia de sales de ácidos fuertes y bases débiles. Puede causar acción corrosiva en las instalaciones, por la acción del catión hidrógeno.</p>
<b>Acreditación de cursos</b>	<p>Proceso mediante el cual las autoridades de capacitación autorizan cursos específicos, garantizando que cubren los requerimientos de calidad</p>
<b>Actores</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Personas que intervienen activa o pasivamente en los procesos de gestión para su propio desarrollo o que asisten al proceso.</li><li>• Abarca los habitantes, los usuarios (habitantes o no de un ámbito), los representantes de organismos públicos o privados, los asesores o interventores en el ámbito, los representantes de los grupos de poder, los empresarios, los sindicatos y, en general, todas las personas que vean afectada su calidad de vida y que influyen o reciben los efectos de uso y conservación de los recursos del ámbito en estudio, así como los que tienen como función apoyar el desarrollo del hombre en dichos ámbitos</li></ul>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Acuífero</b>	Formación geológica que contiene el suficiente material permeable saturado como para recoger cantidades importantes de agua que serán captadas en forma natural, manantiales o en forma artificial, drenajes.
<b>Acuífero confinado</b>	Es un acuífero limitado superior e inferiormente por estratos de permeabilidad claramente más reducida que la del acuífero mismo.
<b>Adaptaciones y mejoras</b>	Desarrollos tendientes a adecuar tecnologías y a introducir perfeccionamientos. Usualmente presentan pocos rasgos de originalidad y novedad
<b>Administración de recursos que se poseen en común</b>	Se trata de la administración de determinado recurso por parte de un grupo bien definido de usuarios de los mismos con facultad de reglamentar su uso por los miembros del grupo y por extraños.
<b>Adsorción</b>	Adhesión superficial de sustancias o moléculas en que los componentes no llegan a mezclarse.
<b>Aerobio</b>	Proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en presencia de oxígeno.
<b>Aerosoles</b>	Son partículas pequeñas y sólidas de diversa composición química suspendidas en la atmósfera. Tienden a tener relaciones sinérgicas con contaminantes y su gran capacidad asociativa los hace actuar como núcleos de condensación para la formación de nubes
<b>Agenda 21</b>	Plan de acción elaborado en la Conferencia de Río de Janeiro (Cumbre de la Tierra, 1992).
<b>Agricultura Extensiva</b>	Agricultura localizada sobre grandes extensiones de tierras, usualmente con baja productividad.
<b>Agricultura Intensiva</b>	Agricultura localizada sobre una limitada superficie de terreno, que requiere de una gran inversión financiera y técnica, para obtener altos rendimientos por hectárea.
<b>Agricultura sustentable</b>	Es la actividad agropecuaria que se apoya en un sistema de producción que tenga la aptitud de mantener su productividad y ser útil a la sociedad a largo plazo, cumpliendo los requisitos de abastecer adecuadamente de alimentos a precios razonables y de ser suficientemente rentable como para competir con la agricultura convencional; y además el ecológico de preservar el potencial de los recursos naturales productivos
<b>Agroecología</b>	Rama de la Ecología que estudia las relaciones, estructura y

	funcionamiento de los agroecosistemas, cultivos desarrollados con el objeto de aprovechar los recursos del suelo de manera sostenible. Entre otros aspectos, se caracteriza por su diversidad de productos, el control que realiza de las plagas, el aprovechamiento de los residuos orgánicos y la rotación de los cultivos.
<b>Agroecosistema</b>	Sistema agrícola y pecuario. Se trata de un ecosistema sensiblemente modificado y cuya estabilidad depende sustancialmente de subsidios energéticos
<b>Agroquímicos</b>	Son productos químicos que se ocupan para la agricultura. Se trata de abonos artificiales que favorecen el crecimiento de las plantas y que además pueden actuar como plaguicidas para eliminar insectos (Insecticidas), hongos (Fungicidas), malezas (Herbicidas) y otros.
<b>Agua subterránea</b>	Agua existente debajo de la superficie terrestre en una zona de saturación, donde los espacios vacíos del suelo están llenos de agua.
<b>Aguas Residuales</b>	Aquellas procedentes de cualquier actividad humana, las cuales, según la fuente, pueden ser: industriales, agrícolas o de uso doméstico, entre otras. También se les denomina efluentes.
<b>Aire ambiente</b>	Aire exterior al cual pueden estar expuestas personas, plantas, animales y materiales.
<b>Alcalinidad de un agua residual</b>	Son aguas que contienen disueltos en ellas algunos de los siguientes iones: carbonatos ácidos, carbonatos e hidróxidos. Cuando la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos se habla de aguas cáusticas.
<b>Almacenamiento</b>	Acción de retener temporalmente desechos, mientras no sean entregados al servicio de recolección, para su posterior procesamiento, reutilización o disposición.
<b>Almacenamiento de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Storage)</i> Almacenamiento temporal de residuos peligrosos en ambientes acondicionados para facilitar su posterior transporte.
<b>Altura de la capa de mezcla</b>	Es la altura de la capa de la atmósfera dentro de la cual es relativamente irrestricta la mezcla vertical, debido al calentamiento radiactivo de la superficie terrestre.
<b>Altura efectiva de emisión</b>	La altura efectiva de emisión es la altura de la chimenea (HCH) más la elevación del penacho (HPL) debido al efecto combinado del momento cinético, impulso mecánico, que tienen los gases por ser expulsados forzosamente en forma vertical y por el empuje térmico causado por una menor densidad del efluente

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	respecto del aire circundante debido al exceso de temperatura o al menor peso molecular.
<b>Altura eficaz de chimenea</b>	Altura utilizada con la finalidad de calcular la dispersión de los gases emitidos por una chimenea y que difiere de la altura real de esa chimenea en una cantidad que depende de factores tales como la velocidad de salida, los efectos de flotación y la velocidad del viento; puede ser afectada por la topografía
<b>Alveólos</b>	Pequeñas cavidades pulmonares donde se extrae el oxígeno del aire trasasándolo al torrente sanguíneo. Inversamente eliminan el dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) de la sangre. Los humanos poseen unos 300 millones de alvéolos
<b>Ambiente</b>	Región, alrededores y circunstancias en las que se encuentra un ser u objeto. El ambiente de un individuo comprende dos tipos de constituyentes: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El medio puramente físico o abiótico, en el cual él existe (aire, agua); y</li> <li>2. El componente biótico que comprende la materia orgánica no viviente y todos los organismos, plantas y animales de la región, incluida la población específica a la que pertenece el organismo</li> </ol>
<b>Ambiente</b>	Conjunto de elementos naturales y sociales, relacionados e interdependientes, en un lugar y tiempo determinado, que en forma directa influyen en todos los seres vivos.
<b>Ambiente agropecuario</b>	Conjunto de áreas dedicadas a usos no urbanos ni naturales del suelo y sus elementos constitutivos, que incluya como actividades principales la agricultura en todas sus formas, la acuicultura, la silvicultura y toda otra actividad a fin
<b>Ambiente humano</b>	Entorno natural que ha sido alterado artificialmente por el hombre y su cultura. Está constituido por tres factores básicos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Lo abiótico</b> (tierra, atmósfera, aire, sonido, clima, olores y sabores);</li> <li>2. <b>Lo biótico</b> (animales domésticos, plantas, bacterias y virus); y</li> <li>3. <b>Los factores antropogénicos</b> (higiene, estética, cultura, religión, deporte, política, etc.). Este ambiente es considerado como un ecosistema subordinado de la biosfera, que afecta la estabilidad de los sistemas naturales vecinos.</li> </ol>
<b>Ambiente natural</b>	Conjunto de áreas naturales y sus elementos constitutivos dedicados a usos no urbanos ni agropecuarios del suelo, que

	incluyen como rasgo fisonómico dominante la presencia de bosques, estepas, pastizales, bañados, vegas, turbales, lagos y lagunas, ríos, arroyos, litorales y masas de agua marina y cualquier otro tipo de formación ecológica inexplorada o escasamente explotada.
<b>Anaerobio</b>	Proceso bioquímico o condición ambiental que se sucede en ausencia de oxígeno.
<b>Análisis Condicional</b>	Técnica basada en el teorema de Bayes, de acuerdo al cual la frecuencia de los datos (tales como áreas de deslizamientos o número de deslizamientos) pueden ser empleados para calcular la probabilidad que dependen del conocimiento previo de eventos.
<b>Análisis de ciclo de vida</b>	Herramienta metodológica necesaria para identificar, cuantificar y valorar económicamente todos los costos internos y externos asociados a un ciclo productivo.
<b>Análisis de ciclo de vida (ICA).</b>	Es una técnica analítica de valoración de un producto, para determinar los Impactos Medioambientales del producto y de los procesos involucrados para su fabricación (desde la materia prima hasta su disposición final).
<b>Análisis discriminante</b>	Es un método estadístico multivariable que ayuda a maximizar la distancia (separación) entre dos o más grupos predefinidos de objetos en base a un combinación lineal (función discriminante) de un grupo de variables conocidas (variables discriminantes)
<b>Angiospermas</b>	Plantas con flores. Las semillas están envueltas por un pericarpio, que al madurar, se convierte en el fruto.
<b>Antrópico</b>	De origen humano, humanizado, opuesto a lo natural. Antropogénico.
<b>Aplicación en el terreno</b>	<i>(Land application/Land disposal/Land farming/Land treatment)</i> Técnica de tratamiento de residuos peligrosos que consiste en la dispersión o esparcimiento de los residuos en el suelo, a fin de que el sustrato orgánico sea degradado biológicamente (en su estrato superior), con la consecuente incorporación de iones metálicos. Los mismos son liberados durante la degradación del residuo en el mismo estrato del suelo, y del tal forma evita la contaminación de las aguas subterráneas.
<b>Aprovechamiento sustentable.</b>	Uso de un recurso natural de modo tal que no altere las posibilidades de su utilización en el futuro.
<b>Aprovechamiento</b>	Todo proceso industrial y/o manual, cuyo objeto sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	desechos.
<b>ARC/INFO</b>	Software de información geográfica (vector o raster) desarrollado y distribuido por <a href="#">ESRI</a> .
<b>Área Bajo Régimen de Administración Especial</b>	Zona especialmente reservada por el Estado Venezolano, destinada a la protección, conservación o producción de los recursos naturales renovables y el ambiente.
<b>Area natural</b>	Lugar físico o espacio en donde uno o más elementos naturales o de la naturaleza en su conjunto, no se encuentran alterados por las sociedades humanas.
<b>Área Protegida</b>	Es un área natural especialmente seleccionada para lograr la conservación o preservación de un ecosistema, de la diversidad biológica o genética, o una especie determinada. Dependiendo de sus objetivos de creación, las áreas protegidas incluyen a los Parques Nacionales, los Refugios de Fauna Silvestre o los Monumentos Naturales.
<b>Área protegida.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona especialmente seleccionada con el objetivo de lograr la conservación de un ecosistema, de la diversidad biológica y genética, o una especie determinada.</li> <li>• Se trata de una porción de tierra o agua determinada por la ley, de propiedad pública o privada, que es reglamentada y administrada de modo de alcanzar objetivos específicos de conservación.</li> </ul>
<b>Área pública</b>	Son los sitios abiertos de libre acceso al uso público tales como áreas para la recreación, parques, plazoletas, zonas verdes, puentes, puentes peatonales, separadores, canales y todas aquellas que se le asimilen.
<b>Asentamiento</b>	Instalación provisional, generalmente permitida por el Gobierno, de colonos o agricultores, en tierras destinadas casi siempre a expropiarse. Actualmente, se ha extendido su uso al ámbito urbano.
<b>Aseo urbano</b>	Conjunto de actividades y procesos que comprenden el almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, disposición, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, recuperación, reuso y reciclaje de los residuos sólidos municipales. Sinónimo de limpieza pública.
<b>Asistencia técnica.</b>	Proyectos que tienden a transferir conocimientos, información, o servicios para resolver problemas técnicos específicos o aportar elementos para su resolución, como por ejemplo: optimización de procesos, mejoras de calidad, pruebas de control de calidad, asesoramiento en diseño, mercadotecnia, puesta en marcha de



	plantas o pruebas de funcionamiento y rendimiento; o bien: formación y capacitación de personal.
<b>Aspecto de un agua residual</b>	Es una característica física que se refiere a la descripción de su particularidad más apreciable a simple vista, por ejemplo agua residual turbia, presencia de sólidos disueltos, presencia de sustancias flotantes, etc.
<b>Atmósfera</b>	<p>La masa total de aire que circunda la Tierra. Su espesor es variable según la latitud, de 600 a 1.500 km.</p> <p>Es la mezcla de gases y partículas suspendidas que envuelve la Tierra y que permanece en torno a ella gracias a la atracción gravitacional del planeta. Los principales componentes de la atmósfera son el nitrógeno molecular (78% en volumen) y oxígeno molecular (21% en volumen). El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y otros elementos gaseosos de menor concentración ocupan el 1% restante. La atmósfera se subdivide en troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera.</p>
<b>Auditoria ambiental</b>	<p>Es el conjunto de herramientas de manejo sistemático, documentado y objetivo de una evaluación de la organización ambiental, operación y equipamiento, a fin de contribuir a salvaguardar el ambiente con el objeto de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar el manejo del control de las prácticas ambientales.</li> <li>• Evaluar la articulación de las políticas empresariales con los requisitos de las regulaciones. (Cámara Internacional de Comercio).</li> <li>• Es la revisión sistemática, documentada, periódica y objetiva efectuada por entidades públicas y privadas de operaciones y prácticas enmarcadas en requerimientos ambientales.</li> </ul> <p>Apunta a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Verificar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.</li> <li>b. Evaluar la efectividad de los sistemas de manejo ambiental.</li> <li>e) Evaluar los riesgos de prácticas y materiales regulados y no regulados. (EPA/USA).</li> </ol>
<b>Auditoría Ambiental</b>	Metodología utilizada para evaluar y documentar el grado de afectación ambiental que produce el funcionamiento de una

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	empresa o industria.
<b>Auditoria medio - ambiental</b>	Ordenación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización del Sistema de Gestión y de procedimientos destinados a la protección del Medio Ambiente".
<b>Auditoria medio - ambiental</b>	Actividad profesional de investigación, evaluación, dictamen y recomendaciones, centrada en el Impacto Medioambiental de todo proceso empresarial con el fin de enjuiciar, si procede y ayudar a que la organización y su funcionamiento sean conformes con lo dispuesto por quien tiene el poder legítimo para disponerlo (Administraciones Públicas, Consejos de Administración, Director General, etc).
<b>Auditoria medio - ambiental</b>	Es un proceso de evaluación sistemática, objetiva, independiente y periódica del sistema de protección ambiental de la empresa, en una determinada instalación o actividad, que permite mejorar las actuaciones en materia de medio ambiente, de las actividades industriales, agrícolas y ganaderas, de la construcción y los servicios y que facilita el suministro de información relevante al público" M. T. Estevan (1992)
<b>Auditoria medio - ambiental</b>	Es una evaluación del Impacto Ambiental de una actividad en funcionamiento. Otros autores.
<b>Avifauna</b>	Conjunto de especies de aves que viven en una determinada localidad, región o país.
<b>Balance de masas</b>	Contabilidad de los pesos de los materiales que entran y salen de una unidad de procesamiento.
<b>Barrido y limpieza</b>	Conjunto de actividades tendientes a dejar las áreas públicas libres de todo residuo sólido diseminado o acumulado.
<b>Barrido y limpieza manual</b>	Es el que se realiza mediante la utilización de implementos manuales y fuerza humana.
<b>Barrido y limpieza mecánica</b>	Es el que se realiza mediante el uso de equipos mecánicos, incluyendo la aspiración.
<b>Barros</b>	Cualquier residuo sólido, semisólido o líquido generado en una planta de tratamiento de aguas residuales, sea municipal, provincial o nacional o industrial, planta de purificación de agua para consumo, o instalación de control de contaminación de afluentes gaseosos.
<b>Basura</b>	Sinónimo de residuos sólidos municipales y de desechos sólidos.
<b>Basurero</b>	Botadero, vertedero o vaciadero.

<b>Benchmarking</b>	Proceso de búsqueda de las mejores prácticas que llevarán a una organización al logro de un desempeño superior. Está orientado a establecer metas de operación sobre la base de mejores prácticas que, revisadas y actualizadas, permitan obtener rendimientos superiores a largo plazo.
<b>Berma</b>	Se utiliza para mantener la estabilidad del talud del relleno cuando la altura de éste excede de 1,25 a 2 m. Además, se requiere para la ubicación de canales para el drenaje del agua superficial y, por último, la ubicación de tuberías destinadas a la recuperación del gas.
<b>Biocida</b>	Cualquier sustancia química o biológica utilizada para controlar plagas. Dependiendo de su objeto, se agrupan en insecticidas (insectos), fungicidas (hongos), raticidas (ratas y ratones) y pesticidas (pestes en general), entre otros.
<b>Biodegradable</b>	Capaz de ser asimilado (descompuesto y metabolizado) por el ambiente gracias a su naturaleza química.
<b>Biodegradable</b>	Residuo que puede ser descompuesto en sustancias inorgánicas por la acción de microorganismos como las bacterias o los hongos.
<b>Biodegradación</b>	Proceso de descomposición de un material o una sustancia, por parte de organismos vivos.
<b>Biodiversidad</b>	Se entiende como la variabilidad de los organismos vivos de cualquier fuente, y la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los complejos ecológicos que forman parte.
<b>Biodiversidad</b>	Es la totalidad de los genes, las especies y los ecosistemas de una región.
<b>Bioética</b>	Corriente moderna impulsada por algunos biólogos y ecologistas, que considera como valor ético fundamental, el respeto a la naturaleza en general y a las distintas especies que pueblan el planeta.
<b>Biogás</b>	Mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos, compuesta principalmente de metano y dióxido de carbono.
<b>Biomasa</b>	Volumen o masa total de todos los organismos vivientes de una zona particular, una comunidad o un ecosistema.
<b>Bioregión</b>	Territorio definido por la combinación de criterios biológicos, sociales y geográficos, más bien que por consideraciones geopolíticas; en general, un sistema de ecosistemas relacionados,

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	interconectados. (Planificación bio-regional).
<b>Biosfera</b>	Porción de la Tierra y su atmósfera donde se desarrolla y subsiste la vida del planeta.
<b>Biosfera.</b>	Fina capa de cobertura de la Tierra que contiene el sustento de la vida.
<b>Biotecnología.</b>	Toda tecnología que se aplica a organismos vivos para hacerlos más valiosos para el ser humano.
<b>Biótico.</b>	Relativo a la vida y a los organismos. Los factores bióticos constituyen la base de las influencias del medio ambiente que emanan de las actividades de los seres.
<b>Bolsa de residuos</b>	( <i>Waste Exchange</i> ) Término empleado para referirse al sistema de intercambio de residuos
<b>Botadero</b>	Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario. Sinónimo de <b>vertedero, vaciadero o basurero.</b>
<b>Botadero de Desechos</b>	Es el sitio o vertedero, sin preparación previa, donde se depositan los desechos, en el que no existen técnicas de manejo adecuadas y en el que no se ejerce un control y representa riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
<b>Cadena Alimentaria</b>	Secuencia de organismos desde productores a consumidores, que se alimentan a distintos niveles tróficos.
<b>Calentamiento global</b>	<p>La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, el principal gas invernadero, no para de subir. Desde el comienzo de la era industrial ha pasado de 280 a 350 ppm (partes de <math>CO_2</math> por millón de partes de aire). Para finales de siglo se estiman cifras que llegan hasta 450 ppm.</p> <p>Otros gases como el metano, contribuyen a reforzar el efecto invernadero: cuantas más moléculas floten en el aire, tanto más calor quedará atrapado en la atmósfera.</p> <p>Si sigue aumentando el nivel de <math>CO_2</math>, metano y <i>CFC</i>, los actuales 15° promedio podrán ascender fácilmente unos puntos más en treinta o cincuenta años.</p> <p>La actividad humana está forzando el calentamiento terrestre: los incendios de bosques y la quema de combustibles inyectan a la atmósfera 3500 millones de toneladas anuales de dióxido de carbono. Por su parte los 1200 millones de cabezas de ganado que hay en el mundo y los cultivos de arroz, desprenden grandes</p>

	cantidades de metano. (ver Ozono)
<b>Calidad</b>	La totalidad de las características de una entidad, que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas.
<b>Calidad ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los atributos mensurables de un producto o proceso que indican su contribución a la salud e integridad ecológica.</li> <li>• Estado físico, biológico y ecológico de un área o zona determinada de la biosfera, en términos relativos a su unidad y a la salud presente y futura del hombre y las demás especies animales y vegetales.</li> </ul>
<b>Calidad de vida</b>	Vínculo dinámico entre el individuo y el ambiente en donde la satisfacción de necesidades implica la participación continua y creativa del sujeto en la transformación de la realidad.
<b>Calidad del aire ambiente</b>	Estado del aire ambiente según lo indique su grado de contaminación
<b>Capa de mezcla</b>	<p>La mayor parte de los residuos volátiles no llegan a ascender más de unos cuantos centenares de metros. El aire en esta zona de la atmósfera está en contacto con la superficie terrestre y su movimiento está afectado por la rugosidad de ésta. Ello da lugar a que se produzcan turbulencias y en consecuencia que tenga lugar una mezcla constante de los componentes atmosféricos. Es por esta razón que a esta zona más baja de la atmósfera terrestre se denomina capa de mezcla.</p> <p>En principio, debido a los movimientos constantes de las masas de aire, los residuos que se vierten se desplazan mientras permanecen en la capa de mezcla. En consecuencia, los efectos de los residuos se diluyen, favoreciendo su asimilación por la propia atmósfera. Sólo en el caso de que el aporte de residuos sea elevado y constante, y si además las condiciones climáticas lo favorecen, los contaminantes pueden permanecer en una determinada zona muy local durante un largo período de tiempo, con lo que entonces sus efectos se dejan notar en forma notable. Estos son las condiciones que se dan en las ciudades densamente pobladas, así como en centros industriales de gran actividad productiva.</p>
<b>Capacidad de carga</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de un ecosistema de soportar a los organismos y, al mismo tiempo, mantener su productividad, adaptabilidad y capacidad de renovación.</li> <li>• Es la facultad que tiene un medio (aire, agua y suelo) para absorber ciertos elementos extraños sin que ello implique</li> </ul>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	cambios en sus relaciones esenciales.
<b>Capacidad de sustentación</b>	Número máximo de personas, o individuos de determinada especie, que cierta porción del medio ambiente puede mantener indefinidamente.
<b>Capital natural</b>	Riqueza ecológica de un país. Un balance de la actividad humana y la naturaleza requiere que las decisiones económicas tomen en cuenta el consumo actual y el futuro ambiental.
<b>Capital o inversión de riesgo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad financiera en la que el proveedor de capital realiza una inversión a mediano plazo. La remuneración viene dada por la ganancia de capital, más que por el interés o dividendo pagado.</li> <li>• Los recursos financieros aportados son cedidos por un título que no produce el derecho a exigir su restitución sino que se participa en un negocio de terceros, en el que el inversionista es como máximo corresponsable de negocio; debe implicar una actividad de asistencia y apoyo variable y debe contemplar una cláusula de salida en la que se convenga la forma y el tiempo en el que podrá liquidarse la inversión.</li> </ul>
<b>Características de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Characteristics)</i> Aspectos específicos de los residuos que determinan su grado de peligrosidad o toxicidad, y derivan en su clasificación por su procedencia y/o composición.
<b>Características físicas de un agua residual</b>	Entre las más importantes están: Aspecto, Color, Turbiedad, Olor, Sólidos Totales, Temperatura. (Ver c/u de las respectivas definiciones).
<b>Carbono orgánico total (cot) de un agua residual</b>	Especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica, la que se mide por la cantidad de anhídrido carbónico que se genera al oxidar en condiciones especiales a la materia orgánica. Este valor puede expresar cantidades menores de materia orgánica, pues algunos compuestos orgánicos pueden no oxidarse.
<b>Carga total de contaminación</b>	Masa de un contaminante específico que ha sido descargada en el ambiente, en un período determinado. Este concepto es, bajo determinadas circunstancias, más importante que la especificación misma de la capacidad de concentración del contaminante de ese medio.
<b>Catástrofe ecológica</b>	Fenómeno destructivo que en forma masiva altera ecosistemas enteros, llegando inclusive a la extinción de especies animales y vegetales. Puede ocurrir por causas naturales o por la intervención del hombre.

<b>Caudal de emisión</b>	Masa de contaminante transferida a la atmósfera por unidad de tiempo.
<b>Caudal de inmisión</b>	Masa de contaminantes transferida al receptor por unidad de tiempo.
<b>Celda</b>	Se utiliza para describir el volumen de material depositado en un relleno sanitario durante un periodo, normalmente un día. Incluye los residuos sólidos depositados y recubrimiento. Los objetivos del recubrimiento es evitar el vuelo de materiales residuales, y controlar durante la operación la entrada de agua al relleno.
<b>Certificado ambiental</b>	Instrumento administrativo que acredita, en forma exclusiva, la aprobación y habilitación a los generadores, transportistas y operadores del sistema de manipulación, transporte, tratamiento o disposición final que los inscriptos aplican a los residuos peligrosos. Se renueva anualmente.
<b>CFC</b>	Los Clorofluorocarbonos son, tal vez, los más renombrados contaminantes atmosféricos. Se han usado en equipos de refrigeración, aerosoles y muchos otros productos. En presencia de radiación ultravioleta ocurren reacciones de fotodescomposición produciéndose átomos de cloro que destruyen el ozono.
<b>Ciclo</b>	Serie recurrente de fenómenos naturales, en los que la materia se transforma, mediante procesos físicos o químicos, degradándose la energía.
<b>Ciclo de calidad</b>	Modelo conceptual de las actividades interrelacionadas que influyen en las diferentes etapas desde la identificación de las necesidades hasta la evaluación de su satisfacción.
<b>Ciclo de vida</b>	Una secuencia de fases conceptuales relacionada con un producto, proceso, servicio, instalación o empresa.
<b>Círculo de pobreza</b>	<p>Expresión aplicada a la situación generada en ciertos países o regiones para indicar la dificultad del problema ambiental y social que los aqueja.</p> <p>Este ciclo se caracteriza por la degradación de los recursos naturales, baja productividad, estancamiento agrícola, pobre tecnología, ingresos precarios de los habitantes, desnutrición, analfabetismo, altos índices de natalidad, mortalidad y morbilidad elevada, migración del campo a la ciudad y descomposición social.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Coadministra-ción</b>	Es el reparto de autoridad, responsabilidad y beneficios entre el gobierno y las comunidades locales para la administración de los recursos naturales.
<b>Codisposición</b>	( <i>Codisposal</i> ) Técnica de disposición conjunta de residuos domésticos con residuos de carácter peligroso en rellenos sanitarios, donde a través de reacciones físicas, químicas y biológicas los residuos son degradados y estabilizados.
<b>Color de un agua residual</b>	Es una característica física que indica generalmente la presencia en el agua de sustancias disueltas y/o coloidales y/o suspendidas (color aparente). Cuando se elimina la turbiedad del agua por centrifugación o filtración se obtiene el color real. Da en general un aspecto desagradable al agua residual.
<b>Combustibles fósiles</b>	Son los constituidos por restos fósiles de organismos vivos. Los principales son: el carbón, el petróleo y el gas natural.
<b>Comensalismo</b>	Asociación en la que una especie se beneficia, en tanto que la otra ni resulta perjudicada ni saca ningún provecho. Las bacterias en el intestino de los mamíferos son comensales.
<b>Comisión brundtland</b>	Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. Toma su nombre de la Sra. GRO HARLEM BRUNDTLAND, Primera Ministro de Noruega, quien presidió esta Comisión. Los resultados de sus trabajos fueron publicados en 1987 bajo el título: "Nuestro Futuro Común".
<b>Comisión de impacto ambiental</b>	Comisión formada por instituciones competentes y coordinada por la autoridad respectiva autorizada para emitir los lineamientos necesarios para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental y resolver sobre las apelaciones y reconsideraciones que se produzcan como consecuencia de la resolución de impacto ambiental.
<b>Comité de reclamos</b>	Es el conformado por representantes del concesionario, la comunidad y la Administración, encargado de dirimir las reclamaciones de los usuarios en segunda instancia.
<b>Componentes del ecosistema</b>	Partes constitutivas de un sistema biológico. Se agrupan en distintas clases: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias inorgánicas.</li> <li>• Sustancias orgánicas.</li> <li>• Factores físicos ambientales.</li> <li>• Productores fotosintéticos o autótrofos.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumidores macroscópicos.</li> <li>• Consumidores microscópicos.</li> <li>• Descomponedores.</li> </ul>
<b>Compostaje</b>	Proceso de manejo de desechos sólidos, por medio del cual los desechos orgánicos son biológicamente descompuestos, bajo condiciones controladas, hasta el punto en que el producto final puede ser manejado, embodegado y aplicado al suelo, sin que afecte negativamente el medio ambiente.
<b>Compuestos Orgánicos</b>	Sustancias cuyo componente básico estructural molecular, es una cadena de átomos de Carbono. Están presentes en los seres vivos en forma de moléculas bio-orgánicas, pero también en el petróleo, el carbón y hasta en formas simples en el espacio.
<b>Comunidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunto de seres vivos que pueblan un territorio determinado, caracterizado por las interrelaciones que estos organismos tienen entre sí y con su entorno.</li> <li>• Grupo integrado de especies que habitan en determinada zona; los organismos de determinada comunidad se influyen mutuamente en materia de distribución, abundancia y evolución. (Una comunidad humana es un grupo social de cualquier tamaño cuyos miembros viven en determinada localidad).</li> </ul>
<b>Comunidades Bióticas</b>	Conjunto de poblaciones animales y vegetales que viven en un área indefinida, incluyendo los micro-organismos.
<b>Concentración a nivel de suelo</b>	Cantidad de sólido, líquido o materia gaseosa por unidad de volumen de aire, generalmente medida a una altura especificada.
<b>Concentración de fondo</b>	Se denomina concentración de fondo a la concentración ambiente debida al aporte de otras fuentes distintas a las analizadas. Puede ser fruto del aporte de fuentes naturales, otras fuentes que contribuyan a la contaminación ambiental en la zona de estudio, identificadas o no.
<b>Concentración de fondo natural</b>	Concentración de una especie dada en una masa de aire prístina en la cual las emisiones antropogénicas son despreciables.
<b>Concentración de la emisión</b>	Concentración de contaminantes del aire en una emisión en sus puntos de descarga.
<b>Concentración letal</b>	Medida arbitraria de toxicidad con que se indica la concentración de una sustancia capaz de matar un 50% de un grupo experimental de insectos o animales en un determinado tiempo,

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	por inhalación o ingestión.
<b>Concentración máxima admisible</b>	Cantidad límite de contaminantes que se pueden arrojar a un río o a la atmósfera sin que se llegue a poner en peligro la salud o existencia del hombre, animales o plantas.
<b>Concentración total</b>	En los estudios de impacto ambiental, la comparación con los valores estándar de calidad de aire se debe hacer considerando la concentración total, es decir la suma de la concentración de fondo y de la proveniente de la fuente en estudio.
<b>Concesión</b>	Otorgamiento oficial, gubernamental o municipal, a favor de individuos o empresas privadas para la prestación parcial o total de servicios.
<b>Concesionario</b>	Es el proponente que habiendo sido seleccionado por la Administración, suscriba el correspondiente contrato de concesión del cual hace parte el presente reglamento.
<b>Conciencia ambiental</b>	Convicción de una persona, organización, grupo o una sociedad entera, de que los recursos naturales deben protegerse y usarse racionalmente en beneficio del presente y el futuro de la humanidad. Está fundada en eco-valores que determinan una conducta o un comportamiento ecológico positivo.
<b>Conductividad de un agua residual</b>	Es la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y de la temperatura. Las aguas residuales con sales, bases y ácidos pueden tener coeficientes de conductividad más altos que las aguas residuales con compuestos orgánicos que no se disocian, que es casi nulo.
<b>Conservación</b>	<p>Gestión dirigida a la preservación y uso racional de los recursos naturales, para asegurar el mejor beneficio que tiende al desarrollo sustentable de la sociedad.</p> <p>Es la administración del uso humano de la biosfera de modo que pueda producir los mayores beneficios sustentables para las generaciones actuales y a la vez mantener sus posibilidades de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras. En consecuencia, la conservación es positiva y comprende la preservación, el mantenimiento, la utilización sustentable, la restauración y el mejoramiento del entorno natural.</p>
<b>Conservación Ambiental</b>	Uso racional y sostenible de los recursos naturales y el ambiente. Entre sus objetivos encontramos garantizar la persistencia de las especies y los ecosistemas y mejora de la calidad de vida de las poblaciones, para el beneficio de la presente y futuras generaciones.

<b>Conservación de la biodiversidad</b>	Es la gestión de las interrelaciones humanas con los genes, las especies y los ecosistemas, a fin de producir los mayores beneficios para la generación actual y a la vez mantener sus posibilidades de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones; sus elementos consisten en salvar, estudiar y utilizar la biodiversidad.
<b>Conservación ex situ</b>	Mantenimiento de los componentes vivos de la biodiversidad fuera de su hábitat o entorno natural original.
<b>Conservación in situ</b>	La conservación de la biodiversidad en el marco de sistemas dinámicos evolutivos del hábitat o el medio ambiente natural original
<b>Contaminación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación de sustancias que de manera directa o indirecta, que causan efectos adversos sobre el medio ambiente y los seres vivos.</li> <li>• Existencia en el ambiente de contaminantes o agentes tóxicos o infecciosos que entorpecen o perjudican la vida, la salud y el bienestar del hombre, la fauna y la flora; que degradan la calidad del ambiente y en general, el equilibrio ecológico y los bienes particulares y públicos</li> </ul>
<b>Contaminación</b>	Presencia de sustancias exógenas en los sistemas naturales, los agroecosistemas o los ecosistemas humanos, que ocasionan alteraciones en su estructura y funcionamiento. Dependiendo del medio afectado, la contaminación puede ser atmosférica, acuática o del suelo. Dependiendo del tipo de contaminante, también se describen tipos más específicos, tales como la contaminación bacteriana, alimentaria, electromagnética, industrial, alimentaria, química, radiactiva, térmica y sónica.
<b>Contaminación del aire</b>	La presencia habitual, en la atmósfera, de sustancias resultantes de la actividad humana o de procesos naturales, en concentración suficiente, durante un tiempo suficiente y en circunstancias tales como para afectar el confort, la salud o el bienestar de personas, o el medio ambiente.
<b>Contaminación por desechos sólidos</b>	La degradación de la calidad natural del medio ambiente, como resultado directo o indirecto de la presencia o la gestión y la disposición final inadecuadas de los desechos sólidos.
<b>Contaminante</b>	Un constituyente de un material o residuo que se sabe o sospecha que es agente de riesgo.
<b>Contaminante del aire</b>	Cualquier sustancia emitida a la atmósfera, por una actividad humana o por un proceso natural, que afecte al ser humano o al medio ambiente.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Contaminante natural</b>	Las emitidas por los diferentes procesos naturales del océano, de los bosques, de los volcanes, de los pantanos, de las tempestades eléctricas, etc.
<b>Contaminante primario</b>	Contaminante del aire emitido directamente por una fuente.
<b>Contaminante secundario</b>	Contaminante que puede ser producido en la atmósfera por procesos físicos o químicos, a partir de contaminantes primarios u otras sustancias presentes como resultado de emisiones de fuentes estacionarias o móviles.
<b>Contaminantes antropogénicos</b>	Producidos por la acción del hombre en diferentes procesos.
<b>Contenedor</b>	Recipiente de capacidad variable empleado para el almacenamiento de residuos sólidos.
<b>Contenedor</b>	Recipiente en el que se depositan los desechos sólidos para su almacenamiento temporal o para su transporte.
<b>Contenedores de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Containers)</i> Todo envase, bolsa o cilindro apto a usarse para el almacenamiento, transporte y/o disposición de un residuo de carácter peligroso.
<b>Contrato</b>	Acuerdo escrito de voluntad en el cual se definen todos los derechos y obligaciones del concesionario y del Distrito.
<b>Control ambiental</b>	Medidas legales y técnicas que se aplican para disminuir o evitar la alteración del entorno o consecuencia ambiental producida por las actividades del hombre, o por desastres naturales, y para abatir los riesgos de la salud humana.
<b>Correctivo</b>	Significa cualquiera y todas las acciones que deba ejecutar el concesionario para subsanar cualquier deficiencia.
<b>Costos ambientales</b>	Riesgos económicos intangibles de un proyecto de cierta envergadura. La economía tradicional ha ignorado tanto estos costos, como los sociales. Muchos proyectos ejecutados sin tomar en consideración estos costos producen impactos ambientales.
<b>Crisis ecológica</b>	Perturbación general del ambiente, gestada por el hombre (antropogénicas o antrópica) y/o los fenómenos naturales. Sumada a una crisis política, económica e incluso de un pueblo, a la incapacidad de planificación, el abuso y destrucción de los recursos naturales y la explotación del ambiente más allá del soporte y recuperación, esta crisis puede llevar a una situación de desastre general que origina hambruna, migraciones multitudinarias, ecorrefugiados y desorden social.

<b>Criterio</b>	Juicio o discernimiento normativo general de referencia.
<b>Cuadra</b>	Cada tramo de la vía pública que se encuentra entre una calle y la siguiente.
<b>Cuentas del ingreso nacional</b>	Sistema de registro con el que se mide el vigor de una economía nacional. (Los resultados suelen denominarse producto nacional bruto o producto ingreso bruto).
<b>Cuerpo receptor</b>	Es el ecosistema donde tienen o pueden tener destino final de residuos peligrosos ya tratados como resultado de operaciones de eliminación. Son cuerpos receptores las aguas dulces superficiales, la atmósfera, los suelos, las estructuras geológicas estables y confinadas.
<b>Cuidados ambientales primarios</b>	Organización y aplicación de las capacidades de un individuo o de una comunidad para cuidar el ambiente.
<b>Curriculum</b>	Documento que incorpora series estructuradas de resultados planeados de aprendizaje y experiencias asociadas. Es decir: objetivos, estructura, contenidos, evaluación y secuencia de los aprendizajes. Puede articularse bajo la forma de una serie de módulos.
<b>Curso</b>	Secuencia estructurada de la capacitación y la educación, evaluada sobre la base de un rango de resultados específicos de enseñanza y generalmente asociados con una estructura institucional.
<b>Declaración de impacto ambiental</b>	Informe público desarrollado a partir de estudios socio-ambientales que indica todas las posibles consecuencias ambientales que puede acarrear la ejecución de un determinado Proyecto sobre el ambiente. Tiene como finalidad poner en evidencia los riesgos y costos ambientales y alertar a los tomadores de decisiones, a la población y al gobierno.
<b>Deficiencia</b>	Cualquier condición o característica de los servicios provistos que no cumpla con los requerimientos de calidad, oportunidad y demás, establecidos para mantener las áreas limpias.
<b>Deforestación</b>	Eliminación de la cobertura vegetal (bosques) de la tierra con fines agrícolas, pecuarios, urbanos o industriales.
<b>Degradable</b>	Que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales, (por ejemplo biodegradable implica la acción de microorganismos, fotodegradable: implica la acción de la luz)
<b>Degradación</b>	Pérdida de las cualidades de un ecosistema que incide en la evolución natural del mismo, provocando cambios negativos en

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	<p>sus componentes y condiciones como resultado de las actividades humanas. Se distinguen los siguientes tipos:</p> <p>a) <b>Degradación irreversible:</b> Cuando la alteración y/o destrucción del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente afectado no puede restaurarse.</p> <p>b) <b>Degradación corregible:</b> Cuando la alteración y/o destrucción parcial del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente puede restaurarse y recuperarse con procedimientos y/o tecnologías adecuadas.</p> <p>c) <b>Degradación incipiente:</b> Cuando la alteración y/o destrucción parcial del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente puede recuperarse sin la intervención de procedimientos o tecnología especiales, siendo suficiente a ese efecto el cese temporal o definitivo de la actividad deteriorante.</p>
<p><b>Degradación</b></p>	<p>Término aplicado a cualquier proceso de transformación de un sistema, orden, estructura o sustancia compleja, a un nivel inferior. Así tenemos la degradación geológica, biológica (biodegradación), química o entrópica.</p>
<p><b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de un agua residual</b></p>	<p>Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica, de los compuestos orgánicos degradables existentes en el líquido residual. Fijando ciertas condiciones de tiempo y temperatura, por ejemplo en 5 días y a 20 °C.</p>
<p><b>Demanda química de oxígeno (DQO) de un agua residual</b></p>	<p>Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO5, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la presencia de un oxidante fuerte como los dicromatos.</p>
<p><b>Deposición húmeda</b></p>	<p>Corresponde a la absorción de contaminantes en gotas, seguida de la remoción de estas gotas por precipitación.</p> <p>Se identifican dos procesos:</p> <p>a) <b>Washout:</b> Se aplica a la eliminación de contaminantes dentro de las nubes.</p> <p>b) <b>Rainout:</b> Se aplica a la eliminación de contaminantes de la atmósfera, por debajo de las nubes, por la caída de</p>

	lluvia, nieve o granizo.
<b>Deposición seca</b>	Es la transferencia de contaminantes gaseosos o material particulado hacia la superficie de la Tierra, incluyendo suelo, agua y vegetación como medios de remoción.
<b>Depósitos de seguridad</b>	<i>(Secure landfill)</i> Término empleado para referirse a los rellenos de seguridad.
<b>Depredación</b>	Explotación de la naturaleza sin el cuidado de renovar lo que se ha destruido (plantas o animales).
<b>Depredador</b>	Animal que mata con violencia a otros animales, llamados presas, para comer. La relación entre el depredador y sus presas preferidas, tiende al equilibrio, ya que el número de depredadores de un ecosistema depende directamente del número de presas que puedan obtener en ese mismo ecosistema y viceversa.
<b>Derecho Ambiental</b>	Todo lo referente a las leyes que rigen la protección, defensa, mejoramiento y conservación del ambiente.
<b>Desarrollo</b>	Es aquél proceso de transformación del ambiente natural en ambiente construido, artificial, por la interacción de cuatro elementos: la tecnología, la energía, la organización social y la cultura.  Caracterizado por un crecimiento económico acompañado por la transformación estructural del sistema económico y el cambio social.
<b>Desarrollo Sostenible</b>	Proceso de cambio social dirigido a promover la mejora de la calidad de vida de las sociedades humanas, en el cual el aprovechamiento de los recursos naturales y el ambiente se realiza en forma armónica, garantizándose su utilización por parte de la presente y futuras generaciones.
<b>Desarrollo sustentable</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Aumento al máximo de los beneficios netos del desarrollo económico, subordinado al mantenimiento de los servicios y a la calidad de los recursos naturales. (EDWARD BARBIER, 1989).</li> <li>2) Es un proceso evolutivo sustentado en el equilibrio ecológico y el soporte vital de la región a través del crecimiento económico y la transformación de los métodos de producción y patrones de consumo, con respeto pleno a la integridad étnica y cultural regional, nacional y local, así como en el fortalecimiento de la participación democrática de la sociedad civil, en convivencia pacífica y en armonía con la naturaleza sin comprometer y garantizando la calidad de vida</li> </ol>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	<p>de las generaciones futuras. (CCAD, 1993).</p> <p>3) Es el que satisface las necesidades del presente sin dañar la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. (COMISIÓN MUNDIAL DE AMBIENTE Y DESARROLLO, 1987).</p> <p>4) Es aquel proceso participativo de los actores del desarrollo que genera, administra y distribuye los resultados positivos del progreso socioeconómico y protege el ambiente en beneficio de las actuales y futuras generaciones, mejorando la calidad de vida, sin sobrepasar la capacidad de carga de los ecosistemas que lo sustentan. (CONSEJO DE LA TIERRA, 1993).</p> <p>5) El uso de los recursos actuales no debería reducir los ingresos reales del futuro.(ANIE MARKANDYA-DAVID PEACE, 1988).</p> <p>6) Las decisiones actuales no deberían perjudicar las perspectivas de mantener o manejar los niveles de vida futuros. Esto significa que los sistemas económicos deberán administrarse de tal manera que se pudiera vivir aprovechando los dividendos de los recursos, pero sin dejar de mantener y mejorar la base de bienes.(ROBERT REPETTO, 1986).</p> <p>7) Es el mejoramiento de la calidad de vida humana dentro de la capacidad de carga de los sistemas sustentadores de la vida. (UICN, 1991).</p> <p>8) Es un proceso de cambio social en el que la explotación de los recursos, en el sentido de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y las reformas institucionales se realizarán en forma armónica, ampliándose el potencial actual y futuro, para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas. (NUESTRA PROPIA AGENDA, 1991).</p> <p>9) Es aquél que es compatible con la satisfacción de las necesidades de la población y con la preservación de la base de recursos y el ambiente. (SUNKEL, 1980).</p> <p>10) Es la adecuación y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. (FAO, 1991).</p>
<p><b>Desarrollo sustentable</b></p>	<p>Representa un modelo de crecimiento económico global que satisface las necesidades actuales de la humanidad, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para</p>



	satisfacer sus propias necesidades.
<b>Descarbonización</b>	Lograr la disminución de la masa de carbono liberada con el tiempo por la unidad de producción de energía, tiende a la utilización de combustible de hidrógeno
<b>Descarga de residuos peligrosos al mar</b>	<i>(Ocean disposal)</i> Método de disposición final de residuos sólidos o lodos, transportándolos en lanchones o barcos especiales y vaciándolos en las profundidades del mar.
<b>Desecho</b>	Cualquier materia líquida, sólida, gaseosa o radioactiva que es descargada, emitida, depositada, enterrada o diluida en volúmenes tales que puedan, tarde o temprano, producir alteraciones en el ambiente.
<b>Desecho Peligroso</b>	Sustancia o material de todo tipo, líquido, sólido o gaseoso, que expuesto en el ambiente, representa un peligro para los seres humanos, así como para la vida silvestre y acuática. En líneas generales, pueden agruparse en: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tóxicos (plaguicidas, sales de metales pesados, bifenilos policlorados y varios venenos orgánicos;</li> <li>2. Radiactivos o atómicos;</li> <li>3. Inflamables;</li> <li>4. Corrosivos (ácidos o álcalis); y</li> <li>5. Oxidantes.</li> </ol>
<b>Desecho sólido</b>	Sinónimo de residuos sólidos municipales y de basura.
<b>Desechos Sólidos</b>	Son aquellos materiales no peligrosos, que son descartados por la actividad del ser humano o generados por la naturaleza, y que no teniendo una utilidad inmediata para su actual poseedor, se transforman en indeseables.
<b>Despapele</b>	Acción de recoger papeles y hojas de las vías sin pavimentar, plazas, parques y áreas verdes por medio de implementos adecuados.
<b>Desperdicio</b>	Residuo sólido o semisólido de origen animal o vegetal, sujeto a putrefacción, proveniente de la manipulación, preparación y consumo de alimentos.
<b>Deuda ecológica</b>	Explotación y agotamiento de los recursos naturales del Tercer Mundo desde la época de la colonia, en beneficio de los países industrializados a costa de la estabilidad ecológica y de opciones de desarrollo futuras de los primeros.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Diagrama de flujo</b>	Diagrama en donde se muestra un conjunto de operaciones y procesos unitarios, en instalaciones y operaciones manuales para conseguir un objetivo.
<b>Dioxina</b>	Compuesto químico altamente tóxico y persistente que se forma en la elaboración de ciertos herbicidas.
<b>Diseño para el medio-ambiente (dfe - design for environmental)</b>	Es un Programa cuyo objetivo es el de animar negocios para incorporar consideraciones medioambientales en el plan y rediseño de productos, procesos y técnicas para la dirección de sistemas.  Representa una consideración sistemática de la función del diseño con respecto a objetivos medioambientales de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida del producto y del proceso. EPA
<b>Diseño para x (dfx)</b>	Es un sistema de diseño que representa la característica deseada para el producto, donde X es precisamente la propiedad deseada.
<b>Disposición de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Disposal)</i> Acción de disponer los residuos peligrosos por diversos métodos, por ejemplo sobre el suelo, en el subsuelo, en el mar o en rellenos especialmente diseñados.
<b>Disposición en domos de sal</b>	<i>(Salt Domes Disposal)</i> Método de disposición de residuos peligrosos en bóvedas recubiertas de sal o en minas de sal abandonadas.
<b>Disposición final</b>	Es la acción de depósito permanente de los residuos sólidos en sitios y condiciones adecuadas.
<b>Disposición Final</b>	Es la operación final controlada y ambientalmente adecuada de los desechos sólidos, según su naturaleza.
<b>Diversidad cultural</b>	Variedad o pluriformidad de estructuras sociales humanas, sistemas de creencias, y estrategias de adaptación a situaciones reinantes en diferentes partes del mundo.
<b>Diversidad genética</b>	Variación de la composición genética de los individuos dentro de una especie o entre especies; variación genética heredable dentro de una población y entre poblaciones.
<b>Dosis de inmisión</b>	Integral del caudal de inmisión en el receptor durante un período de exposición.
<b>DTM (digital terrain model) or DEM (digital elevation model)</b>	Cualquier representación digital de variación continua del relieve del terreno en el espacio.
<b>Dureza de un agua residual</b>	Se debe a la presencia de iones $Ca^{++}$ y $Mg^{++}$ , que pueden estar

	combinados con los siguientes aniones: carbonatos ácidos, cloruros, nitratos, sulfatos. El hierro y el aluminio también originan dureza, pero en general es muy pequeña en comparación con la dureza debida a los carbonatos. Produce depósitos salinos.
<b>Ecocidio</b>	Acción destructiva sobre el ambiente y sus recursos naturales.
<b>Ecodelito</b>	Tipificación legal moderna para los delitos de carácter ambiental, como lo son el contaminar fuentes de agua y aire, producir ruido excesivo, arrojar basura. Se basa en la responsabilidad del contaminador.
<b>Ecodesarrollo</b>	Estilo particular de desarrollo que permite alcanzar la plena satisfacción de las necesidades del hombre a través de un desarrollo económico y social continuo en armonía con el manejo racional del ambiente.
<b>Ecoeficiencia</b>	Es la capacidad de una entidad gestionada de satisfacer simultáneamente las metas de costo, calidad y rendimiento, su objetivo es reducir los impactos ambientales y conservar los recursos valiosos, para lo cual son necesarios procesos y productos más limpios y la utilización sostenible de los recursos.
<b>Ecología</b>	<p>a) Es la ciencia que estudia las relaciones de los organismos entre sí y con el medio ambiente en que viven.</p> <p>b) Es la rama de la biología que estudia las relaciones entre los organismos y su medio ambiente.</p> <p>c) Es una aproximación básica a la conservación de los recursos y recibe el aporte de otras ciencias, tales como: bioquímica, genética, citología y fisiología.</p> <p>d) Está en el "cruce" entre la zoología y la botánica.</p> <p>e) La base empírica de la ecología se da en el mayor número de oportunidades para la conservación de la vida de los organismos en el ambiente.</p> <p>f) El contenido de la ecología puede ser dividido por diversas vías; por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tipo de ambiente (interrelaciones tierra-aguas).</li> <li>• tipo de organismo. (plantas-animales).</li> <li>• nivel de complejidad e interrelaciones.</li> </ul> <p>g) Este grupo de categorías ecológicas puede ser separado o</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	<p>interrelacionado. Consecuentemente, un estudio global requiere de una compleja investigación.</p> <p>h) Las técnicas de la ecología son tanto experimentales como descriptivas.</p> <p>i) Existen, además, importantes aspectos ecológicos tanto en la industria como en la producción agrícola.</p> <p>j) Igualmente, muchas catástrofes antropogénicas suceden por una inconsciente aplicación de prácticas antiecológicas.</p>
<b>Ecología</b>	Ciencia que estudia las interrelaciones entre los seres vivos y el medio que les rodea. Dependiendo del contexto, la Ecología puede subdividirse en diversas especialidades, tales como la Ecología Humana, Vegetal y Animal, entre otras.
<b>Ecología de Poblaciones</b>	Estudio de las interacciones y patrones de comportamiento que gobiernan a los animales en un área determinada.
<b>Ecología humana</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ecología humana es el estudio de la estructura y desarrollo de las comunidades humanas y de las sociedades en términos de las poblaciones humanas adaptadas a sus ambientes, tomando en cuenta los sistemas tecnológicos y patrones de organización social y cómo esa adaptación se lleva a cabo.</li> <li>• Esta disciplina representa una aplicación de las perspectivas de las ciencias biológicas y sociales.</li> </ul>
<b>Ecología Humana</b>	Disciplina que tiene por objeto estudiar la distribución territorial y organización de las comunidades humanas, en relación con el medio en que viven, dedicando especial atención a los procesos de competencia y cooperación que en ellos se manifiestan.
<b>Ecología industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sistema donde se optimiza el consumo de energía y de materiales, se minimiza la generación de desagües y se favorece la reutilización de residuos de un proceso como materia prima para otros procesos.</li> <li>• Es el diseño de sistemas industriales ecoeficientes, con la participación de una o más empresas, que utilizan o imitan los patrones cíclicos de los flujos de materiales y energía que existen en los ecosistemas naturales.</li> </ul>
<b>Economía de la funcionalidad</b>	En una empresa es dar énfasis a los servicios por encima del género, es decir en vez de considerar a los productos como puntos finales en si mismos, es verlos como proporcionadores de funciones a los usuarios terminales. Los productos representan un medio para servir una función particular al consumidor.

<p><b>Ecosistema</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el conjunto de comunidades (conjunto de especies) faunísticas y florísticas afines entre sí, o correlacionadas por sus características estructurales y funcionales y sometidas a la influencia similar de los factores bióticos y abióticos.</li> <li>• Unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúa con el ambiente.</li> <li>• Unidad formada por la totalidad de organismos que ocupan un medio físico concreto (un lago, un valle, un río, un arrecife de coral, etc.) Que se relacionan entre sí y también con el medio.</li> <li>• Sistema conformado por una o más comunidades básicas con el medio físico que las rodea en una zona determinada. Presenta una estructura de funcionamiento y autorregulación, como resultado de las múltiples acciones recíprocas entre todos sus componentes.</li> <li>• Complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, hongos y microorganismos, y el medio ambiente no viviente vinculado con él, que hace de él una unidad ecológica.</li> <li>• Es el conjunto de componentes vivos e inertes, compleja y estrechamente relacionados, que actúan como un todo específico y que constituyen los ambientes, naturales e intervenidos.</li> </ul>
<p><b>Ecosistema</b></p>	<p>Conjunto o sistema formado por una o más comunidades bióticas (seres vivos) con el medio físico (recursos abióticos) que le rodea, en un espacio y escala determinada.</p>
<p><b>Ecosistema construido</b></p>	<p>Ecosistema dominado por edificaciones, rutas, aeropuertos, puertos, minas y otras construcciones antrópicas. Incluye parques, jardines, etc., urbanos y suburbanos.</p>
<p><b>Ecosistema cultivado</b></p>	<p>Ecosistema en el que el impacto humano es mayor que el de cualquier especie y cuya mayoría de componentes estructurales son culturales.</p>
<p><b>Ecosistema degradado</b></p>	<p>Ecosistema cuya diversidad y productividad han sido tan reducidas que será improbable conseguir su restauración sin adoptar medidas tales como rehabilitación o recuperación.</p>
<p><b>Ecosistema industrial</b></p>	<p>Son los complejos de producción (industrias) interconectados de manera tal que los residuos o subproductos de unos sirven como materia prima para otros.</p>
<p><b>Ecosistema modificado</b></p>	<p>Ecosistema en el que el impacto humano es mayor que aquél de</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	cualquiera otra especie, pero cuyos componentes estructurales no han sido cultivados
<b>Ecosistema natural</b>	Cada especie realiza su actividad independiente pero se interrelaciona con las otras actividades de otras especies, manteniéndose el equilibrio de las condiciones físicoquímicas y biológicas necesarias para reproducirse.
<b>Edafología</b>	Ciencia natural que estudia el análisis de los suelos.
<b>Educación ambiental</b>	Proceso educativo mediante el cual el educando adquiere la percepción global y pormenorizada de todos los componentes del ambiente, tanto natural como social, de la interdependencia y el funcionamiento de los ecosistemas, de la necesidad de su preservación y de su compatibilidad con el desarrollo.
<b>Educación Ambiental</b>	Proceso progresivo, permanente y coherente, dirigido a la formación de conocimientos, valores y conductas en las poblaciones humanas. Dependiendo de sus objetivos, entre muchos propósitos, la educación ambiental puede ayudar a prevenir o resarcir los daños al ambiente, formar a los individuos sobre el valor de los bienes y los servicios ambientales, concienciar sobre el papel de las comunidades en el desarrollo sostenible, o sensibilizar a los diferentes actores de las comunidades rurales y urbanas, en torno a la importancia de un ambiente sano.
<b>Efecto invernadero</b>	Los rayos solares calientan la superficie de la tierra. El calor, que tiende a ser remitido al espacio se encuentra con los denominados "gases invernadero" disueltos en el aire, que lo atrapan a mitad de camino, calentando la atmósfera.
<b>Efluente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto de desecho de un proceso gaseoso, líquido o sólido que es descargado al ambiente. Estos desechos pueden haber sido tratados o no.</li> <li>• Cualquier sólido, líquido, gas o semisólido que entra en el ambiente como un subproducto de actividades humanas.</li> </ul>
<b>Elementos construidos artificiales o culturales</b>	Todos los bienes de localización superficial, subterránea, sumergida o aérea, construidos elaborados o eliminados por el hombre.
<b>Elementos construidos naturales</b>	Estructuras geológicas, los minerales y las rocas, los paisajes, la flora, la fauna, el aire, el agua y el suelo.
<b>Emisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la transferencia o descarga de sustancias contaminantes del aire desde la fuente a la atmósfera libre. El punto o la superficie donde se efectúa la descarga se denomina "fuente". Este término se utiliza para describir la descarga y el</li> </ul>

	<p>caudal de esa descarga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acto de depósito en el ambiente de energía electromagnética, partículas radioactivas y en general, contaminantes.</li> </ul>
<b>Encapsulación</b>	Técnica para airear una masa de residuos. Implica el completo revestimiento o instalación de una partícula tóxica o aglomerado de residuos mediante el empleo de sustancias distintas como el aditivo o ligante utilizado en la solidificación y estabilización.
<b>Endémico</b>	Limitado a determinada región o localidad.
<b>Energía</b>	Toda causa capaz de transformarse en trabajo mecánico.
<b>Energía no renovable</b>	<p>Es la energía proveniente de combustibles fósiles y nucleares.</p> <p>Aportan el mayor porcentaje para la producción de energía eléctrica mundial, aceleran el efecto invernadero y el cambio climático global.</p>
<b>Energías alternativas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La proveniente de la incineración de desechos, sin gases contaminantes.</li> <li>• Energía geotérmica: proveniente de los cinco km. Exteriores de la corteza terrestre, si se logra minimizar la dispersión de la misma.</li> <li>• Energía hidroeléctrica: es energía renovable, pero altera el medio ambiente.</li> <li>• Energía eólica: produce electricidad aprovechando el viento. Es una energía renovable.</li> <li>• Energía solar: es una fuente de energía inagotable.</li> <li>• Energía de mareas: se genera energía aprovechando la diferencia de nivel que se produce con las mareas.</li> <li>• Energía de gas natural: no genera gases de azufre, la emisión de dióxido de carbono es menor, así como los óxidos de nitrógeno, no obstante también genera gases invernadero.</li> <li>• Energía proveniente de cultivos de biomasa: es energía térmica proveniente de la combustión de cultivos o plantaciones renovables que no contribuyen al aumento de <math>CO_2</math> en la atmósfera, dado que la liberación del mismo por la combustión, proviene del <math>CO_2</math> adsorbido por la planta en la fotosíntesis que ha sido extraído del ambiente o productos</li> </ul>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	constitutivos de la biomasa. Esta biomasa se puede regenerar.
<b>Energías renovables</b>	Energías que se producen naturalmente en la tierra, por acción de fenómenos naturales como el sol (energía solar o fotovoltaica), los ríos (hidroeléctrica), el viento (eólica), la biomasa, las olas del mar y las mareas o el calor interior de la tierra (geotérmica). Por su naturaleza estos tipos de energía son inagotables.
<b>Energy star</b>	Es un programa voluntario de la agencia de protección del ambiente (epa), que anima el desarrollo de energía - eficiente.
<b>Ente administrador</b>	Es la autoridad de aplicación de las normativas en el área de política ambiental específica, conforme a las directivas del poder ejecutivo, es competente para fijar los objetivos, ejecutar planes, proyectos, programas, ejercer el poder de policía y la fiscalización del cumplimiento de las legislaciones relacionadas con la contaminación, y ejecutar toda otra tarea que le es conferida por ley.
<b>Entidad de aseo urbano</b>	Persona natural o jurídica, pública o privada, encargada o responsable en un municipio de la prestación del servicio de aseo.
<b>Entomofauna</b>	Conjunto de especies de insectos que viven en una determinada localidad, región o país.
<b>Entorno</b>	Alrededores del hombre, naturales o creados por él, que constituyen su hábitat inmediato próximo y distante que es parte integral de su existencia.
<b>Envases de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Containers)</i> Término empleado para referirse a los contenedores de residuos peligrosos.
<b>Equidad</b>	Noción global que articula las estructuras social, institucional y normativa, jurídica, cultural e ideológica con la situación, condición, oportunidades y acceso de los sujetos individuales o colectivos; articulación que determina el grado de desarrollo de capacidades.
<b>Equilibrio ecológico</b>	Estado de balance natural establecido en un ecosistema por las relaciones interactuantes entre los miembros de la comunidad y su hábitat, plenamente desarrollado y en el cual va ocurriendo lentamente la evolución, produciéndose una interacción entre estos factores.
<b>Escombrera</b>	Área destinada para la eliminación de escombros y restos de demolición no aprovechables (materiales inertes), que pueden ser naturales (por ejemplo, hondonadas o depresiones) o creadas



	por el hombre (por ejemplo, canteras abandonadas).
<b>Escombro</b>	Desecho proveniente de las construcciones y demoliciones de casas, edificios y otro tipo de edificaciones.
<b>Escombros</b>	Son residuos sólidos sobrantes de las actividades de construcción, reparación, o refacción de bienes inmuebles, vías y obras civiles.
<b>Especie</b>	Grupo de organismos que pueden reproducirse libremente entre sí, pero no con miembros de otras especies.
<b>Especie alógena</b>	Especie que se encuentra en una zona ajena a su ámbito natural históricamente conocido, como resultado de dispersión intencional o accidental debida a actividades humanas (también se conoce como especie exótica o introducida).
<b>Especie Amenazada</b>	Especie que corre el riesgo de desaparecer, de continuar las amenazas que atentan contra su supervivencia.
<b>Especie Extinta</b>	Que ya no subsiste sobre la tierra. El último registro que se tiene de su presencia supera los 50 años.
<b>Especificidad del método de medición</b>	Indica el grado de interferencias en la determinación
<b>Estabilidad atmosférica</b>	La turbulencia de la atmósfera se caracteriza en base a un parámetro que se denomina "clase de estabilidad", que es función de la turbulencia térmica y de la turbulencia mecánica.
<b>Estabilización</b>	Método de tratamiento de residuos que limitan la solubilidad de los contaminantes, remueven el tóxico a su efecto tóxico y sus características y sus características físicas pueden ser o no mejoradas. En este procedimiento el residuo es cambiado a una forma químicamente más estable. El término incluye el uso de una reacción química para transformar el componente tóxico a un nuevo compuesto no tóxico. La solidificación también se halla comprendida en esta técnica. Los procesos biológicos no están incluidos.
<b>Establecimiento de salud</b>	Lugar, sitio o instalación donde se llevan a cabo actividades relacionadas con la atención de la salud humana o animal.
<b>Estación de Transferencia</b>	Instalación permanente o provisional, de carácter intermedio, en la cual se reciben desechos sólidos de las unidades recolectoras de baja capacidad, y se transfieren, procesados o no, a unidades de mayor capacidad, para su acarreo hasta el sitio de disposición final-
<b>Estaciones de Transferencia</b>	<i>(Transfer Stations)</i> Lugar donde se acondicionan los residuos recolectados con equipos menores, en equipos de mayor

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	capacidad, que permitirán su transporte a las plantas de tratamiento o sitios de disposición final.
<b>Estratosfera</b>	Ocupa la capa de atmósfera que va de 15 a 50 km, con un intervalo de temperatura de 56 a 2 °C. El 90 % del ozono de la atmósfera está ubicado en esta zona y allí es donde se produce las reacciones que generan el conocido agujero de ozono
<b>Estructura vectorial</b>	Un grupo de datos graficos que pueden ser descompuestos en localizaciones de puntos descritos por sus coordenadas absolutas; estos pueden incluir puntos, líneas (o un grupo puntos relacionados) y áreas (o un línea o un grupo de líneas que definen un polígono) ; esta es una de la manera fundamental de representar y almacenar datos espaciales (ver estructura raster)
<b>Estudio ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio que tiene por objeto dar recomendaciones para prevenir y reducir el impacto ambiental que puede generarse con las operaciones industriales.</li> <li>• Elaboración de un informe de impacto ambiental que permita identificar, predecir, ponderar y comunicar efectos, alteraciones o cambios que se produzcan o pudieren producirse sobre el medio ambiente por la localización, construcción, operación y clausura o desmantelamiento de un emprendimiento.</li> </ul>
<b>Estudio de impacto ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se entiende como la documentación técnica de carácter interdisciplinar, que debe presentar los titulares de un proyecto para predecir, identificar, valorar, mitigar y corregir los efectos adversos de determinadas acciones que puedan afectar el medio ambiente y la calidad de vida en el área de intervención e influencia respectiva.</li> <li>• Es un instrumento de análisis para informar a los entes administrativos la repercusión sobre el entorno de los efectos más notables, debidos al proyecto en sus distintas fases (diseño, construcción, funcionamiento y abandono) y de las medidas de prevención y corrección necesarias.)</li> </ul>
<b>Etiquetado ecológico</b>	Símbolo que se otorga a ciertos productos para evidenciar que cumple con determinadas legislaciones o normas de protección del medio ambiente.
<b>Eutroficación o Eutrofización</b>	Crecimiento desmedido de la materia vegetal debido a un exceso de nutrientes en los medios acuáticos, que origina un aumento en la demanda de oxígeno.
<b>Evaluación ambiental</b>	Por una parte, es el proceso que consiste en obtener el conocimiento más acabado posible acerca del estado y

	tendencias del ambiente y, por otro, consiste en la realización de los estudios generales que permitan establecer el impacto ambiental preliminar de las diversas alternativas de realizar un proyecto de inversión.
<b>Evaluación de impacto ambiental de un centro emisor de contaminantes</b>	Consiste en el análisis exhaustivo de la influencia de las emisiones sobre el ambiente y los procesos de transformación que consecuentemente pueda sufrir éste.
<b>Evaluación de impacto ambiental (EIA)</b>	Es el procedimiento destinado a identificar e interpretar, así como a prevenir, las consecuencias o efectos que acciones o proyectos públicos o privados, puedan causar al equilibrio ecológico, al mantenimiento de la calidad de vida y a la preservación de los recursos naturales existentes.  Instrumento preventivo que, en el campo de los residuos, tiene el objeto de prevenir la generación de residuos y asegurar que sus impactos sobre la salud de la población y sobre el ambiente sean minimizados al máximo.
<b>Evaluación del ciclo de vida</b>	Un método para evaluar las cargas ambientales asociadas a un conjunto de procesos empresariales, para valorar los impactos sobre el medio ambiente y las oportunidades de mejoras.
<b>Exactitud</b>	Grado de acuerdo o semejanza entre el valor real o verdadero y el valor medio o medido. Depende tanto de la especificidad del método como de la exactitud de la calibración; esta última depende de la disponibilidad de estándares primarios y de la forma como es calibrado el equipo. Denota en que manera están ausentes errores por predisposición o sesgo o por azar
<b>Externalidades</b>	Costos sociales generados por las actividades de una industria, que no están reflejados en el precio al que se vende el producto de esa industria. Incluye los costos de la contaminación por afectar el ambiente, los de descontaminación y los de las secuelas de la explotación irracional de las materias primas. Son aquellas acciones que realiza algún agente económico que generan beneficios (o costos) para otros y por las cuales no se le compensa (o no se le paga).
<b>Externalidades negativas</b>	Efectos perniciosos del proceso económico que se generan al no haber asumido éste todos los costos de su actividad productiva.
<b>Factor</b>	Cualquier característica, natural o inducida por el hombre, del entorno en el cual es directa o indirectamente relacionada a las causas de deslizamiento de una región dada.
<b>Factor de bioconcentración</b>	Valor que resulta de dividir el contenido de un contaminante en un animal o planta, entre el contenido en el ambiente o del organismo u organismos que han servido de alimento para la

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	especie en cuestión.
<b>Factor de dilución</b>	Cociente del volumen (flujo o gasto) de agua de una corriente o cuerpo receptor, con el volumen (flujo o gasto) del desecho vertido en aquella. La capacidad de una corriente para asimilar un desecho, es parcialmente dependiente de la dilución ambiental.
<b>Factor de emisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad promedio de un contaminante emitido por una industria, en relación con la cantidad definida de material procesado.</li> <li>• Expresión de la razón del caudal en que se emite un contaminante del aire como resultado de una actividad, respecto del caudal de esa actividad. Por ejemplo: los kilogramos de dióxido de azufre emitidos por tonelada de acero producido.</li> </ul>
<b>Factores abióticos</b>	Medio físico
<b>Factores bióticos</b>	Conjunto de seres vivos
<b>Fijación de nitrógeno</b>	Proceso por el cual las bacterias que fijan el nitrógeno y que viven en asociaciones mutualistas con plantas convierten el nitrógeno atmosférico en compuestos de nitrógeno que las plantas pueden utilizar directamente.
<b>Fijación química</b>	Significa solidificación o estabilización
<b>Flujo de emisión</b>	Caudal de emisión por unidad de área de la superficie apropiada de una fuente emisora.
<b>Flujo de inmisión</b>	Caudal de inmisión por unidad de área de la superficie del receptor.
<b>Fuentes fijas o estacionarias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>De bajo impacto:</b> Residenciales y comerciales.  Son la mayoría que se encuentran en las ciudades, las casas o edificios y los negocios y oficinas donde la contaminación proviene del quemado de combustibles para la cocción de alimento y para la calefacción. Eventualmente algún pequeño motor a explosión.</li> <li>• <b>De medio impacto:</b> Pequeñas y medianas industrias  Ya son las fuentes que comienzan a ser importantes y son las que contribuyen en la zona urbana donde todavía hay zonas donde estas industrias se encuentran instaladas.</li> <li>• <b>De alto impacto:</b> Grandes industrias y centrales</li> </ul>

	<p>termoeléctricas</p> <p>Las primeras en general están instaladas en parques industriales lejos de las zonas urbanas, si bien en muchos lugares, por falta de una legislación adecuada, se han dejado crecer grupos urbanos, en algunos casos importantes, a su alrededor.</p>
<b>Fuentes móviles</b>	Son todos los medios de transporte que emplea motores que son accionados por procesos de combustión, cualquiera sea el carburante.
<b>Funciones ecosistémicas</b>	<p>A los fines de las Cuentas Patrimoniales, se consideran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) <b>Producción Ecosistémica:</b> Proceso de captación y pasaje de energía que genera la oferta ecosistémica consistente en una serie de productos materiales e inmateriales que integran las actividades productivas y, en general, las actividades humanas.</li> <li>b) <b>Funciones ecosistémicas inmediatas:</b> Incluyen todas las relaciones entre el sistema boscoso y la cuenca mayor, donde sus impactos positivos o negativos tienen significación.</li> <li>c) <b>Funciones ecosistémicas externas:</b> Efectos que tiene el sistema de la ecosfera.</li> </ul>
<b>Funciones ecosistémicas</b>	<p>A los fines de las Cuentas Patrimoniales, se consideran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) <b>Producción Ecosistémica:</b> Proceso de captación y pasaje de energía que genera la oferta ecosistémica consistente en una serie de productos materiales e inmateriales que integran las actividades productivas y, en general, las actividades humanas.</li> <li>b) <b>Funciones ecosistémicas inmediatas:</b> Incluyen todas las relaciones entre el sistema boscoso y la cuenca mayor, donde sus impactos positivos o negativos tienen significación.</li> <li>c) <b>Funciones ecosistémicas externas:</b> Efectos que tiene el sistema de la ecosfera.</li> </ul>
<b>Generador de desechos sólidos</b>	Toda persona, natural o jurídica, pública o privada, que como resultado de sus actividades, pueda crear o generar desechos sólidos.
<b>Gestión</b>	Referido al manejo o administración. Véase <b>manejo</b> .

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Gestión ambiental.</b>	Conjunto de procedimientos mediante los cuales una entidad pública puede intervenir para modificar, influir u orientar los usos del ambiente así como los impactos de las actividades humanas sobre el mismo.
<b>Gestión del ciclo de vida del producto</b>	Gestión que se utiliza con el fin de lograr mejoras en el sentido del rendimiento Económico de los Procesos y del rendimiento Medioambiental.
<b>Gestión Integral</b>	Conjunto de operaciones y procesos encaminados a la reducción de la generación, segregación en la fuente y de todas las etapas de la gestión de los desechos, hasta su disposición final.
<b>Gestión medio-ambiental</b>	Es el aspecto funcional de la gestión de una empresa que desarrolla e implanta las políticas y estrategias ambientales.
<b>Gimnospermas</b>	Plantas que incluyen a los árboles y arbustos en los que las semillas están desnudas y no englobadas en un fruto (p.e. las coníferas)
<b>Grandes productores</b>	Usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen superior a un metro cúbico mensual.
<b>Greenfields</b>	Bienes usados cuyo reprocesamiento no provocan contaminación, productos verdes
<b>Guardafauna</b>	Biólogo, Ingeniero de Recursos Naturales o Geógrafo, entre otros, dependiente del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, responsable del manejo y conservación de la fauna silvestre y acuática y sus hábitats.
<b>Guardería</b>	Acción policial administrativa orientada a supervisar, informar, controlar, prevenir o persuadir en torno a la defensa, conservación o mejoramiento del ambiente.
<b>Hábitat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona o parte de un ecosistema que reúne las condiciones de vida que una determinada especie necesita para sobrevivir.</li> <li>• El medio ambiente en el que vive un organismo. Este vocablo puede referirse también al organismo y al medio físico existente en determinado lugar.</li> </ul>
<b>Hábitat</b>	Medio, área, entorno o espacio físico apropiado para vivir.
<b>Herpetofauna</b>	Conjunto de especies de reptiles que viven en una determinada localidad, región o país.
<b>Ictiofauna</b>	Conjunto de especies de peces que viven en una determinada

	localidad, región o país.
<b>IDRISI</b>	Software de información geográfica (raster) desarrollado y distribuido por Clark University.
<b>ILWIS</b>	Software de información geográfica (raster) desarrollado y distribuido por ITC.
<b>Impacto ambiental</b>	Cualquier cambio neto, positivo o negativo, que provoca sobre el ambiente como consecuencia indirecta, de acciones antrópicas susceptibles de producir alteraciones que afecten la salud, la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos esenciales.
<b>Impacto Ambiental</b>	Alteración con efectos sobre el ambiente (positivo o negativo). Suele estimarse mediante evaluaciones previas (Evaluaciones de Impacto Ambiental - EIA), con miras a estimar las consecuencias o repercusiones sobre el medio físico, incluyendo su incidencia económica, social, cultural y ecológica.
<b>Impacto ecológico</b>	Efecto, perturbación o consecuencia de un cambio de origen natural o antropogénico sobre el sistema ecológico de un área.
<b>Incentivos conservacionistas</b>	Políticas aplicadas por los gobiernos que, por medio de la liberación de impuestos, facilitación de créditos, reconocimiento de la depreciación acelerada de equipos, otorgamiento de premios y otros estímulos, pretenden favorecer las inversiones en sistemas de control y mejoramiento del ambiente, en la disminución de la contaminación generada por plantas industriales, en reforestación, embellecimiento urbano, protección de la flora y de la fauna, etc.
<b>Incineración</b>	<i>(Incineration)</i> Método de tratamiento de residuos sólidos, líquidos o lodos a través de la oxidación controlada en altas temperaturas para reducir su volumen. El proceso produce energía calorífica, escorias, cenizas secas inorgánicas y emisiones gaseosas.
<b>Incineración</b>	Es un proceso de oxidación térmica a alta temperatura en el cual los residuos peligrosos o no son convertidos en presencia de oxígeno, en gases y residuales sólidos incombustibles. Los gases generados son emitidos a la atmósfera previa limpieza de gases y los residuales sólidos son depositados en un relleno de seguridad.
<b>Informe de impacto ambiental (EIA)</b>	Documento en el que se presentan los resultados de un EIA. Responde a los lineamientos de una guía elaborada al efecto.
<b>Ingeniería coexistente o concurrente</b>	Integra las consideraciones relativas al producto y su proceso en el momento más temprano del diseño del producto y proceso

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	respectivo.
<b>Ingreso nacional</b>	Conjunto de los ingresos de los diferentes factores de la producción. La sumatoria del mismo debe coincidir con el Producto Bruto.
<b>Inhibidores de la corrosión</b>	Denominados también pasivantes. Son productos químicos que se agregan al agua de un Circuito, ya sea de Refrigeración, de agua para Calderas, retornos de condensado, equipos Intercambiadores de Calor, etc., para evitar que el agua tome contacto con el metal y eliminar el efecto corrosivo que se origina sobre el mismo, su acción consiste en formar una película protectora sobre el metal.
<b>Inmisión</b>	<p>Es la transferencia de contaminantes del aire desde la atmósfera libre a un receptor tal como un ser humano, planta o edificio. La suma de las inmisiones en un intervalo de tiempo da la dosis de inmisión, o sea la cantidad total de contaminantes del aire admitido, aspirado, absorbido o ingerido por parte del receptor. De acuerdo a esta definición, inmisión es tasa, medida o proporción de masa, u otra propiedad cuantificable determinada por unidad de intervalo de tiempo, la cual debe ser medida en lo posible en el receptor. Esto lleva a que se debe conocerse la inmisión de un gran número de receptores diferentes. Un estudio de la contaminación del aire debe ser diseñado para medir la inmisión en receptores y los efectos posibles. Uno puede introducir un "receptor virtual" con superficie unidad y propiedades unidades y estudiar, para cada receptor, la posible inmisión como una función de espacio y tiempo. Un receptor virtual puede ser simulado por un sistema de medición especial o tener una correlación definida con una concentración a nivel de suelo.</p> <p>No tiene el mismo significado que concentración a nivel del suelo, pero tiene significado opuesto a emisión. Sin embargo, en muchas oportunidades se emplea el término inmisión en el mismo sentido que el de concentración a nivel del suelo.</p>
<b>Instrumentos administrativos</b>	Son las distintas actuaciones de regulación directa para el Ente competente, que se llevan a cabo de acuerdo a los dictámenes de la Política Ambiental, Control, Vigilancia, Convenios, Sanciones, etc.
<b>Instrumentos económico - financieros</b>	<p>Son entre otros:</p> <p>Ayudas financieras, Depósitos reembolsables, Tributos, Tasas y Cánones, Gravámenes, Tasas por Permisos o Licencias, Depósitos de emisión y Bancos de contaminación.</p>



<p><b>Instrumentos jurídicos</b></p>	<p>Son el conjunto de Legislaciones tanto Nacionales como Internacionales, Normas, Jurisprudencia etc. que fijan las Políticas y los principios de Protección Jurídica del Medio Ambiente en sus ramos específicos, aire, suelo, agua, flora, fauna.</p> <p>Los instrumentos jurídicos pueden utilizar Técnicas represivas para el cumplimiento de lo estipulado que atañen responsabilidades por el incumplimiento de las Legislaciones vigentes, ellas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsabilidad civil</li> <li>• Responsabilidad penal</li> <li>• Responsabilidades administrativas.</li> </ul>
<p><b>Instrumentos sociales</b></p>	<p>Se basan en la Concientización ciudadana mediante Información, por la Participación Pública en la toma de decisiones, en la Enseñanza, la Educación Ambiental.</p>
<p><b>Instrumentos técnicos</b></p>	<p>Son los que brinda la tecnología, equipos, plantas depuradoras, estaciones de reciclaje y recuperación de productos, tecnologías limpias, medidas preventivas, ahorro de energía, minimización de desagües, etc.</p>
<p><b>Insumo</b></p>	<p>Sustancia empleada en procesos auxiliares de una actividad industrial</p>
<p><b>Intercambio de residuos</b></p>	<p>(<i>Waste Exchange</i>) Sistema de negociación con residuos, ya sea por trueque o compra/venta, para facilitar el uso o reciclaje de residuos.</p>
<p><b>Intereses nacionales</b></p>	<p>a) Metas de la política exterior de las Naciones - Estado.</p> <p>b) Situación aceptada en tanto beneficiosa para una Nación.</p> <p>c) Proceso mediante el cual las fuerzas latentes de la sociedad tratan de expresar ciertas aspiraciones políticas y económicas de política mundial, por conducto de los órganos más altos del Estado.</p>
<p><b>INTERGRAPH</b></p>	<p>Software de información geográfica (vector o raster) desarrollado y distribuido por Intergraph.</p>
<p><b>Inversión térmica</b></p>	<p>Estratificación de la parte inferior de la tropósfera que juega un importante papel en la contaminación atmosférica, por la inmovilidad que confiere a esa capa, con la consiguiente incapacidad de dispersión y dilución de los contaminantes. En esta capa de aire, la temperatura aumenta con la altura, en vez de disminuir, como es lo natural en la tropósfera. De esta</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	manera, se impide todo movimiento y mezcla vertical, pues cualquier masa de aire que ascienda se enfriará en relación con su entorno, por lo que será más densa y se verá obligada a descender. El resultado es que se trata de una capa estancada.
<b>Investigación aplicada</b>	Trabajos destinados a adquirir conocimientos para su aplicación práctica en la producción y/o comercialización.
<b>Investigación tecnológica precompetitiva</b>	Trabajos sistemáticos de profundización de los conocimientos existentes derivados de la investigación y/o la experiencia práctica, dirigidos a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos y al establecimiento de nuevos procesos, sistemas o servicios, incluyendo la fase de construcción de prototipos, plantas piloto o unidades demostrativas, finalizando con la homologación de los mismos.
<b>Inyección subterránea de residuos peligrosos</b>	<i>(Deep-well Injection)</i> Método de disposición de residuos peligrosos, de naturaleza líquida o semisólida, en pozos profundos diseñados especialmente para este fin. La inyección se efectúa por bombeo o gravedad en pozos cuya profundidad varía de cientos a miles de pies, considerando la seguridad de los acuíferos.
<b>Ionosfera</b>	Consiste en aire rarificado fuertemente electrizado o ionizado, principalmente por la radiación ultravioleta procedente del Sol. Las varias capas ionizadas que existen en la ionosfera son de gran importancia en la recepción y la transmisión de radio, porque reflejan y devuelven a la Tierra las ondas
<b>Isla térmica o caliente, o isla de calor</b>	El balance energético de la ciudad se encuentra muy perturbado por la urbanización del suelo. Los materiales de construcción absorben la radiación solar, aumentando la temperatura del suelo durante el día. El menor tiempo de contacto aire - agua afecta el intercambio de calor asociado a las transiciones de fase, como por ejemplo la evaporación. Este efecto, producido por el hecho de que los efluentes acuosos que circulan por la ciudad están entubados, también contribuye al calentamiento de las zonas urbanas. La misma actividad industrial, el tráfico, las calefacciones domésticas, etc., también contribuyen a un aporte calorífico extra. La presencia misma de contaminantes en la atmósfera urbana, sobre todo el material particulado en suspensión, actúan absorbiendo la radiación infrarroja que emite el suelo al enfriarse. Todo este conjunto de efectos generan en la ciudad lo que se denomina "isla térmica o caliente, o isla de calor". Se ha demostrado que la intensidad de la "isla de calor" que se forma en la ciudad está relacionada con el logaritmo de la población.
<b>Kilómetro - carril</b>	Unidad de longitud de vías.

<b>Lavado de áreas públicas</b>	Comprende la limpieza de áreas públicas mediante el empleo de agua a presión.
<b>Legislación sobre residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Legislation)</i> Toda norma, reglamento o disposición legal emitida oficialmente por países, estados o divisiones políticas. Incluye los acuerdos oficiales de carácter internacional.
<b>Limpieza pública</b>	Sinónimo de <b>aseo urbano</b> .
<b>Líquidos libres</b>	Son los líquidos que se separan rápidamente de la parte sólida de un residuo en condiciones ambientales de presión y temperatura.
<b>Lixiviado</b>	Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, humedad de la basura y descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos. Sinónimo de <b>percolado</b> .
<b>Lixiviado</b>	Proceso de eliminación de los compuestos solubles de una roca, sedimento, suelo, etc. por las aguas de infiltración. Nombre que se da a los constituyentes sólidos tras haber sufrido dichos procesos.
<b>Lixiviado</b>	Líquido que emana de los desechos sólidos por efecto de la saturación, bien sea por su propia humedad, porque se encuentra directamente expuesto a la lluvia o por la infiltración.
<b>Lixiviado</b>	Líquido que se ha filtrado o percolado, a través de los residuos sólidos u otros medios, y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos.
<b>Lluvia ácida</b>	Precipitación pluvial, de nieve o partículas y aerosoles con acidez elevada, con valores bajos de <i>pH</i> . El <i>pH</i> de la lluvia ácida es de 5 a 2, por la presencia de ácidos inorgánicos producto de la contaminación atmosférica. La acidez de la lluvia natural es de alrededor de 6, debido a la dilución del dióxido de carbono atmosférico.
<b>Lodo</b>	Líquido con gran contenido de sólidos en suspensión, proveniente de la mezcla profusa de agua y tierra, por operaciones como el tratamiento de agua, de aguas residuales y otros procesos similares.
<b>Macro ruta</b>	Es la división geográfica de la zona, de forma que los servicios de recolección y barrido resulten homogéneos en cuanto a sus características de producción de residuos sólidos y que permite balancear los recursos asignados.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Manejo</b>	Conjunto de operaciones dirigidas a dar a los residuos el destino más adecuado de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos para la salud humana o el ambiente. Incluye el almacenamiento, el barrido de calles y áreas públicas, la recolección, la transferencia, el transporte, el tratamiento, la disposición final y cualquier otra operación necesaria.
<b>Manejo</b>	<p>Acción planeada para hacer evolucionar un sistema, de modo tal que se puede derivar el mejor provecho de él, a corto plazo, a la vez preservándolo para su utilización a largo plazo. Una forma o tipo de manejo puede ser deseable para determinados usos, pero inconveniente para otros. Esta situación ocurre a menudo y, para lograr un adecuado balance, es necesario dejar de lado la presión subjetiva que ejerce un determinado tipo de aprovechamiento. Cuando el sistema por manejar presenta cierto dinamismo evolutivo, debe conocerse muy bien, y para valorar la utilidad de un manejo hay que seguir el sistema a lo largo de su evolución natural o provocada por el hombre, como es el caso del manejo de recursos naturales o la aplicación de la ecología de la restauración.</p> <p>Conjunto de operaciones dirigidas a darle a los residuos el destino más adecuado de acuerdo a sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos a la salud humana o al ambiente. Incluye el almacenamiento, barrido de calles y áreas públicas, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, disposición final o cualquier otra operación necesaria.</p>
<b>Manejo de cuencas</b>	Utilización, aprovechamiento beneficioso, regulación y control tecnológico de los recursos naturales de una cuenca hidrográfica para garantizar su desarrollo y uso sustentable.
<b>Manejo de desechos</b>	Enfoque técnico, comprehensivo, integrado y racional, con miras a procurar el uso, reuso, reclamo o reaprovechamiento de cualquier desecho originado por las actividades humanas, para mantener limpio el ambiente, o con un nivel aceptable de calidad.
<b>Manejo de los residuos sólidos patógenos</b>	<p>Comprende acciones que competen al productor dentro de la institución y a la empresa que presta el servicio de la recolección y transporte al sitio de disposición final:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Competen al productor:</b> el almacenamiento interno, el transporte interno, el almacenamiento mientras que le recogen la basura y la presentación a la empresa recolectora.</li> <li>2. <b>Competen a la empresa</b> que presta el servicio: la recolección (en el lugar de presentación, es decir dentro</li> </ol>

	<p>de la institución), el transporte y la entrega para la disposición final.</p> <p>La responsabilidad del productor llega hasta el momento en que se presenta a la empresa recolectora, siendo la hora y el día de la presentación fijadas por la empresa recolectora teniendo en consideración el horario de funcionamiento del productor de los residuos.</p>
<b>Manejo Sostenible</b>	Acción planeada para hacer evolucionar un recurso o sistema natural, de modo tal que se pueda derivar el mejor provecho de él, a corto plazo, garantizando su utilización a perpetuidad.
<b>Manglar</b>	Ecosistema de características muy complejas que se encuentra en algunas costas tropicales y subtropicales, cuyo elemento principal es el mangle, del cual existen cuatro especies en Venezuela.
<b>Mastofauna</b>	Conjunto de especies de mamíferos que viven en una determinada localidad, región o país.
<b>Materia</b>	Sustancia extensa, divisible e impenetrable, susceptible de presentar toda clase de formas.
<b>Materia en suspensión</b>	Toda materia particulada que queda en la atmósfera o en una corriente de gas de chimenea durante largos períodos debido a que el tamaño de las partículas es demasiado pequeño para tener una velocidad de caída apreciable.
<b>Materia inorgánica</b>	Sustancia sin procesos metabólicos vitales, como son los minerales que no pueden crecer sino por yuxtaposición.
<b>Materia orgánica</b>	Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos.
<b>Materia orgánica de un agua residual</b>	<p>Pueden ser Sólidos Sedimentables o Suspendidos o Disueltos provenientes de vegetales, animales o compuestos de síntesis de productos químicos orgánicos, degradables por la acción de microorganismos o no biodegradables.</p> <p>Son principalmente proteínas, compuestos del carbono y nitrógeno, grasas, aceites, hidrocarburos, hidratos de carbono, agentes tensioactivos, pesticidas, compuestos orgánicos volátiles y no volátiles y otras estructuras más complejas.</p>
<b>Materia orgánica en un agua residual</b>	<p>Pueden ser Sólidos Sedimentables o Suspendidos o Disueltos provenientes de vegetales, animales o compuestos de síntesis de productos químicos orgánicos, degradables por la acción de microorganismos o no biodegradables.</p> <p>Son principalmente proteínas, compuestos del carbono y nitrógeno, grasas, aceites, hidrocarburos, hidratos de carbono,</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	agentes tenso-activos, pesticidas, compuestos orgánicos volátiles y no volátiles y otras estructuras más complejas.
<b>Materiales flotables (aceites, grasas) de un agua residual</b>	Lo constituyen las partículas de grasas y/o las películas de aceites o líquidos (hidrocarburos con metales pesados y PCBs) que pueden dispersarse sobre una extensa superficie. Otorgan un aspecto estético desagradable y disminuyen el paso de la luz hacia la fase acuosa.
<b>Materias primas</b>	Materias nuevas o vírgenes o material recuperado que se utiliza para la fabricación de productos.
<b>Máximo nivel permisible</b>	Norma impuesta por instituciones nacionales, gubernamentales, Comités Nacionales o Internacionales, que indica la concentración o dosis de un contaminante que no debe ser sobrepasada, para evitar poner en peligro un organismo, con la finalidad de proteger la calidad ambiental, y la salud humana. Estos niveles, casi siempre significan un balance entre los intereses de pureza ambiental y el desarrollo económico.
<b>MDIP</b>	Procedimiento para la generación de una mallla basada en DTM la cual tiene como base las líneas de nivel digitalizadas.
<b>Medio ambiente</b>	Es el entorno en el cual opera una entidad gestionada, incluyendo tanto los elementos inanimados como los seres humanos y otros sistemas bióticos.
<b>Mesosfera</b>	Es la capa de aire que ocupa la región que va de 50 a 85 km, de la superficie terrestre, con una variación de temperatura de 2 a 92 °C. Al igual que la troposfera, el gradiente de temperatura es negativo. No obstante, como la densidad es muy baja los movimientos convectivos son prácticamente nulos
<b>Metabolismo</b>	Conjunto de reacciones químicas que se producen en los seres vivos.
<b>Metal</b>	Elemento que tiende a formar iones positivos en soluciones y cuyos óxidos forman hidróxidos más que ácidos con agua. Su comportamiento como átomos o iones es fundamental en las reacciones electroquímicas y también en el metabolismo de las plantas y animales donde muchos tienen funciones esenciales nutrientes y otras bioquímicas. Algunos metales son bastantes tóxicos, en forma elemental como en compuestos.
<b>Metal pesado</b>	Metal de peso atómico mayor que el del sodio (22,9) que forma jabones al reaccionar con ácidos grasos, ej. Aluminio, plomo, cobalto.
<b>Métodos continuos o automáticos de medición de</b>	Típicamente involucran equipamientos automáticos en un lugar fijo que realiza ambos procesos, toma de muestra y análisis. Estos

<b>aire</b>	métodos son fundamentales cuando existen regulaciones que determinan niveles de pre - alerta y diferentes grados de alerta.
<b>Métodos de referencia de medición de aire</b>	Son dados para las mediciones de cada uno de los gases contaminantes más importantes y se los considera de referencia para determinar el cumplimiento de las normas. Generalmente son métodos manuales, pocos automatizados y que requieren la colección de muestra por un tiempo discreto relativamente largo.
<b>Métodos discontinuos de medición de aire</b>	Son, en términos generales, métodos manuales para los cuales la toma de muestra en el lugar y el análisis en el laboratorio son dos pasos separados. Puede haber mediciones discontinuas que pueden realizarse con equipos automáticos tanto en la toma de muestra como en el análisis de laboratorio.
<b>Métodos equivalentes de medición de aire</b>	Se han desarrollado equipos de medición continua o automáticos de concentración en aire que permiten obtener datos en forma prácticamente continua (intervalo de medición de un minuto) y conectados "on line" con el centro de información, lo cual es sumamente útil para detectar accidentes y actuar en forma inmediata. Deben pasar una prueba que determine que son adecuados frente a los métodos de referencia, la cual es realizada por instituciones autorizadas. Han sido desarrollado solo para los contaminantes atmosféricos más importantes.
<b>Métodos físicos de medición de aire</b>	Se mide una propiedad física, o su variación, para cada contaminante en forma selectiva, sin que se produzcan cambios en la composición de la muestra de aire.
<b>Métodos puntuales de medición de aire</b>	La muestra de aire se toma en forma continua en un punto determinado y se hace pasar esta por el detector. La mayoría de los equipos actualmente disponibles se basan en este concepto. Los sensores necesitan una cantidad finita de aire contaminado antes que puedan responder y un intervalo de tiempo finito antes que pueda ser observado un valor de la concentración. Se necesita un equipo para cada contaminante.
<b>Métodos químicos de medición</b>	El contaminante sufre una transformación química y el producto de la reacción se determina por una técnica analítica apropiada.
<b>Métodos zonales de medición de aire</b>	Miden la concentración promedio de los contaminantes directamente en una sección de la atmósfera, a través de la perdida de intensidad de un haz de luz por absorción molecular de los contaminantes. Se pueden medir simultáneamente todos los gases que tengan valores suficientemente diferentes de longitud de onda de absorción. Mide a lo largo de una zona relativamente grande, mínimo de 100 m por problema de sensibilidad, y el método es aplicable hasta espesores de atmósfera, o lo que es equivalente distancia entre emisor y

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	receptor, de 1.500 metros. No sirve para material particulado
<b>Micro ruta</b>	Es la descripción detallada del trayecto de un vehículo o cuadrilla para el servicio de recolección o barrido.
<b>Minas subterráneas</b>	<i>(Underground Mines)</i> Método de disposición de residuos peligrosos aprovechando la disponibilidad de socavones o minas abandonadas.
<b>Minimización de residuos</b>	Reducción, hasta donde sea posible, de los residuos riesgosos que se generan o posteriormente se tratan, clasifican o tiran. Incluye cualquier actividad de reducción en la fuente de origen o de reciclaje. (EPA)
<b>Minimización de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Minimization)</i> Estrategia de gestión de residuos peligrosos que comprende técnicas de reducción en la fuente y reciclaje, cuyo objetivo es la reducción o eliminación de la generación de residuos peligrosos en relación a la manufactura de productos específicos. Incluye técnicas de reducción o sustitución de insumos y aprovechamiento de materiales residuales usables o regenerables dentro de la planta.
<b>Mínimo viable de la población</b>	La población aislada más reducida que tenga buenas posibilidades de sobrevivir durante cierto número de años pese a los efectos previsibles de factores demográficos, ambientales, genéticos y catástrofes naturales. (La probabilidad de persistencia y el tiempo de la misma suelen estimarse en el 99% y 1000 años respectivamente).
<b>Modelo</b>	Es un sistema matemático o físico, que reúne ciertas condiciones específicas, que es empeado par comprender un sistema físisco (o biológico o social) el cual es de alguna manera análogo.
<b>Monitoreo ambiental</b>	Proceso de observación repetitiva, con objetivos bien definidos relacionado con uno o más elementos del ambiente, de acuerdo con un plan temporal.
<b>Monitoreo de aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de observaciones ambientales sobre los cambios del ambiente natural y de la atmósfera debidos a la actividad del hombre. Sirve como fuente fundamental de información uni o multidisciplinaria sobre el estado actual del entorno.</li> <li>• En un sentido amplio, este término designa las mediciones repetidas destinadas a seguir la evolución de un parámetro durante un intervalo de tiempo.</li> <li>• En un sentido más restrictivo se aplica a la medida regular de niveles de contaminantes respecto de una norma, o para evaluar la eficacia de un sistema de regulación y de control.</li> </ul>



<b>Montículo</b>	Acumulación de residuos sólidos en áreas o vías públicas.
<b>Muestreo isocinético</b>	Método de toma de muestra de material particulado o de metales en suspensión en una corriente de gas para determinar su concentración, de tal modo que la velocidad de muestreo (velocidad y dirección del gas entrando a la tobera o conducto de toma de muestra) sea la misma que la de la corriente gaseosa en el punto de muestreo. Para ello es necesario medir la velocidad del gas.
<b>Mutualismo</b>	Asociación entre dos o más especies en las que ambas perciben algún beneficio ecológico.
<b>Napalm</b>	Agente gelificante, constituido originalmente por palmitato de sodio y en la actualidad por palmitato de aluminio. Por inflamación desarrolla un intenso calor, es capaz de carbonizarlo todo en un vasto radio de acción.
<b>Nivel</b>	Es una capa completa de celdas sobre una zona activa del relleno (ver Celda). Normalmente, los rellenos sanitarios se conforman en una serie de niveles.
<b>Nivel guía de calidad ambiental</b>	Valor numérico o enunciado narrativo establecido para los cuerpos receptores como guía general para la protección, mantenimiento y mejora de usos específicos del agua, aire y suelo
<b>Nivel trófico</b>	Es la posición en la cadena alimenticia, determinada por el número de etapas de transferencia de energía cumplidas a ese nivel.
<b>Norma de emisión</b>	Caudal de emisión especificado que tiene un estado legal. Se define frecuentemente en forma estadística fijando un límite al caudal de emisión. Se especifica en el caso de concentración el nivel de dilución u opacidad de referencia.
<b>Normas de calidad del aire ambiente</b>	Calidad del aire ambiente especificada, que posee un estado legal, frecuentemente definida en forma estadística por la fijación de un límite en la concentración de un contaminante del aire respecto de un período promedio especificado.
<b>Normas de competencia</b>	Estas normas definen las competencias requeridas para llevar a cabo un desempeño efectivo en un lugar de trabajo. Una competencia comprende la especificación de conocimientos y habilidades, así como su aplicación a nivel empresa de acuerdo con el nivel requerido en el empleo. Las normas de competencia pueden ser tanto nacionales como empresariales.
<b>Normas y criterios de emisión</b>	Cuerpo técnico donde quedan especificados valores máximos que

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>de contaminantes</b>	no deben sobrepasarse, referente a la totalidad o parte de las variables o indicadores representativos de la composición y volumen de los efluentes en general, y cada contaminante en particular, sean éstos de carácter natural o energético.
<b>Nutriente</b>	Sustancia que contiene alimento. Se emplea sobre todo en relación con los elementos del suelo y el agua que las plantas y animales toman.
<b>Nutrientes</b>	Elementos químicos esenciales para la vida, tales como el Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Oxígeno, entre otros.
<b>Oceanografía</b>	Ciencia que estudia los mares y océanos, sus elementos (aguas, fondos, organismos vivos) y la dinámica del sistema. Su auge se ha mantenido desde el Siglo XIX hasta hoy. Existen 2 motivaciones principales del estudio: la ecológica o proteccionista y la explotación de los recursos marinos, con amplio predominio de la segunda. El principal organismo internacional es la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, perteneciente a la UNESCO.
<b>Oceanografía biológica</b>	Parte de la ciencia oceanográfica que estudia la vida de las plantas y de los animales marinos.
<b>Oceanografía física</b>	Rama de la ciencia oceanográfica que estudia las características físicas del océano; la densidad, la temperatura y la salinidad del agua del mar; la transmisión del sonido y la dispersión de la luz en las aguas marinas; el hielo, las mareas, las corrientes y olas y su variabilidad geográfica y temporal.
<b>Oceanografía geológica</b>	Parte de la oceanografía que estudia los fondos y el margen de los océanos, su naturaleza, las características del relieve, la composición física y química de los materiales, la interacción de rocas y sedimentos con el aire y el agua marina, así como la acción de varias formas de energía de onda en la corteza submarina de la Tierra.
<b>Oceanografía química</b>	Rama de la oceanografía que estudia la composición química de los gases y sólidos disueltos, la materia en suspensión, la composición de las aguas oceánicas y su variabilidad geográfica y temporal.
<b>Oferta ecosistémica</b>	Conjunto de elementos naturales que pueden satisfacer necesidades humanas en forma directa o indirecta o que anualmente se ofrece al sistema económico o al uso directo de la población, sin que su aprovechamiento dañe cuantitativa o cualitativamente los mecanismos regenerativos.
<b>Ola</b>	Onda de gran amplitud en la superficie de las aguas. Su movimiento es de ascenso y descenso, y sólo en las proximidades

	de la costa tiene un apreciable movimiento horizontal. Su parte superior se denomina cresta, la inferior, seno; la diferencia entre ambas da la altura, variable según el viento que la produce (hasta 15 m). Cualquier fenómeno meteorológico que produce la transformación de la temperatura de un lugar, según la procedencia, ola de calor o de frío.
<b>Olor del agua residual</b>	Es una característica física que se debe generalmente a la presencia de sustancias inorgánicas y/u orgánicas en suspensión o disolución, que poseen olor en sí mismas o de sustancias que pueden generar emisiones de gases, y/o a organismos microscópicos. Es causa de rechazo y de sospecha de contaminación.
<b>OMS</b>	Sigla de la Organización Mundial de la Salud, que es un organismo autónomo de las Naciones Unidas que se ocupa principalmente de temas sanitarios. Su voz es muy escuchada entre los ambientalistas debido a las implicancias que tienen los problemas de la Ecología en la salud humana.
<b>Onda</b>	<p>Forma de propagación espaciotemporal de una perturbación en un medio o en el vacío. Se produce al provocar en una partícula de un medio elástico un movimiento vibratorio, por propagación de dicho movimiento de unas partículas a otras, o por el cambio periódico de alguna magnitud física (temperatura, intensidad de campo electromagnético, presión). Pueden ser longitudinales, cuando la vibración de las partículas del medio o de la magnitud física se producen en la misma dirección en que se propaga el movimiento ondulatorio (movimiento de los péndulos, el sonido), y transversales, cuando la vibración de las partículas es perpendicular a la dirección en que se propaga el movimiento ondulatorio (la luz).</p> <p>Una onda se caracteriza por su longitud, período, frecuencia, velocidad de propagación (en el medio considerado) y amplitud de las oscilaciones.</p>
<b>Onda de cuerpo</b>	Ondas que se propagan en el interior de un medio continuo, a diferencia de las ondas superficiales, las cuales se propagan precisamente en la superficie.
<b>Onda P (primus)</b>	Onda de cuerpo compresional o longitudinal generada por un sismo. El movimiento de las partículas del medio que atraviesa la onda en el sentido de propagación, causa compresión y rarefacción. Es la onda que viaja más rápido; su velocidad varía entre 6 y 14 km/seg. y su período entre 0.1 y 2.0 seg.
<b>Onda S (secundus)</b>	Onda sísmica de cuerpo transversal de cizalla. El movimiento de las partículas del medio que atraviesa la onda es perpendicular a

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	la dirección de propagación. Es más lenta que la onda P y su período es usualmente dos veces mayor que el de la onda P.
<b>Onda Tropical</b>	Perturbación de los vientos alisios; viaja con ellos hacia el oeste, a una velocidad media de 15 km/h. Puede producir nublados por nubes bajas, chubascos de lluvia y tormentas eléctrica. Generalmente se manifiesta más intensa y organizada en la parte inferior de la troposfera.
<b>Ondas Superficiales (love y Raleigh)</b>	Ondas que se propagan por la corteza terrestre, generadas por interferencia de ondas S polarizadas horizontalmente (Love), o de ondas P y S polarizadas horizontalmente (Raleigh). Sus velocidades van de aproximadamente 2.5 a 4.5 km/seg. para la onda Love y de 1.0 a 4.0 km/seg. para la onda Raleigh. Son ondas de períodos largos.
<b>ONG</b>	Sigla de Organizaciones No Gubernamentales. Son grupos de presión social de diversas características, que se unen por una temática común y que no tienen conexión con el Estado. Algunos ejemplos de ONG's son: AMIA (Asociación Mutual Israelita Argentina), Cruz Roja Argentina, Cáritas, Fundación Casa Ronald McDonald, Fundación Vida Silvestre, etc.
<b>Operaciones físicas unitarias</b>	Son las Operaciones de Tratamiento de aguas residuales que involucran fuerzas físicas. Desbaste. Desengrase. Flotación, Sedimentación Primaria, Filtración.
<b>Operativos especiales</b>	Servicio de recolección y limpieza que no está programado dentro de las frecuencias normales, que se realiza de acuerdo con las necesidades.
<b>Ordenación del Territorio</b>	Establecimiento y zonificación de los usos y actividades de las diferentes zonas que conforman el espacio físico nacional, de acuerdo con sus características intrínsecas, la vocación de sus espacios y los objetivos de desarrollo sostenible de una nación.
<b>Ordenamiento Ecológico</b>	Proceso de planeación dirigido a diagnosticar, programar y evaluar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.
<b>Ordenamiento territorial</b>	Planificación oficial, científica, ecológica de una región o zona terrestre, realizada para lograr una distribución óptima de los sectores comerciales, industriales, urbanos, agrícolas y naturales, que tiende a un desarrollo adecuado y eficiente de una comarca habitada.  Estudio y aplicación de medidas financieras y de planeación para fomentar en el territorio nacional un equilibrio armonioso entre

	las actividades, necesidades de la población y los recursos del país.
<b>Organización ecológica óptima o más conveniente</b>	Particular arreglo de todos los componentes y procesos de un ecosistema, o relación entre dos o más ecosistemas, directa o indirectamente interrelacionados, que se traducen en la adecuada capacidad del conjunto resultante, para evolucionar y automantenerse indefinidamente.
<b>Organización no gubernamental (ONG)</b>	Grupo o asociación sin fines de lucro constituida fuera de las estructuras políticas institucionalizadas para alcanzar determinados objetivos sociales (como la protección del medio ambiente) o servir a intereses de determinados sectores sociales (como los pueblos indígenas). La gama de actividades de las ONGs comprende la investigación, la distribución de información, la capacitación, así como la defensa legal, la promoción de reformas legislativas y la desobediencia civil. En cuanto a su escala, oscilan entre pequeños grupos dentro de una determinada comunidad a grupos formados por un enorme número de miembros en un contexto nacional o internacional.
<b>Organizaciones o movimientos de base.</b>	Personas o sociedades que actúan a nivel local y no en el centro de las actividades políticas a gran escala.
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	<p>Gas incoloro, inodoro e insípido. Es aproximadamente 1.1 veces más pesado que el aire y ligeramente soluble en agua y alcohol. El Oxígeno, solo, no es flamable, pero alimenta la combustión. Es altamente oxidante, reacciona violentamente con materias combustibles y puede causar fuego o explosión. Es el gas más importante para los seres vivos. Sin él, no sería posible la vida animal ó vegetal. Se encuentra en el aire que respiramos, en menor proporción que el Nitrógeno (actualmente existe en la Troposfera un 21 % de oxígeno contra un 78 % de nitrógeno).</p> <p>Sus descubridores fueron: Carl Wilhelm Scheele(1742-1786) (sueco) y Joseph Priestley (1733,1804) (inglés) en el año 1772. Etimología: del griego oxus (ácido) y genos (nacimiento) = generador de ácidos. El nombre se debe a Lavoisier al creer incorrectamente que todos los ácidos contenían oxígeno.</p>
<b>Ozono (destrucción de la capa)</b>	<p>Esta destrucción constituye la prueba más clara y contundente de que el nivel de civilización de la humanidad ha llegado ya a un punto en que es capaz de influir sobre la naturaleza de una manera global, por encima de mares, ríos y fronteras.</p> <p>Ha quedado demostrado que el responsable número uno del trastorno son los clorofluorocarbonos (CFC), un producto químico fabricado por el ser humano para llenar sprays y enfriar las heladeras, que se usa sobre en el hemisferio norte.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	<p>El incremento térmico, cuyas consecuencias aún se desconocen en detalle, aunque es casi seguro que serán catastróficas, es responsabilidad del dióxido de carbono. Éste y los CFC son producto de la actividad humana.</p> <p>Los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y fosfatos son los principales causantes de las alteraciones atmosféricas, entre las que el agujero de ozono y el efecto invernadero son importantísimos.</p> <p>La lluvia ácida que ya ha aniquilado el 50% de los árboles de extensas regiones de Europa, el smog y la eutrofización que asesina la diversidad biológica de ríos, lagos y mares interiores, completan el cuadro que conduce a la evidencia de que no es posible tratar el deterioro de la capa de ozono en forma separada.</p> <p>Cada año que pasa, el agujero de la capa de ozono sobre la Antártida se vuelve mayor. Y ahora también aparecen los primeros agujeros en el Ártico.</p> <p>El ozono es un "pariente cercano" del oxígeno que respiramos. Mientras la molécula de oxígeno "normal" tiene dos átomos (<math>O_2</math>), la de ozono tiene tres (<math>O_3</math>). Su formación y destrucción constante a alturas estratosféricas, provoca reacciones químicas que absorben la energía de los rayos ultravioleta.</p> <p>El ozono protege de esos rayos. El desmoronamiento de esa capa protectora podría generar cáncer de piel, cataratas e inmunodeficiencia.</p>
<b>Ozonósfera</b>	Capa de la atmósfera de la Tierra comprendida entre 10 y 50 km, con un alto contenido de ozono, protectora de la Tierra pues absorbe las radiaciones ultravioletas que llegan del sol.
<b>Pah</b>	Siglas en inglés de los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Se usan como aditivos para gasolinas sin plomo, solventes, etc. Se les atribuyen acciones cancerígenas.
<b>Paisaje o escenario</b>	Es el conjunto interactuante de elementos constitutivos habituales y artificiales del ambiente con una particular combinación en un cierto espacio.
<b>Pandemia</b>	Propagación de una epidemia con carácter mundial o que por lo menos afecta a un continente. Ejemplo, epidemias gripales.
<b>Paquete de capacitación</b>	Conjunto de recursos de capacitación que comprende normas de competencia, guías de evaluación y calificaciones nacionales

<b>Paradigma</b>	<p>Conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes y prácticas que comparten los miembros de una comunidad científica determinada.</p> <p>La posesión de un paradigma común es lo que constituye una comunidad científica, que está a su vez conformada por hombres que son diferentes en todos los demás aspectos.</p>
<b>Parámetros</b>	<p>Unidades de medida que sirven para estimar los factores o causas que determinan la manifestación de una calamidad (parámetros directos), o para evaluar sus manifestaciones, a través de la cuantificación de sus efectos (parámetros indirectos).</p>
<b>Parasitismo</b>	<p>Asociación en la que uno de los organismos obtiene un claro beneficio de su hospedador, ocasionándole daños irreversibles al mismo.</p>
<b>Parque eco - industrial (E.I.P.)</b>	<p>Representa una Asociación, ya sea pública o privada entre las industrias integrantes de un Parque industrial cuya meta es lograr beneficios Económicos, Sociales y Ambientales.</p> <p>El concepto fundamental o crítico, es que el diseño global se basa en la Interacción entre las Actividades Productivas como un conjunto dinámico y su Medio Ambiente Natural con el objetivo de lograr la Minimización de los Impactos adversos a los Ecosistemas locales.</p>
<b>Parque nacional</b>	<p>Es un área generalmente extensa, protegida por la legislación y decretada como tal por el Ministerio de Agricultura, en que existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad ecológica natural del país, sin alterar significativamente por el hombre, capaces de autoperpetuarse y donde las especies de flora y fauna, y las formaciones geológicas, son de especial interés educativo, científico o recreativo.</p>
<b>Parque tecnológico</b>	<p>Es un asentamiento industrial donde se prevé la instalación de empresas de avanzada tecnología y actividades innovadoras, utilizándose los recursos universitarios de Investigación y Desarrollo (I+D) de las Instituciones que forman parte del entorno.</p>
<b>Partes por millón (ppm)</b>	<p>Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un millón.</p>
<b>Partículas Totales en Suspensión (PTS)</b>	<p>Son materiales sólidos de un diámetro inferior a 50 micrometros (<math>\mu\text{m}</math>) lo que les permite flotar en el aire. Su fracción más gruesa, entre 10 y 50 <math>\mu\text{m}</math> forma capas de suciedad en el ambiente.</p>
<b>Patógeno</b>	<p>Agente que genera una enfermedad.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Patrimonio Biológico</b>	Conjunto de seres vivos pertenecientes a una zona geográfica determinada, y que son o podrían ser de valor económico, biológico o social, para la comunidad que vive en esa zona en particular. Comúnmente se habla de Patrimonio Biológico Nacional, que implica a los seres vivos que pertenecen y tendrían un potencial valor para un país en particular.
<b>PCB</b>	Se refiere a los compuestos órgano halogenados. Son ampliamente usados como solventes y como materia prima para la producción de polímeros.
<b>Pepsina</b>	Enzima segregada por la membrana mucosa del estómago. Es el principio más importante del jugo gástrico.
<b>Pequeños productores</b>	Usuarios no residenciales que generan residuos sólidos en volumen menor a un metro cúbico mensual.
<b>Percolación</b>	Es la circulación vertical de agua en el suelo a través de la zona de infiltración, los que posibilita su llegada a las capas freáticas donde se encuentran los cauces subterráneos
<b>Percolado</b>	Sinónimo de <b>lixiviado</b> .
<b>Perenne</b>	Vegetal que vive tres años o más; algunas hierbas, arbustos o árboles, así como las plantas que poseen órganos subterráneos persistentes, son perennes.
<b>Perfil ambiental</b>	Estudio comprensivo y multidisciplinario de las condiciones ambientales que caracterizan a una zona o comarca, en determinado momento.
<b>Período de ajuste</b>	O período de gracia, contado a partir del inicio del período de operación y durante el cual el concesionario calibra las rutas y demás servicios sin ser sancionado por deficiencias en la prestación del servicio, salvo en caso de faltas graves y reiteradas. La sanción no exime de la responsabilidad del concesionario por su corrección.
<b>Período de implantación</b>	Período contado a partir de la legalización del contrato y hasta el inicio del período de operación, durante el cual el concesionario desarrolla las acciones pertinentes para alcanzar la plena capacidad operativa que le demanda el desarrollo del contrato.
<b>Período de operación</b>	Período comprendido entre la finalización del período de implantación y el vencimiento del contrato, durante el cual el concesionario presta los servicios objeto del contrato con plena capacidad operativa.
<b>Permiso ambiental</b>	Documento otorgado por la autoridad competente a solicitud del



	proponente de un proyecto el que certifica que desde el punto de vista de protección ambiental la actividad se puede ejecutar bajo el condicionamiento de cumplir las medidas establecidas.
<b>Pesticidas</b>	Son productos químicos usados para combatir las plagas de las plantas. Todos son tóxicos en mayor o menor medida y de acuerdo a normas internacionales (aunque no se aplica en todos los países) el color del envase debe indicar el grado de toxicidad. Rojo: altamente tóxico; amarillo: regularmente tóxico; azul: tóxico; verde: puede ser tóxico. Su uso irracional puede contaminar las aguas subterráneas y llegar al hombre a través de la cadena alimentaria.
<b>PH</b>	Medida de acidez o alcalinidad de una sustancia de acuerdo a la concentración de hidrogeniones, de donde deriva su nombre (Factor, phaktore en inglés, de Hidrogeniones, pH). La relación se establece entre los iones $H_3O^+$ y los $OH^-$ . Cuando la concentración del primero es de 10 elevado a 7, se trata de una solución neutra. Si el indicador es mayor es básica o alcalina y si es menor es ácida.
<b>Pirolisis</b>	( <i>Pyrolysis</i> ) Proceso de descomposición térmica de residuos o compuestos orgánicos en atmósferas reducidas o carentes de oxígeno.
<b>Plan de acción</b>	Documento que declara la estrategia y los pasos a dar para asegurar la dotación y puesta en marcha de medidas, que llevan al efecto normas de calidad ambiental, en determinado período y lugar.
<b>Plan de descontaminación</b>	Es un instrumento de gestión ambiental destinado a reducir la presencia de contaminantes a los niveles fijados por las normas primarias o secundarias en una zona saturada.
<b>Plan de prevención</b>	Es un instrumento de gestión ambiental que, en una zona latente, busca evitar que las normas ambientales primarias o secundarias sean sobrepasadas.
<b>Plancton</b>	Es el conjunto de organismos marinos que viven cerca de la superficie, en suspensión, sin poder evitar los movimientos horizontales de deriva, ni verticales de sedimentación. Está integrado por zooplancton y fitoplancton. Es la base de la cadena alimentaria marina.
<b>Planificación</b>	Toda práctica de planificación es una combinación dosificada de cálculo previsorio que se prealimenta de una simulación constante del futuro y de cálculo reactivo que se retroalimenta de la

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	constatación de los problemas agravados o atenuados.
<b>Planificación ambiental</b>	Es la recopilación, organización y procesamiento de la información para facilitar la toma de decisiones que dan solución total o parcial a problemas definidos por funciones o necesidades ambientales específicas, asegurando que las componentes ambientales que se estudien sean las relacionadas con el problema analizado y que los vínculos de la función analizada con otras funciones, sean conocidos por el ente a la persona responsable de la toma de decisiones". G. Parra Pardi
<b>Planificación regional.</b>	Establecimiento de planes sectoriales concretos y detallados de los aspectos físicos, económicos y sociales de una región determinada, entendidos como un proceso continuo en función de la interacción sectorial de dichos aspectos.
<b>Planificar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso para explorar el futuro, fijar objetivos, analizar alternativas posibles y plantear la forma de alcanzar los objetivos en un plazo predeterminado" E. Buroz Castillo.</li> <li>• Transformar los objetivos surgidos de la estrategia en planes que conduzcan a la acción. Gerloff</li> </ul>
<b>Planta de transferencia</b>	Es el lugar diseñado técnicamente y dotado de los equipos adecuados, en el cual es posible realizar la descarga de los residuos sólidos provenientes de los vehículos de recolección y compactarlos para su transporte al sitio de disposición final.
<b>Plantas de tratamiento de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Treatment Plants)</i> Infraestructura que permite la practica de varios procesos de tratamiento de residuos peligrosos, y a menudo incluyen rellenos de seguridad. Excluye los procesos de recolección y distribución de residuos peligrosos.
<b>Plásticos</b>	Son macromoléculas orgánicas sintetizadas a partir de materias naturales o de otras síntesis. No son biodegradables pero pueden ser altamente reciclables, como el PVC o cloruro de polivinilo. Si se los recicla a todos juntos se obtiene la madera plástica que se usa para fabricar sillones, mesas, postes de uso rural, pallets, bancos de plaza, etc. También pueden reciclarse como fuente energética dado su alto valor calórico y puede ser utilizado como calefacción o para generar energía eléctrica. Los plásticos ocupan entre el 6% y el 9% dentro de los residuos sólidos, en el mismo orden que los metales y textiles, pero detrás del papel, restos orgánicos y vidrio
<b>Plomo</b>	Elemento químico número 82 de la tabla periódica, su peso atómico es de 207.21 clasificado en el grupo de metales pesados, es dúctil, maleable, blando, fusible, de color gris ligeramente azulado. Es el producto final de las series radiactivas. Tóxico y

	<p>peligroso si es inhalado o ingerido, ya que es acumulativo en las cadenas tróficas.</p>
<b>Pluviómetro</b>	<p>Instrumento que mide la cantidad de lluvia que ha caído. La unidad de medida es en milímetros (mm) . Una precipitación de 5 mm indica que si toda el agua lluvia se acumulara en un terreno plano sin escurrir ni evaporarse, la altura de la capa de agua sería de 5mm. Los milímetros (mm) son equivalentes a los litros por metro cuadrado.</p>
<b>PM2,5</b>	<p>Corresponden a la fracción más fina de las PM 10, con un diámetro inferior a 2,5 µm, lo que les permite entrar por los alvéolos pulmonares al torrente sanguíneo. Son principalmente residuos ácidos altamente tóxicos de procesos de combustión.</p>
<b>PNUMA</b>	<p>Sigla del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Es el organismo que se encarga de financiar proyectos ambientales que se ejecutan a través de los países.</p>
<b>Población</b>	<p>Grupo de individuos con un ancestro común, que tienden en mucho mayor medida a formar parejas entre sí, más bien que con individuos de otro grupo del mismo género.</p>
<b>Polígonos industriales</b>	<p>Son Programas Integrales de desarrollo de zonas industriales, con objetivos específicos, promovidos por diversos Organismos públicos y/o privados, en donde se crean condiciones determinadas para asentamientos industriales planificados.</p>
<b>Política ambiental</b>	<p>Las metas y principios de acción generales de una compañía con relación al medio ambiente, de los cuales se pueden derivar los objetivos ambientales.</p>
<b>Política ambiental</b>	<p>Conjunto de medidas que posee un mínimo de coherencia entre sí, tendiente a lograr el ordenamiento ambiental.</p>
<b>Política ambiental internacional</b>	<p>Actividades intergubernamentales que mediante acuerdos, tratados, conferencias, declaraciones y proyectos conjuntos, tendientes a la preservación, conservación, explotación racional de los recursos naturales de la biosfera y la lucha contra la contaminación, se establecen entre dos o más países.</p>
<b>Polución</b>	<p>Expresión de origen inglés usada para referirse a la contaminación del ambiente por sustancias tóxicas o nocivas, pero no por elementos o agentes infecciosos.</p> <p>Contaminación intensa y perjudicial del entorno, los recursos naturales y la flora y fauna, con sustancias extrañas, producidas por los residuos de procesos industriales o biológicos.</p>
<b>Potencial hidrógeno</b>	<p>Es una medida de la concentración del ión hidrógeno en el agua.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>(ph)</b>	Se expresa la concentración de este ión como $pH$ , y se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ión hidrógeno.
<b>Preciclaje</b>	Consiste en el diseño de productos bajo la perspectiva de facilitar la reutilización o reciclaje de todos o parte de sus componentes.
<b>Precisión</b>	Reproducibilidad de las medidas: grado de acuerdo o semejanza entre los resultados una serie de mediciones aplicando un método bajo condiciones predescritas y el valor medio de las observaciones.
<b>Preservación</b>	Mantenimiento en su estado original de un recurso natural, una estructura o situación que ha sido heredada del pasado, sin cambios en su existencia.
<b>Preservación</b>	Mantenimiento en su estado original, de una especie animal o vegetal, grupos de especies, o un recurso natural (p.e. aire, suelo o agua). La preservación puede ser ex situ, cuando se realiza fuera de sus lugares habituales de existencia (ocurrencia), p.e. Jardines Botánicos, Parques Zoológicos o demás colecciones de animales o plantas. La preservación in situ, se realizar en sus lugares originales de distribución, p.e. Parques Nacionales, Refugios de Fauna Silvestre y Monumentos Naturales.
<b>Preservar</b>	Mantener el estado actual de un área o categoría de seres vivos.
<b>Presión atmosférica</b>	Es la presión o el peso que ejerce la atmósfera en un punto determinado. La medición puede expresarse en varias unidades de medidas: Hectopascales, en milibares, pulgadas o milímetros de mercurio (Hg). También se conoce como presión barométrica.
<b>Prevención</b>	Preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar una cosa.  Criterio básico que rige la actuación ambiental a posteriori, incorporado en el Tratado de Maastricht de la Unión Europea, por el que se debe evitar la causa originaria de un perjuicio ambiental ya producido, para que no se vuelva a repetir.
<b>Prevención de la contaminación</b>	Acto de eliminar un contaminante o las fuentes de riesgo antes de que se generen. EPA
<b>Principio precautorio</b>	Deber de los Estados de aplicar un criterio de precaución para la protección del medio ambiente, sin que se aluda a la falta de certeza científica absoluta para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos a fin de impedir la degradación del medio ambiente cuando haya peligro de daño grave.

<p><b>Principios de equidad intergeneracional</b></p>	<p>Han sido propuestos por las Naciones Unidas y son los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cada generación debe conservar los recursos naturales y culturales básicos, de modo tal que no restrinja las opciones de las futuras generaciones.</li> <li>2. Cada Generación debe mantener la calidad de vida del planeta de modo tal que se suceda sin deteriorar las condiciones en las que fue recibida.</li> <li>3. Cada generación debe dar a sus miembros un acceso equitativo al legado de las presentes generaciones.</li> </ol>
<p><b>Principios de la sustentabilidad</b></p>	<p>Se encuentran desarrollados en el documento "Cuidar la Tierra" de UICN/PNUMA/WWF y son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitar el impacto humano sobre la biosfera.</li> <li>• Mantener el patrimonio biológico.</li> <li>• Utilizar racionalmente los recursos no renovables.</li> <li>• Distribuir equitativamente los costos y beneficios del uso de los recursos.</li> <li>• Promover tecnologías adecuadas.</li> <li>• Formular políticas económicas que mantengan las riquezas naturales.</li> <li>• Tomar decisiones sobre la base de la PREVISIÓN y la TRANSITORIALIDAD.</li> </ul>
<p><b>Principios para vivir de manera sustentable</b></p>	<p>Se encuentran desarrollados en el documento "Cuidar la Tierra" de UICN/PNUMA/WWF, y son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Respetar y cuidar la comunidad de seres vivientes.</li> <li>• Conservar la vitalidad y diversidad de la Tierra.</li> <li>• Mantenerse dentro de la capacidad de carga de la Tierra.</li> <li>• Modificar las actitudes y prácticas personales.</li> <li>• Facultar a las comunidades para cuidar el medio ambiente.</li> <li>• Establecer un marco nacional para la integración del desarrollo y la conservación.</li> </ul>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer una alianza universal.</li> </ul>
<b>Privatización</b>	Otorgamiento de concesiones al sector privado para el manejo de residuos sólidos municipales.
<b>Proceso industrial</b>	Una operación que transforma los aportes de material, energía e información en productos, como parte de un sistema de producción industrial.
<b>Procesos biológicos</b>	Son los procesos que se realizan a las aguas residuales por oxidación y/o reducción de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos o anaeróbicos.
<b>Procesos químicos unitarios</b>	Son procesos de tratamientos de aguas residuales en donde se realizan transformaciones que involucran reacciones químicas: Adsorción, Intercambio de Iones, Neutralización, Precipitación Química, Reacciones de Oxido Reducción, Desinfección.
<b>Producción limpia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de productos de una manera sustentable, a partir de la utilización de materias primas renovables, no peligrosas y de una manera energéticamente eficiente, conservando a la vez la Biodiversidad.</li> <li>• La aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental a los procesos y a los productos, con el fin de reducir los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente. PNUMA</li> </ul>
<b>Producción sustentable</b>	Situación óptima de rendimiento productivo en un área o zona determinada, que resulta de un buen manejo del ambiente y que permite un crecimiento vegetal predecible y, en general, la regeneración de los recursos naturales renovables por largos períodos.
<b>Productividad primaria</b>	La transformación de energía química o solar en biomasa. La mayor parte de la producción primaria se produce a través de la fotosíntesis, por la cual las plantas verdes transforman la energía solar, el dióxido de carbono y el agua en glucosa y posteriormente en tejidos vegetales. Además, algunas bacterias de las profundidades del mar pueden transformar energía química en biomasa a través de la quimiosíntesis.
<b>Producto bruto</b>	Magnitud macroeconómica resultante de la suma de todas las actividades productivas de un país en un año.
<b>Programa de capacitación</b>	Enfoque estructurado de desarrollo de competencias para una calificación particular cubriendo los requerimientos de los componentes aprobados. Incluye una selección de unidades u opciones dentro del paquete y el método, capacitación y

	ubicación para el logro de competencias.
<b>Programa de manejo ambiental</b>	Documento en el que se señalan cuáles son las medidas que se han previsto con el objeto de minimizar los impactos adversos sobre el medio ambiente y para incrementar los beneficios ambientales de un proyecto.
<b>Programa de vigilancia</b>	Plan de operación dotado de objetivos, metas y cronograma, equipo y personal para la detección, medición cualitativa o cuantitativa de la presencia, efectos o niveles de concentración de cualquier sustancia contaminante, de un proceso de deterioro o recuperación ambiental.
<b>Propuesta</b>	Es la oferta de servicios presentada por el concesionario favorecido ante la Administración Distrital y que hace parte del contrato.
<b>Protección ambiental</b>	Toda acción personal o comunitaria, pública o privada, que tienda a defender, mejorar o potenciar la calidad de los recursos naturales, los términos de los usos beneficiosos directos o indirectos para la comunidad actual y con justicia prospectiva.
<b>Proteger</b>	Defender un área o determinados organismos contra la influencia modificadora de la actividad del hombre.
<b>Quemaduras</b>	Son lesiones con destrucción de tejidos superficiales como la piel y/o tejidos profundos como músculos, tendones, huesos, etc., producidos por agentes físicos, químicos, eléctricos o radiaciones
<b>Radiación</b>	Propagación de la energía en el espacio a partir de un centro de emisión (fuente radiante), ya sea por medio de ondas, ya por la incorporación de la mismas corpúsculos materiales; tal energía, al desplazarse en el espacio, siempre a velocidad finita, es absorbida por los cuerpos que encuentra a su paso hasta que desaparece totalmente. Por consiguiente, se tiene una acción a distancia tal que su efecto completo, en ausencia de absorción (propagación en el vacío), no disminuye al aumentar la distancia de la fuente emisora, si bien se reparte uniformemente en regiones cada vez mayores, de forma que la densidad de la misma disminuye con el cuadrado de esa distancia.
<b>Radiación de fondo</b>	Propagación de la energía del medio ambiente natural del hombre, incluida la procedente de los rayos cósmicos, la de los elementos radiactivos naturales de la Tierra y la originada en el propio cuerpo humano.
<b>Radiación electromagnética</b>	Radiaciones generadas por el movimiento de cargas eléctricas o por transiciones electrónicas energéticas entre diversos estados cuánticos de átomos, moléculas o núcleos. Comprenden una extremada gama de radiaciones diversas las cuales difieren

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	únicamente en su longitud de onda; en orden decreciente de esta longitud, entran en este grupo de ondas hertzianas, las infrarrojas, la luz visible, las ondas ultravioletas, los rayos X y la radiación gamma.
<b>Radiación ionizante</b>	Propagación de la energía producida por partículas capaces de interaccionar de forma nuclear, cediendo energía suficiente para producir ionización.
<b>Radiación térmica</b>	La emitida en forma de calor por todos los cuerpos que no se hallan a la temperatura del cero absoluto.
<b>Radiactividad</b>	Propiedad que presentan ciertas sustancias. Consiste en la emisión de partículas alfa, electrones, positrones y radiación electromagnética, que proceden de la desintegración espontánea de determinados núcleos que la forman. La radiactividad puede ser natural o artificial, según que la sustancia ya la posea en el estado en que se encuentra en la naturaleza o bien que haya estado inducida por irradiación de agentes externos.
<b>Radicales libres</b>	Fragmentos químicos altamente reactivos que pueden producir irritación en las paredes de las arterias e iniciar el proceso de arteriosclerosis si la vitamina E no está presente. Generalmente son perjudiciales.
<b>Raster (estructura)</b>	Un arreglo de celdas (píxel) referenciados por un número de fila y columna, cada celda es direccionada independientemente con el valor de un atributo; esta es una de la manera fundamental de representar y almacenar datos espaciales (ver estructura vectorial).
<b>Rayos Ultravioleta (UV)</b>	Corresponden a las frecuencias electromagnéticas o de vibración de fotones inmediatamente mayores a las visibles en la luz y se clasifican en las tipo A, que son las que más llegan a la tierra con la luz solar, pero las menos dañinas; las B, de las cuales el 90 por ciento es absorbido por la capa de ozono, es el rango responsable del bronceado, pero la sobreexposición a ella produce quemaduras, envejecimiento e incluso cáncer de la piel, así como conjuntivitis y las del rango C, que son totalmente absorbidas por el ozono, gracias a los cual es posible la vida en la tierra.
<b>Reacción fotoquímica de la atmósfera</b>	Son originadas por la absorción de un fotón ( $hn$ ) de radiación ultravioleta de longitud de onda ( $l$ ) mayor de 300 nanómetro por parte de una molécula.
<b>Receptor</b>	Se denomina receptor a la localización, en coordenadas $x$ , $y$ , $z$ , donde se mide las concentraciones ambientales de los contaminantes de interés.



<b>Receptores</b>	Seres vivos o materiales que son los entes afectados por sustancias en el aire.
<b>Reciclaje</b>	Proceso mediante el cual los materiales segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo.
<b>Reciclaje</b>	<p>Acción de reprocesar un material ya utilizado transformándolo en uno similar o distinto al original susceptible de ser usado como materia prima.</p> <p>También, Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. La palabra "reciclado" es un adjetivo, el estado final de un material que ha sufrido el proceso de reciclaje. En términos de absoluta propiedad se podría considerar el reciclaje puro sólo cuando el producto material se reincorpora a su ciclo natural y primitivo: materia orgánica que se incorpora al ciclo natural de la materia mediante el compostaje.</p> <p>Sin embargo y dado lo restrictivo de esta acepción pura, extendemos la definición del reciclaje a procesos más amplios. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización como materia prima de materiales que de otra forma serían considerados desechos.</li> <li>• Separación, recuperación, procesamiento y reutilización de productos y materiales obsoletos o de subproductos industriales.</li> <li>• Retorno a un sistema de producción de materiales desechados, inútiles o sobrantes de procesos industriales, para su utilización en la manufactura de bienes materiales, con miras a obtener ganancias, para la conservación de recursos naturales escasos, para aprovechar materiales que requieran mucha energía para su transformación primaria.</li> </ul>
<b>Reciclaje</b>	Proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.
<b>Reciclaje</b>	Proceso que permite transformar un residuo en materia prima para elaborar otro objeto de utilidad para el hombre.
<b>Reciclaje de residuos</b>	<i>(Hazardous Waste Recycling)</i> Cualquier actividad que reduzca el

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>peligrosos</b>	volumen y/o la toxicidad de un residuo peligroso después de su generación en un proceso productivo, a través de su uso con beneficios económicos.
<b>Recolección</b>	Acción de recoger y trasladar los desechos generados, al equipo destinado a transportarlos a las instalaciones de almacenamiento, transferencia, tratamiento, reuso o a los sitios de disposición final.
<b>Recolección de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Collection)</i> Termino que hace referencia al transporte de los residuos peligrosos.
<b>Recolección Selectiva</b>	Acción de clasificar, segregar y presentar segregadamente para su posterior utilización.  Recogida de residuos separados y presentados aisladamente por su productor.
<b>Recuperación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustracción de un residuo a su abandono definitivo. Un residuo recuperado pierde en este proceso su carácter de "material destinado a su abandono", por lo que deja de ser un residuo propiamente dicho, y mediante su nueva valoración adquiere el carácter de "materia prima secundaria".</li> <li>• Restauración a un estado mejor o más útil de una sustancia, por ejemplo extracción de materiales útiles de los residuos.</li> <li>• Restituir un ecosistema o población a su condición natural.</li> </ul>
<b>Recursos biológicos</b>	Son aquellos componentes de la biodiversidad que admiten un uso directo, indirecto o potencial para la humanidad.
<b>Recursos extractivos</b>	Productos naturales renovables que se extraen en cuotas que no pongan en riesgo las poblaciones y/o el ecosistema de donde provienen. Estos productos pueden ser destinados para autoconsumo y/o comercialización.
<b>Recursos naturales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses espirituales, culturales, sociales y económicos.</li> <li>• También podemos decir que son los componentes renovables y no renovables característicos del medio ambiente natural, que pueden ser de utilidad potencial para el hombre. Pueden ser materiales (bosques, vida silvestre, minerales, agua, tierra, aire, etc.) o no materiales (paisaje). Los recursos naturales renovables son aquellos que pueden perpetuarse, como la vegetación, la vida animal. Los no renovables no</li> </ul>

	<p>tienen esa capacidad como el carbón, el petróleo o las piedras preciosas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualquier factor del ambiente natural que puede significar algún provecho al hombre tales como el agua, el suelo, los minerales, la vegetación, los montes, el relieve, los animales y toda forma de vida silvestre, inclusive su arreglo estético.</li> <li>• Son los elementos naturales de los ecosistemas, cuyas cualidades les permiten satisfacer, en forma directa o indirecta, necesidades humanas.</li> </ul>
<b>Recursos Naturales</b>	<p>Cualquier elemento del ambiente natural, que pueda significar algún provecho para las poblaciones humanas. Dependiendo de su capacidad de regeneración, se clasifican en renovables o no renovables. Entre los Renovables encontramos a los animales y las plantas. Entre los No Renovables, podemos agrupar a los minerales, el agua y el aire. Vale mencionar que los recursos naturales No Renovables son materias que una vez consumidas, no pueden ser regeneradas durante un período significativamente corto para los seres humanos, equivalente a 100 años.</p>
<b>Reducción en la Generación</b>	<p>Reducir o minimizar la cantidad o el tipo de residuos generados que deberán ser evacuados. Esta reducción evita la formación de residuos, mediante la fabricación, diseño, adquisición o bien modificación de los hábitos de consumo, peso y generación de residuos.</p>
<b>Reducción en origen</b>	<p>Es una de las políticas de las Tres Rs que constituyen las acciones ambientales de muchas empresas e instituciones desarrolladas en los últimos años. Se trata de la eliminación o reducción de aquellos materiales que, de acuerdo con su función terminarán siendo residuos, por ejemplo, envases innecesarios.</p> <p>El diseño, fabricación, adquisición y reutilización de materiales para minimizar la cantidad o toxicidad de los residuos generados.</p>
<b>Rehabilitación</b>	<p>Restituir un ecosistema de una población degradada a una condición no degradada, que puede ser diferente de su condición original.</p> <p>Es también, la recuperación de servicios específicos de ecosistemas en un ecosistema o hábitat degradado.</p>
<b>Relevamiento ambiental</b>	<p>Estudio de campo que destaca la ubicación geográfica, cantidades, calidades y cualidades de los recursos bióticos y abióticos de una región o comarca.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<p><b>Relleno de seguridad</b></p>	<p><i>(Secure Landfill/Hazardous Waste Landfill)</i> Método de disposición de residuos peligrosos en vertederos emplazados en el suelo o subsuelo, cuyo objetivo es evitar que las propiedades nocivas del residuo afecten al medio natural o la salud humana. Para su construcción se consideran las propiedades del suelo, su lejanía de corrientes de aguas subterráneas y superficiales, y la elección de aislantes o recubrimientos sintéticos.</p> <p>Relleno sanitario destinado a la disposición final adecuada de los residuos industriales o peligrosos.</p>
<p><b>Relleno sanitario</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona utilizada como depósito de basura, con su manejo técnico adecuado. En la operación del relleno sanitario, la basura y otros desechos son extendidos en capas delgadas sobre el suelo o colocados en fosas; luego se compacta con maquinaria pesada, hasta un espesor de 1 a 2 metros y se cubre con una capa de tierra de 20 cm. y así sucesivamente. Esta operación debe realizarse diariamente para prevenir el desarrollo de insectos y roedores. Requieren de una preparación especial, incluyendo drenajes y plantas de tratamiento de aguas.</li> <li>• Es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública. Este método, utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada. El diseño tiene como objetivo principal reducir al máximo la generación delixiviado, así como prevenir su ingreso sin tratamiento al ambiente, junto con el control y utilización de los gases producidos.</li> <li>• Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, y el control de los gases y lixiviados y la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.</li> <li>• Lugares habilitados especialmente para la disposición final de residuos sólidos, considerando medidas de tratamiento de los materiales y de control de impacto ambiental. En estos lugares los desechos son depositados compactados en celdas que impiden fugas de líquidos lixiviados, vectores biológicos (Ratas, moscas, perros, etc.) y olores. Además cuentan sistemas para captar líquidos y gases producidos por la</li> </ul>

	descomposición. Estos gases (Metano), por lo general, son utilizados como combustible.
<b>Relleno Sanitario</b>	Es el sitio que es proyectado, construido y operado mediante la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria y ambiental, en donde se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren con tierra, diariamente los desechos sólidos, contando con drenaje de gases y líquidos percolados.
<b>Relleno Sanitario</b>	Método de disposición final de basura que genera mínimas molestias o peligros para la salud o seguridad pública. Permite reducir el volumen de los desechos, los cuales son recubiertas con material inerte, generalmente tierra.
<b>Relleno Sanitario Manual</b>	Es aquél en el que sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, así como para la excavación de zanjas, la extracción y el acarreo y distribución del material de cobertura. Todos los demás trabajos, tales como construcción de drenajes para lixiviados y chimeneas para gases, así como el proceso de acomodo, cobertura, compactación y otras obras conexas, pueden realizarse manualmente.
<b>Relleno Sanitario Mecanizado</b>	Es aquél en que se requiere de equipo pesado que labore permanentemente en el sitio y de esta forma realizar todas las actividades señaladas en el relleno sanitario manual, así como de estrictos mecanismos de control y vigilancia de su funcionamiento.
<b>Rendimiento sustentable</b>	Aspecto de la conservación ambiental que busca, sobre la base de un uso racional de la naturaleza, una productividad continuada de sus recursos naturales renovables y un ahorro y utilización continua (reciclado) de los no renovables.
<b>Reparación</b>	Acción de retornar al medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.
<b>Reserva</b>	Zona o grupo de recursos cuya explotación o uso se impide o regula por ley, pues se la considera de importancia en cuanto a necesidades futuras, para mantener la biodiversidad y como zonas de protección de Parques Nacionales.
<b>Reserva Nacional</b>	Es un área protegida y decretada como tal por el ente regulador, cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la susceptibilidad de éstos a sufrir degradación o por su importancia en el resguardo del bienestar de la comunidad.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Residuo</b>	<p>Un material o subproducto industrial que ya no tiene valor económico y debe ser desechado.</p> <p>Sustancia sólida, semisólida, líquida o gaseosa proveniente de actividades humanas o generados en procesos de extracción, beneficio, transformación, consumo y tratamiento de materiales o productos, cuyas características impiden usarlo en proceso que los generó y que han perdido valor económico prioritario para quien lo genera, pero que pueden ser aprovechados por terceros que los reclamen, recolecten o compren para su reutilización directa o reciclaje.</p>
<b>Residuo biosanitario</b>	<p>Son los originados por actividades como la industria farmacéutica, investigación biológica, análisis clínicos y atención hospitalaria. Por lo general incluyen restos orgánicos, microorganismos y fármacos, entre otros, lo que los hace muy peligrosos.</p>
<b>Residuo energético</b>	<p>Remanente de una emisión de energía de una variada índole. Comprende el calor, el ruido, la luz, la radiación ionizante y demás desechos de origen energético.</p>
<b>Residuo material</b>	<p>Comprende los óxidos de carbono, nitrógenos y azufre, el metano y demás desechos gaseosos, las aguas negras, los efluentes industriales líquidos y demás desechos en este estado, las partículas precipitadas y en suspensión y demás desechos sólidos y toda mezcla, combinaciones y derivados en general, cualquiera sea la composición o estado material resultante.</p>
<b>Residuo patogénico</b>	<p>Sustancias que presentan características de toxicidad y/o actividad biológica susceptibles de afectar directamente o indirectamente a los seres vivos y causar contaminación del suelo, el agua o la atmósfera, que sean generados con motivo de atención de pacientes, diagnóstico y tratamiento de seres humanos o animales, así como también en la investigación y/o producción comercial de elementos biológicos.</p>
<b>Residuo patológico</b>	<p>Sustancia que contiene restos de sangre o sus derivados o elementos orgánicos extraídos a humanos o animales, extraídos de los quirófanos.</p>
<b>Residuo peligroso</b>	<p>Residuo sólido o semisólido que por sus características tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas, plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se hace, autorizada o clandestinamente, en forma conjunta con los residuos sólidos municipales.</p>
<b>Residuo peligroso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuo sólido o semisólido que por sus características</li> </ul>

	<p>tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se realiza en forma conjunta con los residuos sólidos municipales, con autorización o en forma clandestina.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos, líquidos (más o menos espesos) y gases que contengan alguna(s) sustancia(s) que por su composición, presentación o posible mezcla o combinación puedan significar un peligro presente o futuro, directo o indirecto para la salud humana y el entorno.</li> </ul>
<b>Residuo sólido combustible</b>	Residuo que arde en presencia de oxígeno por acción de una chispa o de cualquier otra fuente de ignición.
<b>Residuo sólido combustible</b>	Residuo que arde en presencia de oxígeno por acción de una chispa o de cualquier otra fuente de ignición.
<b>Residuo sólido comercial</b>	Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.
<b>Residuo sólido comercial</b>	Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.
<b>Residuo sólido domiciliario</b>	Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento similar.
<b>Residuo sólido domiciliario</b>	<p>Residuo que, por su naturaleza, composición, cantidad y volumen, es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento similar.</p> <p>Más conocidos como basura doméstica, están compuestos principalmente de elementos orgánicos, como restos de comida y papel, plásticos (Poliaglomerados) y en menor medida por metales. Proviene principalmente de viviendas, oficinas, servicios (Colegios, bancos, reparticiones públicas, etc.) y otros agentes que presenten composiciones similares.</p>
<b>Residuo sólido especial</b>	Residuo sólido que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye a los residuos sólidos de establecimientos de salud, productos químicos y fármacos caducos, alimentos con plazos de consumo expirados, desechos de establecimientos que utilizan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que con autorización o ilícitamente son manejados conjuntamente con los residuos

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

	sólidos municipales.
<b>Residuo sólido especial</b>	Residuo sólido que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye los residuos sólidos de establecimientos de salud, productos químicos y fármacos caducos, alimentos expirados, desechos de establecimientos que usan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que, con autorización o ilícitamente, son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales.
<b>Residuo sólido explosivo</b>	Residuo que genera grandes presiones en su descomposición instantánea.
<b>Residuo sólido explosivo</b>	Residuo que genera grandes presiones en su descomposición instantánea.
<b>Residuo sólido industrial</b>	Residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipo e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación.
<b>Residuo sólido industrial</b>	Residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipos e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación.
<b>Residuo sólido inflamable</b>	Residuo que puede arder espontáneamente en condiciones normales.
<b>Residuo sólido inflamable</b>	Residuo que puede arder espontáneamente en condiciones normales.
<b>Residuo sólido institucional</b>	Residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otros.
<b>Residuo sólido institucional</b>	Residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, así como en terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otras entidades.
<b>Residuo sólido municipal</b>	Residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstica, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la municipalidad o de otra autoridad del gobierno. Sinónimo de basura y de desecho sólido.
<b>Residuo sólido municipal</b>	Residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstico,



	comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la municipalidad o de otra autoridad gubernamental. Sinónimo de <b>basura y desecho sólido</b> .
<b>Residuo sólido patógeno</b>	Residuo que por sus características y composición puede ser reservorio o vehículo de infección a los seres humanos.
<b>Residuo sólido patógeno</b>	Residuo que, por sus características y composición, puede ser reservorio o vehículo de infección para los seres humanos.
<b>Residuo sólido peligroso</b>	Es todo aquel residuo que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representa un peligro para la salud humana o animal y para el equilibrio ecológico.
<b>Residuo sólido radiactivo</b>	Residuo que emite radiaciones electromagnéticas en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.
<b>Residuo sólido radiactivo</b>	Residuo que emite radiaciones electromagnéticas en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.
<b>Residuo sólido tóxico</b>	Residuo que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daño y aún la muerte a los seres vivos o puede provocar contaminación ambiental.
<b>Residuo sólido tóxico</b>	Residuo que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daño e incluso la muerte a los seres vivos o puede provocar contaminación ambiental.
<b>Residuo sólido urbano</b>	Son los desperdicios sólidos producidos por la actividad humana en las ciudades. Comprenden los residuos domiciliarios, industriales y especiales.
<b>Residuos Especiales</b>	Son los residuos sólidos urbanos que requieren de atención especial debido a su composición química, tales como pilas, aceites, lubricantes, tubos fluorescentes o medicamentos.
<b>Residuos explosivos</b>	<i>(Explosive Wastes)</i> Residuos que contienen compuestos químicos como la glicerina y son capaces de reaccionar en forma explosiva.
<b>Residuos Industriales</b>	Provenientes de las actividades productivas o de servicios, se caracterizan por contener con frecuencia elementos tóxicos (Metales pesados, venenos u otros) o elementos orgánicos grasos (Grandes cantidades de restos de comida, desechos de animales y otros) que contaminan y atraen ratas, moscas y otras plagas.





**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Residuos inflamables</b>	<i>(Flammable Wastes)</i> Residuos que contienen compuestos que se inflaman o prenden fuego con facilidad, por ejemplo, altas concentraciones de hidrogeno o carbón.
<b>Residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Wastes)</i> Residuos líquidos, sólidos o pastosos considerados peligrosos legalmente por sus características explosivas, inflamables, corrosivas, tóxicas o reactivamente químicas, que causan o pueden causar daños al medio ambiente o la salud humana.
<b>Residuos peligrosos domésticos</b>	<i>(Household Hazardous Wastes)</i> Generalmente de naturaleza sólida, son residuos con concentraciones considerables de elementos metálicos (arsénico, cadmio, mercurio, etc.) y compuestos orgánicos (pesticidas, insecticidas, herbicidas) generados en las viviendas familiares y dispuestos a nivel municipal.
<b>Residuos peligrosos industriales</b>	<i>(Industrial Hazardous Wastes)</i> Residuos que se generan como resultado de los procesos industriales, compuestos por subproductos de los procesos de producción, fondos de alambiques, tanques de decantación, lodos del tratamiento de efluentes industriales, etc. Poseen altas concentraciones de compuestos orgánicos, metales pesados, biocidas e hidrocarburos. Requieren de técnicas especiales de tratamiento y disposición.
<b>Residuos sólidos</b>	Cualquier material incluido dentro de un gran rango de materiales sólidos, también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, excesivos o sin valor. Normalmente, no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.
<b>Residuos sólidos hospitalarios contaminados:</b>	<p>Se consideran residuos sólidos hospitalarios contaminados los producidos por hospitales, clínicas, laboratorios clínicos o de patólogos, centros y puestos de salud, facultades de medicina, de odontología, de veterinaria, institutos de investigación o de productos médicos, laboratorios y clínicas veterinarias y de todos aquellos institutos que puedan producir residuos contaminados con patologías como sida, cólera, hepatitis, tétanos, enfermedades diarreicas, parasitismo, fiebre tifoidea, fiebre paratifoidea y enfermedades infecciosas en general.</p> <p>Son los provenientes de consultas médicas u odontológicas, urgencias, pacientes hospitalizados de enfermedades infectocontagiosas, de cirugías, actividades de enfermería, vacunación, laboratorios clínicos y de patólogos y sus baños, lavandería de enfermos infectocontagiosos, cocina (sobrantes de enfermos infectocontagiosos), consultas veterinarias, animales</p>

	hospitalizados, vacunas de animales y bioterios
<b>Residuos sólidos hospitalarios no contaminados:</b>	<p>Son el subproducto de las actividades de las entidades descritas anteriormente, tales como, administración, cocina, restaurantes, droguería (diferente a medicinas vencidas o no vencidas), estadística, oficinas, patios, jardines, vivienda de médicos y enfermeras; que, aunque algunos de ellos, pueden ser producidos en zonas de riesgo, son separados "en la fuente" por personal adiestrado. Ejemplos de esta basura son los memorandos de enfermería, las órdenes de trabajo en cirugía, las remisiones en urgencias, los empaques de las droguerías y las cajas de empaques de jabón de la lavandería.</p> <p>Este tipo de residuos no debe presentar ningún riesgo para la salud humana o animal, diferente al de una basura normal.</p> <p>Esta basura no debe contener especímenes humanos, ni de animales</p>
<b>Residuos tóxicos</b>	<i>(Toxic Wastes)</i> Residuos que, al entrar en contacto con entes biológicos, originan una respuesta adversa.
<b>Residuos, basura o desechos</b>	Remanente del metabolismo de los organismos vivos y de la utilización o descomposición de los materiales vivos o inertes y de la transformación de energía. Se lo considera un contaminante cuando por su cantidad, composición o particular naturaleza sea de difícil integración a los ciclos, flujos y procesos ecológicos normales.
<b>Resolución de impacto ambiental</b>	Documento emitido por autoridad competente sustantiva en el que señala su decisión de aprobar o desaprobado un Proyecto de acuerdo con la evaluación surgida del Estudio de Impacto Ambiental.
<b>Restauración</b>	Es el restablecimiento de las propiedades originales de un ecosistema o hábitat en cuanto a estructura comunitaria, complemento natural de las especies y cumplimiento de sus funciones naturales.
<b>Restaurar</b>	Restablecer las propiedades originales de un ecosistema o hábitat.
<b>Reutilización</b>	<p>Capacidad de un producto o envase para ser usado en más de una ocasión, de la misma forma y para el mismo propósito para el cual fue fabricado.</p> <p>Técnicas para reaprovechar un material o producto usado, sin cambiar su naturaleza, como en el caso de los envases retornables.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Reutilización o reuso</b>	Uso de un material, subproducto o producto residual más de una vez.
<b>Riles</b>	<p>Son los Residuos Industriales Líquidos, es decir, todos los elementos desechados por los procesos de producción industrial en forma de líquidos.</p> <p>Se puede afirmar que también es otra de las políticas de las Tres Rs. En este caso, es la capacidad que tienen ciertos envases para que, una vez correctamente higienizados, puedan reingresar al circuito de utilización proporcionándose una mayor vida útil.</p>
<b>Ruido</b>	Interferencia sónica que causa molestia de cualquier tipo a las personas que pueden llegar al daño auditivo Respuesta Lenta: Se denomina así a la señal emitida por un equipo de medición que evalúa la energía de una onda sónica media en intervalos de un segundo. Cuando se efectúa éste tipo de registro se expresa como NPS Lento. Si, además, se emplea un filtro de ponderación A, la expresión en dB(A) Lento.
<b>Ruido de fondo</b>	Es el ruido que prevalece en ausencia de actividad de una fuente fija a medir.
<b>Ruido estable</b>	Es el ruido registrado con fluctuaciones de presión sonora menores a 5 dB(A) Lento durante un minuto de medición.
<b>Ruido fluctuante</b>	Es el ruido que varía en su presión en más de 5 dB(A) Lento durante un minuto de medición.
<b>Ruido imprevisto</b>	Es el ruido fluctuante que presenta una variación de presión sonora mayor a 5dB(A) Lento en un segundo o menos.
<b>Ruido ocasional</b>	Es el ruido que genera una fuente emisora distinta a la que se va a medir y que no forma parte del ruido de fondo.
<b>Salinidad de un agua residual</b>	Representa la cantidad de sales disueltas en una solución. No tiene unidad de medida y para su determinación se utilizan métodos indirectos que incluyen la medida de otra propiedad física como por ejemplo la Conductividad.
<b>Saneamiento ambiental</b>	Es un conjunto de medidas dirigidas a controlar, reducir o eliminar la contaminación para lograr una mejor calidad de vida.
<b>Sanitizado</b>	Tratamiento especial por el cual se elimina la contaminación microbiológica en determinado producto.
<b>Santuario de la naturaleza</b>	Es un área protegida terrestre o marina, decretada como tal, en la cual existen posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas

	o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado.
<b>Segregación</b>	Actividad que consiste en recuperar materiales reusables o reciclados de los residuos.
<b>Segregación en la Fuente</b>	Segregación de diversos materiales específicos del flujo de residuos en el punto de generación. Esta separación facilita el reciclaje.
<b>Segregador</b>	Persona que se dedica a la segregación de la basura y que tiene diferentes denominaciones en los países de la región: <b>cirujas</b> en la Argentina; <b>buzos</b> en Bolivia, Cuba, Costa Rica y República Dominicana; <b>catadores</b> en el Brasil; <b>cachureros</b> en Chile; <b>basuriegos</b> en Colombia; <b>chamberos</b> en el Ecuador; <b>guajeros</b> en Guatemala; <b>pepenadores</b> en México y El Salvador; <b>segregadores</b> en el Perú y <b>hurgadores</b> en el Uruguay, en Venezuela <b>reciclador</b> .
<b>Selectividad del método de medición</b>	Indica el grado de independencia de interferencias del método.
<b>Sensibilidad del método de medición</b>	Tasa o amplitud del cambio de la lectura del instrumento con respecto a los cambios de los valores característicos de la cualidad del aire.
<b>Separación en origen</b>	Consiste en la clasificación de materiales entre los residuos en el lugar donde son originados para su reciclaje, práctica que se ha extendido paulatinamente con los diversos tipos de papeles, plásticos, metales y el vidrio.
<b>Sequía</b>	Condición del medio ambiente en la que se registra deficiencia de humedad, debido a que durante un lapso más o menos prolongado, la precipitación pluvial es escasa. El ciclo hidrológico se desestabiliza al extremo de que el agua disponible llega a resultar insuficiente para satisfacer las necesidades de los ecosistemas, lo cual disminuye las alternativas de supervivencia e interrumpe o cancela múltiples actividades asociadas con el empleo del agua.
<b>Servicio de aseo urbano</b>	El servicio de aseo urbano comprende las siguientes actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos municipales: almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, disposición sanitaria, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, recuperación y reciclaje.
<b>Signos vitales</b>	Son las señales o reacciones que presenta     un ser humano con vida y que revelan las funciones básicas del organismo. Estos son: la respiración, el pulso, la temperatura y la tensión arterial.

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Simbiosis</b>	Asociación de dos o más individuos de distintas especies, en la que todos salen beneficiados.
<b>Simbiosis</b>	Asociación entre dos o mas especies en la que puede o no haber un mutuo beneficio.
<b>Simbiosis industrial o sinergia de subproductos</b>	Es la correlación que se genera entre diversas industrias, el sector agrícola y la comunidad, que resulta en una conversión redituable de subproductos y desechos en recursos, promoviendo así su sostenimiento.
<b>Sismicidad</b>	Estudio de la intensidad y frecuencia de los sismos en la superficie terrestre. Su distribución geográfica delimita tres grandes bandas sísmicas que son: Mediterráneo, Himalaya y Circunpacífica, en las que se registra más del 90% de los terremotos; la tercera comprende las dorsales oceánicas.
<b>Sismo</b>	Fenómeno geológico que tiene su origen en la envoltura externa del globo terrestre y se manifiesta a través de vibraciones o movimientos bruscos de corta duración e intensidad variable, los que se producen repentinamente y se propagan desde un punto original (foco o hipocentro) en todas direcciones. Según la teoría de los movimientos tectónicos, la mayoría de los sismos se explica en orden a los grandes desplazamientos de placas que tienen lugar en la corteza terrestre; los restantes, se explican como efectos del vulcanismo, del hundimiento de cavidades subterráneas y, en algunos casos, de las explosiones nucleares subterráneas o del llenado de las grandes presas.
<b>Sismo tectónico (tipo A)</b>	Fenómeno geológico que se produce cuando hay deslizamiento de bloques de rocas en zonas de fractura.
<b>Sismo volcánico (tipo B)</b>	Fenómeno geológico que se produce cuando el magma trata de salir y por la presión, origina sacudimientos de la corteza terrestre en las zonas vecinas de los volcanes.
<b>Sismógrafo</b>	Instrumento utilizado para registrar distintos parámetros de los movimientos sísmicos.
<b>Sismograma</b>	Registro de un movimiento sísmico. Consta de varias fases, cuyo estudio permite calcular la distancia del hipo y epicentro, hora del acontecimiento y su duración.
<b>Sismología</b>	Especialidad de la geología que estudia los terremotos o sismos, las condiciones en las que se producen y se propagan, su distribución geográfica, las relaciones con las estructuras geológicas y los procedimientos de estudio.
<b>Sismómetro</b>	Instrumento que mide la intensidad de los sismos convirtiéndolos

	en señales que son registradas y amplificadas por un sismógrafo.
<b>Sistema</b>	Un conjunto dinámico de procesos interconectados, incluyendo procesos empresariales, industriales y naturales, que de forma colectiva llevan a cabo una función.
<b>Sistema de gestión medioambiental (sgma)</b>	Aquellos aspectos de los sistemas generales de una empresa, incluyendo las organizaciones, prácticas y recursos, que llevan a cabo y dan apoyo a la función de gestión ambiental.
<b>Sistema de producto inteligente</b>	<p>Definen tres categorías de productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumibles</li> <li>• Productos de Servicios</li> <li>• Invendibles</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Productos Consumibles:</b> Su desperdicio debe ser completamente biodegradable, o sea capaz de servir de alimento a otros organismos, sin residuos tóxicos. Los alimentos entrarían en esta categoría, salvo los que tienen pesticidas.</li> <li>2. <b>Productos de Servicios:</b> Se vende su función y el deshecho retorna al fabricante con el objeto que lo desmonte para que con sus partes se pueda obtener el mismo producto u otros productos. El fabricante entonces se preocupa no solo del precio de venta, sino también del valor del producto cuando regresa a la fábrica. (Ver Teoría de la Funcionalidad).</li> <li>3. <b>Productos Invendibles:</b> Productos tóxicos, radiactivos, bioacumulativos y todo aquel que actualmente no pueden ser sometidos a un proceso cíclico, sin producir daño. Los desperdicios deberían ser almacenados en reservorios en estado líquido, a excepción de los radiactivos, para que no entren en combustión espontánea y generen gases tóxicos, y estos reservorios serían alquilados de por vida al generador, a perpetuidad, hasta que el mismo fabricante o cualquier otra empresa diseñara un tratamiento para eliminar la peligrosidad.</li> </ol> <p>Es una propuesta realizada por el Dr. Michael Braungart y Justus Englefried de la Agencia para el Fomento de la Protección Medioambiental (EPEA) de Hamburgo, Alemania, en la que se sugiere prescindir de la gestión de los desperdicios localizando la fuente del problema</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Smog</b>	Es el nombre coloquial que se le da a la contaminación atmosférica más visible, generalmente formada por material Particulado, dióxido y/o monóxido de carbono. El término smog en inglés significa neblina de humo y fue acuñado cuando la concentración de contaminantes mantenía a la ciudad de Londres bajo una casi permanente neblina. Puede producir irritación en los ojos y vías respiratorias y corrosión en edificios, estatuas, monumentos, etc.
<b>Sobrepastoreo</b>	Ganadería inadecuada y densa, que aumenta los riesgos de deterioro de los ecosistemas naturales sometidos a un intenso manejo.
<b>Sólidos sedimentables en un agua residual.</b>	Son aquellos Sólidos Suspendidos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff), en un tiempo fijado por ejemplo en 10 minutos o en 2 horas. Constituyen una medida aproximada de la cantidad de barro que se obtendrá en el proceso de decantación
<b>Sólidos totales de un agua residual.</b>	Son los materiales suspendidos y disueltos en un agua. Se obtienen después de someter al agua a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105 °C. La porción filtrable representa a los Sólidos Coloidales Totales Disueltos y la no - filtrable son los Sólidos Totales en Suspensión.
<b>Subsidencia</b>	Hundimiento o movimiento hacia abajo del aire observado casi siempre en anticiclones. Prevalece cuando hay aire frío y espeso en lo alto. El término se usa para indicar una situación opuesta a la convección atmosférica.
<b>Suelo</b>	Es la capa superior de la tierra donde se desarrollan las raíces de las plantas, gracias al depósito de agua y alimentos.
<b>Tara del vehículo</b>	Peso neto de un vehículo de transporte.
<b>Tecnologías apropiadas</b>	Uso de los recursos y métodos adaptables y adecuados para suplir una necesidad.
<b>Tecnologías limpias o ambientalmente sanas</b>	Son los procesos y productos que protegen el ambiente, son menos contaminantes, usan todos los recursos en forma más sustentable, reciclan más de sus residuos y productos y manejan los desechos residuales de una manera más aceptable. Agenda 21
<b>Tecnologías limpias o ambientalmente sanas</b>	Una tecnología de producción con desecho cero.
<b>Tecnosistema.</b>	Ecosistema altamente mediado y transformado por la acción humana, en donde las categorías que definen su funcionamiento son más complejas que las generales del ecosistema.



<p><b>Temperatura de un agua residual</b></p>	<p>Un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de reacciones químicas, en la vida de la flora y la fauna acuática, en los usos del agua.</p> <p>Incide en los procesos biológicos, la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C.</p>
<p><b>Teoría de la desmaterialización</b></p>	<p>Utilización de menos material por unidad de producción.</p>
<p><b>Teoría de la economía de la funcionalidad</b></p>	<p>Teoría que está prevaleciente que da énfasis a los servicios por encima del género, es decir en vez de considerar a los productos como puntos finales en si mismos, es verlos como proporcionadores de funciones a los usuarios terminales, los productos representan un medio para servir una función particular al consumidor, se vende la función y el fabricante debe reasumir la posesión al final de la vida útil del mismo, el fabricante no abandona la propiedad, este arreglo proporciona un estímulo fuerte para diseñar productos con larga vida y de valor recuperable después del uso.</p>
<p><b>Termosfera</b></p>	<p>Es la capa de aire que ocupa la región de 85 a 500 km de la superficie terrestre, con intervalo de temperatura de 92 a 1.200 °C.</p>
<p><b>Tiempo de residencia</b></p>	<p>El tiempo de residencia representa el tiempo de permanencia de una sustancia en la atmósfera, es decir, el tiempo el tiempo que transcurre para que desaparezca totalmente por reacción o consumo de otro tipo.</p>
<p><b>Tiempo de respuesta del instrumento</b></p>	<p>Corresponde al tiempo necesario para que el monitor responda a una señal dada, o sea el período transcurrido desde la entrada del contaminante al instrumento de medición hasta la emisión del valor de la medición. Se suele distinguir dos partes: a) tiempo de retraso, aquel en que se alcanza el 10 % del cambio final en el instrumento de lectura, b) tiempo de crecimiento o caída, durante el cual se pasa del 10 % al 90 % del cambio final en el instrumento de lectura</p>
<p><b>Tóxico</b></p>	<p>Sustancia que puede causar perturbaciones sobre una especie animal o vegetal, el medio o el hombre.</p>
<p><b>Transbordo</b></p>	<p>Es la actividad de transferir los residuos sólidos de un vehículo a otro por medio mecánico que no permita manipulación o disposición en el suelo.</p>

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Transmisión</b>	Describe fenómenos colectivos que afectan los contaminantes del aire en la atmósfera libre entre la fuente y el receptor. Son efectos combinados de transporte y reacciones atmosféricas sobre aquellos; incluyen todos los efectos de dinámica física como dilución del contaminante con aire, así como las reacciones físicas y químicas que pueden ocurrir.
<b>Transmisión de tecnología</b>	Proyectos en los que ya producido y/u homologado el desarrollo, debe pasarse de la escala piloto a la industrial.
<b>Tratamiento</b>	Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial, a partir del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.
<b>Tratamiento</b>	Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y en el cual se puede generar un nuevo residuo sólido, de características diferentes.
<b>Tratamiento biológico</b>	<i>(Biological Treatment)</i> Método de tratamiento de residuos en el cual la acción bacteriana o bioquímica es intensificada para estabilizar y oxidar los compuestos orgánicos inestables presentes. Son ejemplos los filtros intermitentes de arena, los filtros percoladores y los procesos de lodos activados y digestión de lodos.
<b>Tratamiento de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Treatment)</i> Cualquier actividad o serie de actividades que tienen el objetivo de reducir el volumen y la toxicidad de cualquier residuo peligroso, sin la posibilidad de generar material utilizable en la manufactura de productos comerciales. Los sistemas básicos de tratamiento son el tratamiento biológico, tratamiento fisicoquímico y tratamiento térmico.
<b>Tratamiento fisicoquímico</b>	<i>(Physicochemical Treatment)</i> Operación o proceso que se efectúa a través de una acción física, causada por la adición de productos químicos. Los resultados deseados pueden ser: sedimentación, precipitación, coagulación, neutralización, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección o control de olores.
<b>Tratamiento o Procesamiento</b>	Es la modificación de las características físicas, químicas o biológicas de los desechos sólidos, con el objeto de reducir su nocividad, controlar su agresividad ambiental y facilitar su gestión.
<b>Tratamiento térmico</b>	<i>(Thermal Treatment)</i> Método de tratamiento que somete a los residuos a cambios de temperatura, generalmente elevadas, como incineración y pirolisis.

<b>Troposfera</b>	Es la capa de aire que se halla inmediatamente encima de la superficie de la Tierra. La altura es de 12 km en promedio (de 6 a 8 km en los polos y de unos 16 km en el ecuador) y la temperatura va decreciendo en altura de 15 a 56 °C. Contiene el 90 % de la masa de gases de la atmósfera
<b>Turbiedad de un agua residual</b>	Es una característica física que indica la presencia en el agua de sustancias en suspensión y/o material coloidal, estos materiales dispersan o absorben la luz impidiendo su transmisión.
<b>UNIDAD DE VINCULACIÓN</b>	Ente no estatal constituido para la identificación, selección y formulación de proyectos de investigación y desarrollo, transmisión de tecnología y asistencia técnica.
<b>Uso de residuos peligrosos</b>	<i>(Hazardous Waste Use)</i> Término usado por reciclaje de residuos peligrosos. Se refiere al proceso de utilización de residuos con valor económico
<b>Usuario no residencial</b>	Grandes y pequeños productores de residuos sólidos dedicados a la actividad comercial, industrial, oficial, institucional, obras en construcción, predios sin construir y actividades similares.
<b>Usuario residencial</b>	Generador de residuos sólidos derivados de la actividad individual o familiar.
<b>Valor</b>	Está ligado a nociones tales como selección o preferencia. Este término se ha usado en un sentido moral. Este concepto, así como los juicios de valor se analizan en el marco de la Teoría del Valor, Axiología o Estimativa.
<b>Valores ambientales</b>	Conjunto de cualidades que definen un ambiente como tal, incluyendo las características de los componentes vivos, inertes y culturales.
<b>Vector</b>	Ser vivo que puede transmitir enfermedades infecciosas a los seres humanos o a los animales directa o indirectamente. Comprende a las moscas, mosquitos, roedores y otros animales.
<b>Vegetación</b>	Conjunto de plantas que viven en un determinado espacio. Se utiliza para describir el tipo de plantas que habitan en un ambiente: vegetación terrestre, acuática y xerófila, entre otras.
<b>Vehículo recolector residuos sólidos patógenos</b>	El vehículo de transporte de residuos sólidos patógenos debe ser cerrado, en forma tal que no permita la fuga de líquidos, con puertas que cierren con llave.
<b>Ventaja comparativa</b>	Superioridad relativa con la que una región o estado pueden producir un bien o un servicio.
<b>Vertedero</b>	Sinónimo de <b>botadero</b> o <b>vaciadero</b> .

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE DESECHOS SÓLIDOS**

<b>Vertederos</b>	Sitios dispuestos para la descarga incontrolada de basura. Suelen ser perjudiciales para la salud de las personas, pues contaminan el aire, los suelos y hasta las aguas.
<b>Vertido</b>	Es el proceso mediante el cual se depositan los residuos sólidos en un relleno sanitario. El vertido incluye la supervisión del flujo de residuos entrantes, la colocación y compactación de los residuos, y la construcción de instalaciones para el control y la supervisión ambiental.
<b>Vía pública</b>	Son las áreas públicas destinadas al tránsito vehicular y/o peatonal que componen la infraestructura vial del Distrito Capital y comprenden avenidas, calles, carreras, transversales, diagonales, calzadas, separadores, sardineles, andenes y puentes vehiculares, entre otros.
<b>Vigilancia</b>	Sistema técnico, organizado para obtener datos periódicos de la contaminación existente en determinada zona.
<b>Vigilancia</b>	Control ejercido por las autoridades competentes o la comunidad, orientado a que los concesionarios cumplan con su responsabilidad.
<b>VOC</b>	Sigla en inglés de compuesto orgánico volátil. Se refiere a todo aquel compuesto orgánico presente en la atmósfera en fase de vapor o como partícula. Pueden ser desde un hidrocarburo simple, hasta algún tipo de compuesto halogenado.
<b>Vulnerabilidad ecológica</b>	Es el resultado de nuestra relación con la naturaleza y de la explotación de los recursos naturales. Por ejemplo, las personas que viven a la orilla de un río contaminado están en una situación de vulnerabilidad ecológica porque pueden contraer muchas enfermedades.
<b>Vulnerabilidad económica</b>	cuando la gente no tiene los ingresos necesarios para cubrir sus necesidades básicas: alimentación, salud. Vivienda educación. La pobreza, que afecta a miles de personas y hogares, les impide vivir con seguridad y dignidad.
<b>Vulnerabilidad física</b>	Cuando la gente vive en condiciones de mucho riesgo. Un ejemplo de vulnerabilidad física son los barrios, construidos en las zonas marginales de las grandes ciudades, generalmente, a la orilla de los ríos y barrancos.
<b>Vulnerabilidad social</b>	Es cuando la gente no esta organizada y preparada para resistir a las amenazas.
<b>Zona</b>	División del área urbana para el otorgamiento de las concesiones
<b>Zona de amortiguación (o de amortiguamiento)</b>	Región próxima al borde de un área protegida; zona de transición entre zonas administradas para alcanzar diferentes objetivos.

<b>Zona de descarga</b>	Sitio destinado para la descarga vehicular de los residuos recolectados en el servicio.
<b>Zona Protectora</b>	Aquellas áreas del territorio nacional que por su ubicación geográfica son de interés para la protección de las aguas, del suelo o que actúen como reguladores del clima o de los procesos ecológicos esenciales de los ecosistemas.
<b>Zoocriadero</b>	Estructura destinada a la reproducción y cría ex situ de animales de la fauna silvestre.









