



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Agronomía
Comisión de Estudios de Postgrado
Postgrado de Ingeniería Agrícola



**DISEÑO A NIVEL CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS
URBANOS (RSU) DEL MUNICIPIO MARIO BRICEÑO IRAGORRY**

Autor: Leonardo Taylhardat

Tutor: Prof. Alonso Mendoza

Maracay, Septiembre de 2015

TABLA DE CONTENIDO

<i>CAPITULO 1</i>	20
<i>EL PROBLEMA</i>	20
1.1PLANTEAMIENTO PROBLEMA.....	20
1.2 OBJETIVOS	27
General:	27
Específicos:.....	27
1.3 JUSTIFICACIÓN	28
1.3.1 El marco legal y el tratamiento de los RSU.....	28
1.3.2 Las nuevas tecnologías y su aplicación	30
1.3.3 Potencialidad del uso de las nuevas tecnologías en Venezuela.....	30
1.3.4 La incineración y la demanda de control ambiental	31
1.4 MARCO LEGAL AMBIENTAL CON RELACIÓN A LOS RSU	33
1.4.1 Rango Constitucional	33
1.4.2 Rango Constitucional-Convenios Internacionales.....	33
1.4.3 Rango DeLeyes Orgánicas y Especiales	33
1.4.4 Rango De Leyes Ordinarias.....	35
1.4.5Rango de Decretos deLey.....	41
<i>CAPITULO 2</i>	44
<i>MARCO TEÓRICO</i>	44
2.1 FUNDAMENTOS DE UN DISEÑO CONCEPTUAL	44
2.1.1 Parámetros base para el diseño conceptual.....	44
2.2LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	45
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	45
2.4 COMPOSICIÓN Y MATERIALES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOCALIDADES DEL MUNDO.....	48
2.5 TRATAMIENTO DE LOS RSU:.....	49

2.5.1 Vertederos y Rellenos Sanitarios.....	49
2.5.2 Valorización energética a partir de los gases que se generan en los rellenos sanitarios o vertederos controlados:	51
2.5.3 Sistemas de Tratamiento Biológicos	53
2.5.3.1 El compostaje	53
2.5.3.2 Biodigestión Anaerobia	54
2.5.4 Procesos Térmicos.....	56
2.5.4.1 La Pirólisis	57
2.5.4.2 La Gasificación.....	60
2.5.4.3 La Incineración	63
2.5.4.4 Comparación entre los tres procesos térmicos	64
2.6 TECNOLOGÍAS DE INCINERACIÓN DE RSU	66
2.6.1. Parrillas de Incineración.....	67
2.6.2. Hornos Rotatorios.....	72
2.6.3. Hornos De Lecho Fluidizado.....	73
2.7 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE GASES.	77
2.7.1 Separación de partículas.....	78
2.7.2 Tratamiento de lavado químico de gases.....	82
2.7.3 Eliminación de los óxidos de nitrógeno NOx.....	84
2.7.4 Reducción de la emisión de compuestos orgánicos, dioxinas y furanos.....	87
<i>CAPITULO 3</i>	89
<i>METODOLOGIA</i>	89
Materiales y Métodos	89
3.1 Materiales	89
3.2 Métodos.....	89
<i>CAPITULO 4</i>	91

<i>RESULTADOS</i>	91
4.1 CUANTIFICACIÓN DE RSU DEL MUNICIPIO MARIO BRICEÑO IRAGORRY	91
4.2 ESQUEMA BÁSICO PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL	92
4.3 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN Y SEGREGACIÓN DE RESIDUOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN.....	93
4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS PARA LA FASE DE RECEPCIÓN, SELECCIÓN Y SEGREGACIÓN	95
4.4.1 Área de recepción del residuo:	95
4.4.2 Área de descarga:.....	96
4.4.2.1 Zona de descarga	96
4.4.2.2 Foso de recepción de residuos	96
4.4.3 Puente grúa:	98
4.4.3.1 Pulpo mecánico	98
4.4.4 Sistema de Clasificación.....	99
4.4.5 Trituradora de elementos voluminosos.....	101
4.5 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA FASE DE INCINERACIÓN DE RSU.....	103
4.5.1 Operaciones del proceso de incineración	103
Parámetros cualitativos importantes para controlar el proceso:	104
4.5.2 Organización de operaciones de incineración	104
4.5.3 Determinación de requerimientos de Equipos de Incineración	105
4.5.3.1 Equipo de caldera	106
4.5.3.2 TurbinaEléctrica	106
4.5.4 Selección de equipos de incineración.....	107
4.5.5 Sistema de lavado de gases.....	109

4.5.6 Sistema de generación eléctrica.....	111
4.5.7 Sistema de recuperación y condensación del vapor.	112
4.5.8 Balance energético de la Planta de Valorización Energética de MBI.....	113
4.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS, CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES CONTEMPLADAS EN EL DISEÑO CONCEPTUAL.....	114
4.6.1 Costos de los equipos seleccionados	114
4.6.2 Costos de la infraestructura básica	115
4.6.4 Valor de la inversión.....	118
4.7 ANALISIS ECONÓMICO	119
4.7.1 Estimación de Ingresos.....	119
4.7.2 Estimación de Costos	120
4.7.3 Análisis del Proyecto.....	121
4.7.4 Indicadores Económicos del Proyecto.....	122
4.8 ANALISIS DE RESULTADOS	123
4.8.1 Desempeño teórico	123
4.8.2 Desempeño económico.....	124
<i>CONCLUSIONES</i>	125
<i>RECOMENDACIONES</i>	126
<i>REFERENCIAS</i>	127
<i>ANEXO 1</i>	131
<i>ANEXO 2</i>	132

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación del Municipio Mario Briceño Iragorry en el espacio geográfico de Venezuela y sus linderos respecto a la ciudad de Maracay y el Parque Henry Pittier</i>	20
<i>Figura 2. Captura fotográfica de la ubicación del vertedero San Vicente en la ciudad de Maracay.....</i>	22
<i>Figura 3. Acumulación de los RSU en Caña de Azúcar (izquierda) y El Limón (Derecha)</i>	23
<i>Figura 4. Ubicación del vertedero San Vicente y el recorrido desde el Municipio.....</i>	23
<i>Figura 5. Manejo de los RSU en el Vertedero San Vicente.</i>	24
<i>Figura 6. Ubicación del “Relleno Sanitario Zamora”, Subestación “La Horqueta” y la ciudad de Villa de Cura.....</i>	26
<i>Figura 7. Ejemplo de “Vertedero o Bote”. Las Mercedes del Llano, Edo. Guárico (2014)</i>	50
<i>Figura 8. Relleno Sanitario La Bonanza.....</i>	51
<i>Figura 9. Composición gráfica que incluye el Relleno Sanitario de Oviedo, España, tuberías de captación del Biogás y los motores/generadores de electricidad.</i>	52
<i>Figura 10. Esquema de Planta de Biogás de Bouqueval (2010).....</i>	53
<i>Figura 11. Vista panorámica del “Ecoparc de Barcelona”</i>	55
<i>Figura 12. Esquema general convencional de valorización energética de RSU.</i>	56
<i>Figura 13. Esquema operativo de la planta de Eko Technology</i>	59
<i>Figura 14. Tipos de procesos térmicos en función a Temperatura y contenido de Oxígeno.</i>	62
<i>Figura 15. Instalaciones del complejo industrial de Incineración de Palma de Mallorca.</i>	64
<i>Figura 16. Funcionamiento de incinerador de parrilla.</i>	68
<i>Figura 17. Parrilla de alimentación de avance.</i>	69
<i>Figura 18. Parrilla reciprocante.....</i>	69
<i>Figura 19. Parrilla de gradas de vaivén.</i>	70
<i>Figura 20. Parrilla de rodillos móviles.....</i>	71
<i>Figura 21. Horno de Incineración Rotatorio.</i>	73
<i>Figura 22. Incinerador de lecho fluidizado.</i>	75
<i>Figura 23. Incinerador de lecho fluidizado diseñado en la Facultad de Agronomía de la UCV.....</i>	76
<i>Figura 24. Precipitador electrostático.</i>	79
<i>Figura 25. Filtro de mangas.</i>	80
<i>Figura 26. Lavador Venturi “Scrubber”.</i>	81
<i>Figura 27. Ciclón Separador</i>	81

<i>Figura 28. Tamaños de las partículas presentes en distintos componentes de un sistema de lavado de gases de incineración.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 29. Formación de óxidos de nitrógeno en función de la temperatura.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 30. Representación esquemática del proceso SCR.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 31. Esquema general de la planta de valorización de RSU de Mario Briceño Iragorry.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 32. Esquema del sistema de selección y preparación previa de RSU de MBI. ..</i>	<i>94</i>
<i>Figura 33. Romana de pesaje en la entrada de la planta.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 34. Foso de RSU.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 35. Bomba de extracción de lixiviados del foso.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 36. Puente grúa tipo pulpo.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 37. Esquema operativo del Sistema Clasificador.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 38. Sistema Clasificador.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 39a. Martillos de la Trituradora</i> <i>Figura 39 b. Trituradora en operación.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 40. Triturador seleccionado.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 41. Flujograma de operación de incineración y aprovechamiento energético</i>	<i>105</i>
<i>Figura 42. Modelo de Conjunto Incinerador desarrollado por Chongqing Maxpower Machinery Co., Ltd.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 43. Lavador de Gas Industrial FRP, de Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 44. Lavador de Gas Industrial FRP, de Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 45. Generador eléctrico de turbina de vapor.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 46. Aerocondensador de Vapor.....</i>	<i>112</i>

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Generación de RSU total y per cápita diaria de los municipios del estado Aragua y forma de disposición, año 2009.....</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 2. Clasificación de los materiales en condición de recuperabilidad.....</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro 3. Porcentajes de cantidades materiales en los desechos de varias ciudades de Distintos países de Latino América.</i>	<i>49</i>
<i>Cuadro 4 Comparación de los procesos térmicos.</i>	<i>65</i>
<i>Cuadro 5. Valores límites de sustancias de La Directiva 2000/76/CE para Plantas de Incineración nuevas y ya existentes.....</i>	<i>77</i>

<i>Cuadro 6 Total de residuos sólidos en toneladas al año por tipo material y total para 30 años con una población teórica de 133.401 habitantes</i>	<i>92</i>
<i>Cuadro 7. Características de la báscula romana de pesaje.....</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro 8. Características del foso requerido.....</i>	<i>96</i>
<i>Cuadro 9. Dimensiones del foso requerido.....</i>	<i>96</i>
<i>Cuadro 10. Bomba comercial seleccionada.....</i>	<i>97</i>
<i>Cuadro 11. Requerimientos para selección de la grúa.....</i>	<i>98</i>
<i>Cuadro 12. Grúa comercial seleccionada.....</i>	<i>99</i>
<i>Cuadro 13. Características y especificaciones del Triturador</i>	<i>102</i>
<i>Cuadro 14. Potencial energético de los RSU de MBI.....</i>	<i>107</i>
<i>Cuadro 15. Incinerador comercial seleccionado.....</i>	<i>108</i>
<i>Cuadro 16. Lavador de gases comercial seleccionado.....</i>	<i>109</i>
<i>Cuadro 17. Filtro de Mangas comercial seleccionado.....</i>	<i>110</i>
<i>Cuadro 18. Generador Eléctrico comercial seleccionado.....</i>	<i>111</i>
<i>Cuadro 19. Condensador de vapor comercial seleccionado</i>	<i>112</i>
<i>Cuadro 20. Contabilización de consumos energéticos de los equipos</i>	<i>113</i>
<i>Cuadro 21. Balance energético de la planta de valorización.....</i>	<i>114</i>
<i>Cuadro 22. Costos de inversión en equipos</i>	<i>115</i>
<i>Cuadro 23. Costos de inversión en infraestructura del foso de RSU.....</i>	<i>116</i>
<i>Cuadro 24. Costos de inversión en infraestructura del galpón de la planta</i>	<i>116</i>
<i>Cuadro 25. Costos de inversión en infraestructura de la chimenea</i>	<i>117</i>
<i>Cuadro 26. Costos anuales del personal de la planta.....</i>	<i>118</i>
<i>Cuadro 27. Valor de la inversión de la planta de valorización de RSU de MBI.....</i>	<i>118</i>
<i>Cuadro 28. Estimación de Ingresos Brutos mensuales de la Planta de Valorización Energética de RSU por cobro de costo de procesado de RSU por incineración y venta de electricidad producida.....</i>	<i>119</i>
<i>Cuadro 29. Estimación de costos brutos.....</i>	<i>120</i>
<i>Cuadro 30. Análisis Económico</i>	<i>121</i>
<i>Cuadro 31. Equilibrio para Relación Beneficio/Costo = 1</i>	<i>121</i>
<i>Cuadro 32. Estimación de Costo de producción de 1 MWh</i>	<i>122</i>
<i>Cuadro 33. Estimación de Costo de tratamiento de 1 Tonelada de RSU</i>	<i>122</i>

GLOSARIO

Abono orgánico: Sustancia de origen natural procedente de los seres vivos, que aporta al suelo y las plantas nutrientes para su buen desarrollo.

Acondicionamiento de residuos: Operaciones que transforman los residuos a formas adecuadas para su transporte y/o almacenamiento seguros.

Acopio: La acción de reunir residuos sólidos en un lugar determinado y apropiado para su recolección, almacenamiento temporal, tratamiento o disposición final.

Almacenamiento: Es la contención temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición final.

Ambiente: Es cualquier espacio de interacción y sus consecuencias, entre la Sociedad (elementos sociales y culturales) y la Naturaleza (elementos naturales), en un lugar y momento determinados.

Aprovechamiento de los residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

Basura: Dos o más desperdicios que mezclados entre sí que generan impacto en el ambiente donde se encuentran

Basurero o Botadero: Área regular o irregular donde se acumulan residuos sólidos, son de carácter ilegales sin medidas de protección del medio ambiente.

Biodegradable: Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por acción de organismos como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables o de lenta degradación, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran. Los organoclorados, los metales pesados, algunas sales, los detergentes de cadenas ramificadas y ciertas estructuras plásticas no son biodegradables. Los residuos de degradabilidad más lenta son los radioactivos.

Biogás: El conjunto de gases generados por la descomposición microbiológica de la materia orgánica. Caracterización de residuos: Estudio y determinación de las propiedades de los residuos de un emplazamiento.

Comercialización: Operación de venta o transferencia de subproductos y materias o sustancias recuperadas para reincorporarlas al proceso productivo.

Compost o abono orgánico: Es el producto resultante del proceso de compostaje.

Compostaje: Es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

Contaminación: Alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de alguno de sus componentes producida por la presencia o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado. La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Contaminación ambiental: Introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica.

Contaminante: Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

Degradable: Estructura o compuesto que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales. Biodegradable involucra la acción de microorganismos, fotodegradable implica la acción de la luz.

Desarrollo sustentable: Es la búsqueda de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades

Disposición final: La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

Eliminación: Sacar, separar, descartar un residuo del circuito de utilización. Los residuos se han de eliminar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

Emisión: Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

Fracción Orgánica de Residuos: Parte de los residuos constituida por desperdicios de origen doméstico, como por ejemplo verduras, frutas, carnes, pescados, harinas o derivados, etc., susceptible de degradarse biológicamente, y también por los residuos de jardinería y

poda. Se designa así, por extensión, a todo el contenido del contenedor especializado destinado a la recogida segregada de materia orgánica o contenedor marrón.

Generación: La acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo.

Generador: Persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

Gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos: El conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de establecer un sistema que aporte beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada población.

Incineración de residuos: Proceso de combustión controlada que mediante una transformación físico-química transforma la fracción orgánica de los residuos sólidos en materiales inertes (cenizas) y gases. No es un sistema de eliminación total, pues genera cenizas, escorias y gases, pero supone una importante reducción de peso y volumen de los residuos originales.

Lixiviados: Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

Manejo Integral de residuos: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, coprocesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Material recuperable: Todo aquel material que puede utilizarse como materia prima y devolverse al flujo de materiales y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

Materias primas: Sustancias que permanecen en su estado natural u original, antes de ser sometida a un procesamiento o proceso de fabricación. Materiales primarios de un proceso de fabricación.

Medio Ambiente: Medio biológico y mineral en el que se desarrolla la vida de los seres vivos. Abarca seres humanos, animales, plantas, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como los valores de estética, ciencias naturales e histórico culturales.

Metano: CH₄. Componente, entre otros, del gas natural y del biogás. El gas natural es una de las fuentes fósiles de energía. El metano se forma en procesos de degradación anaeróbica, (en pantanos, en los rumiantes y en procesos de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales). La emisión creciente de metano es una amenaza para el clima. El metano es junto con el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, el principal causante del efecto invernadero.

Minimización: El conjunto de medidas destinadas a evitar la generación de los residuos sólidos y aprovechar, tanto sea posible, el valor de aquellos cuya generación no sea posible evitar.

Orgánico: Perteneciente o derivado de los organismos vivos. Que pertenece a los compuestos químicos que contienen carbono.

Plaguicida: Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales.

Plan de manejo: El instrumento de gestión integral de los residuos sólidos, que contiene el conjunto de acciones, procedimientos y medios dispuestos para facilitar el acopio y la devolución de productos de consumo que al desecharse se conviertan en residuos sólidos, cuyo objetivo es lograr la minimización de la generación de los residuos sólidos y la máxima valorización posible de materiales y subproductos contenidos en los mismos, bajo criterios de eficiencia ambiental, económica y social, así como para realizar un manejo adecuado de los residuos sólidos que se generen.

Planta de Compostaje: Centro donde se elabora el compost a partir de los residuos sólidos.

Planta de clasificación: La instalación donde se lleva a cabo cualquier proceso de selección y tratamiento de los residuos sólidos para su valorización o, en su caso, disposición final.

Prevención: La reducción de la cantidad y la nocividad para el medioambiente de los materiales y sustancias utilizados en los envases y sus residuos. Los envases y residuos de envases el proceso de producción, en la comercialización, distribución, la utilización y la eliminación. En particular, mediante el desarrollo de productos y técnicas no contaminantes.

Proceso: El conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo, y embalado de productos intermedios o finales.

Proceso de degradación: Proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

Proceso Productivo: Conjunto de actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios.

Producción Limpia: Proceso productivo en el cual se adoptan métodos, técnicas y prácticas, o incorporan mejoras, tendientes a incrementar la eficiencia ambiental de los mismos en términos de aprovechamiento de la energía e insumos y de prevención o reducción de la generación de residuos

Producto: Bien que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios. Para los fines de los planes de manejo, un producto envasado comprende sus ingredientes o componentes y su envase.

Productor: Cualquier persona, física o jurídica, cuya actividad produzca residuos como productor inicial y cualquier persona, física o jurídica, que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos residuos.

Rechazo: Resto producido al reciclar algo. (2) Residuos o fracciones no valorizables.

Reciclable: Material que todavía tienen propiedades físicas o químicas útiles después de servir a su propósito original y que pueden ser reutilizados convirtiéndolos en productos adicionales, dependiendo de sus características se puede usar distintos procedimientos de recuperación según su rentabilidad.

Reciclaje: Proceso simple o complejo que permite que un material residual sea incorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. 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.

Recolección selectiva: Recogida de residuos separados y presentados aisladamente por su productor.

Recolección: La acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final.

Recuperación: 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".

Recursos naturales no renovables: Bienes cuya renovación o recuperación puede tomar miles o millones de años. Ejemplo de éstos son los combustibles fósiles y los minerales. De éstos elementos las sociedades modernas se nutren para generar la gasolina, el plástico, el aluminio y el vidrio entre otros.

Recursos naturales renovables: Bienes que tienen la capacidad de regenerarse por procesos naturales. Entre ellos se encuentran la luz, el aire, el agua, el suelo, los árboles y la vida silvestre.

Reducción: Las actividades de diseño, fabricación, compra o uso de materiales para reducir la cantidad de residuos sólidos que se generan.

Relleno sanitario: La obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos ubicados en sitios adecuados al ordenamiento ecológico, mediante el cual los residuos sólidos se depositan y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir y minimizar la generación de contaminantes al ambiente y reducir los riesgos a la salud.

Residuo: Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar.

Residuos orgánicos: Son los residuos provenientes de organismos vivos, como: alimentos y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de otros organismos vivientes conocidos como desintegradores.

Residuos patogénicos o patógenos: Son los residuos provenientes de la actividad hospitalaria tanto humana como animal. Son considerados los insumos y desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos, consultorios médicos y odontológicos, laboratorios, asilos de ancianos, clínicas para la salud humana y clínicas veterinarias.

Residuos peligrosos y especiales: Cualquier residuo que por su tamaño, peso o volumen necesita un tratamiento especial. Dentro de éste grupo se encuentran los residuos peligrosos los cuales por sus características agresivas tales como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, toxicidad, explosividad y radiactividad pueden causar daño. Se clasifican en:

- **Residuos químicos peligrosos:** sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivas, reactivas, genotóxicas o mutagénicas, tales como: quimioterapéuticos, antineoplásicos, productos químicos no utilizados, plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácido crómico, mercurio de termómetro, soluciones para revelado de radiografías, baterías usadas, aceites, lubricantes usados, lodos de papeleras, etc.

- **Residuos farmacéuticos:** medicamentos vencidos, contaminados, desactualizados, no utilizados, etc.

- **Residuos radiactivos:** materiales radiactivos o contaminados con radioisótopos de baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biológica; de laboratorios de análisis clínicos; y servicios nucleares. Estos materiales son normalmente sólidos o líquidos (jeringas, papel absorbente, frascos, líquidos derramados, orina, heces, etc.). Los residuos radiactivos con actividades medias o altas deben ser acondicionados en depósitos de decaimiento, hasta que sus actividades se encuentren dentro de los límites permitidos para su eliminación.

Residuos sólidos: Son los materiales remanentes derivados de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje.

Residuos sólidos urbanos (RSU): Son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas

(viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño

Reutilizar: Volver a usar un producto o material varias veces sin "tratamiento", equivale a un "reciclaje directo". El relleno de envases retornables, la utilización de estivas de madera o plástico en el transporte, etc., son algunos ejemplos.

Riesgo: En el contexto del manejo de residuos, es la probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

Separación: Segregación de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de iguales características cuando presentan un riesgo.

Separación en el origen: Método de recuperación de materiales reciclables en su punto de generación.

Separación manual: Método para extraer materiales reciclables luego de recogidos los residuos sólidos y depositados en una facilidad central.

Separación mecánica: Método para separar los materiales reciclables por medios mecánicos o electromecánicos luego del recogido de los residuos sólidos.

Tasa de reciclaje: Relación porcentual entre el peso de los residuos sólidos recolectados para el reciclaje y el peso total de los residuos sólidos recolectados para su evacuación en vertederos e incineradoras.

Tratamiento: Conjunto de operaciones por las que se alteran las propiedades físicas o químicas de los residuos.

Tratamiento biológico: El tratamiento que se enfoca básicamente a los residuos orgánicos, como los alimentos o los residuos del jardín. Véase compostaje o lombricultura.

Valorización: Acción de aumentar el valor de un residuo. Los residuos se han de valorizar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

Vehículo compactador: Vehículo grande con una caja cerrada que tiene equipamiento especial con motor mecánico para cargar, comprimir y distribuir los residuos sólidos dentro de la caja.

Vehículo recolector: Vehículo grande con un compartimiento para cargar y transportar los residuos sólidos a su disposición final.

Vertido: Deposición de los residuos en un espacio y condiciones determinadas. Según la rigurosidad de las condiciones y el espacio de vertido, en relación con la contaminación producida, se establecen los tres tipos siguientes: 1. controlado, 2. incontrolado, 3. semicontrolado.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de residuos contaminantes en zonas urbanas, es un problema de continuo crecimiento a nivel mundial, estos residuos están conformados por varios materiales entre los que se incluyen: desechos orgánicos, metales, papeles y plásticos entre otros. Estos materiales misceláneos reciben la denominación de “Residuos Sólidos Urbanos” (RSU), principalmente porque en el marco legal de Venezuela, el Residuo Sólido se define como: “aquel material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos”. (Ley de Gestión Integral de la Basura, Gaceta Oficial N° 6.017 de 30 de Diciembre de 2010). Estos RSU anteriormente eran considerados simples desperdicios generados en las zonas urbanas y tradicionalmente se han dispuesto en forma no aprovechable, pero cuando en la disposición de estos RSU, se les someten a diversos procesos, en los que se puede recuperar materiales y generar energía, se denomina “Valorización Energética”

Cuando se dispone inadecuadamente de los RSU, el impacto ambiental más evidente es el deterioro estético y la consecuente degradación de las zonas periurbanas y del paisaje natural de las áreas donde se localizan los sitios de disposición, sin embargo, para la población en general quizás el efecto de mayor preocupación es el de la acumulación de los RSU en los urbanismos y vías de comunicación, como consecuencia de fallas en la recolección de estos materiales, situación que ocurre con relativa frecuencia en nuestras ciudades debido ya sea a problemas gerenciales, falta de equipo, la creciente demanda de sitios de disposición y el impedimento al acceso de los mismos por motivos de colapso de los vertederos. El caso de la ausencia de recolección desde el punto de vista ambiental, es un problema que se potencia por lo cercano a la población, soslayándose en muchos casos, el problema de mayor nocividad en el manejo de los RSU, el cual es la contaminación de suelos y cuerpos de agua por la infiltración y percolación de los lixiviados y de la atmósfera por los gases de efecto invernadero, cuando no se ejerce una degradación adecuada de los RSU.

La alternativa de tratamiento más tradicional aplicada a los RSU han sido los “Rellenos Sanitarios” que en líneas generales son superficies de terreno donde se colocan y compactan los residuos, confinando las capas de basura con suelo compactado o material

sintético (en sus expresiones más tecnológicas), con lo que se controlan las emisiones gaseosas, se contienen los lixiviados y en algunos casos se valorizan los gases generados.

Niveles intermedios o escasos desde el punto de vista tecnológico, en sistemas de tratamiento basado en enterramiento de desechos sólidos se presentan cuando solo se compactan los residuos y no se confinan, no se controlan las emisiones gaseosas, ni los lixiviados generados, acompañados generalmente por una escasa gerencia, lo que conlleva a fallas en su ejecución y operación, pasando a catalogarse como “Botes o Vertedero” donde en los mismos se dan lugar procesos aerobios y anaerobios liberándose gases y lixiviados sin control, con probabilidad de combustión espontánea, contaminación atmosférica, del suelo de los cuerpos de agua y en frecuentes casos la aparición de problemas sanitarios en las poblaciones circundantes.

Otros sistemas de tratamiento aplicados y ofertados se basan en la aplicación tecnológica anaeróbica y aeróbica, como el Biogás y el Compostaje. Estos sistemas de tratamiento aunque poseen la ventaja de ser biológicos y utilizados ampliamente en los últimos años para el tratamiento de los RSU, han requerido un énfasis en la aplicación de innovaciones tecnológicas, para superar la falta de eficiencia del tiempo de degradación, sin embargo en el tratamiento de residuos y efluentes en el área agropecuaria, han demostrado su gran utilidad.

Actualmente han surgido alternativas tecnológicas basadas en procesos térmicos, como la incineración, la pirolisis y la gasificación, que han tenido una aplicación efectiva en el tratamiento de los RSU.

En este trabajo se plantea una investigación dirigida hacia la selección de una alternativa en el marco de los procesos físico-químicos térmicos, que se conforme en una potencial oferta tecnológica en el tratamiento de los RSU en el Municipio Mario Briceño Iragorry del Estado Aragua.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO PROBLEMA

El Municipio Mario Briceño Iragorry (MBI)¹ está ubicado al norte del estado Aragua, el cual forma parte de los estados de la región centro-norte costera de Venezuela, este municipio con forma un área de 54 km², su capital es la ciudad de El Limón. (Figura 1). La población del municipio se encuentra en dos parroquias adjuntas: El Limón y Caña de Azúcar, su población es de 99.852 habitantes (INE, 2012).

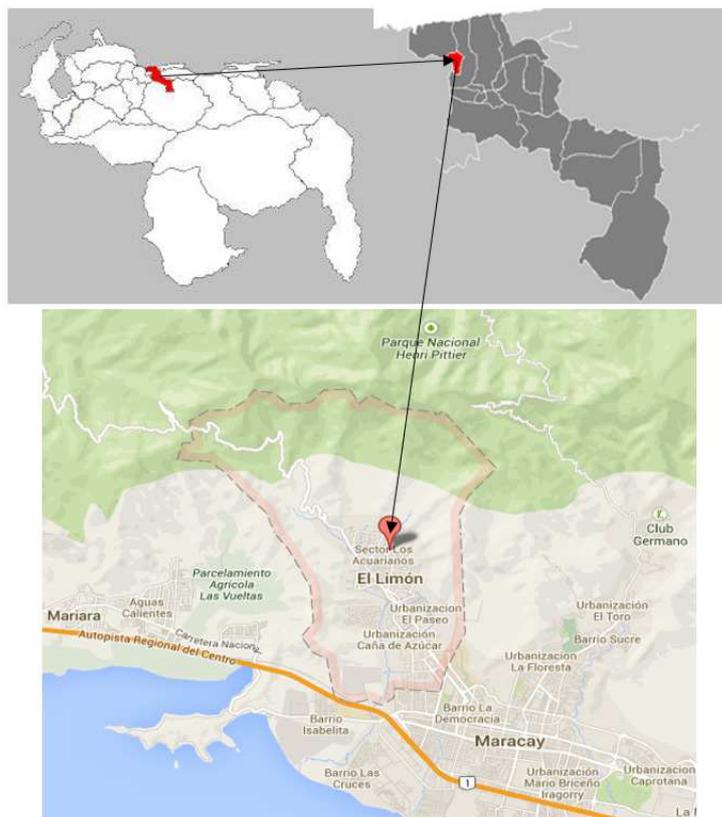


Figura 1. Ubicación del Municipio Mario Briceño Iragorry en el espacio geográfico de Venezuela y sus linderos respecto a la ciudad de Maracay y el Parque Henry Pittier

Fuente: Google Maps, 2014.

¹La ubicación espacial y linderos se presenta en el Anexo 1.

En el Estado Aragua los RSU alcanzan la cifra de 2 212,00 t/día, basados en estimaciones puesto que los únicos vertederos que tienen romana, son los del Municipio Girardot y Ribas.

EL Municipio Mario Briceño Iragorry es el que presenta la mayor generación de desechos por habitantes del estado Aragua, ya que produce un total de 197,7 t/día de RSU a una tasa de 1,98 kg día hab⁻¹ y superior al del municipio Girardot vecino con el cual comparte el mismo vertedero (Cuadro 1). Esta situación ameritaría un estudio cualitativo, en función de determinar las razones de esta diferencia tomando en cuenta que ambas poblaciones se encuentran asentadas en un espacio geográfico no delimitado desde el punto de vista socio-cultural y desde el punto de vista del manejo de los RSU una diferencia de esta naturaleza podría derivar a consideraciones adicionales con relación a los procesos segregación de los mismos, para el tratamiento final que se determine.

Cuadro 1. Generación de RSU total y per cápita diaria de los municipios del estado Aragua y forma de disposición, año 2009.

Municipio	Superficie (km ²)	Población	Densidad (h/km ²)	RSU (t día ⁻¹)	Tasa (kg día h ⁻¹)	Disposición final	Vertedero propio
Bolívar	58	42.904	739,7	32	0,74	Ribas	no
Camatagua	780	270.000	22,7	30	1,65	Camatagua	si
Girardot	302	444.126	1470,6	800	1,78	Vertedero San Vicente	si
José Ángel Lamas	20	34.293	1714,7	32	0,91	Las Vegas, Libertador	no
José Félix Ribas	419	270.000	378,9	250	1,55	Ribas	si
José Rafael Revenga	192	50.460	262,8	601	1,17	Ribas	no
Libertador	52	88.781	1707,3	100	1,11	Las Vegas, Libertador	si
Francisco Linares Alcantara	24	140.965	5873,5	136	0,96	Las Vegas, Libertador y Zamora	no
Mario Briceño I.	53	103.838	1959,2	200	1,98	Vertedero San Vicente	no
Ocumare de la Costa de Oro	340	9804	28,8	15	1,5	Las Monjas, Ocumare	si
San Casimiro	498	26.425	393,4	161	0,6	San Sebastián	Si
San Sebastian	491	23.306	205,6	141	0,59	San Sebastián	Si
Santiago Mariño	497	195.540	393,4	210	1,05	Los Tanques, Zamora	no
Santos Michelena	220	45.239	205,6	30	0,65	Tiara, Santos Michelena	si
Sucre	76	150.000	1601,7	10	1,19	Las Vegas II, Sucre	Si
Tovar	225	17.818	79,2	28	1,54	El Jarillo, Tovar	si
Urdaneta	2.024	21.532	10,6	12	0,55	Guárico	no
Zamora	649	148.332	228,6	10	0,66	Los Tanques, Zamora	si

Fuente: Proyecto Aragua Recupera (2010).

La disposición de los RSU en el Municipio, se basa en la utilización de un vertedero a cielo abierto ubicado en el suroeste de Maracay, Parroquia los Tacariguas, Barrio San Vicente, Municipio Girardot, en las adyacencias de la zona Industrial del mismo nombre, conocido como “El Vertedero de San Vicente”, colindante con el Lago de Valencia (Figura 2) y en uso desde hace aproximadamente 60 años. Este vertedero le presta servicio a los municipios Girardot y Mario Briceño Iragorry, siendo el aporte sectorizado de RSU 80% y 20% respectivamente, para un total de 1000 t día⁻¹. Esta cifra muestra un indicio de que el problema de los RSU para Mario Briceño Iragorry, puede tener una solución tecnológica particularizada para la actualidad y proyectada hacia el largo plazo.

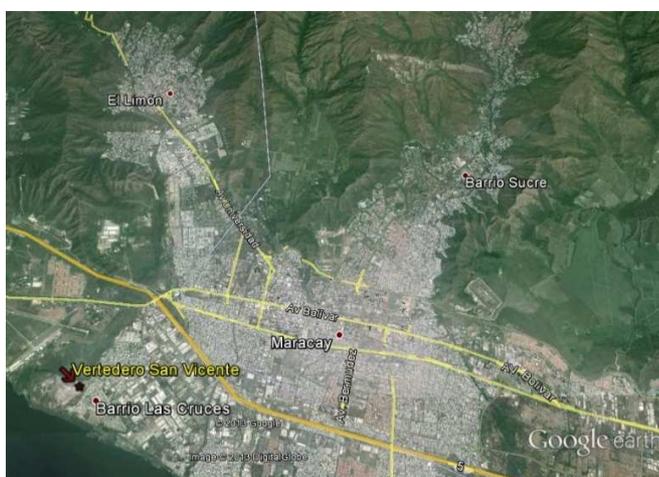


Figura 2. Captura fotográfica de la ubicación del vertedero San Vicente en la ciudad de Maracay

Fuente: Google Earth® (2013).

El vertedero de San Vicente al prestar servicio también a Girardot, es escenario de numerosos inconvenientes socio-ambientales, debido a su carencia de técnicas adecuadas teniendo como consecuencias; complicaciones operacionales, insuficiencia de maquinaria, acumulación excesiva de RSU y presencia de incendios espontáneos. Todo esto incide en la problemática conocida coloquialmente como “el problema de la basura”, que afecta aguas arriba la gestión de los desechos sólidos, que aunque también afecta a Girardot, es más habitual para MBI. Este “problema” se origina al no permitirse la recepción en el vertedero los RSU transportados desde MBI, debido a indisposición del uso del vertedero por alguno de los inconvenientes ya expuestos (Figura 3).



Figura 3. Acumulación de los RSU en Caña de Azúcar (izquierda) y El Limón (Derecha)

Fuente: Diario El Periodiquito (2013).

Los residuos sólidos generados en el MBI, deben ser conducidos en los vehículos compactadores o en camiones hasta el vertedero, atravesando una parte importante de las ciudad en condiciones de elevado tráfico y recorriendo una distancia de aproximadamente 10 km, con la consiguiente pérdida de eficiencia, deterioro del equipo y exposición sanitaria inadecuada. Figura 4.

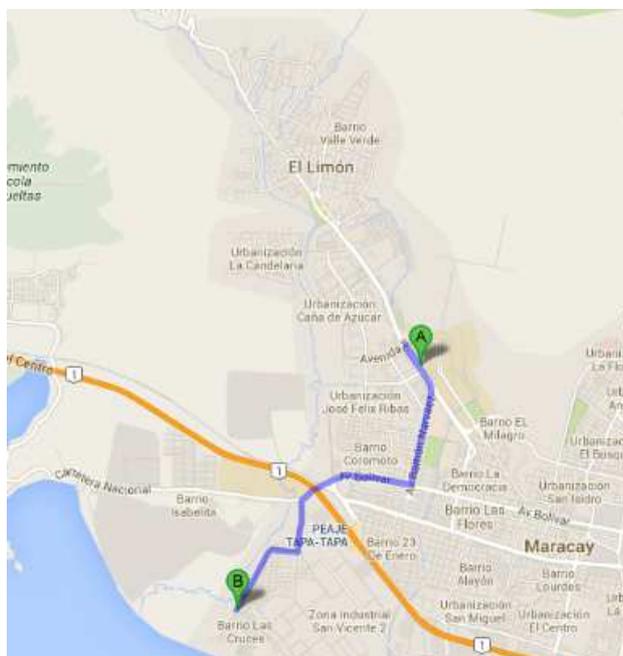


Figura 4. Ubicación del vertedero San Vicente y el recorrido desde el Municipio
Fuente: Google Maps® (2013)

El manejo usual de los residuos sólidos en el vertedero, se basa en la operación de descarga de los RSU transportados ya sea por los camiones de recolectores-transportadores o simplemente camiones de acarreo, posteriormente son esparcidos y compactados con tractores tipo oruga de pala frontal (Figura 5).

Los residuos no se confinan mediante la utilización de un cubrimiento de suelo o de membrana sintéticas y permanecen expuestos directamente a la atmósfera, por esa condición, la degradación de los mismos no es homogénea ni controlada, por lo que se generan “Gases Efecto Invernadero” (GEI) como Metano, Dióxido de Carbono y óxidos nitrosos entre otros y ocurrencia frecuente de combustión espontánea.



Figura 5. Manejo de los RSU en el Vertedero San Vicente.

Fuente: Noticias +Verde

(2013)<http://noticias.masverdedigital.com/2011/aprueban-inversion-multimillonaria-para-conversion-de-vertedero-de-san-vicente-en-aragua>.

El “Vertedero San Vicente” es de carácter ilegal y actualmente se encuentra en uso, pero en proceso de clausura (El Siglo, 2014). La solución inmediata para la disposición final de los RSU ha sido su traslado al “Relleno Sanitario Zamora”, también conocido como “Vertedero o Relleno de Guayabal. Esta obra de ingeniería presenta las características técnicas para ser catalogada como “Relleno Sanitario”, fue diseñado para la disposición final de RSU para varios municipios como reemplazo de los antiguos vertederos que les prestaban

servicio, sin embargo su construcción fue objeto de protestas por los habitantes de San Francisco de Asís cuando se pretendió construirlo en las cercanías de este poblado, posteriormente fue adquirido un predio cercano a la población de Villa de Cura, Municipio Zamora donde se desarrolló el proyecto, con la oposición al mismo por parte de la población de la Villa durante su construcción y un rechazo contundente con los inicios de su activación.

Es importante resaltar, que este relleno está ubicado a menos de 3 km del centro de Villa de Cura, a 1 km de los barrios periféricos y a menos de 100 m de la Subestación Eléctrica La Horqueta. En la Figura 6 se aprecia la ubicación.

En medios impresos se denuncia que “la calidad del agua ha sido afectada”, debido a que los RSU “no son clasificados y son dispuestos directamente en el relleno” y posteriormente “los lixiviados escurren hacia la Laguna de Taiguaigui” El Universal (2014), siendo declaraciones de este tipo corroboradas por El Periodiquito (2014).

Circunstancias como estas, permiten considerar que los botes, vertederos o rellenos sanitarios están en el umbral de la obsolescencia, lo que deriva a que dedicar recursos económicos, financieros e ingenieriles, para seguir redundando en el mismo problema sin una alternativa sustentable, puede incluso ser considerado un daño patrimonial ya que se evidencia que puede generarse contaminación de aguas, riesgos sanitarios y descontento ciudadano, por lo que el desarrollo de alternativas tecnológicas acordes con el ambiente y las demandas sociales, se hace cada día más imperante.

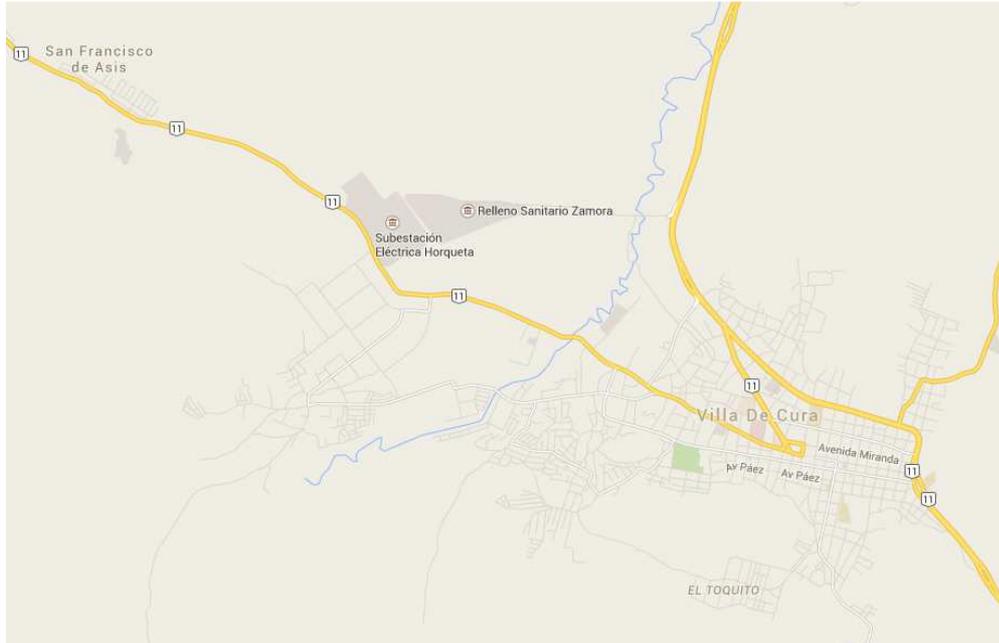


Figura 6. Ubicación del “Relleno Sanitario Zamora”, Subestación “La Horqueta” y la ciudad de Villa de Cura

Fuente: Google Maps® (2014)

1.2 OBJETIVOS

General:

- Diseñar a nivel conceptual, una planta de valorización energética de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) del Municipio Mario Briceño Irigorry.

Específicos:

- Inventariar los RSU a procesar basado en las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE).
- Estimar la fracción de materiales de RSU que pueden ser recuperables y la fracción a incinerar.
- Identificar y seleccionar los Equipos necesarios para el funcionamiento de la Planta de valorización.
- Generar un diseño conceptual de la Planta de Incineración y Valorización que cumpla con los requerimientos para el tratamiento adecuado de los RSU del Municipio Mario Briceño Irigorry.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Un trabajo como el que se presenta parte de una plena justificación considerando que se actúa sobre el problema de los RSU planteando la adecuada disposición y tratamiento de los mismos, lo cual ha sido asumido con cierta precisión en la “naturaleza del problema” que sustenta este trabajo, allí se expone lo inapropiado que desde el punto de vista socio-ambiental, representa el seguir utilizando como medios de disposición y tratamiento, las prácticas actuales.

Otra consideración importante es la factibilidad de cualquier alternativa o idea en el contexto de un marco legal, como sustento de una acción transformadora decidida con relación al tratamiento de los RSU. Para ello, la legislación venezolana ha desarrollado varios instrumentos legales con relación a este tema.

Otro elemento de justificación, parte de considerar que la alternativa a plantear tenga la suficiente base científica y tecnológica expresada en procesos maquinarias y equipos que puedan instrumentarse, para que el producto final sea verdaderamente una alternativa económica, ambiental y socialmente favorable.

1.3.1 El marco legal y el tratamiento de los RSU

En el marco legal venezolano el instrumento de mayor importancia sobre el tema de los RSU es La Ley de Gestión Integral de la Basura (LGIB)², los planteamientos sobre desarrollar una alternativa factible de tratamiento de RSU y su basamento en una idea cimentada en el desarrollo científico y tecnológico, no es solamente uno de los objetivos de esta ley, sino que también lo es; el impulso de alternativas de esta naturaleza, como se aprecia en el siguiente extracto:

“Promover la investigación, creación y desarrollo de tecnologías aplicadas al manejo integral de residuos y desechos sólidos...” (LGIB, Art. 15 Num. 16, 2010)

Tomando en cuenta el estado general en que se encuentran los sitios de disposición de basura en Venezuela, la LGIB tácitamente indica que los vertederos a cielo abierto son de carácter ilegal, no solo al no estar contemplados por la misma, sino por el hecho de que se

²Ley de Gestión Integral de la Basura (LGIB)² Gaceta Oficial N° 6017, 30 de Diciembre de 2010)

demande su clausura o conversión en relleno sanitario, como una acción inmediata, lo cual esta textualmente señalado a continuación:

“Los municipios (...) que actualmente utilizan vertederos a cielo abierto, deberán ajustarlos a un cronograma de adecuación de su operación y conversión a relleno sanitario...” (LGIB, Art. 71, 2010)

Esta “acción inmediata” parte de la definición técnica de los vertederos por parte de la misma LGIB, refiriéndose a los mismos como:

“Vertedero a cielo abierto: terrenos donde se depositan y acumulan los residuos y desechos sólidos en forma indiscriminada, sin recibir ningún tratamiento sanitario, ambiental ni de control técnico”. (LGIB, Art. 6, 2010)

El aspecto socio-ambiental se constituye en la base de los argumentos esgrimidos en el planteamiento del problema que da cabida a este trabajo, sin embargo en la LGIB se mantiene con mucho énfasis la aplicación del relleno sanitario, quizás debido a considerarlo como el tratamiento estandarizado más cónsono con el nivel tecnológico del país, pero el avance de las ciencias y las técnicas vienen demostrando la evidencia del surgimiento de problemas con el uso de éstos. Esta consideración podría suponer una deficiencia de la LGIB al darle preferencia de uso de esta clase obra en lugar de haber enfatizado alternativas tecnológicas más modernas, si no se hubiese incluido en el articulado de la misma, los “sistemas de aprovechamiento” que facilitan una extensión al potencial uso de alternativas como las señaladas a continuación:

“El aprovechamiento de residuos es el proceso mediante el cual se obtiene un beneficio de los residuos sólidos, como un todo o parte de él. Se consideran sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos, el reciclaje, la recuperación, la reutilización y otros que la ciencia y la tecnología desarrollen.” (LGIB, Art. 53, 2010)

Muchas potenciales alternativas al uso de los rellenos ostentan experiencias acumuladas de más de un siglo, otras se encuentran en un proceso de investigación y desarrollo tecnológico acelerado enmarcándose todas en la búsqueda de la valorización energética de los RSU, lo cual conforma el núcleo de este trabajo y es importante resaltar que su contemplación, está inmersa en la interpretación del marco legal expuesto.

1.3.2 Las nuevas tecnologías y su aplicación

La búsqueda de alternativas ingeniosas eficaces y eficientes para el tratamiento de los RSU, amerita la revisión de experiencias de otras latitudes en las que se ha planteado búsqueda e implementación de alternativa a seguir usando los rellenos sanitarios. Ejemplos de ello serían Europa y USA, donde podría conseguirse respuestas ya que las ciudades han estado en continuo crecimiento donde los rellenos sanitarios en vez de ser la solución se han venido convirtiendo en parte del problema.

En la búsqueda de ideas y alternativas a los rellenos sanitarios, se puede considerar a la Unión Europea (UE) en el surgimiento de un nuevo paradigma hacia el tratamiento de los RSU el cual es la aplicación de elevadas tasas de reciclaje y bajas tasas de vertidos (Bélgica, Dinamarca, Alemania, Holanda, Austria, Suecia), lo cual se ha logrado mediante el incremento en el uso de la tecnología de la incineración, que paralelamente con el reciclaje, permite aprovechar el potencial energético del calor generado para producir vapor y generar electricidad, consiguiendo simultáneamente obtener unas bajas tasas de depósito de residuos en vertedero, conllevando al desuso o uso muy reducido de los rellenos sanitarios existentes, (Fenercom, 2010).

El uso de esta tecnología también tiene sus detractores en las organizaciones ambientalistas, que señalan que la incineración no es muy recomendable, porque genera emisiones atmosféricas, (Greenpeace, 2010).

1.3.3 Potencialidad del uso de las nuevas tecnologías en Venezuela

Antes de considerar a la incineración como una solución posible al tratamiento de RSU en Venezuela, debe partirse del conocimiento que la quema de basura no es sinónimo de incineración ya que en la primera aunque el fuego reduce los desechos en forma irregular y los gases generados, muchos de ellos tóxicos, se escapan a la atmósfera, por lo tanto lo primero que habría que tomar en cuenta que de plantearse una incineración tecnológica, sea esta factible y contemplada en el marco legal como un procedimiento aceptado y al revisar la LGIB se consigue que:

“Se prohíbe la quema de desechos sólidos. Se podrán utilizar sistemas de tratamiento térmico controlado, tales como autoclaves, hornos, crematorios y similares, solo para materiales ya segregados, en función de sus tipos, conforme al Plan Municipal de Gestión de

Residuos y Desechos Sólidos, previa aprobación de las autoridades competentes.”(LGIB, Art. 68, 2010)

Un proyecto de incineración para tratar a los RSU está completamente justificado en el marco legal de la LGIB, ya que esta tecnología de la es un tratamiento térmico, donde se controlan las cantidades de combustible (en este caso el RSU), se controla la cantidad del aire y de las emisiones que se generan, mediante sistemas especiales para tal fin.

Por lo tanto se puede desarrollar en Venezuela una planta para el tratamiento final de los RSU, que en concordancia con los artículos 53 y 68 ya señalados, tenga la capacidad de seleccionar, incinerar y aprovechar el potencial energético de los residuos además de permitir el reciclaje y la reutilización los mismos.

Dadas las premisas anteriormente consideradas en este trabajo, se planteó la formulación a nivel de “Diseño Conceptual”, una planta de valorización energética de los RSU para el Municipio MBI, donde se contemplarán los aspectos tecnológicos, de equipamiento, de control de procesos, en concordancia con la misma LGIB que establece con relación a esta idea lo que se cita a continuación:

“Aprobar los aspectos de ingeniería conceptual de las obras y servicios destinados a la transferencia y disposición final de desechos sólidos y aprobar los estudios de selección de sitio y proyecto de rellenos sanitarios y estaciones de transferencia de desechos sólidos” (LGIB, Art. 12, Num. 8, 2010).

1.3.4 La incineración y la demanda de control ambiental

Siendo la incineración un proceso, en donde la estabilización (mineralización) de los compuestos orgánicos o inorgánicos combustibles se refleja en que los mismos conforman como producto final; emisiones gaseosas las cuales van a la atmósfera, por lo tanto es importante revisar el marco jurídico venezolano que regula las operaciones donde las emisiones gaseosas son parte del producto del proceso productivo y en este sentido se encuentran las “Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica”(NCACCA)(Decreto N° 638, Gaceta Oficial N° 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995).

En la NCACCA, en el Artículo 9, se incluye a la incineración como una “fuente de emisión fija” perteneciente al grupo cuyo código es “SDC” (Sin Clasificación determinada por las Naciones Unidas), definiendo esto, que la incineración de RSU puede considerarse

como una actividad completamente legal en Venezuela, ya que está respaldada en las leyes y normativas que le competen, como lo son la LGIB y las NCACCA.

Por lo tanto este trabajo se justifica ya que tiene como objetivo principal lograr la realización de un diseño conceptual en Venezuela, específicamente en el Municipio Mario Briceño Iragorry, basado en una tecnología completamente legal, descendiente de la tendencia europea que abre los horizontes y que constituye la base del desarrollo científico en el campo de investigación sobre la incineración y otros procesos térmicos controlados, para así obtener el conocimiento y consolidar experiencias positivas en nuevas técnicas y tecnologías sostenibles en los contextos: social, ambiental, económico y político que rodean al tema del tratamiento y aprovechamiento de los RSU.

Con la formulación de esta propuesta la Alcaldía de MBI contará con un instrumento técnico que sustentará los pasos apropiados en la dirección de la planificación para un sistema de disposición y tratamiento para los RSU que se generan en la municipalidad. Con la bondad adicional que al estar contemplado el monto aproximado de la inversión especialmente en el equipamiento, que es el núcleo del sistema, lo que les facultará para gestionar ante los organismos financiadores los recursos necesarios para su implementación.

1.4 MARCO LEGAL AMBIENTAL CON RELACIÓN A LOS RSU

La formulación de un proyecto de “Valorización de Energética”, para que se factible la sustitución de los Rellenos Sanitarios, debe estar enmarcada en la legislación ambiental inherente para que pueda recibir la permisología correspondiente, a fin de que se inicie sin contratiempos, por lo tanto se señalarán a continuación los diversos instrumentos legales que pudiesen regular un proyecto de esta naturaleza:

1.4.1 Rango Constitucional

- **Constitución de La República Bolivariana de Venezuela (Gaceta Oficial del jueves 30 de diciembre de 1999, Número 36.860)**

Artículo 127:

“Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro (...) Es una obligación fundamental del Estado (...) garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.”

1.4.2 Rango Constitucional-Convenios Internacionales

- **Convenio Marco de las Naciones Unidas “Protocolo de Kyoto sobre El Cambio Climático”. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

Tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: CO₂, Metano (CH₄) y óxidos nitrosos (NO_x), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990. El protocolo entró en vigencia el 16 de febrero de 2005.

1.4.3 Rango De Leyes Orgánicas y Especiales

- **Ley Orgánica Del Ambiente. (G.O.Nº5.833 Extraordinario del 22-12 2006)**

Tiene por objeto establecer las disposiciones y definir los principios rectores para la gestión ambiental en el contexto del desarrollo sustentable como derecho y deber, definiendo a las actividades capaces de degradar el ambiente, las cuales requieren de control previo como

inspecciones, permisologías y medidas de ajuste. En el Artículo 20, se contemplan varios numerales, íntimamente relacionados con los RSU, que se listan a continuación:

- “5. Los cambios nocivos del lecho de las aguas;
- 6. La introducción y utilización de productos o sustancias no bio-degradables;
- 8. Las que deterioran el paisaje;
- Las que modifiquen el clima;
- 11. Las que propenden ala acumulación de residuos, basuras, desechos y desperdicios;
- 12. Las que propenden a la eutrofización de lagos y lagunas;
- 13. Cualesquiera otras actividades capaces de alterar los ecosistemas naturales e incidir negativamente sobre la salud y bienestar del hombre.”

- **Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (G.O.Nº 3.238 del 11-08-1983).**

Artículo 2º

“A los efectos de esta Ley (...) 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 (...) uso de los recursos naturales y la protección y valorización del medio ambiente...”

Artículo 3º

“A los efectos de la presente Ley Orgánica la ordenación del territorio comprende:

- 1. La definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas.
- 2. El establecimiento de criterios prospectivos y de los principios que orienten los procesos de urbanización, industrialización, desconcentración económica y de asentamientos humanos.
- 9. La protección del ambiente, y la conservación y racional aprovechamiento de las aguas, los suelos, el subsuelo, los recursos forestales y demás recursos naturales renovables y no renovables en función de la ordenación del territorio”

Artículo 11º

“2. La localización de las principales actividades industriales (...) del sector servicios”

Artículo 19º

“3. La determinación de los aspectos ambientales tales como la definición del sistema de zonas verdes y espacios libres y de protección y conservación ambiental, y la definición de los parámetros de calidad ambiental”

Artículo 46º

“El control de la ejecución de los planes de áreas bajo régimen de administración especial (...)”

2- En cuanto a las reguladas en esta Ley:

L- Las Áreas Críticas con Prioridad de Tratamiento, por el Ministerio del

Ambiente de los Recursos Naturales Renovables”

- **Ley Orgánica Para La Ordenación Urbanística (LOOU) (G.O. N° 33.868 de fecha 16/12/1987)**

Establece las normas que procuran el control del desarrollo urbanístico de centros poblados preservando los recursos ambientales en el territorio nacional, comprendiendo todas las acciones de planificación, desarrollo, conservación y mantenimiento de los centros poblados para lograr un desarrollo urbano sustentable.

1.4.4 Rango De Leyes Ordinarias

- **Ley De Gestión Integral De La Basura ((G.O. N° 6.017 Extraordinario de fecha 30 de diciembre de 2010)**

Artículo 1

Objeto

“La presente Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura.”

Artículo 20

Adecuación

“El Plan Nacional de Gestión y Manejo Integral de Residuos y Desechos Sólidos debe considerar los aspectos sociales, económicos, sanitarios y ambientales, y prever la utilización de tecnologías y procesos que respondan a las necesidades y características de las diversas regiones del país, con la finalidad de optimizar las fases de ejecución y operatividad, control, fiscalización y supervisión de la gestión.”

Artículo 27

Objeto

“El manejo integral tiene por objeto minimizar o prevenir la generación de residuos y desechos sólidos y maximizar su recuperación, con el propósito de alargar la vida útil de los materiales reutilizables, estimular las actividades económicas que empleen estos procesos o se surtan de estos materiales y la disposición final de desechos en forma ambiental y sanitariamente segura, incluyendo la clausura y post-clausura de rellenos sanitarios.”

Artículo 30

Manejo separado

“El manejo de residuos y desechos sólidos no peligrosos debe realizarse en forma separada de materiales, sustancias y desechos peligrosos, salvo que éstos se presenten encapsulados o neutralizados previamente, conforme indique la reglamentación; en caso contrario deberá ser manejado conforme a la normativa que rige para desechos peligrosos.”

Artículo 53

Sistemas de aprovechamiento

“El aprovechamiento de residuos es el proceso mediante el cual se obtiene un beneficio de los residuos sólidos, como un todo o parte de él. Se consideran sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos, el reciclaje, la recuperación, la reutilización y otros que la ciencia y la tecnología desarrollen.”

Artículo 58

Objetivo del tratamiento

“El tratamiento de los residuos sólidos tendrá como objetivo la reducción del volumen, forma, peso o modificación de propiedades, a los fines de facilitar su manejo, propiciar su aprovechamiento o reducir los riesgos a la salud y al ambiente.”

Artículo 68

Otras técnicas

“Se prohíbe la quema de desechos sólidos. Se podrán utilizar sistemas de tratamiento térmico controlado, tales como autoclaves, hornos, crematorios y similares, solo para materiales ya segregados, en función de sus tipos, conforme al Plan Municipal de Gestión de Residuos y Desechos Sólidos, previa aprobación de las autoridades competentes.”

Artículo 71

Conversión a relleno sanitario

“Los municipios, mancomunidades y otras formas asociativas que actualmente utilizan vertederos a cielo abierto, deberán ajustarlos a un cronograma de adecuación de su operación y conversión a relleno sanitario. Si el sitio no tiene posibilidades de convertirse en relleno sanitario, será sometido al plan de saneamiento, clausura y post-clausura que apruebe el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia ambiental.”

- **Ley Sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (G.O. N° 5.554 E de 13-11-2 001).**

Título I

Disposiciones Generales

Artículo 1.

“Esta Ley tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre con el fin de proteger la salud y el ambiente.”

Artículo 2.

“También serán objeto de regulación, en todo lo relativo a su incidencia y sus efectos en la salud y en el ambiente, aquellas sustancias y materiales peligrosos y otros similares, de origen nacional o importado que vayan a ser utilizados con fines de uso agrícola, industrial, de investigación científica, educación, producción u otros fines.”

Artículo 3.

“Se declara de utilidad pública e interés social el control de la utilización de sustancias y materiales peligrosos, la recuperación de los materiales peligrosos y la eliminación y disposición final de los desechos peligrosos.”

Artículo 4. “

“La falta de certeza científica no podrá servir de fundamento para postergar la adopción de medidas preventivas y correctivas que fueren necesarias para impedir el daño a la salud y al ambiente.”

Artículo 6.

“Se prohíbe la descarga de sustancias, materiales o desechos peligrosos en el suelo, en el subsuelo, en los cuerpos de agua o al aire, en contravención con la reglamentación técnica que regula la materia.”

Artículo 14.

“El Estado apoyará e incentivará las acciones de las personas naturales o jurídicas que conlleven a la recuperación de los materiales peligrosos recuperables y a la adecuada disposición final de los desechos peligrosos, así como el desarrollo de aquellas tecnologías que conduzcan a la optimización de los procesos y la minimización de la generación de desechos peligrosos mediante incentivos económicos o fiscales, siempre que se mejoren los parámetros de calidad ambiental establecidos en la reglamentación técnica a fin de minimizar los riesgos a la salud y al ambiente. La recuperación y disposición final de los desechos peligrosos son una responsabilidad compartida del Estado y los particulares.”

Título II

De Las Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos

Capítulo I

Del Uso y Manejo de las Sustancias y Materiales Peligrosos

Artículo 27.

“El uso y manejo de las sustancias o materiales peligrosos deberá llevarse a cabo en las condiciones sanitarias y de seguridad establecidas en la reglamentación técnica, de forma tal que garanticen la prevención y atención a los riesgos que puedan causar a la salud y al ambiente.”

Artículo 36.

“Los materiales peligrosos recuperables podrán ser objeto de comercialización para su procesamiento posterior, siempre y cuando cumplan con las condiciones establecidas en la reglamentación técnica para su uso y manejo...”

Artículo 39.

“Cuando un desecho peligroso se mezcla con otros desechos o materiales no peligrosos, la mezcla resultante preserva su condición de desecho peligroso y debe ser manejado de acuerdo con las disposiciones de esta Ley y con lo que establezca la reglamentación técnica que rige la materia.”

Artículo 44.

“La ubicación de centros para realizar operaciones de almacenamiento, tratamiento, incineración y disposición final de desechos peligrosos estará sujeta al cumplimiento de las disposiciones legales sobre evaluaciones ambientales de actividades susceptibles de degradar el ambiente. La ubicación de estos centros será fuera de cualquier poligonal urbana, cumpliendo con las normas regulatorias del ordenamiento territorial...”

Artículo 82.

“Serán sancionadas (...) que en contravención a las disposiciones de esta Ley y a la reglamentación técnica sobre la materia:

1. Generen, usen o manejen sustancias, materiales o desechos clasificados como peligrosos provocando riesgos a la salud y al ambiente.
2. Transformen desechos peligrosos que impliquen el traslado de elementos contaminantes a otro medio receptor.
3. Desechen o abandonen materiales o desechos clasificados como peligrosos, en forma tal, que por falta de controles adecuados puedan contaminarla atmósfera, las aguas superficiales o subterráneas, los suelos o el ambiente en general.
4. Mezclen desechos de tipo doméstico con desechos comerciales o industriales y los dispongan en rellenos sanitarios o vertederos no construidos especialmente para tal fin.
5. Construyan, operen o mantengan lugares para la disposición de desechos clasificados como peligrosos, sin autorización de las autoridades correspondientes.
6. Operen, mantengan o descarguen desechos peligrosos en sitios no autorizados.”

- **Ley de Aguas (G.O. N° 38 595 de 01-01-2007).**

Tiene por objeto procurar la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico y de interés de Estado.

Artículo 13

“Los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas, de conformidad con las disposiciones establecidas de esta Ley y demás normativas que la desarrolle.”

Artículo 113

“Las sanciones de multa previstas en esta Ley se aumentarán al doble en los casos de:

2. Contaminación de acuíferos o de fuentes superficiales.
3. Contaminación por vertido de sustancias, materiales o desechos peligrosos.”

- **Ley Penal Del Ambiente (G. O. N° 4358 de 03-11-1992)**

Esta ley cuyo objeto es tipificar como delito aquellos hechos que atenten contra los recursos naturales y el ambiente, e imponer las sanciones penales, determina las medidas precautelativas de restitución y de reparación a que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales.

Artículo 26

“6- Instalar los dispositivos necesarios para evitar la contaminación o degradación del ambiente.”

Del Título II

De los delitos contra el ambiente

Capítulo I

De la Degradación, Envenenamiento, Contaminación y demás Acciones o

Actividades capaces de causar daños a las Aguas

Artículo 28. Vertido ilícito.-

“El que vierta o arroje materiales no biodegradables, sustancias, agentes biológicos o bioquímicos, efluentes o aguas residuales no tratadas según las disposiciones técnicas dictadas por el Ejecutivo Nacional, objetos o desechos de cualquier naturaleza en los cuerpos de las aguas, sus riberas cauces, cuencas, mantos acuíferos, lagos, lagunas o demás depósitos de agua, incluyendo los sistemas de abastecimiento de aguas, capaces de degradarlas, envenenarlas o contaminarlas, será sancionado...”

Artículo 32. Contaminación de aguas subterráneas.-

“El que realice trabajos que puedan ocasionar daños, contaminación o alteración de aguas subterráneas o de las fuentes de aguas minerales, será sancionado...”

CAPÍTULO II

Del Deterioro, Envenenamiento, Contaminación y demás Acciones o Actividades capaces de causar daño al Medio Lacustre, Marino y Costero

Artículo 35. Descargas contaminantes.-

“El que descargue al medio lacustre, marino y costero, en contravención a las normas técnicas vigentes, aguas residuales, efluentes, productos, sustancias o materiales no biodegradables o desechos de cualquier tipo, que contengan contaminantes o elementos nocivos a la salud de las personas o al medio lacustre, marino o costero, será sancionado...”

Artículo 36. Construcción de obras contaminantes.-

“El que construya obras o utilice instalaciones, sin las autorizaciones y en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, susceptibles de causar contaminación grave del medio lacustre, marino o costero, será sancionado...”

CAPÍTULO III

De la degradación, alteración, deterioro, contaminación y demás acciones capaces de causar daños a los suelos, la topografía y el paisaje

Artículo 42. Actividades y objetos degradantes.-

“El que vierta, arroje, abandone, deposite o infiltre en los suelos o subsuelos, sustancias, productos o materiales no biodegradables, agentes biológicos o bioquímicos, agroquímicos, objetos o desechos sólidos o de cualquier naturaleza, en contravención de las normas técnicas que rigen la materia, que sean capaces de degradarlos o alterarlos nocivamente, será sancionado...”

CAPÍTULO IV

Del envenenamiento, contaminación y demás acciones capaces de alterar la atmósfera o el aire

Artículo 44. Emisión de gases.-

“El que emita o permita escape de gases, agentes biológicos o bioquímicos o de cualquier naturaleza, en cantidades capaces de envenenar, deteriorar o contaminar la atmósfera, o el aire en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, sea sancionado...”

Artículo 47. Degradación de la capa de ozono.-

“El que viole con motivo de sus actividades económicas, las normas nacionales o los convenios, tratados o protocolos internacionales, suscritos por la República, para la protección de la capa de ozono del planeta, será sancionado...”

CAPÍTULO VI

De las omisiones en el Estudio y Evaluación del Impacto Ambiental

Artículo 61. Omisión de requisitos sobre impacto ambiental.-

“El funcionario público que otorgue los permisos o autorizaciones, sin cumplir con el requisito de estudio y evaluación del impacto ambiental, en las actividades para las cuales lo exige el reglamento sobre la materia, será sancionado...”

CAPÍTULO VII

De los desechos tóxicos o peligrosos

Artículo 62. Gestión de desechos tóxicos.-

“Serán sancionados (...) los que en contravención a las normas técnicas sobre la materia:

1. Generen o manejen sustancias clasificadas como tóxicas o peligrosas.
2. Transformen desechos tóxicos o peligrosos que impliquen el traslado de la contaminación o la degradación ambiental a otro medio receptor.
3. Mezclen desechos tóxicos o peligrosos con basura de tipo doméstico o industrial y los boten en vertederos no construidos especialmente para tal fin.”

- **Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía G.O. N° 39823 de 19-12-2011**

Esta Ley contempla como puede apreciarse en todo su articulado, un amplio procurado de normas, con el objetivo de:

- La promoción del uso racional de la energía y de las fuentes alternas.
- El fomento de una política hacia la producción nacional de sistemas y equipos para la generación alternativa de energía.
- Obliga a la Concertación de esfuerzos gubernamentales para el desarrollo de proyectos de fuentes alternas.
- La práctica del registro de las innovaciones y aplicación de tecnologías alternativas.
- Los lineamientos hacia educación sobre eficiencia y energías alternativas en todos los niveles educativos.
- El avance en la investigación científica, tecnológica y humanística en el campo.
- Perspectiva de incentivos y exoneraciones a las adecuaciones.
- Reconocimiento al esfuerzo de en el área.

Este marco legal, luce promisorio sin embargo, el detalle de las condiciones de mercado serán las responsables de la viabilidad de una verdadera consolidación de estas iniciativas.

1.4.5 Rango de Decretos de Ley

- **Normas Sobre Calidad Del Aire Y Control De La Contaminación Atmosférica, Decreto N° 638 (G.O. N° 4.899 Extraordinario del 19-05-1995)**

Se crearon para establecer límites de calidad del aire para los contaminantes de la atmosfera. Los valores tabulados serán tomados en cuenta al realizar la selección de los equipos para evitar las emisiones atmosféricas que contaminen el aire, donde se incluyen los incineradores que se utilizan para el tratamiento de residuos sólidos.

“Capítulo II

De Los Límites De Calidad Del Aire

Artículo 3°

A los efectos de estas normas se establecen límites de calidad del aire para los siguientes contaminantes de la atmósfera:

Contaminante	Límite (µg/m ³)	Porcentaje excedencia en lapso de muestreo	Período de medición (horas)
1 Dióxido de azufre	80	50%	24
	200	5%	24
	250	2%	24
	365	0,50%	24
2 Partículas totales	75	50%	24
	150	5%	24
	200	2%	24
	260	0,50%	24
3 Monóxido de carbono	10.000	50%	8
	40.000	0,50%	8
4 Dióxido de nitrógeno	100	50%	24
	300	5%	24
5 Oxidantes totales expresados como ozono	240	0.02%	1
6 Sulfuro de hidrógeno	20	1%	24
7 Plomo en partículas suspendidas	1,5	50%	24
	2	5%	24
8 Fluoruro de hidrógeno	10	2%	24
	20	0,50%	24
9 Fluoruros	10	2%	24
	20	0,50%	24
10 Cloruro de hidrógeno	200	2%	24
11 Cloruros	200	2%	24

µg/m³: Microgramos por metro cúbico de aire.

Las concentraciones de los contaminantes se calcularán para condiciones de 1 atmósfera y 298 °K.

Artículo 5°.-

“Se establece la siguiente clasificación de zonas de acuerdo con los rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS), calculadas en base a promedios anuales.

Partículas µg /m3	Zona
< 75	Aire limpio
75-200	Aire moderadamente contaminado
201-300	Aire altamente contaminado
> 300	Aire muy contaminado

Las zonas con niveles superiores a 300 µg/m3 serán objeto de la implantación de medidas extraordinarias de mitigación.”

Artículo 9°.-

Las fuentes fijas que se someterán a la aplicación de este Decreto son aquellas que corresponde a las siguientes actividades”:

Contaminante	Actividad	Existentes mg/m3	Nuevas mg/m3	Observaciones
Partículas sólidas	Incineración de residuos sólidos no peligrosos	300	250	Residuos <1t/h

Nota: Las emisiones del equipo de incineración deben ser $x < 250 \text{ mg/m}^3$ acumuladas, por cada tonelada procesada por hora.

Habiendo revisado los instrumentos legales que regulan la formulación de proyectos de índole ambiental, en este caso particular; este proyecto a desarrollar como una alternativa de tratamiento de RSU, que en esta primera fase abarca un escenario conceptual, en el hecho de llevarse a la realidad, cumpliría con las normativas que procuran los instrumentos legales antes enumerados, debido a que en los mismos, se fomenta el desarrollo de ideas que permitan concretar soluciones modernas al problema de los RSU, enmarcadas en el desarrollo de la ciencia y de la técnica.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS DE UN DISEÑO CONCEPTUAL

El “Diseño Conceptual”, es la organización de ideas y pensamientos, dirigidos hacia la formulación de un proyecto basado en la concepción de ideas expresándolas una serie de bosquejos y formas, que tomando en cuenta las facilidades disponibles en infraestructura y equipo ofertados en forma comercial, definirán una propuesta enmarcada en el establecimiento de líneas de producción, sustentadas en organización espacial, definición de procesos, selección de maquinarias y equipos, que en este caso particular, darán respuesta a una demanda específica de un “Diseño a nivel conceptual de una planta de valorización energética, aplicando una tecnología de incineración”.

Los “diseños conceptuales”, se refieren a los productos novedosos que las grandes marcas comerciales presentan antes de producirlas en serie. Solo algunos de estos “diseños conceptuales” se llevan a fabricación en grandes series, pero en su concepción y realización se ensayan métodos, técnicas y formas que sirven para adelantar tecnologías y también para captar la respuesta del mercado. Pero el “diseño conceptual de ingeniería de producto” se refiere a la parte más creativa en el desarrollo de producto, Tiene que ver con la ingeniería del objeto, con las funciones, los elementos que lo conforman y sus características (Eder, 1996).

2.1.1 Parámetros base para el diseño conceptual

La Ingeniería Conceptual como etapa previa a la definición de un proyecto, permite determinar costos de una manera más confiable, asegurando que se incluyan diferentes opciones y se seleccione aquella, que desde el punto técnico y económico resulte más rentable y con mínimo riesgo de ejecución. El enfoque se orienta a presentar soluciones prácticas, con un alto contenido operacional y técnico.

El contenido típico la Ingeniería Conceptual, que se va aplicar en este trabajo presenta los siguientes puntos:

- Capacidad de planta
- Estimado de volumen, calidad de alimentación y especificaciones
- Comparación y selección de tecnologías
- Descripción detallada de las tecnologías seleccionadas
- Diagramas de flujo de procesos, descripción de corrientes, líneas de producción
- Descripción del proceso
- Estimación de costos

(Baker, 2014)

2.2 LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los RSU, conocidos como “basura”, están compuestos por materiales orgánicos e inorgánicos entre ellos: papel, cartón, madera, vidrio, plástico, metales muchos de ellos biodegradables y reciclables, provienen de las actividades que se desarrollan dentro del área de zonificación urbana de un Municipio, en el ámbito doméstico, en establecimientos, espacios comerciales, públicos y en los servicios que se prestan. Adicionalmente, dentro de los RSU, pueden existir desechos peligrosos que pueden representar un riesgo presente o futuro para la salud humana o el ambiente, al generar morbilidad y mortalidad en poblaciones de seres humanos, fauna y vegetación.

Tchobanoglous (1994); citado por Flores (2009) incluye además, los residuos generados por hospitales, plantas de tratamiento y de incineración, así como los agrícolas y pecuarios.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La clasificación de los desechos sólidos no es uniforme en todos los organismos, países e investigadores, los desechos peligrosos pueden ser clasificados en tres categorías: radioactivos, inflamables o tóxicos (Henry y Heinke, 1999). La Organización Panamericana de la Salud (OPS) clasifica los desechos según su fermentabilidad en desechos orgánicos e inorgánicos; según su inflamabilidad en combustibles y no combustibles; según su procedencia en domésticos, de jardinería, de barrido, y según su volumen en convencionales y especiales.

El Instituto Nacional de Estadística (INE, 2008) Establece que; por su origen los residuos sólidos se clasifican en:

- Orgánicos: (combustible): Papel y derivados, cartón, madera y sus sub productos, plásticos, textiles, cueros, cauchos o gomas, grama y plantas o árboles podados
- Inorgánicos: (no combustibles): Metales, latas, hojas de lata, cerámica, vidrio, otros residuos minerales.

Aye y Widjaya (2006) clasifican los desechos sólidos en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos que se degradan rápidamente y producen mal olor durante la descomposición, papel, cartón, caucho y madera. Los inorgánicos: plásticos, vidrio, metal y otros.

Otra clasificación los separa en tres categorías de desechos sólidos: reciclables, no reciclables/no peligrosos y peligrosos. Los reciclables se dividen básicamente en materiales regulados y no regulados, desechos de cocina y desechos a granel (Tsai et al., 2007).

La clasificación que se viene utilizando actualmente(Cuadro2), está dirigida a la segregación de RSU, detalla puntualmente los materiales “Recuperables” y “No Recuperables”, es crucial para el diseño de plantas de tratamiento y valorización, así como también para gestionar planes de manejo.

Cuadro 2. Clasificación de los materiales en condición de recuperabilidad

Material	Condición
Recipiente de vidrio transparente botella y frasco	Recuperable
Botella de vidrio color verde	Recuperable
Botella de vidrio color ámbar	Recuperable
Botella de vidrio color azul	Recuperable
Envase plástico blanco	Recuperable si contenido no tóxico
Envase plástico transparente	Recuperable si contenido no tóxico
Envase plástico multicolor	Recuperable si contenido no tóxico
Tapa plástica de recipiente blanca y multicolor	Recuperable si contenido no tóxico
Plástico de polietileno alta densidad HDPE	Recuperable
Plástico PVC	Recuperable
Bolsa de película	Recuperable si contenido no tóxico
Material ferroso cabilla, trozo de metal etc.	Recuperable
Recipiente metálico producto alimenticio	Recuperable
Lata de aluminio	Recuperable
Cobre	Recuperable
Bronce	Recuperable
Papel blanco	Recuperable
Cartón corrugado	Recuperable
Cartón gris	Recuperable
Papel multicolor	Recuperable
Papel periódico	Recuperable
Cartulina de diversos colores	Recuperable
Resto de alimento	Recuperable
Resto de vegetación	Recuperable
Envase quinta manchas	No recuperable
Polvo y líquido blanqueador	No recuperable
Bolitas de alcanfor	No recuperable
Abrillantador de madera	No recuperable
Limpia horno	No recuperable
Amoniaco o limpiadores a base de amoniaco	No recuperable
Limpiadores de inodoros	No recuperable
Destapadores de drenaje	No recuperable
Insecticida	No recuperable
Herbicida	No recuperable

Tinte de cabello derriz y productos de permanente	No recuperable
Esmalte de uñas	No recuperable
Collar y champús contra pulga y garrapata	No recuperable
Aceite de motor usado	No recuperable
Solvente de pintura de óleo y vehículo	No recuperable
Barniz	No recuperable
Líquido correcto para documento	No recuperable
Veneno para ratón y ratones	No recuperable
Veneno para hormiga y cucaracha	No recuperable
Marcadores de tinte permanente	No recuperable
Servilleta usado	No recuperable
Papel carbón	No recuperable
Papel sanitario usado	No recuperable
Papel y cartón con película impermeable	No recuperable
Objetos de polietileno expandible (anime)	No recuperable
Goma de neumático viejo	No recuperable

Fuente: Garboza, L (2004)

2.4 COMPOSICIÓN Y MATERIALES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOCALIDADES DEL MUNDO

La composición de los RSU, varía en los diferentes países y regiones, lo cual es útil para comparar patrones de consumo e identificar sociedades que generan menos RSU, que podrían incidir en el fomento de políticas hacia la generación de una menor cantidad de RSU. Un ejemplo de ello, es que en países situados en el medio y extremo oriente (Tailandia, China, Palestina) el mayor porcentaje de desechos, lo constituyen los orgánicos o putrescibles. Un comportamiento similar, pero en menor cuantía lo presentan Finlandia, Australia, Portugal y el Reino Unido, mientras que en Estados Unidos e Italia, el mayor porcentaje es atribuible a cartón y papel (Flores, 2009).

En el Cuadro 3, se observa que el porcentaje de los desechos sólidos para Caracas en cartón y papel es superior al de todos los demás países y ciudades consideradas; en plásticos también es mayor a de todos con excepción de Costa Rica. Se intuye que Caracas es un alto consumidor de productos que tienen papel, cartón, y plástico en su conformación o empaque.

Cuadro 3. Porcentajes de cantidades materiales en los desechos de varias ciudades de Distintos países de Latino América.

País/Ciudad	Cartón y papel	Plásticos	Vidrio	Metal	Textiles	Orgánicos Putrescibles	Otros e inertes
México (DF)	20,9	8,4	7,6	3,1	4,5	44	11,5
Perú	7,5	4,3	3,4	2,3	1,5	54,5	25,9
Costa Rica	20,7	17,7	2,3	2,1	4,1	49,8	3,3
Ecuador	9,6	4,5	3,7	0,7	*	71,4	*
Caracas (AM)	22,3	11,7	4,5	2,9	4,1	41,3	11,2

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS) 2005

*ND: Datos no disponibles. DF: Distrito Federal. AM: Área Metropolitana.

2.5 TRATAMIENTO DE LOS RSU:

2.5.1 Vertederos y Rellenos Sanitarios.

La forma más sencilla de tratamiento para los RSU es disponerlos en un “vertedero o bote”, pero esta práctica deriva en degradación ambiental y sanitariamente insalubridad (Figura 7). Esta forma de disposición se complica, porque cada día escasean los sitios donde podría hacerse esta práctica, por las regulaciones ambientales y el rechazo de las comunidades. En los casos donde ha sido posible se intenta una mejora de los vertederos aplicando un sistema de vertido controlado, los RSU se trituran, se compactan y se extienden en capas alternadas con suelo y otros materiales.



Figura 7. Ejemplo de “Vertedero o Bote”. Las Mercedes del Llano, Edo. Guárico (2014)

Fuente propia

La expresión tecnológica más acabada cuando de enterramiento y confinación se habla, en la disposición de los RSU lo constituye el denominado “Relleno Sanitario”. Este sistema de tratamiento, tiene una historia que data de los tiempos bíblicos. En las excavaciones de Kouloure en Chosos, antigua capital de Creta, se encontraron trazas de mezclas de basura y fango y residuos que habían sido enterrados. Este sistema de tratamiento, se ha constituido mundialmente en el método de disposición final de la basura más popular, se considera que usando la tecnología sencilla es el más completo y de menor costo, siempre que se cuente con un terreno a bajo costo (Trejo, 1994).

Diversos autores atribuyen la aplicación del método de relleno sanitario, tal como se conoce hoy, a los ingenieros ingleses J.C Dawes y M. Call quienes lo utilizaron por primera vez en Bradford, Inglaterra en la década de los veinte. Durante la Segunda Guerra Mundial en Francia, el ejército de los Estados Unidos practicó el relleno sanitario en las zonas ocupadas. Las variantes en este tipo de sistema de tratamiento han sido clasificados en: Relleno Sanitario Tipo Área, Tipo Zanja o Trinchera, Tipo Combinado o Rampa

El relleno sanitario necesita condiciones topográficas, hidrológicas y geológicas adecuadas. Entre las ventajas que los rellenos sanitarios poseen, están: relativamente poca inversión inicial, manejo de grandes volúmenes de RSU con poco personal, no necesariamente requiere segregación previa. Se pueden recuperar espacios de tierras

marginales. Entre las desventajas están: degradación ambiental, contaminación de cuerpos de agua y generación de gases GEI, entre otras (Trejo, 1994).

Un ejemplo destacable de utilización de este sistema de tratamiento de RSU en Venezuela, es el “Relleno Sanitario La Bonanza” (Figura 8), allí se depositan los desechos de los 5 Municipios del Área Metropolitana de Caracas y 4 de los Valles del Tuy.



Figura 8. Relleno Sanitario La Bonanza

Fuente: www.correodelorinoco.gob.ve (2011)

2.5.2 Valorización energética a partir de los gases que se generan en los rellenos sanitarios o vertederos controlados:

Desde hace muchos años se ha venido insistiendo en la posibilidad del aprovechamiento energético de los gases que se generan en los rellenos sanitarios, incluso en la literatura se pueden conseguir programas de simulación para estimar la potencial producción energética de un relleno sanitario cuando se culmine, y en algunos casos, durante el proceso de llenado del mismo, con lo cual se intenta seguir justificando la existencia de los rellenos sanitarios o vertederos controlados. En la Figura 9 se aprecia el Relleno Sanitario de Oviedo, España en donde los RSU son confinados bajo un cubrimiento de membranas de material sintético, el gas generado es captado es conducido para motores generadores de electricidad.

La aplicación posterior de los rellenos sanitarios, cuando finalice su operación, este espacio, puede quedar habilitado como una zona pública de esparcimiento.



Figura 9. Composición gráfica que incluye el Relleno Sanitario de Oviedo, España, tuberías de captación del Biogás y los motores/generadores de electricidad.

Fuente Propia

Un caso similar con relación al aprovechamiento de un “vertedero controlado”, se encuentra en Bouqueval/Plessis-Gassot, ubicado a 20km al norte de París. La producción total de biogás es de 13 000 m³/hora, valorizándose 10000 m³ para producir 10 MW/h de electricidad, equivalente al consumo medio de una ciudad de 30 000 habitantes. (Figura 10). (Buhigas, 2010)

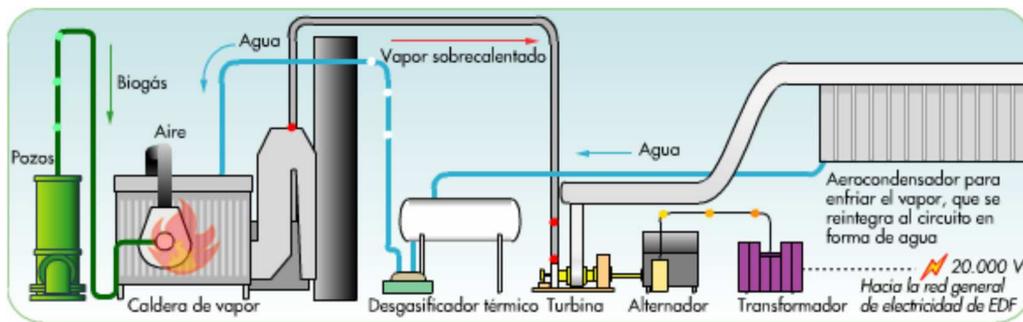


Figura 10. Esquema de Planta de Biogás de Bouqueval (2010)

Fuente: Buhigas (2010)

2.5.3 Sistemas de Tratamiento Biológicos

2.5.3.1 El compostaje

El compostaje se forma de desechos orgánicos como: restos de comida, frutas y verduras, aserrín, cáscaras de huevo, restos de café, trozos de madera, poda de jardín (ramas, césped, hojas, raíces, pétalos, entre otros), todos los componentes de plantas animales y microorganismos pasan a formar parte del suelo en algún momento (Moreno, 1996). La materia orgánica se descompone por vía aeróbica o por vía anaeróbica.

Llamamos “compostaje” al ciclo aeróbico (con alta presencia de oxígeno) de descomposición de la materia orgánica. Llamamos “metanización” al ciclo anaeróbico (con nula o muy poca presencia de oxígeno) de descomposición de la materia orgánica.

El compost es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y purines (parte líquida altamente contaminante que rezuma de todo tipo de estiércoles animales), por medio de la reproducción masiva de bacterias aeróbicas termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (posteriormente, la fermentación la continúan otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos). Normalmente, se trata de evitar (en lo posible) la putrefacción de los residuos orgánicos (por exceso de agua, que impide la aireación-oxigenación y crea condiciones biológicas anaeróbicas malolientes), aunque ciertos procesos industriales de compostaje usan la putrefacción por bacterias anaerobias.

La construcción de pilas o silos para el compostaje tiene como objetivo la correcta aireación y generación de un entorno apropiado para el ecosistema de descomposición. El entorno no solo mantiene a los agentes de la descomposición, sino también a otros que se alimentan de ellos. Los residuos de todos ellos pasan a formar parte del compost. El tamaño y la forma de las pilas se diseñan para permitir la circulación del aire a lo largo de la misma, manteniendo la temperatura del entorno en la gama apropiada (Emison (2007) citado por Zambrano (2008)).

Los residuos orgánicos en descomposición producen CH_4 ; una molécula absorbe veinte veces más calor que una de CO_2 . En la naturaleza existen agentes de descomposición, los “Microscópicos”, siendo los más efectivos de la descomposición son las bacterias y otros microorganismos. Los microorganismos eficientes son un conjunto de bacterias (caldo microbiano) que unidas producen a temperaturas favorables un aprovechamiento de los componentes de la materia a compostar para optimizar el proceso de compostaje. También desempeñan un importante papel los hongos, protozoos y actinobacterias (o actinomicetes, aquellas que se observan en forma de filamentos blancos en la materia en descomposición). Los macroscópicos, en el nivel “Macroscópico” se encuentran las lombrices de tierra, hormigas, caracoles, babosas, milpiés, cochinillas, entre otros, que consumen y degradan la materia orgánica.

2.5.3.2 Biodigestión Anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico en proporciones variables de acuerdo a la materia orgánica. Se caracteriza por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias. De acuerdo a Nymms (1989), la complejidad del proceso metanogénico conlleva a que actualmente se considera que se desarrolla en un sentido *sensu largo* en 10 etapas, las cuales son: Etapa 1- Hidratación de la materia prima, el contenido de humedad de la materia prima debe ser de un 50% o mayor. Etapa 2. Los microorganismos atacan la materia en fermentación, mediante la producción de exoenzimas. Etapa 3. Cambio en la estructura de la masa de la materia prima de rugosa a suave (importante

para el bombeo). Etapa 4. Solubilización de la materia orgánica. Etapa 5. Hidrólisis de la materia orgánica. Etapa 6. Fermentación productora de Hidrógeno Molecular. Etapa 7. Equilibrio Iónico. Etapa 8. Transferencia de Hidrógeno molecular. Etapa 9. Formación de metano y dióxido de carbono a partir de compuestos acéticos. Etapa 10. Producción de metano por carbonos e hidrógenos libres.

Estos sistemas son alimentados solo con la parte orgánica de los RSU, dándose un tratamiento adecuados de estos, derivando en una valorización energética a partir de la generación de biogás combustible y abono orgánico.

En España existe una planta industrial denominada “Ecoparc de Barcelona” que trata de manera integral los RSU del área metropolitana de Barcelona, aplicando procesos de metanización y compostaje. Recibe 675 t/día de RSU, el proceso incluye pretratamiento de homogenización, una fracción se somete tratamiento aerobio (Compostaje) y la otra a tratamiento anaerobio, en 4 Biodigestores de 6.700 m³ de capacidad c/u, a una temperatura a 37° C con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 20 días. El biogás se utiliza como combustible en 5 motores Jenbacher de 20 cilindros y una potencia total de 5,24 MW, se genera electricidad y el calor, se utiliza para mantener la temperatura de los digestores estable a 37 °C. Cada año, el Ecoparc de Barcelona produce una media de 13.000 MWh, equivalente al consumo eléctrico de unas 3.000 familias durante todo un año. Figura 11. (Ecoparc, 2014)



Figura 11. Vista panorámica del “Ecoparc de Barcelona”
Fuente: Ecoparc (www.ecoparcbcn.com, 2014)

2.5.4 Procesos Térmicos

A nivel mundial se han venido utilizando tecnologías de procesos térmicos aplicados en sistemas de tratamiento de los RSU, tomando como premisa que el impacto al ambiente sea el más reducido posible. Los sistemas desarrollados enfatizan en que los productos generados en el proceso de estabilización cumplan con las legislaciones vigentes de sus países respectivos y en concordancia con convenios internacionales actuales.

Entre las tendencias en el uso de procesos térmicos se encuentran: la pirolisis, la gasificación y la incineración. En la aplicación de estos tratamientos se deriva hacia una directa valorización energética ya que el calor producido se utiliza eficientemente tanto en calefacción como en generación eléctrica.

El esquema convencional de Valorización de RSU basada en procesos térmicos en general, se puede apreciar en la Figura 12, donde los RSU después de pasar por algunos de los procesos que se desarrollaran más adelante, generan ya sea calor o gases pobres combustibles que pueden ser utilizados para generar vapor utilizando una caldera. Es de resaltar que estos procesos van precedidos por un paso de fundamental importancia, el reciclaje, dirigido a recuperar aquellos materiales reutilizables de valor que sin requerir de mucha inversión, favorecen la sostenibilidad de cualquiera de estos procesos (Cortés, 2009).



Figura 12. Esquema general convencional de valorización energética de RSU.

Fuente: Cortés, 2009

A continuación se describirán los procesos térmicos de mayor importancia sobre los cuales se hará la selección del proceso que según este trabajo representa el más adecuado para el procesamiento de los RSU del Municipio Mario Briceño Iragorry.

2.5.4.1 La Pirólisis

En un estudio realizado por La Comisión Europea de Dirección General de Ambiente, plantea que “Una economía circular innovadora será la garantía de la prosperidad humana y de un medio ambiente saludable”³ sugiere como una gran ventaja; reemplazar combustibles fósiles por “Combustibles Derivados de Residuos”(CDR), trayendo beneficios ambientales y económicos importantes. Una de las alternativas planteadas ha sido la aplicación de “Tecnología de la Pirólisis”, que se basa en un proceso conocido desde la antigüedad en el medio oriente donde se aplicó como técnica para la producción de carbón vegetal. Actualmente, la esencia de esta tecnología trasciende hacia el tratamiento de los RSU, con la perspectiva de optimizarlos procesos térmicos para que sean amigables con el ambiente.

Los CDR son compuestos con elevado poder calorífico, que después de aplicársele un proceso de pirólisis según reglas, normas y adecuadas técnicas, es transformado en combustible secundario, utilizado en las plantas para la producción de energía (Unizar, 2013).

Según Gómez, et al. (2008), el proceso de la pirolisis es una degradación térmica (volatilización o ablación) de la biomasa en ausencia de oxígeno, por lo tanto la pirolisis es un proceso térmico de desintegración, a través de una destilación destructiva de la materia orgánica, que se da a temperaturas de 400 a 800 °C.

Durante el proceso de la pirolisis los RSU son transformados en gases pobres, carbón, agua, residuos líquidos, cenizas minerales y metales pesados. Los productos volatilizados generados, se emiten a la atmosfera y pueden ser desde sustancias relativamente inertes hasta contaminantes, por lo que se requeriría tratamientos ulteriores. La gran ventaja de la pirolisis es la reducción significativa del volumen de los RSU.

De acuerdo a Creus (2009), el concepto de pirolisis puede ser aplicado también cuando el calentamiento de la biomasa, ocurre a temperaturas que oscilan entre 200 a 500 °C y se aplica, para la recuperación de materiales combustibles, a partir de los componentes sólidos y líquidos, en esencial de los orgánicos e hidrocarburos (plástico, madera, papel) que pueden estar presentes en los RSU, produciéndose un residuo sólido carbonizado y generación de gases. Los productos primarios formados en este proceso son los siguientes:

³ Revista medio ambiente para los europeos,
http://ec.europa.eu/environment/news/efe/articles/2014/04/article_20140429_02_es.htm

- Gases: Compuestos principalmente de CO, CO₂, CH₄, e hidrocarburos ligeros como Etano(C₂H₆) denominado “gas de síntesis”
- Líquidos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas.
- Sólidos: El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activo.

El producto clasificado como CDR, es un producto de fin reciclaje (no puede ser reciclado directamente) pero puede transformarse en otro producto si es procesado adecuadamente. El CDR, combustible complementario, que se utiliza en co-combustión con otro combustible, que será el principal, sus principales aplicaciones son:

1. Utilizado para producir energía en plantas, donde el combustible principal, de origen fósil o biogás, sirve solo para garantizar la temperatura de combustión superior al límite de formación de las dioxinas.
2. Utilizado en cementeras con porcentaje variable en relación al combustible fósil primario.
3. Utilizado en plantas industriales como integrador del combustible primario fósil.

(Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives, 2003)

A continuación se resume las principales ventajas de la pirólisis:

- Menos costos operativos al ser calderas de baja temperatura (400°- 800° C)
- Emisiones menos impactantes al ambiente
- Los productos de la pirólisis tienen valor comercial, porque son combustibles
- Se puede ajustar al tipo de residuo, el cual puede ser muy variado, para producir aceites y combustibles en mayor o menor cantidad.

Ejemplos Tecnológicos de la aplicación de la tecnología de la pirólisis:

La Empresa italiana Eko Technology (2012), presenta en un contexto de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (I, D&D) la utilización de la pirólisis donde el combustible para el proceso, incluye la utilización a partir del CDR producido previamente, Figura 13. La tecnología de esta empresa se caracteriza por:

1. La materia prima CDR ya no es considerada un combustible secundario sino una materia prima que es transformada, a nivel molecular, en gas de pirólisis, de composición comparable al biogás.
2. Esta ulterior refinación de la materia permite conseguir un producto que es un combustible primario, completamente distinto del residuo originario hasta en las moléculas. Este gas de síntesis conocido como “syngas”, es mucho más rico con respecto al biogás, por contener más hidrógeno, hidrocarburos de cadena simple y cíclica y menor contenido de metano.

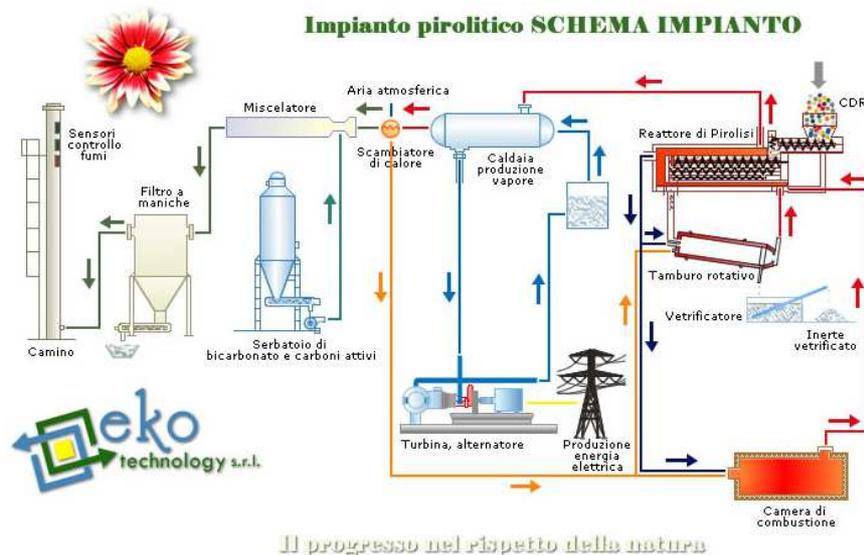


Figura 13. Esquema operativo de la planta de Eko Technology

Fuente: http://www.eko-technology.com/espanol/Planta_de_pirólisis.html, 2013

3. Aunque el “syngas” tenga menos poder calorífico que otros combustibles fósiles, por requerir una reacción inicial más exigente, es posible utilizarlo directamente sin una sustancia adicional detonante. El resultado es energía menos contaminante respecto a la producida por otros combustibles.
4. Con relación a la polución producto de las emisiones gaseosas, esta planta ha logrado añadiendo filtros y dispositivos menos complejos una reducción exponencial de cargas contaminantes, transformando las moléculas peligrosas y contaminantes que

son más pesadas que el hidrógeno, carbono y oxígeno, de gas a estado sólido, vitrificándolas al final del proceso, mediante su transformación molecular. En el proceso se eliminan: cenizas, nanopartículas, humos incombustos, dioxinas, furanos principalmente, porque están ausentes los átomos de los elementos que componen estos contaminantes.

La empresa comercializadora de esta planta, asevera que los beneficios del uso de esta tecnología redundan en los siguientes beneficios:

- Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.
- Cumple con la Norma Europea en cuanto a la minimización de los transportes de los residuos y en la reducción de la contaminación, favoreciendo un entorno más limpio.
- Generación de empleos, ya que una planta de pirólisis que genera 3,5 MWh nominales, requiere 12 trabajadores para procesar un potencial de 120 t/día de CDR.

Otra aplicación exitosa que se le atribuye a la pirolisis es el tratamiento de residuos de neumáticos (cauchos, gomas, llantas). Este proceso es llamado “termólisis”, el cual genera una fracción sólida carbonosa comparable al carbón de buena calidad y ausente de cloro en su composición. La termólisis es una técnica muy interesante desde el punto de vista de la generación de nuevos productos (sólidos y gaseosos), con excelentes propiedades combustibles, lo que redunda en su valorización energética (Otero, 2004).

2.5.4.2 La Gasificación.

La gasificación es un proceso térmico, donde un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico, RSU), es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno). Entre las ventajas del proceso de gasificación están: versatilidad en la valorización del residuo, por su aprovechamiento energético y bajo impacto ambiental (JFE Project, 2011).

La composición de los gases productos, depende del ambiente donde ocurre la gasificación, pero generalmente suelen ser ricos en monóxido de carbono y en hidrógeno,

con contenidos menores de dióxido de carbono, metano y otros hidrocarburos. El sustrato carbonoso de origen y el agente gasificante, son los parámetros que determinan el mayor o menor contenido en energía (poder calorífico) del gas. En el caso de los RSU, la cantidad de energía que se puede aprovechar dependerá de la composición de los mismos (Unizar, 2013).

Las particularidades del proceso y el diseño del reactor, dependerán de varios factores, entre estos: la granulometría, humedad, forma del residuo, exigencia de síntesis del gas y de las condiciones económicas (oferta y demanda en el mercado de productos valorizados), el reactor más común es el gasificador de lecho fluidizado, pudiendo ser equipos fijos o portátiles.

El agente gasificante utilizado es variable, pudiendo ser aire, oxígeno puro, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno. Por estas razones el gas producto del proceso, puede presentar diferentes composiciones, de acuerdo a la conveniencia de mercado (Creus, 2009).

Etapas de un proceso de gasificación:

1. Pre-tratamiento: secado y calentamiento de la materia prima (100°C), condición para el inicio de la gasificación.
2. Pirólisis: ruptura de las macro moléculas dando lugar a otras más pequeñas que están en fase gaseosa ($400\leq^{\circ}\text{C}\leq 800$).
3. Gasificación: oxidación de la fracción carbonosa (más pesada) de la biomasa al entrar en contacto con el agente gasificante ($800\leq^{\circ}\text{C}\leq 1000$).

En los reactores de flujo ascendente llamados “updraft”, el proceso de gasificación no es convencional debido a que ocurre una etapa de reducción previa a la oxidación, originada por la combinación del vapor de agua producido en la primera etapa, con el dióxido de carbono que viene siendo arrastrado, por la corriente generada de la inyección del agente gasificante desde la parte inferior del reactor.

El agente gasificante es necesario para la oxidación parcial del residuo carbonoso de los RSU, la condición exotérmica de la reacción deriva en la elevación de la temperatura, ocasionando la recombinación hacia hidrógeno molecular y monóxido de carbono y a continuación, actúa en la reducción y en la síntesis del gas producto (IDEA, 2007).

Requiriendo la gasificación controles muy estrictos, la variabilidad de la materia prima afecta la calidad del proceso y como la composición de los RSU es casi siempre heterogénea, es recomendable controlar la calidad de los mismos ejerciendo un tratamiento inicial mediante procedimientos mecánicos de segregación, selección trituración y secado, como paso previo a lograr una granulometría adecuada (COCO GUM, 2013).

Es frecuente confundir el método de pirólisis con la gasificación e incluso con la combustión. En los primeros dos casos, al ser la pirólisis una de las etapas del proceso de gasificación, es más confuso diferenciarlos, siendo la diferencia fundamental en que la gasificación utiliza oxígeno para acelerar las reacciones de disociación de la materia y para la formación de los productos finales gaseosos, mientras que la pirólisis ocurre en ausencia de oxígeno. Con relación a la combustión es un proceso que requiere alta temperatura y saturación de oxígeno. Las diferencias cualitativas entre estos tres procesos son mejor apreciadas en la Figura 14, cuando son expresadas en función de la relación Oxígeno/Combustible (Eje X) y la Temperatura (Eje Y):

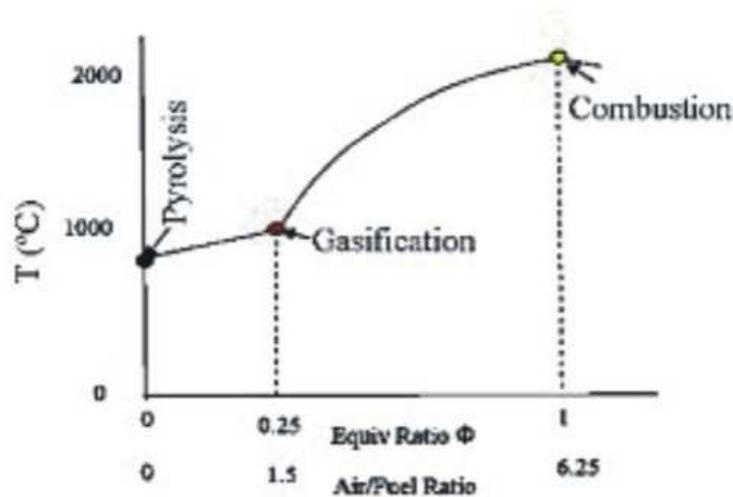


Figura 14. Tipos de procesos térmicos en función a Temperatura y contenido de Oxígeno.

Fuente: JFE Project, 2011

Se aprecia que la relación Aire/Combustible, es la variable crítica para definir el tipo de proceso que ocurre, ya que la temperatura puede oscilar dentro de sus rangos operativos respectivos, mientras que el oxígeno ubica con precisión el proceso actuante, lo cual se desprende de la gráfica de la Figura 16:

- Aire/Combustible = 0, Pirólisis.
- Aire/Combustible < 1.5, Gasificación.
- Aire/Combustible > 1.5, Combustión/Incineración.

2.5.4.3 La Incineración

La incineración es un proceso de combustión controlada, en presencia de altas cantidades de oxígeno que generalmente se opera en rangos de temperatura comprendida entre $800 \leq ^\circ\text{C} \leq 1.200^\circ\text{C}$, cuando se supera el rango mayor, se logra una gran capacidad de reducción de los desechos tóxicos y peligrosos, llevándolos a escorias de reducido impacto ambiental y de fácil disposición. La aplicación de esta tecnología evita la utilización de extensas áreas abiertas de vertederos ya que la reducción del volumen de residuos es de 80% - 85% por lo cual demuestra una practicidad muy favorable (Baird, 2001).

Visto de un punto de vista socio-ambiental, este proceso transforma los residuos gracias a la combustión controlada, de la fracción inflamable de los mismos, convirtiéndolos en materiales inertes, cenizas y gases (Creus, 2009).

Los gases son expulsados a alta temperatura y es preciso enfriarlos antes de su evacuación a la atmósfera, el calor recuperado durante esta operación, es el fundamento de su utilidad al emplearse para la generación de vapor para alimentar turbinas de generación eléctrica (APPA, 2000).

Las cenizas y gases finales exigen medidas complementarias de tratamiento, como el lavado de los mismos hasta cumplir la normativa exigida y la disposición de las cenizas en vertederos controlados. La incineración deviene como tecnología obligada para cierta tipología de residuos tales como los residuos industriales orgánicos peligrosos, residuos infecciosos hospitalarios o ciertos compuestos fitosanitarios (Creus, 2009).

En algunos casos particulares como en la incineración de los lodos papeleros, se requieren elevadas temperaturas ($>1300^{\circ}\text{C}$), a fin de lograr la reacción que degrade completamente este residuo (Sakurai, 1984).

Un ejemplo destacable en Incineración, es el de Palma de Mallorca, España; el cual es un conjunto industrial de incineración desarrollada por la empresa Tirme lo que ha substituido por completo el uso de vertederos en la misma. Esta planta tiene una capacidad de tratamiento alrededor de las 430.000 t/año de RSU (Figura 15).



Figura 15. Instalaciones del complejo industrial de Incineración de Palma de Mallorca.

Fuente: Tirme (2014).

2.5.4.4 Comparación entre los tres procesos térmicos

Los tres procesos térmicos antes descritos son variados en funcionalidad y los productos obtenidos en son particulares, entre las diferencias fundamentales y características productivas de cada uno (Cuadro 4), es conveniente analizar el producto a obtener, para la adecuada selección de la tecnología más apropiada, en el marco de crear una industria de recuperación y tratamiento de RSU, ambiental y económicamente sostenible.

Cuadro 4 Comparación de los procesos térmicos.

Proceso	Reducción del volumen de residuos	Impacto ambiental	Productos finales
Incineración	Hasta un 85%	Leve (con control de emisiones)	Escorias, cenizas carbonizadas y estabilizadas que no tienen capacidad de reaccionar con ningún otro elemento del ambiente.
Pirólisis	Hasta un 95%	Muy Leve (con control de emisiones)	CDR: Carbón sólido, aceites combustibles y cenizas inertes. Estos productos no pueden ser desechados directamente en vertederos abiertos exceptuando las cenizas.
Gasificación	Hasta un 95%	Muy Leve (con control de emisiones)	Gases de múltiples usos, incluyendo; combustible para motores y turbinas, para sistemas de refrigeración. Pocas escorias remanentes no aptos para vertederos abiertos, pero que se pueden reutilizar en el mismo sistema o comercializarse como combustibles secundarios.

Fuente: Propia

En el proceso de pirólisis, se obtienen productos combustibles en estado sólido, carbón mineral y en estado líquido, aceites combustibles. Los CDR tienen alto valor energético, siendo generalmente combustibles de uso secundario y terciario, éstos materiales no se pueden disponer en vertederos de ningún tipo debido al riesgo de ocurrencias de incendios espontáneos que podrían tener volatilizaciones violentas.

De la gasificación se obtienen gases combustibles, gases para sistemas de refrigeración y para otros usos particulares, dependiendo de parámetros de diseño donde son muy influyentes las características del agente gasificante y de la materia prima utilizada en la planta, las cuales pueden ser RSU o CDR.

La comercialización de CDR y del “Gas de Síntesis”, es el punto fuerte de las plantas de pirólisis y gasificación, sin embargo debe existir una demanda de estos bienes que haga rentable su producción, lo que influye en la selección de alguna de estas tecnologías para el tratamiento de RSU de una localidad.

En el marco del manejo de residuos, la comercialización de CDR puede considerarse un mecanismo de disposición final, ya que este bien es adquirido por una industria que aproveche los combustibles secundarios o terciarios en sus procesos productivo, terminando con el ciclo de este material. Por lo tanto, la selección de tecnologías de procesos térmicos

de pirólisis o gasificación para el tratamiento de RSU, solo debe tener lugar si existe un mercado de bienes y servicios directos o derivados, de los CDR o del gas síntesis. En caso de que no exista ese contexto socioeconómico, esta selección de tecnologías podría resultar peligrosa a nivel ambiental ya que tendría que buscarse otras alternativas para disponer los CDR, reiterándose que éstos no pueden ser dispuestos en vertederos o rellenos.

La incineración no depende de la existencia de un contexto de comercialización de CDR, debido a que la fracción combustible de los RSU es degradada totalmente, obteniéndose cenizas y escorias inertes sin ningún valor energético, pudiendo ser dispuestas en rellenos o vertederos de forma inmediata, requiriéndose un máximo de un 15% de la superficie de un relleno sanitario, pero pudiese presentarse una demanda de comercialización de las escorias, para utilizarse como agregados para la construcción.

2.6 TECNOLOGÍAS DE INCINERACIÓN DE RSU

La investigación y desarrollo tecnológico para el proceso de incineración, ha venido avanzando en los últimos años a una gran velocidad, lo cual se demuestra a través de la oferta particularizada en procesos, equipamiento y sistemas, algunos de los cuales se discutirán a continuación.

Fernández (2007) menciona que existen diversas tecnologías disponibles para la combustión de residuos sólidos urbanos, destacando las principales:

- Hornos de parrillas
- Hornos rotativos
- Hornos de lecho fluidizado.

Trejo (1994) hace mención más detallada, puntualizando que existen hornos de:

- 1) "Funcionamiento discontinuo:
 - a) De emparrillado fijo.
 - b) De solera y emparrillado basculante.
 - c) De emparrillados fijos y basculantes.
 - d) Venien.
 - e) Heenan-Froude.
- 2) Funcionamiento continuo:
 - a) SteinMuller
 - b) Alberti
 - c) Venien de hogar de fin de combustión

- d) Barkhuus
 - e) De emparrillado de sectores articulados
 - f) Martin
 - g) Von Roll
 - h) Parrilla sin fin
 - i) Parrillas sin fin (CombustionEngineering y V.K.W.)
 - j) De escalones Basculantes (Esslingen, Flynn-Emrich, HeenanNicholson, Triga Tipo C)
- 3) Hornos Rotatorios:
- a) Commentry
 - b) Fas
 - c) Térmico general
 - d) Sepi
 - e) Lillers
- 4) Mixtos. Combinan varios métodos anteriores:
- a) Volund”

2.6.1. Parrillas de Incineración.

Las parrillas de incineración poseen una estructura en forma de cangilones o rodillos móviles, encargados de mover, mezclar y atizar los residuos para favorecer el proceso de combustión. El comburente (aire u oxígeno) utilizado es aire, que es inyectado a través de las estructuras anteriormente mencionadas (Trejo, 1994).

Los incineradores de parrilla se aplican ampliamente en la incineración de RSU, en Europa, aproximadamente el 90 % de las instalaciones de incineración, utilizan parrillas (Comisión Europea, 2013), el corte longitudinal de una instalación de un incinerador de parrillas, puede apreciarse en la Figura 16.

La razón primordial del uso de la parrilla de incineración, es lograr una buena distribución del comburente en el horno, de acuerdo con los requisitos de combustión. Una corriente artificial (soplado) de aire primario fuerza la entrada de aire, a través de pequeñas aberturas de la parrilla. Normalmente se añade más aire sobre el lecho de los RSU para completar la combustión.

En el material incinerado pueden existir que algunos gránulos finos (que a veces se denominan cribados o tamizados), caigan por las aberturas de la parrilla, el cual es recuperado en el fondo por el extractor de ceniza, el cual puede reciclarse a la parrilla para su nueva incineración o retirarse directamente para su eliminación. Cuando este material se reinserte

en la tolva de alimentación, debe tenerse el cuidado de que no incendie los RSU que están en la tolva.

La parrilla de incineración realiza las siguientes funciones: transporte y carga de los materiales a incinerar a través del horno; así como esponjamiento (aumento de la densidad aparente) de los materiales a incinerar y posicionamiento del material en la zona de incineración principal dentro de la cámara de incineración (Comisión Europea, 2013).

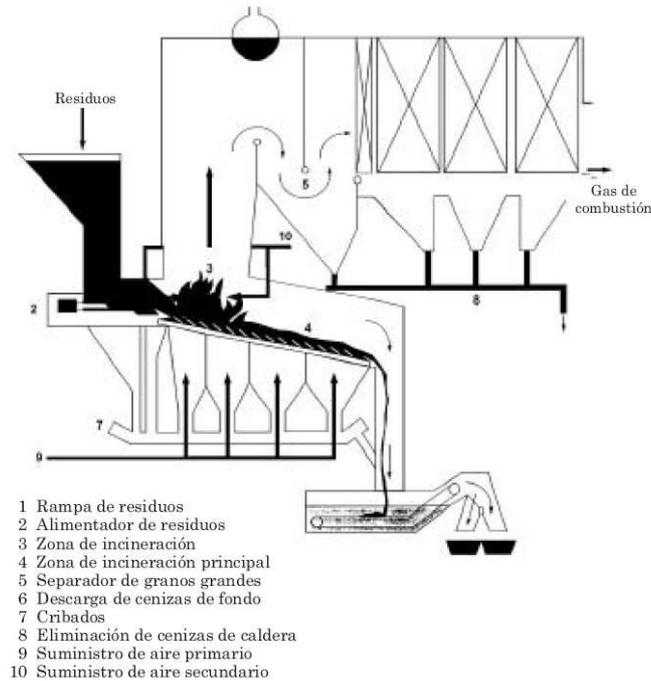


Figura 16. Funcionamiento de incinerador de parrilla.

Fuente: Comisión Europea (2013).

Tipos de parrillas:

El hogar en los hornos de parrillas móviles está generalmente configurado en forma de gradas o cangilones colocados a lo largo de un plano inclinado y la velocidad de las parrillas, así como el flujo de aire en diversas zonas pueden ser ajustadas y en las gradas móviles se produce el volteo y atizado de los residuos, disponiéndose en algunos casos escalones para mejorar el proceso, con el fin de que la combustión de los RSU se lleve a cabo óptimamente (Fernández, 2007).

Fernández (2007) clasifica los tipos de parrillas móviles en:

- “Parrillas de alimentación de avance” (Forward feed grate): En este tipo de parrilla, las gradas o cangilones móviles producen un flujo de los RSU avanzando a lo largo del horno (Figura 17).

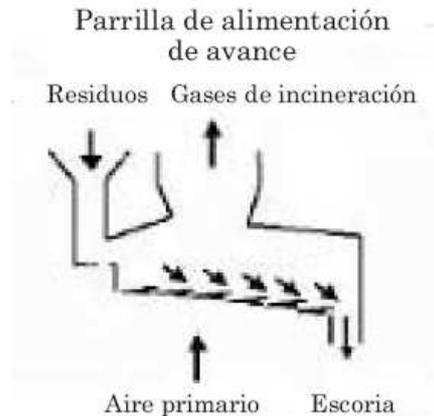


Figura 17. Parrilla de alimentación de avance.

Fuente: Comisión Europea (2013).

- “Parrillas reciprocantes” (Reciprocating grate): Las parrillas de este tipo, poseen gradas escalonadas móviles empujan hacia adelante los residuos acumulados sobre las mismas. De esta forma, los residuos situados en la parte superior del lecho son volcados por efecto de la inclinación de la parrilla y del movimiento de los escalones (Figura 18).

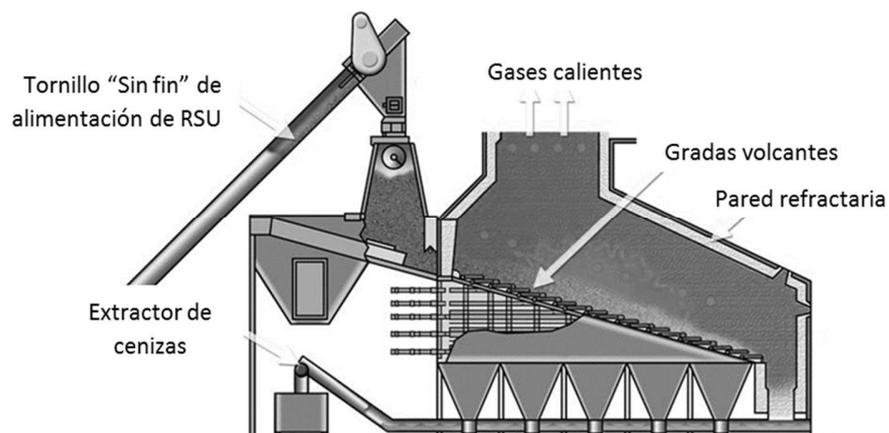


Figura 18. Parrilla reciprocante.

Fuente: Wellons Fei Corp (2014).

- “Parrillas de movimiento combinado o vaivén” (Combined forward and backward moving grate): En este tipo de parrilla, cada grada se mueve a contracorriente de la anterior, de esta forma, una empuja los residuos hacia adelante, mientras que la otra se mueve hacia atrás para crear el espacio necesario para acoger los residuos procedentes de la grada inmediatamente anterior (Figura 19).

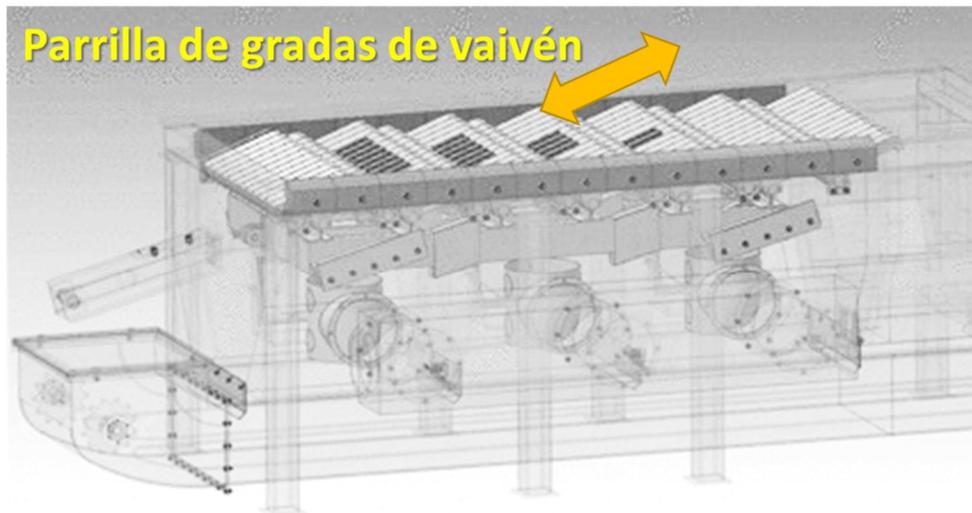


Figura 19. Parrilla de gradas de vaivén.

Fuente: WN.com (2014).

- Parrillas de rodillos móviles: Consisten en un rodillo perforado que atraviesa el ancho de la zona de parrilla (Figura 20). En el horno se disponen varios rodillos instalados en serie, y se produce una agitación en la zona de transición, cuando el material se desprende de los rodillos (Comisión Europea, 2013).

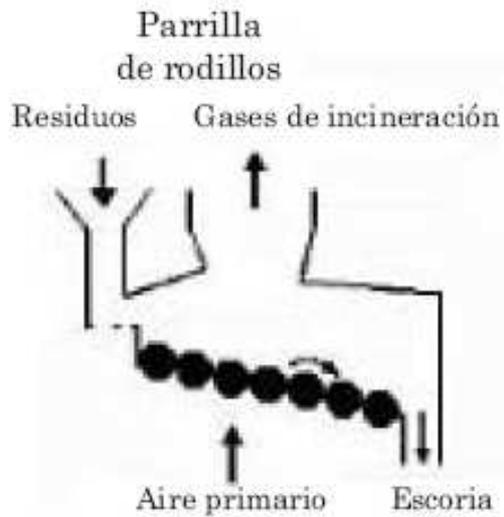


Figura 20. Parrilla de rodillos móviles.
Fuente: Comisión Europea (2013).

La eficiencia energética de las plantas incineradoras depende fundamentalmente de los parámetros de diseño del sistema de vapor, porque las diferencias existentes entre las diferentes tecnologías de parrillas son poco significativas, todas ellas, la intensidad del proceso de combustión puede ser regulada por medio de la velocidad de la parrilla y de la inyección de aire de combustión. Así mismo, todas cuentan con un sistema de inyección de aire secundario o de recirculación para favorecer la homogeneización y la completa combustión de los gases (Fernández, 2007).

En las plantas modernas, la interacción entre el sistema de alimentación, velocidad de parrilla y aire primario y secundario es regulada por medio de un complejo sistema de control, en función de los parámetros de combustión deseados y de la producción de vapor en la caldera, además, todas ellas disponen de quemadores auxiliares de gas para el proceso de arranque y parada.

Las parrillas cuentan con sistemas de extracción para el procesado de las escorias generadas durante el proceso de combustión, el descargador de ceniza de fondo, se utiliza para enfriar y extraer el residuo sólido que se acumula en la parrilla, también sirve como junta de estanqueidad para el horno y para enfriar y humidificar la ceniza. Para la extracción de la ceniza del fondo se utilizan normalmente sistemas de pistón y arrastre llenos de agua,

también se suelen utilizar cintas transportadoras para la descarga de las cenizas y algunos objetos voluminosos que puedan quedar (Comisión Europea, 2013).

En este tipo de instalaciones, el horno de parrilla y el eliminador de escorias, están integrados en una misma unidad con la caldera, para un aprovechamiento óptimo del calor generado. Esto se consigue disponiendo en las paredes del hogar, tubos con agua del sistema de calderas, logrando de esta forma refrigerar las paredes de la cámara de combustión, y al mismo tiempo emplear el calor disipado para la posterior generación de energía (Fernández, 2007).

Los incineradores se diseñan con una cámara de Postcombustión donde los gases alcanzan temperaturas superiores a los 850 °C y con un tiempo de retención de al menos dos segundos este proceso es con el fin de cumplir con La Directiva 2000/76/CE (Fernández, 2007 y Creus, 2009). Posteriormente son conducidos a la zona de calderas equipadas con superficies calefactoras, incluyendo economizadores, evaporadores y sobre calentadores. El vapor generado en la zona de calderas es posteriormente inducido a presión en una turbina. Si sólo se genera electricidad, el rendimiento general de una planta de incineración se sitúa en torno al 20%. Si además se implementan sistemas de aprovechamiento de calor, para calefacción, el rendimiento generar puede elevarse hasta un 80% (Fernández, 2007).

2.6.2. Hornos Rotatorios

La tecnología de horno rotatorio consiste en un horno cilíndrico dispuesto horizontalmente, con una ligera inclinación y equipado con un sistema de rotación como se aprecia en la Figura 21. Como resultado de su inclinación y rotación, los residuos son transportados y volteados, lo que provoca un intenso contacto con el aire primario que fluye a lo largo del eje del horno (Trejo, 1994).

Los hornos rotativos son sistemas cerrados, lo que implica que también pueden ser alimentados con residuos líquidos y viscosos, esta clase de hornos son muy utilizados en la fabricación de cemento.

Los gases procedentes del horno son conducidos a una cámara de postcombustión, donde se alcanzan las temperaturas necesarias para la combustión completa de los compuestos orgánicos tóxicos. Las escorias abandonan el horno, ya fundidas o sintetizadas,

siendo el sistema de tratamiento de las mismas, similar al empleado en las plantas con tecnología de parrilla (Fernández, 2007).

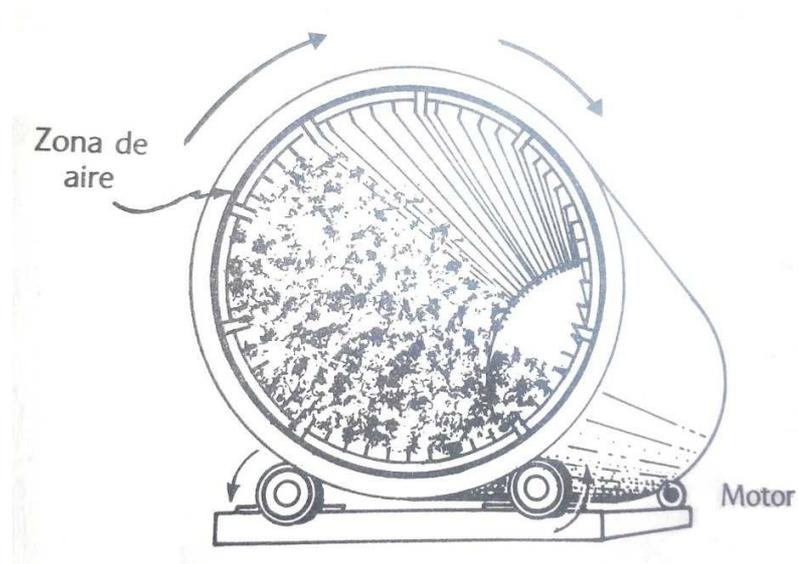


Figura 21. Horno de Incineración Rotatorio.

Fuente: Trejo (1994).

Esta tecnología es cada vez menos utilizada para el procesamiento de RSU a causa de la complejidad de incorporar la cámara de postcombustión, sistema de control necesario para cumplir con la normativa referente a las emisiones. En este caso como en los anteriores, las cámaras de postcombustión se diseñan como estructuras adiabáticas con recubrimiento refractario cerámico. El sistema de recuperación de calor de los gases de combustión para la generación de vapor, en los hornos rotatorios, es similar al empleado por las plantas de parrillas (Fernández, 2007).

2.6.3. Hornos De Lecho Fluidizado

Los hornos de lecho fluidizado, a diferencia del horno de parrillas, cuentan con una cámara de combustión cilíndrica, con forma cónica en su parte inferior. En la parte inferior de dicha cámara, el horno cuenta con un sustrato de fondo, que se mantiene en constante agitación gracias a la inyección de aire de fluidización (Fernández, 2007).

Estos hornos funcionan al inyectar partículas sólidas, en una corriente de gas (Figura 22), que asciende en condiciones cuidadosamente controladas en un movimiento heterogéneo de partículas, lo que provoca que la masa tenga su característica de fluido (Trejo, 1994).

Existen dos tipos de hornos de lecho fluidizado, que son: Lecho Fluido Burbujeante y Lecho Fluido Circulante. La principal diferencia entre ambos radica en la velocidad del aire de fluidización. Los lechos burbujeantes operan en rangos de velocidades cercanas al doble de la velocidad de fluidización (velocidad mínima para mantener el sustrato en suspensión), mientras que los lechos circulantes operan a velocidades más elevadas (aproximadamente a 20 veces la velocidad de fluidificación), lo que implica que una significativa porción del lecho es arrastrada de la cámara de combustión, por lo que deberá ser posteriormente recuperada en un ciclón.

Los lechos burbujeantes son empleados en instalaciones con potencias de hasta 100 MW mientras que para instalaciones con aportes térmicos superiores (y en la práctica a partir de 50 MW), se emplean los lechos fluidos circulantes (Fernández, 2007).

Creus (2009) indica que el combustible debe ser administrado a una velocidad controlada, algo que resulta en complicaciones en el diseño de incineradores de lecho fluidizado. Quizá por esto, Fernández (2007) expone que el procesamiento de RSU en incineración de lecho fluidizado es de poco uso en Europa debido principalmente a la necesidad de acondicionar los RSU antes de su incineración y adicionalmente debido a una mayor generación de cenizas volantes, que posteriormente deben ser tratadas con el consiguiente aumento de los costos de operación.

Los RSU deben ser preparados previamente para que cumplan las características requeridas por el sistema. Requieren ser pulverizados para reducir el tamaño del grano y de esta forma permitir su fluidización (Fernández, 2007). Algunos sistemas de incineración de lecho fluidizado admiten partículas de aproximadamente 5 cm de diámetro equivalente y la temperatura del lecho varía de 800 a 900°C (Trejo, 1994).

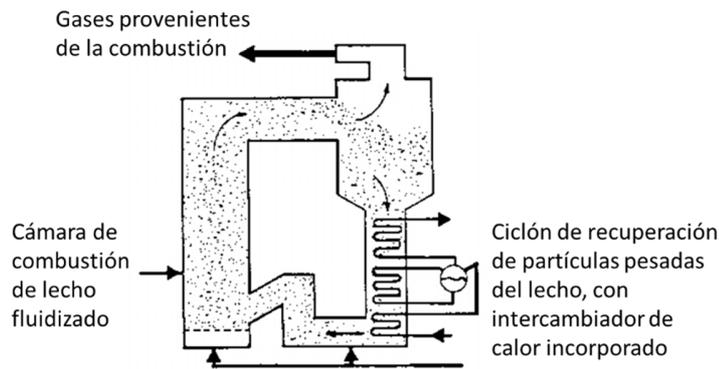


Figura 22. Incinerador de lecho fluidizado.

Fuente: Bergman, P. y Dille, J. (1982).

Según La Verde (2010) El sustrato o material de fondo es inerte y usualmente está constituido por: arena, cenizas, piedra caliza y/o material adicional y a este se le agrega el material combustible proveniente de los RSU. Se recomienda que la proporción del material combustible agregado no sea superior al 5% del peso total del lecho, usualmente el rango oscila de 2 a 5%.

Para tener idea de la obra para aplicarla en un caso real, el autor citado anteriormente, cuantificó la generación de material de corte (césped) de los jardines de la Facultad de Agronomía de la UCV en el campus Maracay dando un estimado total de 510 tmes^{-1} y considerando que el incinerador estaría funcionando 24 horas diarias, estaría siendo alimentado por un flujo másico de 1 t hr^{-1} , lo cual da un diseño de requerimiento de la cámara de combustión de $0,553 \text{ m}^3$ y tomando en cuenta un diámetro práctico que no obligue a un requerimiento de excesiva energía para fluidizar el lecho, se seleccionó una tubería comercial STD de $0,514 \text{ m}$ de diámetro (30 pulgadas) y de $2,66 \text{ m}$ de altura, con lo cual puede apreciarse, que un equipo de esta naturaleza, incluyendo el equipamiento conexo, ocuparía muy poca superficie. El diseño en cuestión puede apreciarse en la Figura 23.

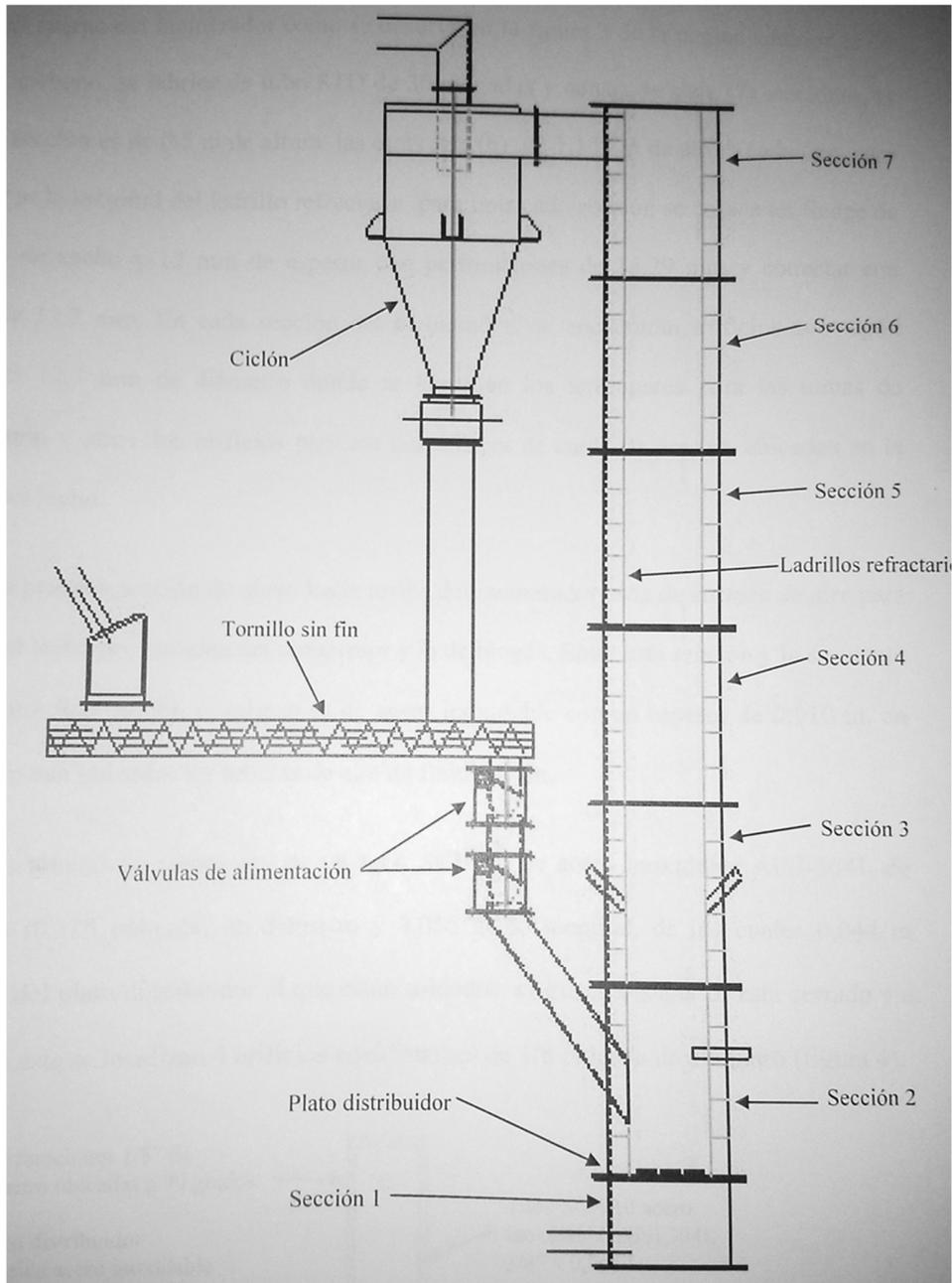


Figura 23. Incinerador de lecho fluidizado diseñado en la Facultad de Agronomía de la UCV.

Fuente: La Verde (2010).

Fernández (2007) señala, que las tecnologías de lechos fluidizados permiten obtener plantas más compactas y adaptables a un mayor rango de poderes caloríficos. Sin embargo Trejo (1994) comenta, que desarrollar un combustor que funcione bien a altas presiones y la presencia de partículas corrosivas en los gases de salida representan un gran problema, por

lo tanto los equipos de estas plantas se deben fabricar con materiales muy confiables y de muy alta calidad, lo que influye en sus costos de construcción, por lo que la manufactura o adquisición de equipos de incineración de lecho fluidizado resultan ser costosos.

2.7 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE GASES.

Durante el proceso de incineración de RSU se generan gases con un alto contenido en agentes contaminantes y potencialmente tóxicos, en gran medida debido a la heterogeneidad del combustible. En la Unión Europea, el Desarrollo de sistemas de incineración y térmicos a fin, debe cumplir con los parámetros indicados en las normas 2000/76/CE⁴ y en el caso de España el RD 653/2003⁵ (Fernández, 2007).

La Directiva 2000/76/CE, define los valores límites de los contaminantes que se listan en el Cuadro 5, en éste se especifica los valores límites para las instalaciones de incineración e incluyen: metales pesados, dioxinas y furanos, monóxido de carbono (CO), cenizas, carbono orgánico total (COT), cloruro de hidrógeno (HCL), fluoruro de hidrógeno (HF), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), (Creus, 2009).

Cuadro 5. Valores límites de sustancias de La Directiva 2000/76/CE para Plantas de Incineración nuevas y ya existentes.

Sustancia	Límite
Partículas totales	10mg/m ³
Sustancias orgánicas en estado gaseoso y de vapor expresadas en carbono orgánico total.	10mg/m ³
Cloruro de Hidrógeno (HCL)	10mg/m ³
Fluoruro de hidrógeno (HF)	1mg/m ³
Dióxido de azufre (SO ₂)	50mg/m ³
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂), para instalaciones de incineración existentes y nuevas de capacidad nominal superior a 6 Tm/h.	200mg/m ³
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂), para instalaciones de incineración existentes y nuevas de capacidad nominal no superior a 6 Tm/h.	400mg/m ³

Fuente: Creus, 2009

Las normas antes citadas, fueron diseñadas para controlar las emisiones de los procesos de incineración de los RSU, las cuales obligan a que la generación secundaria de

⁴La Directiva 2000/76/CE de 4 de Diciembre de 2000 del Parlamento Europeo establece los límites legales de emisión a la atmósfera permitidos para las instalaciones incineradoras.

⁵RD 653/2003, de 30 de Mayo de 2003, Real Decreto de España que valida a La Directiva 2000/76/CE como normativa para el establecimiento de incineradoras de residuos.

substancias tóxicas, deben ser controladas en la misma facilidad tecnología implementada. Por lo tanto un análisis de los cumplimientos que requieren estas normas es muy necesario si se tiene la intención de reproducir cualquier sistema de tratamiento de RSU.

De los requerimientos de la norma, podemos destacar que los gases resultantes de la incineración y de la co-incineración, deben mantenerse a una temperatura mínima de 850°C durante al menos 2 segundos. Si se incineran residuos peligrosos que contengan más del 1% de sustancias órgano-halogenadas, expresadas en cloro, la temperatura debe elevarse hasta 1100°C durante 2 segundos como mínimo.

Para lograr el cumplimiento de las normas anteriormente presentadas se han desarrollado diversas tecnologías que se detallarán a continuación.

2.7.1 Separación de partículas.

En los gases existen diversos tamaños de partículas (ver Figura 25). Se consideran partículas: las cenizas volantes y finas arrastradas en el horno, los componentes condensados, los reactivos y los productos formados como consecuencia de otros procesos de limpieza de gases.

Para la eliminación de partículas en el flujo de gases pueden emplearse diversos equipos, tales como:

- Precipitadores electrostáticos.
- Filtros de mangas.
- Lavadores venturi (“scrubbers”)
- Ciclones

1. Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos consisten en un recinto de estancamiento del gas con electrodos en su interior, donde los gases son forzados a circular a través de conductos con un espesor aproximado de 20 a 40 cm, formados por pletinas metálicas cargadas eléctricamente (electrodos colectores). En el medio de los conductos se sitúan los electrodos de descarga que generan un campo electroestático mediante el empleo de corriente continua y de esta forma, las partículas presentes en el flujo de gases ceden su carga eléctrica al electrodo colector, quedando adheridas al mismo. Posteriormente son recogidas y depositadas en las tolvas situadas en la parte inferior del equipo (Figura 24).

Para aumentar la efectividad del proceso, los electrodos deben ser operados lo más cerca posible del voltaje de descarga disruptiva. (Fernández, 2007).

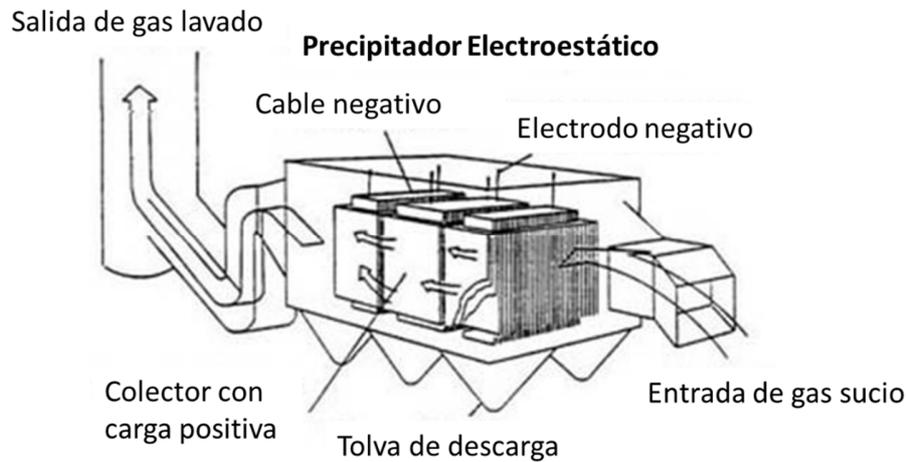


Figura 24. Precipitador electrostático.
Fuente: UNAD (2014).

2. Filtros de mangas

Los filtros de mangas son equipos que emplean filtros de fibras a través de los cuales circulan los gases de combustión y en los que se quedan retenidas las partículas contenidas en el mismo (Figura 25). Estos filtros deben ser regenerados a espacios de tiempo regulares y en función del proceso de limpieza se distinguen dos tipos (Fernández, 2007):

- Limpieza off-line: El flujo de gases debe ser interrumpido para acometer las labores de limpieza, generalmente mediante vibración.
- Limpieza on-line: En estos equipos el proceso de limpieza no requiere la interrupción del flujo de gases y se realiza generalmente mediante la inyección de impulsos de aire a presión.



Figura 25. Filtro de mangas.

Fuente: Comisión Europea (2013).

Los filtros deben ser realizados en materiales de fibra con suficiente resistencia mecánica, tolerancia a altas temperaturas, resistencia a ácidos y soluciones cáusticas y buena permeabilidad al aire. Para evitar la formación de dioxinas y furanos, los filtros de mangas deben operar por debajo del rango de temperaturas de síntesis de 200 – 500°C (Comisión Europea, 2013).

3. Lavadores Venturi o “scrubbers”

Son dispositivos que utilizan un flujo líquido, regularmente agua para la remoción de las partículas sólidas. El flujo de aire contaminado pasa a través de una constricción en el ducto (garganta del Venturi), que aumenta la turbulencia y velocidad del fluido (Figura 26). En ese momento el flujo recibe una aspersión de agua que se mezcla con las partículas. Al expandirse el ducto se reduce la velocidad del fluido y las partículas, con agua caen del flujo de gas. La eficiencia de estos sistemas para partículas de menos de 10µm puede alcanzar el 99%. Estos dispositivos suelen acompañarse de un ciclón para separar las partículas líquidas. Una desventaja es que este proceso se genera un agua residual contaminada la cual deberá de ser tratada (UNAD, 2014)

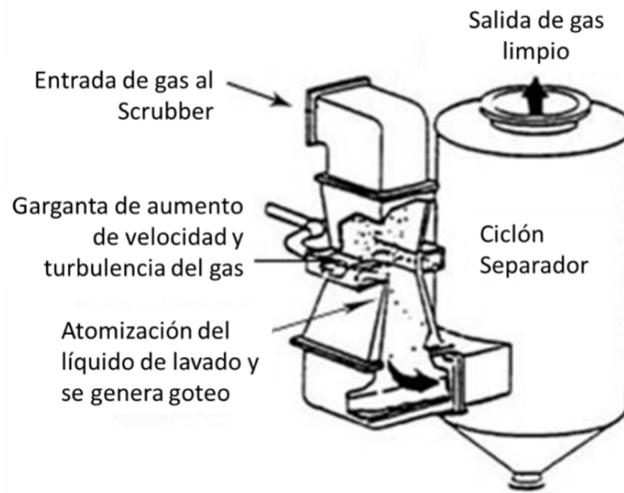


Figura 26. Lavador Venturi “Scrubber”.
Fuente: UNAD (2014).

4. Ciclones

Los ciclones son equipos que permiten separar partículas de gran tamaño empleando un proceso de centrifugación de gases (Figura 27). Los equipos más empleados son los de tipo axial con recogedores de polvo cónicos en su parte inferior. (Fernández, 2007)

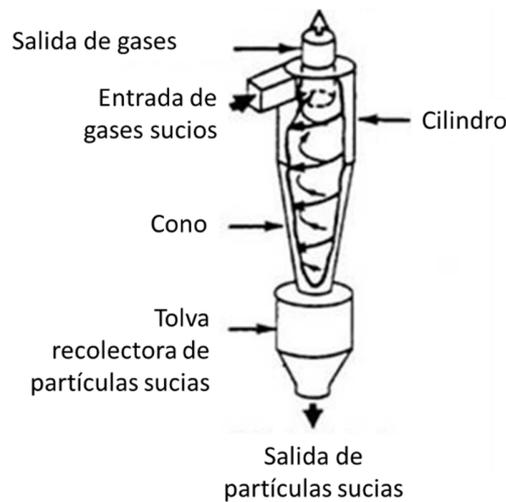


Figura 27. Ciclón Separador
Fuente: UNAD (2014).

Tomando en cuenta el diámetro de la partícula deberá seleccionarse cual equipo es el más apropiado para ejercer la adecuada limpieza que se generan en el proceso de

incineración. La Figura 28, puede usarse como índice para precisar el equipamiento requerido para la depuración del gas.

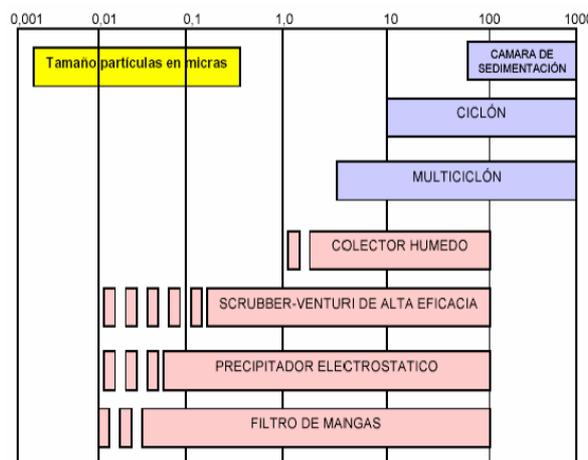


Figura 28. Tamaños de las partículas presentes en distintos componentes de un sistema de lavado de gases de incineración.

Fuente: Fernández, 2007.

2.7.2 Tratamiento de lavado químico de gases.

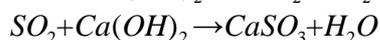
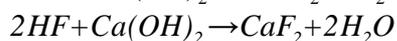
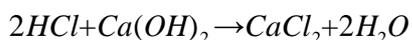
Los gases que se forman durante el proceso de combustión, deben ser reducidos para cumplir con normativas que regulan la concentración de los mismos, de acuerdo a los parámetros técnicos incluido en las legislaciones, esto se logra mediante el denominado “lavado de gases”, que actúa para la reducción de los gases ácidos. Los procedimientos a aplicar se clasifican en: lavado seco, semi-seco y húmedo, los cuales se detallan a continuación con sus respectivas ecuaciones estequiométricas⁶:

- Proceso seco y semisecho.

Consiste en la inyección de un agente neutralizador en el flujo de gases, generalmente en un equipo absorbedor que facilita la reacción de neutralización y la recogida de los productos del proceso. El reactivo utilizado para llevar a cabo el proceso de limpieza es Cal, que en el caso seco se pulveriza en estado sólido sobre la corriente de gases, mientras que en el caso semi-seco se pulveriza sobre los mismos en forma de lechada de cal. En ambos casos

⁶Ecuaciones estequiométricas adaptadas de IHOBE (2014), Comisión Europea (2013) y Fernández (2007) donde; (l): líquido, (g): gas y (s): sólido, +: ión positivo, -: ión negativo

los residuos generados se encuentran en estado sólido. Las reacciones que tienen lugar en el absorbedor son:

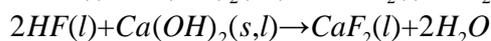
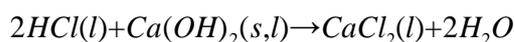


- Proceso húmedo

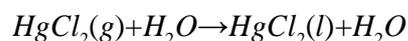
Consiste en dos etapas que ocurren en los Lavadores Venturi llamados “Scrubbers” antes descritos, en los cuales se le ha adicionado los reactivos necesarios en el flujo del agua asperjada. En la primera etapa, se lleva a cabo el enfriamiento de los gases hasta su temperatura de saturación, además de la absorción de los compuestos halógenos y el mercurio. El HCl y HF son absorbidos al entrar en contacto con el agua pulverizada:



Posteriormente, los iones ácidos absorbidos reaccionan con el hidrato cálcico presente en el agua formando sus respectivas sales:



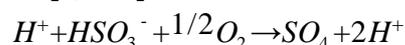
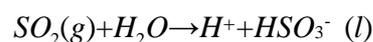
Durante esta etapa parte del mercurio presente en los gases puede ser eliminado:



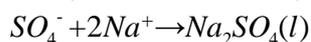
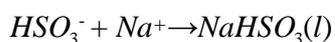
En la segunda etapa del proceso de limpieza húmedo se lleva a cabo la eliminación del SO₂. Añadiendo hidróxido de sodio, hidrato cálcico o carbonato cálcico.

Las reacciones que tienen lugar en cada caso son:

- Reactivo: NaOH

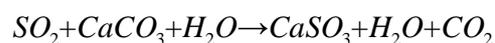


Después:



- Reactivo: hidrato cálcico: Similares a las del modo semi-seco, con la diferencia que los productos residuales serán húmedos.

- Reactivo: Carbonato cálcico



2.7.3 Eliminación de los óxidos de nitrógeno NOx

Los óxidos de nitrógeno (NOx) pueden formarse durante el proceso de combustión (ver Figura 29), en las documentaciones de la Comisión Europea (2013) y Fernández (2007) se indica que estas formaciones de nitrógeno pueden ocurrir de tres formas distintas:

- NOx térmico: Durante el proceso de combustión parte del nitrógeno del aire empleado como comburente se oxida formando óxidos de nitrógeno. Esta reacción solo se produce a altas temperaturas y es directamente proporcional a la presencia de oxígeno. La cantidad de óxidos de nitrógeno formados aumenta exponencialmente con la temperatura.
- NOx combustible: Procedente de la oxidación de parte del nitrógeno contenido en los residuos durante la incineración.
- NOx inicial: Procedente de reacciones con radicales: El nitrógeno del aire de combustión también puede ser oxidado reaccionando con radicales CH y la consecuente formación intermedia de HCN. En cualquier caso esta forma de producción es de escasa importancia.

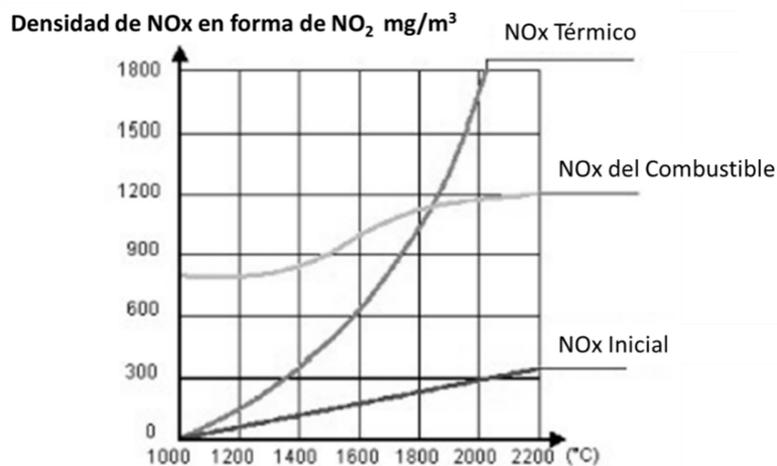


Figura 29. Formación de óxidos de nitrógeno en función de la temperatura.

Fuente: Fernández, 2007.

Las emisiones de NOx pueden ser reducidas mediante la adopción de medidas primarias y secundarias.

Medidas primarias

Las medidas primarias tratan de reducir principalmente la reducción de la formación de NOx térmico. Éstas son principalmente:

- Uso de hornos con baja producción de NOx: implementan tecnologías que reducen la concentración de oxígeno en las zonas de mayor temperatura del horno, creándose así una atmósfera reductora que minimiza la generación de NOx térmico. La combustión completa se logra inyectando mayor cantidad de oxígeno en las zonas con temperaturas más bajas (Fernández, 2007).
- Combustión por fases: En determinadas plantas se puede reducir la formación de NOx mediante una combustión por etapas. En la primera etapa se introduce oxígeno por debajo de la cantidad estequiométrica. En la segunda etapa se completa la combustión mediante la inyección de aire secundario, a temperaturas más bajas (Fernández, 2007). La reducción del aporte de oxígeno en las zonas de reacción primaria y luego aumentar el suministro de aire (y con ello el oxígeno) es controlada en zonas de combustión posteriores para oxidar los gases formados. Estas técnicas requieren una mezcla efectiva del aire y el gas en la zona secundaria para asegurar que el CO (y otros productos de combustión incompleta) se mantenga en bajos niveles (Comisión Europea, 2013).

Medidas secundarias

Las medidas secundarias tienen por objeto la reducción de óxidos de nitrógeno ya presentes en los gases de combustión. Esto se logra mediante la inyección de un agente reductor en el flujo de gases, como el amoníaco y dependiendo de la temperatura a la que se lleve a cabo la reacción, se distinguen dos procesos:

- Reducción selectiva no catalítica (SNRC⁷): Consiste en la inyección de un agente reductor (normalmente amoníaco o úrea) en el gas de combustión que reacciona con los óxidos de nitrógeno (IHOBE, 2014). Este proceso se lleva a cabo en las zonas

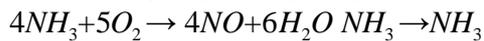
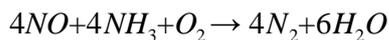
⁷La reducción selectiva no catalítica (Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR)

donde los gases de combustión se encuentran a temperaturas en torno a los 1000°C (Fernández, 2007).

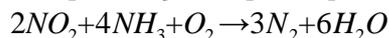
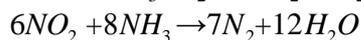
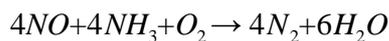
En esta etapa del proceso pueden ocurrir tres escenarios, el primero es que el amoníaco reaccione con el óxido de nitrógeno formando nitrógeno y agua, que es la situación ideal, sin embargo puede ocurrir también la óxido de nitrógeno por la combustión de parte del amoníaco, también puede ocurrir que parte del amoníaco no reaccione, siendo arrastrado por los gases de combustión.

Para que el proceso de desnitrificación sea eficaz, es de suma importancia controlar la temperatura a la que se produce la reacción y optimizar la inyección para que el reactivo se mezcle adecuadamente con los gases. La eficiencia que se logra en la desnitrificación oscila en torno al 50 – 60 % (Fernández, 2007).

Las reacciones que se producen durante el proceso son:



• Reducción catalítica selectiva “Selective catalytic reduction” (SCR): emplea un catalizador de Óxido de Vanadio y Óxido de Cromo ($V_2O_5+Cr_2O_3$) (Fernández, 2007) pero que también puede ser un óxido de otros metales de transición o elementos del Bloque D de la Tabla periódica, como Titanio (Ti), Platino (Pt), Cromo (Cr), Wolframio (W) entre otros, a través del cual se hace pasar el flujo de gases previamente mezclado con un agente reductor como el amoníaco, ver Figura 30. Las reacciones que tienen lugar en el catalizador son:



La eficacia en la reducción de NOx obtenida mediante el empleo de la técnica SCR es superior al 90%, la cantidad de amoníaco inyectada debe ser regulada según las circunstancias, siendo la temperatura óptima para éste proceso aproximadamente 400°C (Fernández, 2007). Otro trabajo (Comisión Europea, 2013) indica que para ser eficaz, el catalizador requiere un rango de temperatura de 180-450°C y que la mayoría de los sistemas utilizados en incineradoras de residuos operan actualmente en el rango de 230-300°C. Al operar por debajo de 250°C es necesario un mayor volumen de catalizador y hay un mayor riesgo de pérdida de pureza del catalizador. En algunos casos se utilizan derivaciones con temperatura regulada del catalizador para evitar daños a la unidad de RCS.

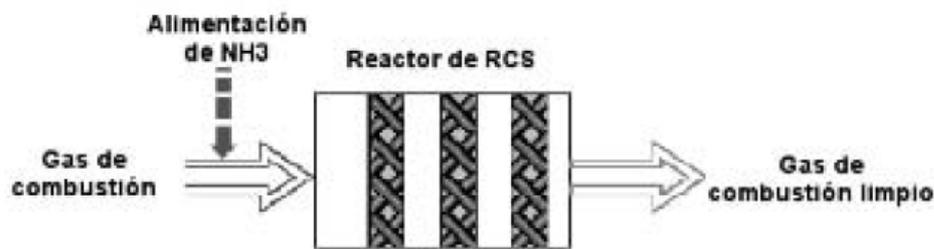


Figura 30. Representación esquemática del proceso SCR.

Fuente: Comisión Europea, 2013.

Este proceso permite obtener muy buenos rendimientos para reducir NOx pero los costos del equipo catalizador y los reactivos de sustrato catalítico (por ejemplo: V_2O_5 , TiO_2 , WO_3) encarecen el diseño de la planta incineradora.

2.7.4 Reducción de la emisión de compuestos orgánicos, dioxinas y furanos.

Las dioxinas y furanos son compuestos químicos que se producen a partir de procesos de combustión que implican al cloro, este término se aplica indistintamente a los policlorodibenzofuranos (PCDF) y a las policlorodibenzodioxinas (PCDD), compuestos tóxicos formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros, dando lugar a numerosos isómeros, algunos de los cuales son altamente tóxicos. Los PCDD/F se forman a partir de compuestos precursores clorados (PCBs y PCPs) mediante una reacción gaseosa homogénea a temperaturas entre 300 y 800°C (Fernández, 2007).

La presencia de estos compuestos, también ocurren en un proceso llamado “Síntesis novo”, donde la formación de PCDD/F tiene lugar durante el enfriamiento de los gases de combustión a temperaturas entre 200 y 500°C, cuando existe una presencia de una fuente clorada y de oxígeno en los gases, además de la existencia de metales pesados que actúen como catalizadores (Fernández, 2007) y Comisión Europea, 2013).

Para la reducción de las emisiones de PCDD/F se pueden adoptar medidas de carácter primario o secundario.

- **Medidas primarias**

- Limitación de la síntesis novo: Para ello es necesario controlar la temperatura de los gases antes de entrar a los filtros de mangas o precipitadores ($\leq 200^\circ C$), puesto que es

en estos equipos donde la presencia de metales pesados puede favorecer la formación de PCDD/F (Fernández, 2007 y Comisión Europea, 2013).

- Para asegurar la destrucción de los PCDD/F presentes en los gases de combustión, será necesario temperaturas superiores a 850°C durante un tiempo ≥ 2 segundos (Directiva 2000/76/CE, 2000).

- **Medidas secundarias**

- Retención de partículas: Gran parte de las dioxinas existentes en los gases de combustión se adhieren a las partículas, especialmente a las de pequeño tamaño. Por lo tanto la disposición de equipos para la separación y precipitación de estas partículas reducirá la cantidad total de dioxinas emitidas (Fernández, 2007).

- Recombustión de adsorbentes de carbón; En muchas plantas incineradoras de residuos se utiliza carbón para adsorber dioxinas (y mercurio) y mediante la recombustión, es posible reducir las emisiones netas de dioxinas de la planta de las PCDD/F adsorbidas (Comisión Europea, 2013).

CAPITULO 3

METODOLOGIA

Este estudio se enfoca hacia la formulación de una respuesta tecnológica para el caso de los residuos sólidos, dirigido hacia una realidad urbano-especial concreta la cual es el Municipio Mario Briceño Iragorry (MBI) descrito en el Capítulo I.

Materiales y Métodos

3.1 Materiales

Bibliográficos:

1. Libros
2. Manuales
3. Publicaciones seriadas
4. Revistas especializadas
5. Artículos

Computación y Software:

6. Programas para revisión documental, redacción, cálculos y manejo del proyecto:
 - a. Microsoft Internet Explorer 11.0.3 (2013)
 - b. Mozilla Firefox 38.0.5 (2015)
 - c. Adobe Reader 8.1 (2007)
 - d. Microsoft Word(2013)
 - e. Microsoft Excel(2013)
 - f. Microsoft Project(2013)
7. Programas para generar gráficos vectorizados y flujogramas:
 - a. AutoCAD 2011.
 - b. Microsoft Visio 2007.

3.2 Métodos

- Para determinar el inventario de los RSU a procesar se realizó una búsqueda de la cifra referente a la generación per cápita diaria, en las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012) donde para MBI hay una tasa de generación de RSU de 1,98 kg-día hab⁻¹.

- La estimación de la fracción de materiales de RSU que pueden ser recuperables y la fracción a incinerar se determinó mediante:
 - Revisión documental de trabajos de investigación especializados en segregación y reciclaje de Garboza. L (2004), que establece una clasificación de materiales aptos y no aptos para recuperación y reciclaje y OPS (2005) que establece los porcentajes de generación de tipo de material de residuos donde en un ambiente urbano, se generan per cápita: Cartón y papel: 22,3%, Plásticos: 11,7%, Vidrio: 4,5%, Metales: 2,9%, Textiles: 4,1%, Orgánicos putrescibles: 41,3%, Otros e inertes: 11,2%.
 - Estimación de cifras totales de generación según los porcentajes anteriormente descritos y su totalización en 94 480,92 Ton.año⁻¹, condición sugerida por la OMS (2002) que establece que los de planes de manejo de RSU municipales deben tener una proyección a 30 años, por lo tanto la cifra anteriormente determinada fue en base a la tasa de generación y a una población estimada para esa proyección de 133 401 habitantes.
- La identificación y selección de los equipos necesarios para el funcionamiento de la Planta de valorización:
 - Preselección de equipos de disponibles en el mercado a nivel mundial, mediante la revisión de la página web Alibaba (2014), mediante la cual también se contactó vía mensajería con las empresas que suministran bienes y servicios en el contexto de incineración y reciclaje.
 - Revisión de las especificaciones del equipo de incineración y adjuntos como los filtros, en cuanto a emisiones y comparar con las Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica, Decreto N° 638 (1995).
- En el diseño conceptual de la Planta de Incineración y Valorización, se implementó la metodología del Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (UPEL, 2006) para la información, organización, redacción y referencias de las fuentes bibliográficas revisadas.
 - Para el dibujo técnico de la Planta de Valorización Conceptual se generó una vista de planta con distribución de áreas, siguiendo las normas COVENIN 3466:1999.

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 CUANTIFICACIÓN DE RSU DEL MUNICIPIO MARIO BRICEÑO IRAGORRY

En el planteamiento del problema que da lugar a este trabajo, se estableció que en el MBI hay 99 852 habitantes, según los resultados del Censo Nacional 2011 (Pagina web INE, 2012), genera un total de $197,7 \text{ t-día}^{-1}$ de RSU a una tasa de $1,98 \text{ kg-día hab}^{-1}$, y de acuerdo a las recomendaciones OMS (2002) y ACUMAR (2009) los Planes de Manejo Integral de RSU, de lo cual se infiere que los sistemas de tratamiento deberán tener una proyección a 30 años, en una condición de suplir las necesidades con holgura durante ese período, lineamiento que sustentará el diseño conceptual que se está planteando.

Para satisfacer la demanda de tratamiento para el diseño del modelo conceptual se partió de analizar la tasa de crecimiento poblacional del estado Aragua⁸ proyectada entre el periodo 2015- 2045, la cual es de 2,6%. Este dato permite la proyección de la cifra de población total para dentro de 30 años, que se corresponderá con el año 2045. Tomando en cuenta esta tasa de crecimiento el MBI proyecta una población de 133.401 habitantes para el año tope, se generarán $264,13 \text{ t-día}^{-1}$ de RSU.

El cálculo de las fracciones de producción de los RSU estimadas en función del crecimiento poblacional y que definirán los requerimientos de procesamiento de la planta a diseñar, se presentan en el Cuadro 6.

De este cuadro se desprende, que tomando en cuenta los lineamientos para el diseño de esta planta, que estaría en concordancia con la vida útil de la misma, la capacidad de procesamiento anual que debe tener deberá ser de $94 481 \text{ t año}^{-1}$ de RSU.

⁸ La tasa interanual fue estimada a partir de los datos del INE (2014)

Cuadro 6 Total de residuos sólidos en toneladas al año por tipo material y total para 30 años con una población teórica de 133.401 habitantes

	Cartón y papel	Plásticos	Vidrio	Metal	Textiles	Orgánicos Putrescibles	Otros e inerte
% Material	22,30	11,70	4,50	2,90	4,10	41,30	11,20
kg-día hab-1	0,44	0,23	0,09	0,06	0,08	0,82	0,22
Total kg-día	58 902,00	30 903,74	11 886,05	7 659,90	10 829,52	109 087,56	29 583,07
t año-1	21 499,23	11 279,86	4 338,41	2 795,86	3 952,77	39 816,96	10 797,82

RSU t año-1 **94 480,92**

Fuente: Cálculos propios

4.2 ESQUEMA BÁSICO PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL

La formulación del desarrollo conceptual de la planta de procesamiento parte de considerar el flujo de los procesos a que dan lugar en la planta cuando este en operación, para ello se revisó exhaustivamente la literatura científica tecnológica y las ofertas comerciales con las cuales se arriba al flujo grama condensado en la Figura 31 a continuación:

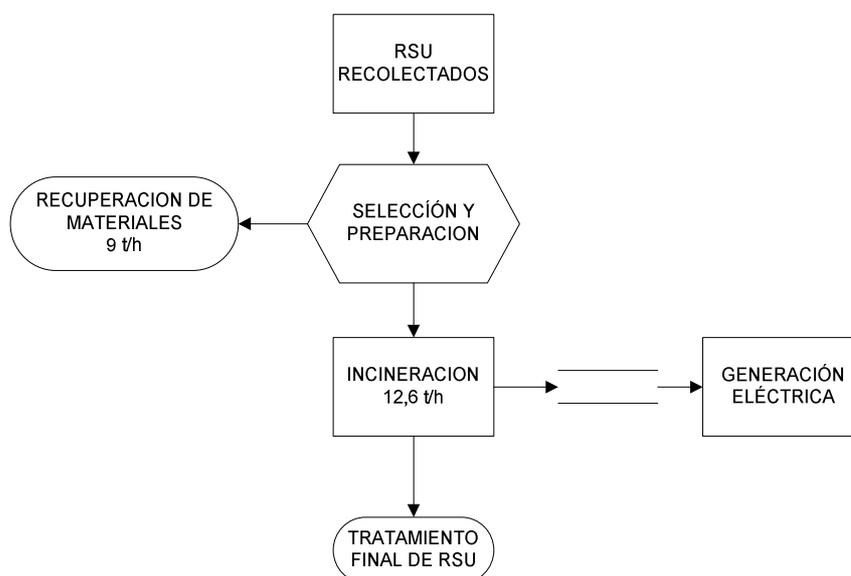


Figura 31. Esquema general de la planta de valorización de RSU de Mario Briceño Iragorry.

Fuente: Propia.

En este esquema general se identifican los procesos fundamentales del tratamiento de los RSU, lo cual derivará hacia la precisión en cada uno de ellos ofertando la respuesta tecnológica y operacional, inherentes a cada proceso, incluyendo especificaciones en cuanto al equipamiento e infraestructura requeridas. El diseño conceptual expresado gráficamente en un plano de planta donde se aprecia la distribución de las áreas, se incluye en el Anexo 2.

4.3 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN Y SEGREGACIÓN DE RESIDUOS DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN.

En el MBI, no existe clasificación o segregación en el origen, por lo tanto en la Planta de Valorización Energética se recibirá un volumen de RSU sin segregar y sin ningún tratamiento previo, por lo tanto este proceso debe hacerse en la propia planta, en la que habrá que diseñar un sistema para realizar esta operación utilizando un sistema automatizado en su mayor parte para ejercer los procedimientos de separación y preparación como el presentado en la Figura 32.

Esta segregación de los RSU es una actividad previa al tratamiento exigida por la legislación venezolana, por lo que los RSU que se separarán anualmente, constan de dos fracciones, 39 528 t reciclables y 54 953 t destinados a la incineración.

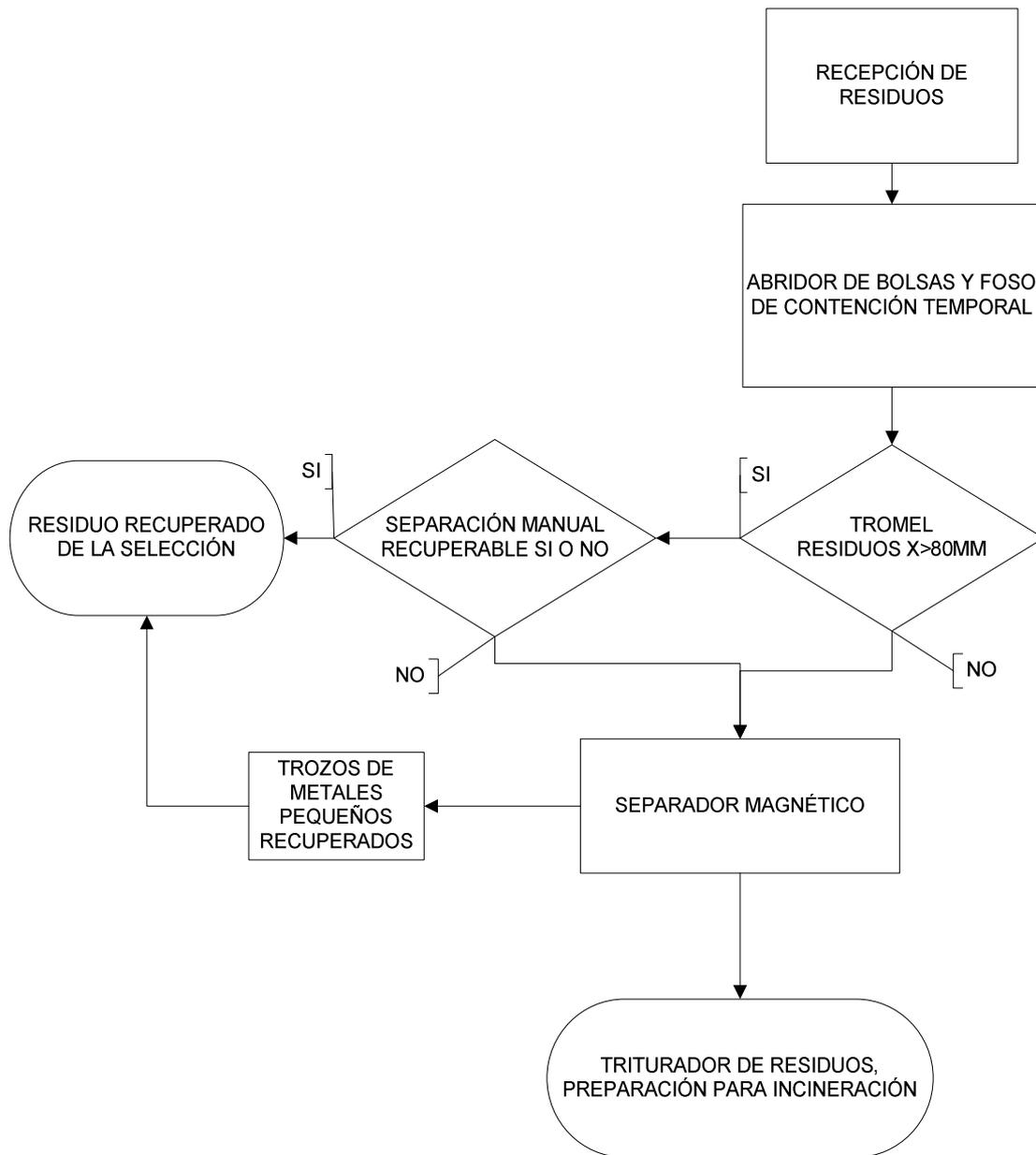


Figura 32. Esquema del sistema de selección y preparación previa de RSU de MBI.

Fuente: Propia.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS PARA LA FASE DE RECEPCIÓN, SELECCIÓN Y SEGREGACIÓN

4.4.1 Área de recepción del residuo:

La cantidad de RSU a procesar será de 22 t día⁻¹, A la entrada de la planta se colocará una romana para el pesaje de los camiones anterior al área de vaciado de residuos al foso (Figura 33), para el control del tipo de descarga se ejercerá un protocolo de seguridad que incluirá datos del transporte utilizado y de los operarios. Las características y especificaciones de la romana a instalar se describen en el Cuadro 7.



Figura 33. Romana de pesaje en la entrada de la planta.

Fuente: YUBO ElectronicScale Co., Ltd

Cuadro 7. Características de la báscula romana de pesaje.

Características	Especificaciones
Marca y modelo	Yubo BW-S
Tipo	Puente
Cantidad	1
Capacidad (t)	≤60
Dimensión plataforma (m)	12x3
Precio Dic-2014(US \$)	10.000,00 \$

Fuente: YUBO ElectronicScale Co., Ltd(2014). En

http://www.alibaba.com/product-detail/yubo-digital-heavy-duty-pit-truck_60076715867.html?s=p

4.4.2 Área de descarga:

4.4.2.1 Zona de descarga

Luego de la báscula de pesaje se dispondrá de una zona de descarga que limita con el borde del foso de recepción y almacenamiento, donde se descargarán los RSU por gravedad.

4.4.2.2 Foso de recepción de residuos

El foso de residuos estará construido en concreto armado y tendrá la capacidad de almacenar 277 t de RSU que se generarán diariamente en MBI, ver Figura 34.

En base a la cantidad de residuo a ser tratado se determinó un diseño volumétrico, cuyas características y dimensiones se describen en los Cuadros 8 y 9 respectivamente.



Figura 34. Foso de RSU
Fuente: Diario de Mallorca (2014)

Cuadro 8. Características del foso requerido

Requerimientos de diseño	
Capacidad foso (t)	265
Volumen foso m ³ (Borde libre 0,5m)	692,5
Tiempo residencia de los RSU (h)	12
Densidad residuos foso (kgm ⁻³)	0,4

Fuente: Cálculos propios

Cuadro 9. Dimensiones del foso requerido

Ancho (m)	Longitud (m)	Profundidad (m)
7,5	21	5

Fuente: Cálculos propios

En el caso de que el residuo recibido no se procese inmediatamente se requerirá que el foso de residuos esté dotado de un sistema de drenaje y su correspondiente bomba sumergible (Figura 35), para la extracción de los lixiviados producidos durante el almacenamiento, para su posterior tratamiento de incinerado cuyas características y especificaciones se presentan en el Cuadro 10, ya que la tecnología que se plantea para la incineración de los RSU en este trabajo es un Horno de parrilla donde los residuos van con su humedad natural.



Figura 35. Bomba de extracción de lixiviados del foso

Fuente: Guangzhou Papu Industrial Co., Limited(2014).

En:http://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sell-Stainless-steel-single-screw_60128138096.html?s=p

Cuadro 10. Bomba comercial seleccionada

Características	Especificaciones
Cantidad (Nº)	1
Capacidad (m³*h⁻¹)	160m ³ h ⁻¹
Granulometría soportada	<60% deØ de boca
Velocidad (l*m⁻¹)	400 l m ⁻¹
Potencia (kW)	70kw
Marca y modelo	PAPU PN2-12
Precio Dic-2014 (US \$)	1.000,00 \$

Fuente: Adaptado de Guangzhou Papu Industrial Co., Limited(2014).

En:http://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sell-Stainless-steel-single-screw_60128138096.html?s=p

4.4.3 Puente grúa:

El foso dispone de un puente grúa, para extraer los residuos almacenados en el mismo para alimentar la tolva del conjunto de selección y segregación.

Este equipo tiene unos ganchos tipo pulpo o cangrejo, que se abren y cierran para tomar los residuos y después soltarlos, con una capacidad máxima diaria de levante de 277 t, como se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Puente grúa tipo pulpo.

Fuente: Kuanshang Crane Co. (2014). En: http://www.alibaba.com/product-detail/electrical-crab-crane-with-good-quality_1262132317/showimage.html

4.4.3.1 Pulpo mecánico

Los requerimientos de capacidad del pulpo se expresan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Requerimientos para selección de la grúa

Requerimientos de carga grúa	
Capacidad ($t \cdot h^{-1}$)	23,1
Capacidad grúa (t)	5
Cargas (Nº)	5

Fuente: cálculos propios

Considerando las operaciones de carga y asumiendo que el residuo en el pulpo se comprime, estimando la densidad del mismo en, la capacidad teórica será de un volumen de diseño del pulpo de $5 m^3$. Las características técnicas del pulpo seleccionado se presentan a continuación en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Grúa comercial seleccionada

Características	Especificaciones
Tipo	Puente/Pulpo
Cantidad (Nº)	1
Capacidad (t)	5-200
Altura de levante máxima (m)	26
Longitud de desplazamiento (m)	7,5-31,5
Potencia (kW)	85
Marca y modelo	Kuangshang Lan Ri
Precio Dic-2014 (US \$)	30.000,00 \$

Fuente: Kuangshang en http://www.alibaba.com/product-detail/electrical-crab-crane-with-good-quality_1262132317.html

4.4.4 Sistema de Clasificación

Los RSU extraídos del foso mediante “el pulpo”, serán suministrados al alimentador del “Sistema Clasificador”, el cual consta de una serie de equipos y mecanismos conformados por, elevadores de cangilones, bandas transportadoras, dispositivo abre bolsa, Tamices, los cuales conforman el sistema de selección, segregación y clasificación de los RSU.

Tomando en cuenta el volumen de RSU que se van a tratar en el MBI, se requiere un sistema para realizar la clasificación que debe tener una capacidad de 23 t h⁻¹.

A continuación los detalles operativos del Sistema Clasificador seleccionado (Figura 37):

Los RSU, ya insertados en la tolva de alimentación del conjunto, se conducen mediante elevadores de cangilones hacia la banda transportadora donde se hace un control de calidad, mediante operadores humanos, en el cual se inspeccionan las bolsas de RSU y se separan objetos extraños a la vista, que puedan interferir con la maquinaria “Abre bolsa”, que es el paso siguiente. La bolsa plástica es destruida para que el contenido de las mismas se exponga, a continuación los RSU se someten a un proceso de tamizado automático en la Criba de vibración, donde se clasifican en dos categorías de tamaño; $x < 80\text{mm}$ (RSU Orgánicos) y $x > 80\text{mm}$ de diámetro equivalente (vidrio, plástico y papel).

En la línea de flujo, $x < 80\text{mm}$, la banda transportadora pasa por debajo de un separador magnético, donde las partículas y restos de material ferroso son apartados y descargados a un contenedor, depurando al material orgánico.

En la categoría $x > 80\text{mm}$ ocurre otra división de materiales en: Ligeros (plásticos y papeles) y en Pesados (vidrio y goma). Los materiales Ligeros, son sometidos a un control de calidad, mediante operadores humanos que van seleccionando y separando los materiales en plástico y papel respectivamente, posteriormente pasan por un tratamiento magnético donde las partículas y restos de material ferroso son apartados y descargados a un contenedor. Los materiales pesados son sometidos a control de calidad humano, donde se seleccionan vidrios y gomas, en paralelo con la línea de materiales ligeros.

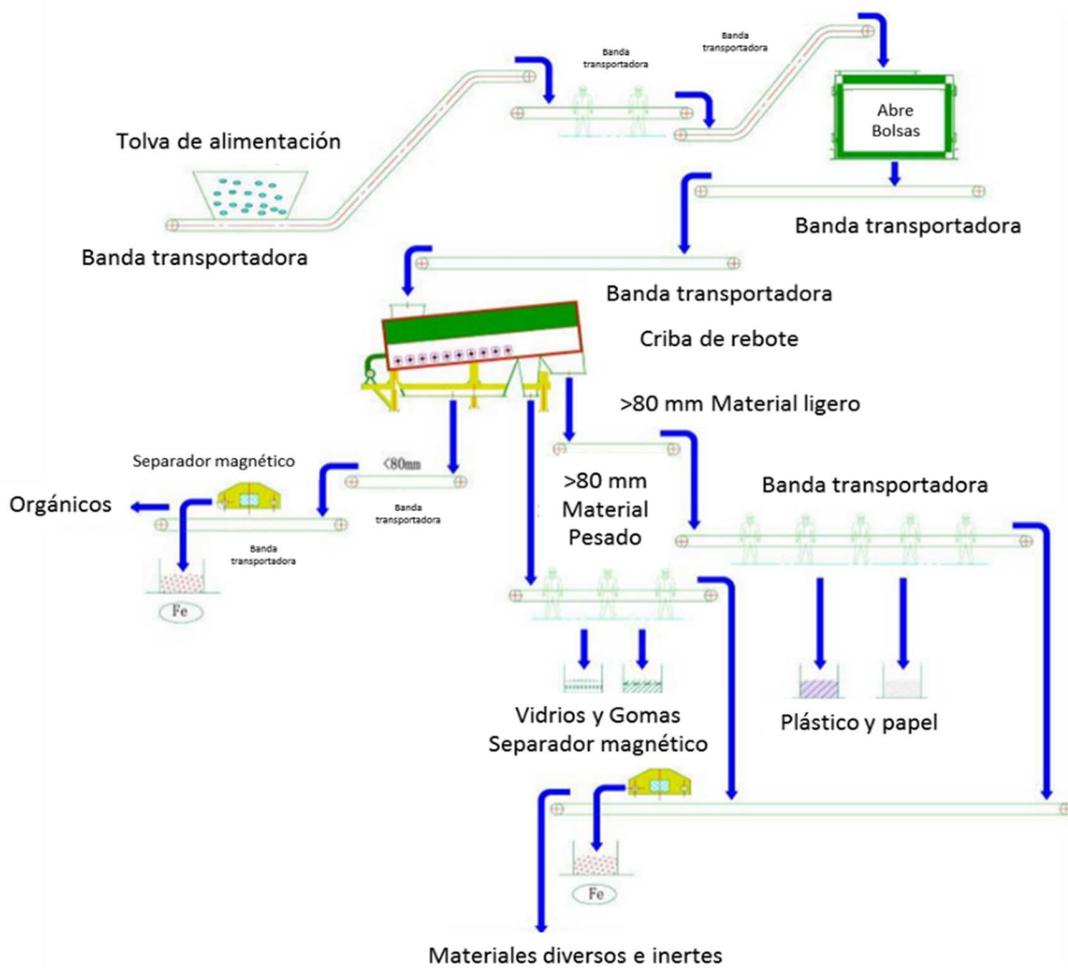


Figura 37. Esquema operativo del Sistema Clasificador.

Fuente: Shanghai Shenjia Sanwa Co., Ltd. (2014) http://www.alibaba.com/product-detail/MSW-Sorting-System-Waste-management-plant_985652062.html

Se optó por un “Sistema clasificador” comercial (MSW Sorting System/ Waste management plant ®), debido a que en la búsqueda de equipos para este propósito, se patentizó la existencia de un mercado de bienes y productos en el ámbito del tratamiento de los RSU, donde se pueden adquirir sistemas como éste, en un formato de “kit” de ensamblaje, con garantía y asesoramiento de la empresa que la manufactura. Este equipo (Figura 38) tiene una capacidad máxima de 30 t*h⁻¹ y tiene un costo aproximado de US 2.000.000\$ (Shanghai Shenjia Sanwa Co., Ltd., 2014).



Figura 38. Sistema Clasificador.

Fuente: Shanghai Shenjia Sanwa Co., Ltd. (2014) http://www.alibaba.com/product-detail/MSW-Sorting-System-Waste-management-plant_985652062.html

4.4.5 Trituradora de elementos voluminosos

Los materiales no recuperables, son mezclados con los orgánicos para conformar el CDR que alimentarán a los hornos de incineración, previo a ello, para garantizar la granulometría adecuada y uniforme, se procede a ejercer la trituración, utilizando para ello un equipo para tal fin.

Los trituradores son básicamente molinos de martillo (Figura 39 a y 39 b). Algunos de estos trituradores están diseñados para procesar residuos metálicos tales como: chapas, latas y bidones, materiales férricos en mal estado y que pueda dañar el Sistema Clasificador.



Figura 39a. Martillos de la Trituradora Fuente: Shenjia (2014) www.alibaba.com
Figura 39 b. Trituradora en operación Fuente: Idea Holding Limited (2014) <http://shreddermachine.in/products.html>

El proceso regular de trituración se inicia con el transporte de materiales RSU Orgánicos y no recuperables, mediante las bandas transportadoras que arrojan los mismos al elevador del triturador. Posteriormente los RSU triturados, tendrán la misma granulometría, por lo que habrán terminado satisfactoriamente el proceso de pretratamiento previo antes de ingresar al incinerador. El equipo deberá tener una capacidad estimada de $12,6 \text{ t h}^{-1}$, por lo cual se seleccionó el descrito en el Cuadro 13 y Figura 40.

Cuadro 13. Características y especificaciones del Triturador

Características	Especificaciones
Cantidad (Nº)	1
Capacidad ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.5 - 15
Ancho de martillos (mm)	2000
Potencia (kW)	150
Marca y modelo	Sanwa Crusher
Precio Dic-2014 (US \$)	100.000,00 \$

Fuente: Adaptado de Sanwa

(2014).En http://shenjiasanwa.en.alibaba.com/product/635619534-219329962/Twin_shaft_crusher_of_MSW_process.html#



Figura 40. Triturador seleccionado.

Fuente: ShanghaiShenjiaSanwa Co., Ltd.

(2014)http://shenjiasanwa.en.alibaba.com/product/635619534-219329962/Twin_shaft_crusher_of_MSW_process.html#

4.5 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA FASE DE INCINERACIÓN DE RSU

4.5.1 Operaciones del proceso de incineración

A continuación se esbozará el proceso de incineración, objeto de la expresión final del diseño conceptual que se plantea para la solución del problema de los RSU de MBI, que tendrá el objetivo de reducir a residuos ambientalmente inertes, los y no recuperables, para lo cual se definirán los requerimientos de tratamiento y las características y especificaciones de las plantas en oferta comercial, las cuales deberán cubrir las siguientes operaciones:

Secado: La humedad es eliminada con un rango de temperaturas de $50 \leq 100^\circ\text{C}$.

Volatilización de los sólidos: Rango de operación $200 \leq 750^\circ\text{C}$, y la temperatura crítica $425 \leq 550^\circ\text{C}$.

Combustión de gases: Temperatura $750 \leq 1000^\circ\text{C}$, se requiere sobresaturación de aire (turbulencias) y los tiempos medios de residencia de 2-4 segundos.

Combustión del residuo sólido carbonoso: Tiempo de $30 \leq 60$ minutos.

Cenizas: Las cenizas del fondo se disponen y las volantes son tratadas en el sistema de lavado de gases.

Valorización: Generación vapor durante la transferencia de calor entre los gases que se encuentran a 850°C y el agua en los conductos de la caldera y conducción a una turbina de vapor y generador de electricidad. La presión actuante es 4 Mpa (40 bar).

Lavado de gases: Eliminación de las partículas sólidas y de contaminantes atmosféricos.

Parámetros cualitativos importantes para controlar el proceso:

- Humedad: La ignición no ocurre si el material está húmedo.

-Cenizas: Se requiere control de la producción de cenizas para evitar la disminución del poder calorífico del residuo, regulando el flujo del aire y la velocidad de las parrillas.

4.5.2 Organización de operaciones de incineración

Creus (2009) establece un método de cálculo para determinar requerimientos necesarios basados en la necesidad de procesamiento. Adaptando esta metodología se aplicó al diseño conceptual desarrollado en este trabajo, para lo cual se determinarán los requerimientos operativos de la planta para el MBI, basándose que deberá procesar aproximadamente $54\,953\text{t año}^{-1}$, cifra proyectada para ser la capacidad máxima de la planta para el año 2045. Ya determinadas las operaciones, se establece el flujograma que integra el proceso de incineración en dos líneas de producción (Figura 41).

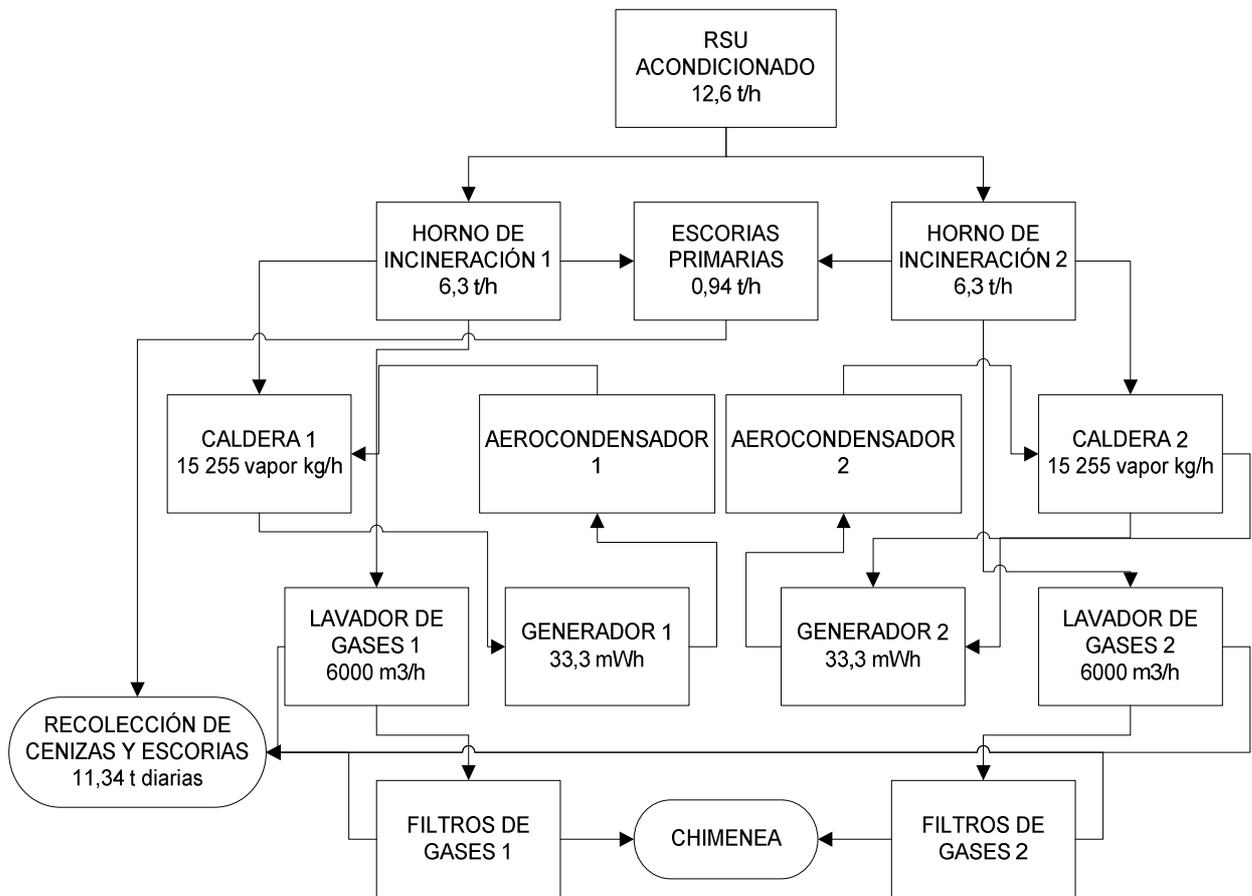


Figura 41. Flujograma de operación de incineración y aprovechamiento energético

Fuente: Propia

4.5.3 Determinación de requerimientos de Equipos de Incineración

El Horno de parrilla móvil de $6,3 \text{ t h}^{-1}$, que en el caso de MBI se necesitarán dos para delegar el proceso en dos líneas paralelas de producción, la razón de esta condición, se basa en que es el proceso clave para la eliminación de los desechos, lo cual permitirá en las consideraciones de los permisos ambientales presentar cada línea por separado como el plan de contingencia a ejercer para evitar la paralización total de la planta.

A continuación se calculan los requerimientos siguiendo la metodología de Creus (2009):

- Los RSU tienen un poder calorífico de $9,62\text{MJkg}^{-1}$
- La potencia calorífica de los residuos, con un rendimiento del conjunto horno-caldera del 80% es:
 - $54\,953\text{ t año} \Rightarrow 6\,273,197\text{kg h}^{-1}\text{ RSU} * 9,62\text{ MJkg}^{-1} * 0,8 = 48\,278,51\text{ MJ h}^{-1}$

4.5.3.1 Equipo de caldera

- La caldera de RSU trabaja a una presión de 4 Mpa y 360°C , con agua depurada a 105°C , un gasto energético de $2,69\text{ MJ kg}^{-1}$ y un 85% de eficiencia, el vapor producido será:
 - $(48\,278,51\text{ MJh}^{-1}/2,69\text{ MJ kg}^{-1}) * 0,85 = 15255,29\text{ kgh}^{-1}$

4.5.3.2 Turbina Eléctrica

- La turbina produce 1kW (kilovatio) por cada 5,5 kg de vapor generado
- Potencia eléctrica generada:
 - $15\,255,29\text{ kgh}^{-1}/5,5\text{ kg kW} = 2\,773,69\text{kW} \Rightarrow 2,8\text{ MW}$ (potencia nominal)
- Energía generada en un año:
 - $2\,773,69\text{ kW} * 24\text{ h.día}^{-1} * 365\text{días} * 0,9$ (eficiencia turbina al año) = $21867765,44\text{kWh año} \Rightarrow 21867,77\text{mWhaño}$

Los valores obtenidos del potencial energético del MBI se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Potencial energético de los RSU de MBI

Parámetro	Valor
RSU (kg/h)	6 273,19
Poder Calórico de RSU (MJ/kg)	9,62
Eficiencia (%)	80,0
Poder calórico total (MJ/kg)	48 278,51
Perdida de energía (MJ/kg)	2,69
Eficiencia caldera (%)	85
Producción de vapor (kg/h)	15 255,29
Tasa de Turbina kg vapor/kWh	5,50
Eficiencia turbina (%)	90
Potencia nominal (kW)	2 773,69
Potencia nominal (MW)	2,8
Líneas de producción (N°)	2
Energía Diaria Producida (MWh/d)	66,57
Energía Anual Producida (MWh/a)	21 867,77

Fuente: Cálculos propios

4.5.4 Selección de equipos de incineración

Horno de incineración con caldera adjunta.

El conjunto horno-caldera de vapor para 7 t h^{-1} ($>6,3 \text{ t h}^{-1}$ requerido) diseñado para un combustible de RSU, PCI estimado de $9,62 \text{ MJ kg}^{-1}$, con reducción de temperatura de gases de combustión de 850° a 200° C , para generar vapor a 4 Mpa, se plantea que sea manufacturado por la empresa Chongqing Maxpower Machinery Co., Ltd. (Figura 42), que se especializa en la construcción y manufactura de estos equipos, bajo los parámetros de diseño presentados en el Cuadro 15. Estos incineradores cumplen con las Normas de emisión de gases EU2000/76/EC que cumple con la condición exigida por la ley vigente sobre emisiones de Venezuela en la categoría de incineración.

Cuadro 15. Incinerador comercial seleccionado

Características	Especificaciones
Cantidad* (N°)	2
Capacidad (t*h⁻¹)	7
Tipo de residuos	RSU sólido y líquido
Parrilla	Móvil
Marca y modelo	Max Power Serie JS
Combustible de ignición	Gas Propano, Butano
Potencia Motores* (kW)	20
Precio Dic-2014 (US \$)	2.000.000,00 \$
Costo total*(US \$)	4.000.000,00 \$

*1 por cada línea de producción. Fuente: Adaptado de Max Power (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/MSW-furnace-factory_1441014998.html



Figura 42. Modelo de Conjunto Incinerador desarrollado por Chongqing Maxpower Machinery Co., Ltd.

Fuente: Max Power (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/MSW-furnace-factory_1441014998.html

4.5.5 Sistema de lavado de gases.

Fase 1:

Para el lavado de gases ácidos, alcalinos y remanentes orgánicos tóxicos, existentes un flujo de gases de $5\ 300\ \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, se seleccionó el Lavador de Gas Industrial FRP, de la compañía Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd., modelo ZLRC-2 (Figura 43) que operan con un rango de $5\ 000 - 6\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, cuyas especificaciones se aprecian en el Cuadro 16.

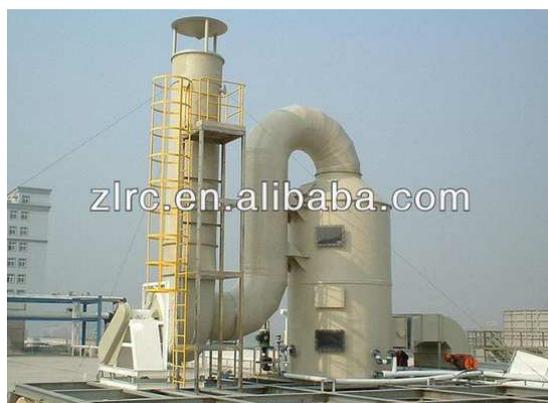


Figura 43. Lavador de Gas Industrial FRP, de Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd.

Fuente: ZLRC (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/FRP-industrial-gas-scrubber_812867709.html

Cuadro 16. Lavador de gases comercial seleccionado

Características	Especificaciones
Cantidad* (Nº)	2
Capacidad ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	5 000 - 6 000
Tipo de Gases	Ácidos, Alcalinos y Orgánicos
Marca y modelo	ZLRC-2
Motor (kW)	5,5
Cantidad de Solvente (kg)	1820 (NaOH, HCl, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
Precio Dic-2014 (US \$)	500.000,00 \$
Costo total*(US \$)	1.000.000,00 \$

*1 por cada línea de producción. Fuente: Adaptado de ZLRC(2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/FRP-industrial-gas-scrubber_812867709.html

Fase 2:

Para el lavado de partículas y sólidos en suspensión totales, se seleccionó el Filtro de Mangas Pulse Jet, de la compañía Yancheng Sailong Energy-Saving Technology Engineering Co., Ltd, modelo SLDM168-5 (Figura 44) que opera flujo de gases máximo de 12 000 m³.h⁻¹, cuyas especificaciones se aprecian en el Cuadro 17.



Figura 44. Lavador de Gas Industrial FRP, de Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd.

Fuente: Yancheng Sailong (2014). En: http://www.alibaba.com/product-detail/pulse-jet-bag-filter-industrial-gas_703064691.html

Cuadro 17. Filtro de Mangas comercial seleccionado

Características	Especificaciones
Cantidad	2
Capacidad (m³*h⁻¹)	12 000
Partículas (µm)	0,01- 100
Eficiencia (%)	99
Marca y modelo	Yancheng SLDM168-5
Área total de filtrado (m²)	2 000
Diámetro de filtros (mm)	130
Precio Dic-2014 (US \$)	780.000,00 \$
Costo total*(US \$)	1.560.000,00 \$

*1 por cada línea de producción. Fuente: Adaptado de Yancheng Sailong(2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/pulse-jet-bag-filter-industrial-gas_703064691.html

4.5.6 Sistema de generación eléctrica.

El sistema de aprovechamiento de RSU genera una potencia eléctrica de 2773,6 kw por cada línea de producción, por lo tanto se seleccionó el Generador Eléctrico de Turbina de Vapor de la compañía Shanghai Brilliance General Equipment Co., Ltd., marca y modelo CHTT - N3 (Figura 45) que permite generar a partir de vapor a presión, una potencia eléctrica máxima de 3000kw. Al diseñarse la planta con dos líneas de producción se deberá necesitar dos generadores que serán regulados para desarrollar la potencia generada por el vapor de las calderas. Las especificaciones de este equipo se aprecian en el Cuadro 18.



Figura 45. Generador eléctrico de turbina de vapor

Fuente: CHTT (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/industrial-steam-turbine-alternator-with-motor_60088315421.html

Cuadro 18. Generador Eléctrico comercial seleccionado

Características	Especificaciones
Cantidad (Nº)	2
Generación (kW)	3000
Presión (MPa)	4,35
Tensión eléctrica (V)	10500
Marca y modelo	CHTT N3
Precio Dic-2014 (US \$)	1.000.000,00 \$

Fuente: Adaptado de CHTT (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/industrial-steam-turbine-alternator-with-motor_60088315421.html

4.5.7 Sistema de recuperación y condensación del vapor.

El sistema de condensación de vapor, debe operar a una presión de 4 MPa y para cumplir con estos requisitos, se seleccionó el Aerocondensador de la compañía Shandong Pulilong Pressure Vessel Co., Ltd., modelo LWH-QS1 (Figura 46), cuyas especificaciones se aprecian en el Cuadro 19.



Figura 46. Aerocondensador de Vapor

Fuente: Shandong (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/industrial-condenser-with-ASME-U-stamp_1854002187.html

Cuadro 19. Condensador de vapor comercial seleccionado

Características	Especificaciones
Cantidad	2
Tipo	Intercambiador de calor de conductos
Presión (MPa)	0,1-10
Potencia (kW)	1000
Marca y modelo	CondenserLWH-QS1
Precio Dic-2014	200.000,00 \$

Fuente: Adaptado de Shandong (2014). En http://www.alibaba.com/product-detail/industrial-condenser-with-ASME-U-stamp_1854002187.html

4.5.8 Balance energético de la Planta de Valorización Energética de MBI

El fundamento de plantearse una planta de tratamiento de RSU en un contexto actual, se refiere inequívocamente a que la consideración de la valorización energética debe signar todo el planteamiento del desarrollo de la misma. Este concepto implica que la planta va a generar energía pero, tomando en cuenta que la operación de la misma conformada por infraestructura y equipos demandará a su vez energía, se hace necesario revisar el balance a que da lugar la operación de la misma.

Para determinar el consumo eléctrico se revisaron las características y especificaciones de los equipos de la planta, y se contabilizó el requerimiento energético de cada uno (Cuadro 20).

Cuadro 20. Contabilización de consumos energéticos de los equipos

Equipos	Potencia (kW)	Operación (h*d⁻¹)	Cantidad (Nº)	Energía (kWh*d⁻¹)
Bomba lixiviados	70	2	1	35,00
Grúa pulpo	85	12	1	7,08
Abre bolsa	10	12	1	0,83
Tromel	15	12	1	1,25
Elevadores	10	12	3	2,50
Bandas	5	12	10	4,17
Triturador	150	12	1	12,50
Incinerador/caldera	20	12	2	3,33
Lavador de gases	5,5	12	2	0,92
Filtro de mangas	1	12	2	0,17
Aerocondensador	100	12	2	16,67
Sistema Iluminación de Planta	20	20	1	1,00
Instalaciones eléctricas accesorias	15	20	1	0,75
Reserva (10%)	38,96	24	1	1,62

Fuente: Propia

La contabilización del requerimiento energético de cada equipo es necesaria para la determinación del total del consumo eléctrico de la planta de valorización, que posteriormente valdrá para la elaboración del balance energético, partiendo de la sustracción del consumo total de la planta a la cantidad de energía eléctrica generada producto del

aprovechamiento de los RSU en la incineración. El balance energético se presenta en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Balance energético de la planta de valorización

Actividad	(MWh*d⁻¹)
Consumo Planta MBI	0,1
Generación Planta MBI	66,6
Balance	66,5

Fuente: Cálculos propios

4.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS, CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES CONTEMPLADAS EN EL DISEÑO CONCEPTUAL

Si bien es cierto, un planteamiento de diseño conceptual, puede expresarse en la organización de los procesos y sus correspondencias con equipos, maquinarias e infraestructuras, tomando en cuenta que se requiere una inversión significativa. Es de valorar, el impacto económico que una inversión de esta naturaleza requiere y que obligaría a un municipio ejercer, por ello, aprovechando las bondades de poder conseguir el precio de la maquinaria y equipos actualizados y el poder estimar los costos adicionales inherentes a la conceptualización del diseño, se procedió a interrelacionar estos elementos que se conforman a su vez como parte importante de este trabajo, la precisando los costos de inversión que se requerirán.

4.6.1 Costos de los equipos seleccionados

En el diseño conceptual se realizó la selección de equipos necesarios para la operación de la planta, tomando en cuenta las líneas de producción, los procesos de selección e incineración, la cogeneración eléctrica y a continuación, se contabilizarán los costos inherentes a la adquisición de estos, basándose en su cotización en el mercado internacional. La totalización de estos costos, corresponderá a la estimación de la inversión total en equipos expresándose en el Cuadro 22. Los precios de los equipos son asequibles en Dólares Americanos (\$ USA) y se llevaron a Bolívares (Bs), tomando en cuenta la tasa de cambio del SICAD 2, a 49,98 Bs/\$.

Cuadro 22. Costos de inversión en equipos

Equipo	Cantidad (N°)	Precio unitario (\$ USA)	Costo (\$)	Precio unitario (Bs)
Romana YUBO BW-s	1	10.000,00	10.000,00	499.800,00
Bomba PAPU PN2-12	1	1.000,00	1.000,00	49.980,00
Puente Grúa KuangshangLanRi	1	30.000,00	30.000,00	1.499.400,00
Sistema clasificador Sanwa	1	2.000.000,00	2.000.000,00	99.960.000,00
Triturador Sanwa	1	100.000,00	100.000,00	4.998.000,00
Conjunto Incinerador Horno-Caldera Max Power JS	2	2.000.000,00	4.000.000,00	199.920.000,00
Lavador de gases ZLRC-2	2	500.000,00	1.000.000,00	49.980.000,00
Filtro de Mangas Jet Pulse	2	780.000,00	1.560.000,00	77.968.800,00
Generador Steam Turbine CHTT-N3	2	500.000,00	1.000.000,00	49.980.000,00
Aerocondensador Shandong LWH-QS1	2	100.000,00	200.000,00	9.996.000,00
Total			9.901.000,00	494.851.980,00

Fuente: Cálculos propios con tasa de cambio SICAD 2

La cifra del total se enuncian tanto en \$ USA como en Bs, su expresión en la primera unidad monetaria, es debido a que son bienes de importación y su precio en el mercado está expresado en la misma y adicionalmente es acertado mantener esta expresión para que pueda ser convertida a valores en Bs aplicando distintas tasas de cambio a las de SICAD. También es de interés indicar el precio en Bolívares, para conocer su magnitud expresada en la moneda nacional, para una mejor apreciación en un contexto económico local.

4.6.2 Costos de la infraestructura básica

La infraestructura básica, también siendo parte de un diseño conceptual, en el cual, se contabilizaron los parámetros constructivos, materiales y precios unitarios de los mismos. Basándose en la ayuda del Software Maprex y Microsoft Excel. La contabilización de estos costos se aprecia en el Cuadro 23, 24 y 25.

Cuadro 23. Costos de inversión en infraestructura del foso de RSU

FOSO RSU				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO
		(BS)		(BS)
EXCAVACION	m ³	63,27	108,51	6.865,43
ENTIBADO DE MADERA DE PAREDES DE EXCAVACION	m ²	611,00	37,50	22.912,50
CONSTRUCCION DE BASE DE PIEDRA PICADA	m ³	416,00	50,71	21.095,36
CONCRETO ARMADO DE Fc 300 kgf/cm ²	m ³	3.166,26	108,51	343.570,87
TOTAL				394.444,16

Fuente: Cálculos Propios

Nota: Como complemento a las bases de datos que incluyen precios unitarios de las partidas, algunas cifras de precios unitarios se tomaron de la página www.grc.com.ve (2014).

Cuadro 24. Costos de inversión en infraestructura del galpón de la planta

GALPÓN CON DEPARTAMENTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO
		(BS)		(BS)
CONSTRUCCIÓN GALPON INDUSTRIAL	m ²	2.379,85	3.000,00	7.139.550,00
CABLEADO TENDIDO ELÉCTRICO	m ²	53,16	3.000,00	159.480,00
CONSTRUCCIÓN AREAS SANITARIAS	m ²	681,15	89,53	60.983,36
TOTAL				7.360.013,36

Fuente: Cálculos Propios

Nota: Como complemento a las bases de datos que incluyen precios unitarios de las partidas, algunas cifras de precios unitarios se tomaron de la página www.grc.com.ve (2014).

Cuadro 25. Costos de inversión en infraestructura de la chimenea

CHIMENEA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	COSTO
		UNITARIO		(BS)
CONSTRUCCION DE BASE DE PIEDRA PICADA	m ³	416,00	50,71	21.095,36
ENCOFRADO DE MADERA TIPO RECTO	m ²	685,38	446,70	306.159,25
CONCRETO ARMADO DE Fc 300 kgf/cm ²	m ³	3.166,26	108,51	343.570,87
TOTAL				670.825,48

Fuente: Cálculos Propios

Nota: Como complemento a las bases de datos que incluyen precios unitarios de las partidas, algunas cifras de precios unitarios se tomaron de la página www.grc.com.ve (2014).

4.6.3 Estimación de costos administrativos

Para la operación de la planta se estimó la necesidad de dos turnos de seis horas cada uno, para lo cual se requerirán un Gerente de Planta, que fungirá como Jefe de la misma, dos Supervisores de planta, uno para cada turno de trabajo y 20 obreros especializados. Se incluyó también en la nómina un personal administrativo necesario para llevar a cabo las actividades y tareas inherentes a los aspectos administrativos y de manejo de personal, lo cual consta de un Gerente Administrativo, tres Secretarías y cinco Empleados Administrativos. Se suma también un personal que seguridad, para la protección de los bienes, equipos y el propio personal, que constan de un Supervisor de Seguridad y tres Vigilantes. El sueldo estimado y el costo total anual para la contratación del personal señalado se indican en el Cuadro 26.

Estos requerimientos de personal, definen que una planta de esta naturaleza creará 34 empleos directos.

Cuadro 26. Costos anuales del personal de la planta

Descripción	Ingreso mensual (Bs)	Beneficios Laborales (Bs)	Costo unitario (Bs)	Cantidad (N°)	Costo Mensual (Bs)	Costo anual (Bs)
Gerente de planta	80.000,00	480.000,00	560.000,00	1	560.000,00	8.960.000,00
Supervisor de planta	65.000,00	390.000,00	455.000,00	2	910.000,00	14.560.000,00
Gerente administrativo	55.000,00	330.000,00	385.000,00	1	385.000,00	6.160.000,00
Empleados administrativos	35.000,00	210.000,00	245.000,00	6	1.470.000,00	23.520.000,00
Supervisor de seguridad	35.000,00	210.000,00	245.000,00	1	245.000,00	3.920.000,00
Vigilante	25.000,00	150.000,00	175.000,00	3	525.000,00	8.400.000,00
Obreros	15.000,00	90.000,00	105.000,00	20	2.100.000,00	33.600.000,00
Total anual				34		90.160.000,00

Fuente: Cálculos Propios

4.6.4 Valor de la inversión

El valor de la inversión, se basó en la obtención de la cotización de la maquinaria en la página web especializada en el mercado de estos bienes, la cual es, la reconocida www.alibaba.com.

Para la infraestructura, se basó en prediseños estructurales, cómputos métricos de los mismos y análisis de precios unitarios, utilizando cotizaciones actualizadas de estas partidas en el mercado venezolano, establecidas en la base de datos de la página web: www.grc.com.ve, asistido con el software especializado Maprex® 2014 (Cuadro 27).

Cuadro 27. Valor de la inversión de la planta de valorización de RSU de MBI

COSTO DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS	
Total Equipos (Bs.)	494.851.980,00
Total Construcción (Bs.)	8.425.283,00
Total (Bs.)	503.277.263,00

Fuente: Cálculos Propios

4.7 ANALISIS ECONÓMICO

Tomando en cuenta que el planteamiento de fondo del trabajo se refiere a que el diseño conceptual la planta de tratamiento integral diseñada, está en el marco conceptual de la valorización de los RSU, habiéndose podido obtener los precios de los equipos, los costos de las infraestructuras a desarrollar, los costos de operación de la misma y la cuantificación del valor energético que la operación de la planta ofertará, se definió en este trabajo la gran posibilidad de calcular con un estimado muy ajustado a la realidad las bondades económicas que un desarrollo de esta naturaleza le puede brindar a MBI, como ejemplo significativo.

4.7.1 Estimación de Ingresos

Los ingresos de la planta de valorización vienen de dos fuentes, la primera es el aporte ciudadano como la fracción del pago de aseo urbano correspondiente a cada familia, y el segundo es la remuneración por venta del excedente eléctrico que se genera en esta planta (Cuadro 28). La determinación del monto de la fracción de pago del aporte ciudadano, se realizó considerando que esta cifra es crítica para lograr la rentabilidad económica de la planta, debido a que el monto de venta de electricidad, no es un monto que pueda ser regulado por la Municipalidad, pero el cobro de servicio de aseo urbano sí lo es.

Cuadro 28. Estimación de Ingresos Brutos mensuales de la Planta de Valorización Energética de RSU por cobro de costo de procesado de RSU por incineración y venta de electricidad producida

Ingresos	Unidad	Precio unitario (Bs)	Cantidad (N°)	Total mes (Bs)	Total año (Bs)
Aseo urbano	Bs mes/familia	203,50*	19 970,40	3.994.080,00	47.928.960,00
Electricidad	Bs mes	20,00**	998 528,10	19.970.562,04	239.646.744,50
Total					287.575.704,50

Fuente: Cálculos Propios

*Monto estimado para la condición de equilibrio en el análisis económico

**Cifra de Bs/kwh de VD Instalaciones (2014)

<http://www.vdinstalaciones.com/noticias.php?id=4>

4.7.2 Estimación de Costos

Los costos de la planta vienen dados inicialmente por la construcción de la misma, que se inicia con la creación de las construcciones necesarias y la instalación de los equipos seleccionados, por lo tanto la totalización de los costos de infraestructura sumados al de los equipos corresponde a la inversión inicial de la obra de la planta. Los equipos presentan una vida útil de 5 años excluyendo la caldera del incinerador que debe durar 10 años. Seguidamente se agrega el costo anual del personal de la planta que comienza a laboral después de la puesta en operación de la misma, se agrega el costo de bote de escoria y posteriormente los costos de mantenimiento y refacción necesarios en la planta. Las cifras correspondientes a los costos mencionados se expresan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Estimación de costos brutos

Infraestructura y equipos (Bs)	503.277.263,00
Personal (Bs)	90.160.000,00
Bote escorias (Bs)	7.391.250,00
Mantenimiento y refacción (Bs)	50.327.726,30
Total (Bs)	651.156.239,30

Fuente: Cálculos Propios * Se estimó el requerimiento de bote de escorias, tomando en cuenta, que se generan $11,34 \text{ t día}^{-1}$ de este material, a un peso unitario suelto de 1400 kg m^{-3} , lo cual da un requerimiento de $8,1 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, para un precio unitario de bote de $2,71 \text{ Bs km}^{-1}$, correspondiente a una distancia de 50 km aproximadamente, determinada con Google Maps® y www.grc.com.ve y Maprex® 2014.

4.7.3 Análisis del Proyecto

Para determinar la factibilidad de establecer la planta de valorización diseñada en este trabajo, es imperante la realización del análisis económico inherente al proyecto, en el cual se establece el periodo de cinco años para la recuperación de la inversión inicial.

Los resultados inherentes al análisis económico de acuerdo a la metodología de elaboración de análisis económicos establecida por Gittinger (1976) que fue adaptada al diseño conceptual de este trabajo, se presentan en los Cuadros 30 y 31.

Cuadro 30. Análisis Económico

Año	Costos Brutos (Bs)	Ingreso Bruto (Bs)	Factor Actualización (Bs)	Costo Act. (Bs)	Ing. Act. (Bs)	Diferencia (Bs)
0	503.277.263,00	0,00	1,00	503.277.263,00	0,00	503.277.263,00
1	97.551.250,00	288.414.461,30	0,86	84.095.905,17	248.633.156,29	164.537.251,12
2	147.878.976,30	288.414.461,30	0,74	109.898.169,07	214.338.927,84	104.440.758,77
3	147.878.976,30	288.414.461,30	0,64	94.739.800,92	184.774.937,79	90.035.136,87
4	147.878.976,30	288.414.461,30	0,55	81.672.242,17	159.288.739,48	77.616.497,30
5	147.878.976,30	288.414.461,30	0,48	70.407.105,32	137.317.878,86	66.910.773,54
TOTAL	1.044.465.441,90	1.153.657.845,20		944.090.485,66	944.353.640,26	263.154,60

Fuente: Cálculos Propios

Cuadro 31. Equilibrio para Relación Beneficio/Costo = 1

Precio Aseo Urbano (Bs)	203,50
Tasa Interna de Retorno (%)	16,00
Relación Beneficio/Costo	1,00

Fuente: Cálculos Propios

El ingreso bruto de la planta de valorización, como se expresó anteriormente se centra en el cobro del servicio, sin embargo el precio de venta del kilovatio-hora ajustado al costo actual es relativamente bajo, en el caso de que este valor suba por condiciones de mercado o por subsidio, ya que una planta de valorización energética, por la importancia que un

desarrollo como este refleja, se acostumbra a dar incentivos en el valor del kilovatio-hora que se vende a la red.

En las condiciones de este proyecto, el monto calculado que las familias deberían aportar para que la Tasa Interna de Retorno (TIR) sea al menos ligeramente superior a la Tasa de Interés Activa de Venezuela de 15,9% (Banco Mundial, 2014) es de 203,50 Bs.

4.7.4 Indicadores Económicos del Proyecto

El conocimiento de cifras que permitan reconocer el desempeño, en este caso económico, que puede tener la ejecución de este proyecto, desde el punto de vista de visualizar el costo que requiere la producción y la ejecución de sus actividades principales.

Como es un sistema de producción de energía, se requiere determinar una tasa de costo por unidad de energía producida, es decir el costo en Bolívares de producir un Megavatio-hora (Cuadro 32). Siendo principalmente un sistema de tratamiento y de recuperación de RSU, es imperante determinar una tasa que indique el costo por unidad de masa de residuos tratados, expresando la cantidad de Bolívares requeridos para procesar una Tonelada de RSU (Cuadro 33)

Cuadro 32. Estimación de Costo de producción de 1 MWh

Indicador	Cantidad
Costo energía (Bs*MWh-1)	6.762,42

Fuente: Cálculos propios

Cuadro 33. Estimación de Costo de tratamiento de 1 Tonelada de RSU

Indicador	Cantidad
Costo de Reciclado (Bs*Ton-1)	3.741,15
Costo de Incineración (Bs*Ton-1)	2.691,00
Costo Total (Bs*Ton-1)	6.432,14

Fuente: Cálculos propios

4.8 ANALISIS DE RESULTADOS

4.8.1 Desempeño teórico

El proceso consta de dos líneas de producción simultáneas de la misma configuración operativa, con capacidad para procesar 6,3 toneladas por hora, principalmente mediante el equipo de horno-caldera Max Power JS de capacidad de 7 toneladas por hora.

El proceso del lavado de gases de combustión es capaz de procesar la cantidad tope estimada a ser producida de $5300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, consiguiendo esto en dos fases; la primera donde ocurre un lavado de sustancias ácidas y orgánicas tóxicas, con el equipo ZLRC-2 de Beijing ZLRC Environmental Protection Equipment Co., Ltd. y la segunda, donde ocurre una fijación de partículas sólidas en suspensión, en los filtros de mangas del equipo Jet Pulse SLDM168-5 de Yancheng Sailong Energy-Saving Technology Engineering Co., Ltd.

Este sistema seleccionado cumple con la legislación UE 2000/76/CE, produciendo un máximo de 10 mg.m^{-3} de sólidos totales y partículas de suspensión, por lo tanto emite un valor 25 veces inferior al límite establecido en el Artículo 9 de las Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica (1995), de 250 mg.m^{-3} .

En cuanto al aprovechamiento energético, en el proceso de incineración se procesaran 54 953 toneladas anuales entre los cuales esta principalmente la materia orgánica putrescible, materiales inertes y algunas cantidades de vidrio no recuperables, a una tasa de 12,6 toneladas por hora, produciendo 66,6MWh diarios, siendo capaz de suplir sus propios requerimientos de 0,1MWh y despachar su excedente, de 66,5MWh al Municipio con lo cual se estimó que aproximadamente 1039 viviendas pueden ser beneficiadas, tomando en cuenta 5 habitantes por vivienda y un consumo anual per cápita estimado de 4,2 MWh aproximadamente a partir del año 2012 (Noticias 24, 2014).

En total, el sistema planteado, será capaz de reducir las 264,13 toneladas diarias de RSU, a solo 11,34 toneladas de escorias, que aunque podrían ser reutilizables, se planteó su bote. Si se lleva a una estimación de volumen, las escorias ocuparían $8,1 \text{ m}^3$, cantidad que pueden ser transportada por un solo camión volteo. Comparado con un sistema más convencional de relleno sanitario, ocupa mucho menor espacio que los RSU compactados en éste que generarían un volumen diario de $528,26 \text{ m}^3$.

4.8.2 Desempeño económico

La estimación de los costos de la planta de valorización de RSU de MBI proyectó que se requiere una inversión inicial de 503.277.263,00 Bs en infraestructura y equipos, llegando a tener unos costos anuales de operación de 90.160.000,00 Bs en personal, 7.391.250,00 Bs para el bote de escorias y 50.327.726,30 Bs para el mantenimiento y refaccionamiento.

El ingreso por venta del excedente generado en la planta es bastante cuantioso (239.646.744,50 Bs al año), este no depende de regulaciones de la administración de MBI, pero sería relevante en la optimización e independización eléctrica de los municipios, otorgándoles una autonomía energética y fiscal sin precedentes, ayudando a los mismos a ser más rentables y menos dependientes de financiamiento por parte del Estado Central.

El análisis financiero realizado indicó que la rentabilidad dependería fundamentalmente de la energía producida pero también del monto del servicio prestado, calculado en 203,50 Bs por familia, arrojando una Tasa Interna de Retorno de 16% (2014), cifra que está 0,1% por encima de la Tasa de Interés Activa de Venezuela de 15,9%, lo que permite que la inversión se recupere en un plazo de 5 años.

CONCLUSIONES

El diseño conceptual cumple con el reciclaje e incineración como establece la legislación venezolana vigente, al integrar estos dos procesos en un proyecto que permite aprovechar al máximo el potencial de valorización de los RSU de MBI, al tener la capacidad de tratar un tope de 94 480 toneladas anuales prorrateadas a 30 años de vida útil. En el proceso de reciclaje se recuperarán 39 528 toneladas anuales de RSU y se incinerarán 54 953 toneladas. Dentro del marco de la Ley de Gestión Integral de la Basura, cumple con ser una actividad de incineración controlada y que permite recuperar materiales reusables.

En el aspecto de la energía, dentro del marco de Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía (2011), esta actividad donde se da un tratamiento adecuado a los RSU de MBI y se produce energía de 66,5 MWh diarios mediante el aprovechamiento del calor de la incineración, cumple con las condiciones para que se promueva el desarrollo de esta tecnología mediante la implementación de incentivos fiscales. Sería un gran apoyo la implantación de una plataforma económica mixta de sector privado y estado.

Desde la perspectiva de diseño en un contexto ambiental sustentable, este equipo cumple con la condición de no ser perjudicial para el ambiente, ya que no supera el valor máximo de sólidos totales en suspensión establecidos en la normativa legal vigente en cuanto a calidad ambiental y contaminación atmosférica. Al comparársele con otros métodos convencionales de tratamiento de RSU, la incineración controlada integrando el reciclaje aporta numerosos beneficios desde el punto de vista de la practicidad de esta actividad, ya que integra la valorización energética con la recuperación de materiales sistemáticamente en un proceso ordenado y lógico.

Este diseño demuestra que desde el punto de vista espacial y volumétrico, la actividad incineración-reciclaje mejora la gestión física de los RSU, ya que la planta ocuparía un espacio mucho menor que un relleno sanitario, con una reducción de requerimiento de área por el orden de 95-97%. Por lo tanto un relleno de 70 ha, podría tener una alternativa de Planta de Valorización de RSU que solo ocupe 2,25 ha, que representa una optimización efectiva en la planificación de las áreas destinadas a el manejo y tratamiento de RSU, que para un Municipio que no disponga de mucha área para estas actividades figura una gran opción a considerar en cuanto a su planificación ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar este planteamiento a la comunidad, ya que se ve la factibilidad a nivel conceptual de dicha propuesta. Por lo tanto es necesario que se trascienda hacia la formulación de un proyecto que incluya la ingeniería básica y de detalle, partiendo de que este diseño conceptual contempló las partes operativas conformantes de la planta de valorización. Esto permitirá, concretar un producto tangible para la comunidad de MBI, desde la perspectiva de brindarle una respuesta efectiva y eficiente al “problema de la basura” de esta localidad.

Se recomienda el estudio y desarrollo de mercados de bienes y servicios en el contexto del reciclaje y reutilización, especialmente aplicados a los CDR. Un impulso en esta área permitiría, desde un punto de vista técnico-ambiental; una inclusión factible de los procesos térmicos basados en las tecnologías de pirólisis y gasificación en su aplicación como sistemas de tratamiento y de valorización, adecuados al contexto venezolano, al existir una plataforma de comercialización y distribución de productos CDR, sólidos, líquidos y gaseosos, que serían de gran beneficio para las industrias nacionales que utilicen estos materiales y que bajo el marco de la Ley de uso Racional y Eficiente de la Energía, sería un uso más eficiente del aprovechamiento de los RSU.

REFERENCIAS

ACUMAR. (2009). Plan maestro de gestión integral de residuos sólidos Urbanos. Autoridad de Cuenca Matanzas de Riachuelo (ACUMAR). Buenos Aires. Argentina.

AGROMECA. (2010). Generación Eléctrica con Biogás, Una alternativa para granjas lecheras y porcinas. Revista ECAG N°52, 2010. Costa Rica.

Alibaba Group. (2014). MSW products. www.alibaba.com

APPA. (1999) La Biomasa. Asociación de productores de Energías Renovables.

Aye, L. y Widjaya, E. (2007). Análisis ambiental y económico de opciones de disposición de desechos para los mercados tradicionales de Indonesia, “Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia.” Waste Management, 26 (2006). En: www.sciencedirect.com[Consulta 2013, 13 de Agosto].

Banco Mundial (2014). Tasa de Interés Activa. <http://datos.bancomundial.org/indicador/FR.INR.LEND>[Consulta 2014, 22 de Diciembre]

Bergman, P. y Dille, J (1982). Sistemas Presurizados de Lechos Fluidizados de Alta Eficiencia. “High Efficiency Pressurized Fluid Bed Systems”. The American Society of Mechanical Engineers. Nueva York, Estados Unidos.

Comisión Europea (2013). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). Madrid, España.

Cortés. S (2009). Planta De Valorización Energética de Rsu de Bizkaia Zabalgarbi. Agencia de Residuos de Catalunya. España.

CPS-Unizar <http://www.cps.unizar.es/~proter/Gasificaci%F3n.htm> [Consulta 2013, 20 de Noviembre].

Directive 2006/12/CE of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste (Normas 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consulado del 5 de abril de 2006 sobre desperdicios). Official Journal of the European Union (27 de abril de 2006)

Ecoparc.(2014) www.ecoparcbcn.com[Consulta 2014, 10 de Diciembre]

Eder, W.E. (1996). EDC Engineering Design and Creativity. Proceedings of the Workshop EDC. W.E. Eder (Ed.) State Scientific Library. Pilsen, Czech Republic, Nov. 95, Serie WDK24, Workshop Design-Konstruktion. Pub. V. Hubka. Ed. HeuristaZürich.

Eko Technology (2012). Pirolisis y tecnología de residuos: http://www.eko-technology.com/espanol/Planta_de_pirolisis.html[Consulta 2013, 20 de Noviembre]

Fernández, A (2007). Planta De Incineración de Residuos Sólidos Urbanos con Tecnología de Parrilla y Recuperación Energética. Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Madrid, España.

Flores, C. (2009). La problemática de los desechos sólidos “The solid waste problem”. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Mérida, Venezuela.

Fenercom (2010). Guía para la valoración energética de residuos. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Madrid, España.

Garboza L. (2004). Manual De Procedimiento Para La Aplicación De Ruta Ambiental dirigido a las comunidades Proyecto de FUNDACITE Aragua y FONACIT número 2001002406. Maracay. Venezuela.

Gittinger, P. (1976). Análisis Económico de Proyectos Agrícolas. Editorial Tecno. Madrid. España. 241 p.

Gobernación del Estado Aragua (2010). Proyecto Aragua Recupera. Maracay. Venezuela.

Greenpeace (2010.) La incineración de residuos en cifras -Análisis socio-económico de la incineración de residuos municipales en España-.

Henry, G. y Heinke, W. (1999). Ingeniería Ambiental. México, D.F.: Prentice Hall.

IDAE (2007). Biomasa, Gasificación. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España

IHOBE (2014). Reducción selectiva no catalítica con una reducción de emisiones de NOx> 55 %. <http://www.ihobe.eus/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=c05e480c-da8e-4f98-b3be-172f3ef3d834>[Consulta 2014, 20 de Noviembre]

INE. Censo de Venezuela 2011, En: www.ine.gov.ve. [Consulta 2013, 12 de Febrero]

JFE Proyect. (2011). Why use pyrolysis to MSW treatment? <http://jfe-project.blogspot.com/2011/10/why-use-pyrolysis-to-msw-treatment.html> [Consulta 2013, 18 de Noviembre]

Constitución de La República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial Número 36.860 de 30 de diciembre de 1999. Venezuela.

La Verde, S. (2010) Diseño de un Incinerador de Lecho Fluidizado para Procesar Desechos Sólidos Orgánicos e Inorgánicos Combustibles Procedentes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Maracay.

Ley Orgánica Del Ambiente. Gaceta Oficial No5.833 Extraordinario de 22-12 2006. Venezuela.

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio Gaceta Oficial No 3 238 de 11-08-1983. Venezuela.

Ley Orgánica Para La Ordenación Urbanística. Gaceta Oficial N° 33 868 de fecha 16-12-1987. Venezuela.

Ley De Gestión Integral De La Basura Publicada en Gaceta Oficial N° 6.017 Extraordinario de 30 de diciembre de 2010. Venezuela.

Ley Sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos Gaceta Oficial N° 5 554 Extraordinario de 13-11-2001. Venezuela.

Ley de Aguas Gaceta Oficial. N° 38 595 de 01-01-2007. Venezuela.

Ley Penal Del Ambiente Gaceta Oficial N° 4358 de 03-11-1992. Venezuela.

Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía Gaceta Oficial N° 39823 de 19-12-2011. Venezuela.

Michalko, M. (2001), Thinker Toys; Ed. Gestión 2000, Barcelona.

Noticias + Verde. (2011) <http://noticias.masverdedigital.com/2011/aprueban-inversion-multimillonaria-para-conversion-de-vertedero-de-san-vicente-en-aragua>. [Consulta 2013, 20 de Noviembre]

Noticias 24 (2014) <http://www.noticias24.com/venezuela/noticia/239938/venezuela-es-el-pais-con-mayor-consumo-de-energia-electrica-en-latinoamerica/>[Consulta 2014, 22 de Diciembre]

Normas Sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. Decreto N° 638 del 26 de Abril de 1995. Venezuela

Normas COVENIN 3466:1999 (2004) FONDONORMAS. Caracas. Venezuela.

OMS. (2002). Guía metodológica para la preparación de planes directores del manejo de los residuos sólidos municipales en ciudades medianas. Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud (Oficina Regional). Washington D.C. E.E.U.U.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), (2005). En: <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bv-residuos.shtml>, [Consulta 2012, 20 de Mayo].

Protocolo de Kyoto sobre El Cambio Climático (1997). Convenio Marco de las Naciones Unidas. (CMNUCC)

Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S. (1994). Gestión Integral de Desechos Sólidos. 1 y 2. Madrid: Editorial McGraw Hill.

Tirme (2014) Planta incineradora de Palma de Mallorca. http://www.tirme.com/es/incineracion_02f3s.html [Consulta 2014, 03 de Abril]

Tsai, W., Chou, Y., Lin, Ch., Hsu, H., Lin, K. y Chiu, Ch. (2007). "Perspectives on resource recycling from municipal solid waste in Taiwan." Resources Policy, 32, (2007), pp. 69-79. En: www.sciencedirect.com 2012.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006) Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Caracas, Venezuela.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2014) Control de la Contaminación Atmosférica. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358008/Contenido_en_linea_Control/leccin_16_control_de_emisiones_de_material_particulado.html [Consulta 2014, 14 de Diciembre]

VD Instalaciones (2014) <http://www.vdinstalaciones.com/noticias.php?id=4> [Consulta 2014, 22 de Diciembre]

Wellons Fei (2014) <http://www.wellonsfei.ca/en/reciprocating-grate.aspx> [Consulta 2014, 14 de Diciembre]

WN (2014) http://wn.com/incineration_moving_grate [Consulta 2014, 14 de Diciembre]

ANEXO 1

LIMITES TERRITORIALES DEL MUNICIPIO MARIO BRICEÑO IRAGORRY

- Por el Norte con el municipio autónomo Costa de Oro, pasando por Rancho Grande del Pico Periquito en el sentido noroeste por la misma fila, comienza en un punto de coordenadas N.- 1.143.950 E. 643.360: en sentido Noroeste pasando por Rancho Grande y el Pico Guacamaya hasta llegar a la Intersección de la fila El Tigre, cerro Chimborazo y Cerro Piedra de Turca en un punto de coordenadas N.- 1.146.000 – E 651.000 final del lindero Norte.
- Por el Este con el municipio Girardot desde el punto antes descrito Cerro Chimborazo con coordenadas N.- 1.146.000, E 651.000, siguiendo en este sentido suroeste por la fila El Tigre y continuidad de la fila La Trinidad hasta el colegio La Trinidad bordea dicho hasta llegar a las coordenadas n.- 1.136.570, E. 657.800, final de este lindero.
- Por el Sur limita con el polígono que va por el municipio Girardot desde el Colegio La Trinidad de allí sigue por la Avenida Universidad hasta llegar a la intersección con la avenida El Limón de allí bordea los edificios del sector 10 y UD- 17 de la Urb. Caña de Azúcar, de allí se conecta con la avenida del sector 5 de la urbanización José Felix Ribas y desde este punto en línea recta en sentido Suroeste, atraviesa el río Tapatapa hasta llegar a las estribaciones de los cerros que bordea el valle El Rincón, coordenadas N.-1.134.800, E 649.500 y desde allí a la fila La Cabrera hasta un punto de coordenadas N.- 1.137.000 E 647.800. Prosigue por dicha fila siguiendo en sentido Oeste, pasa por la fila El Aguacate, coordenadas N.- 1.047.260, E 622.700 final del lindero sur.
- Por el Oeste con el estado Carabobo desde el punto antes mencionado hacia el norte, tomando la fila Reinoso, pasando por el Cerro Bujurugo. Llegando a Punta Cambiadores, coordenadas N.- 1.158.900 E. 625.300 punto de partida.

ANEXO 2

DIBUJO DE VISTAS DE PLANTA DE LA PLANTA DE VALORIZACIÓN DE MBI