

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑOS DE MEZCLA DE  
POLIETILEN TEREFALATO (PET) - CEMENTO**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por las Brs. Luis, Alesmar y  
Rendón, Nalia para  
optar al título de Ingeniero Civil

Caracas, noviembre de 2005

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑOS DE MEZCLA DE  
POLIETILEN TEREF TALATO (PET) - CEMENTO**

**Tutor académico: Prof. María Eugenia Korody.**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela Por las Brs.  
Luis, Alesmar y  
Rendón, Nalia para  
optar al título de Ingeniero Civil

Caracas, noviembre de 2005

## ACTA

El día 16 de noviembre de 2005 se reunió el jurado formado por los profesores:

María Eugenia Korody

Henry Blanco

César Peñuela

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**DISEÑOS DE MEZCLA POLIETILEN TEREFALATO (PET) - CEMENTO**". Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que las bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Alesmar Luis B.	20	Veinte
Br. Nalia L. Rendón C.	20	Veinte

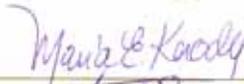
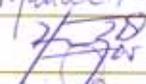
Recomendaciones:

---

---

---

### FIRMAS DEL JURADO

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Caracas, 16 de noviembre de 2005

**LUIS B. ALESMAR  
RENDÓN C. NALIA L.**

**“DISEÑOS DE MEZCLA DE POLIETILEN TEREF TALATO  
(PET) – CEMENTO”**

**Tutor Académico: Prof. María E. Korody, Tesis. Caracas,  
U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2005.**

**Palabras Claves:** PET-Cemento, Resistencia, durabilidad, Impacto Ambiental.

**Resumen**

Corresponde a este trabajo experimental, la tarea de elaborar, ensayar y caracterizar Mezclas de Polietilen Tereftalato (PET) – Cemento; para ello se estableció una metodología basada en una investigación teórico-práctica que ayudase a determinar de manera preliminar el posible comportamiento del plástico al utilizarlo como agregado en una mezcla. Las mezclas de PET – Cemento realizadas están conformadas por 5%, 10% y 15% de PET además de arena y piedra, en proporciones que dependen del tipo de mezcla, es decir, si es para mortero o para concreto. Se utilizaron tres diseños de mezcla en donde se sustituyó parte de la arena por el plástico. Para determinar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas realizadas se elaboraron una serie de probetas que tuvieran las características ideales para los respectivos ensayos tanto de compresión simple, como de absorción, erosión e impacto. Las mismas se curaron por 7 días, luego se almacenaron hasta los 28 días para realizar los ensayos anteriormente mencionados exceptuando los de absorción y erosión que se debían hacer a los siete días. Desde el punto de vista de resistencia y durabilidad; a compresión simple, la mezcla B (concreto con un 15% de PET) es la que se considera la más apropiada ya que resultó ser en promedio la más resistente aún cuando no sea la mezcla más homogénea. Por otro lado, su capacidad de absorción es baja al igual que su comportamiento ante la erosión e impacto, lo que la hace la mezcla más idónea para ser utilizada como material de construcción. Cabe destacar que no es la más costosa dentro de las tres mezclas que contienen PET. La mezcla de PET - Cemento ayuda a reducir las cantidades de PET que no poseen una disposición final adecuada, disminuyendo así su impacto ambiental, ya que se necesita una gran cantidad de botellas de gaseosas para obtener el material para elaborar la mezcla, por lo que dichas botellas se estarían eliminando del ambiente.

En muy pocas líneas deseo dedicar este gran esfuerzo a todas las personas que han estado pendientes de mi y me han ayudado en todo momento, tanto en mis logros como en mis fracasos, a todos aquellos que de una u otra forma me han guiado y aconsejado para llegar a donde estoy y a ser lo que hoy por hoy soy...

A DIOS por concederme el privilegio de la vida y ofrecerme lo necesario para lograr mis metas y darme las fuerzas para enfrentar todos los problemas...

A mis PADRES por darme siempre su amor y comprensión, por apoyarme siempre en todas mis decisiones, por enseñarme que todo se logra con trabajo, constancia y perseverancia...

A mis ABUELOS, los que están y los que no están, por darme siempre sus sabios consejos, por enseñarme todo lo que han aprendido a través de sus largos años de experiencia, por mostrarme como es el mundo que no he podido conocer...

A mis TÍOS que siempre y en todo momento han compartido su sabiduría y me han apoyado en todos estos años...

A mis HERMANOS por apoyarme siempre y estar siempre pendientes de mi, aunque la distancia nos separe, por compartir conmigo los momentos más grandes de nuestras vidas...

A mis PRIMOS por ser mis mejores amigos y hacerme sonreír siempre, por ser mi mejor distracción en las épocas de mayor confusión...

A mis AMIGOS por estar siempre conmigo, los que están cerca y los que están lejos, por apoyarme en las buenas y en las malas, por darme su amistad incondicional, por estar siempre conmigo con el paso de los años...

A WILL por ser parte de mi corazón y estar conmigo, por darme el apoyo que últimamente he necesitado tanto...

**ALESMAR**

Este espacio es para todos aquellos que especialmente y de corazón se preocuparon y esforzaron por mí durante el transcurso de esta ardua pero fructífera etapa de mi vida.

- ◆ A Dios, por darme la vida, por darme la paz tan necesaria en esos momentos de angustia.
- ◆ A ti mamá, gracias por darme todo lo que he necesitado, mujer emprendedora y fiel, luchadora cien por ciento, por permanecer a mi lado en las buenas y en las malas, ejemplo firme y constante de la forma de vida ideal, ejemplo perfecto, juntas para lo que sea.
- ◆ A ti papá, te quiero, gracias por enseñarme la realidad de vivir.
- ◆ A ti Merlín A. Rodríguez Vidal, amor, fortaleza, ayuda, hombro fiel, conocimiento, lucha, todo lo que hemos pasado juntos valió la pena, tu lo sabías y me ayudaste a creer, me diste ese empujón tan importante en los momentos precisos y eso no lo olvidaré nunca, me ayudaste a madurar.
- ◆ A ti Manolo, que con tu gran sabiduría me has enseñado la realidad de la vida, los altos y bajos, eres más especial para mí de lo que te imaginas.
- ◆ A ti Lala, sentimiento de amor intenso, carácter constante y arraigado, gracias, simplemente gracias por ser como eres, siempre estas, donde sea y como sea, cuento contigo por siempre, creíste y lo estas viviendo.
- ◆ A ti Lorenza, la distancia no nos afecta, el amor es eterno, sueños constantes y ligados a nosotras, todos esos momentos en que pensaste que me había olvidado de ti no fue así y aquí tienes los frutos.
- ◆ A ti América Rendón Mata, mujer de esfuerzo, de sentimientos, ejemplo digno, amor incondicional, eterno sentimiento en las buenas y en las malas
- ◆ A ti Marta, me apoyaste, ayuda incondicional, cariño mutuo, fortaleza, ganas de crecer, carácter, te quiero.
- ◆ A ti Angelito, eres mi sangre, mi hermanito, todas esas veces que decías que no nos veíamos dieron frutos.
- ◆ A ti Fredidi, mi amorcito, gracias por aparecer en nuestras vidas e iluminar los días de la persona más importante en mi vida, eres amor, fortaleza, sentir.
- ◆ A ti tía Concha, ejemplo de rectitud y seguridad, aunque no estés entre nosotras físicamente te tengo presente y recuerdo tus enseñanzas, te quiero.
- ◆ A mis amigos, apoyo incondicional, gracias por despertarme en las madrugadas, por ayudarme en esos momentos de locura temporal, por tenderme un hombro en el momento preciso.
- ◆ A mis jefes, por disculparme en esos momentos en los que no estaba, por la confianza depositada y por preocuparse por mí, por darme la oportunidad de vivir esas etapas necesarias, por el aprendizaje.

A todos por creer en mí, ayudarme, dejarme crecer en espíritu y ayudarme a madurar les dedico este arduo esfuerzo.

**Nalia**

A Dios por guiarnos siempre y ayudarnos a culminar esta etapa de nuestras vidas y por habernos guiado hacia todas estas personas que nos ayudaron a culminar con este trabajo de investigación:

A la Prof. María Eugenia Korody.

Al Prof. Cesar Peñuela.

Al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), en especial, a los Técnicos que nos ayudaron con la realización de todos los ensayos (Lee y René).

Al Sr. Guido Ochoa, Presidente de GIOSCA.

A la Familia López Chacón, por habernos adoptado como parte de su familia, en especial a la ABU.

A la Constructora Minatelf, C.A., por habernos donado los materiales utilizados en el presente trabajo.

A todos nuestros amigos de la Escuela de Ingeniería Civil que de alguna forma nos ayudaron en el desarrollo de este trabajo.

A todos los que de una u otra forma colaboraron con este proyecto y que no están aquí mencionados, estén seguros que les estaremos eternamente agradecidas.

	Pág.
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	3
1.1.1. Objetivo General .....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.2. Aportes al Conocimiento .....	4
 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	 5
2.1. Diseño de Mezcla .....	5
2.1.1. Características de las Mezclas .....	5
2.1.1.1. Conglomerante .....	6
2.1.1.1.1. Cemento .....	6
2.1.1.1.2. Composición Química .....	8
2.1.1.2. Agregados .....	8
2.1.1.2.1. Granulometría de los Agregados .....	9
2.1.1.2.2. Tamaño Máximo de los Agregados .....	9
2.1.1.2.3. Peso por Unidad de Volumen de los Agregados .....	10
2.1.1.3. Agua .....	10
2.1.2. Ley de Abrams .....	13
2.2. Uso de Nuevos Materiales en la Construcción .....	15
2.3. ¿Qué es el Polietileno Tereftalato (PET)? .....	17
2.3.1. Origen de PET .....	19
2.3.2. Producción Mundial del PET .....	20
2.3.3. Composición del PET .....	20
2.3.4. Propiedades del PET .....	22
2.3.5. Ventajas del PET .....	24
2.3.6. Granulometría del PET .....	26
2.3.7. Transformación del PET para su Disposición Final .....	26
2.3.8. Volúmenes sin Disposición Final Adecuada .....	28
2.3.9. Métodos de Reciclaje del PET .....	29
2.3.9.1. Técnicas de Reciclado .....	30
2.3.9.1.1. Reciclado Mecánico .....	30
2.3.9.1.2. Recuperación Energética .....	31
2.3.9.1.3. Reciclado Químico .....	32
2.3.9.1.4. Rellenos Sanitarios .....	33
2.3.10. Antecedentes de la Utilización del Polietileno Tereftalato (PET) como Material de Construcción .....	34
2.4. Costos de Producción de Diferentes Tipos de Materiales de Construcción .....	36
2.5. Impacto Ambiental del PET .....	37
2.6. Propiedades Mecánicas .....	39

	Pág.
2.6.1. Ensayo de Compresión .....	40
2.6.2. Ensayo de Absorción .....	41
2.6.3. Ensayo de Erosión .....	42
2.6.4. Ensayo de Impacto .....	42
<b>CAPÍTULO III. MÉTODO .....</b>	<b>43</b>
3.1. Materiales y Equipos .....	43
3.1.1. Laboratorio .....	43
3.2. Realización del Trabajo Experimental .....	45
3.2.1. Selección del Material .....	45
3.2.2. Ensayos Preliminares .....	46
3.2.3. Obtención de la Granulometría Adecuada .....	46
3.2.4. Elaboración de Mezclas de PET – Cemento .....	47
3.2.4.1. Diseño de Mezcla .....	47
3.2.4.2. Componentes de las Mezclas de PET – Cemento ...	48
3.2.4.2.1. Transporte, Almacenaje y Almacenaje de los Componentes .....	48
3.2.4.2.2. Mezclado de los Componentes .....	49
3.2.5. Probetas de PET – Cemento .....	50
3.2.5.1. Especificaciones de las Probetas .....	50
3.2.5.2. Forma y Tamaño de las Probetas .....	51
3.2.5.3. Elaboración de las Probetas .....	51
3.2.5.4. Curado de las Probetas .....	60
3.2.6. Ensayos de las Probetas de PET – Cemento .....	61
3.2.6.1. Ensayo de Compresión .....	61
3.2.6.2. Ensayo de Absorción .....	63
3.2.6.3. Ensayo de Erosión .....	65
3.2.6.3.1. Erosión por Rociado .....	65
3.2.6.3.2. Erosión por Cepillado .....	67
3.2.6.4. Ensayo de Impacto .....	68
3.3. Comparación de Costos de Producción de Diferentes Materiales de Construcción .....	70
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>72</b>
4.1. Ensayos Preliminares .....	72
4.1.1. Contenido de Humedad .....	72
4.1.2. Granulometría .....	74
4.1.3. Peso Unitario Compacto .....	77
4.2. Ensayos de las Probetas de PET – Cemento .....	79
4.2.1. Compresión .....	79
4.2.2. Absorción .....	90
4.2.2.1. Ciclo Húmedo – Seco .....	94

	Pág.
4.2.3. Erosión .....	97
4.2.3.1. Por Cepillado .....	97
4.2.3.2. Por Rociado .....	99
4.2.4. Impacto .....	100
4.3. Comparación de los Costos de las Distintas Mezclas .....	101
CONCLUSIONES .....	103
RECOMENDACIONES .....	106
BIBLIOGRAFIA .....	107
ANEXO A: Glosario, Terminología del PET” .....	114
ANEXO B: Fotos, Proceso Experimental” .....	118

	Pág.
Figura 2.1. Símbolo del PET .....	18
Figura 2.2. Diagrama de Flujo para la Producción del PET .....	22
Figura 2.3. PET Molido .....	26
Figura 2.4. Ciclo de Vida del PET .....	30
Figura 2.5. Limpieza y Separación del PET .....	31
Figura 2.6. Proceso de Metanólisis del PET .....	33
Figura 2.7. Moldes para Ensayos de Compresión.....	41
Figura 3.1. Instrumentos y Herramientas de Laboratorio .....	45
Figura 3.2. PET Suministrado por la Compañía GIOSCA .....	46
Figura 3.3. Almacenaje de los Componentes .....	49
Figura 3.4. Proceso de Mezclado .....	50
Figura 3.5. Formaletas para Cilindros .....	51
Figura 3.6. Laboratorio de Agregados .....	52
Figura 3.7. Preparación y Pesado de los Componentes .....	53
Figura 3.8. Proceso de Mezclado .....	54
Figura 3.9. Llenado del Cono de Abrams .....	55
Figura 3.10. Procedimiento para Realizar el Ensayo del Cono de Abrams .....	56
Figura 3.11. Ejecución del Ensayo del Cono de Abrams .....	56
Figura 3.12. Proceso de Desmolde del Cono de Abrams .....	57
Figura 3.13. Medición del Asentamiento del Cono de Abrams .....	57
Figura 3.14. Procedimiento para Determinar el Peso Unitario Compacto .....	59
Figura 3.15. Proceso de Elaboración de las Probetas .....	60
Figura 3.16. Curado de las Probetas .....	61
Figura 3.17. Ensayo de Compresión en la Prensa Universal .....	63
Figura 3.18. Ejecución del Ensayo de Absorción .....	65
Figura 3.19. Erosión por Rociado .....	66
Figura 3.20. Erosión por Cepillado .....	68
Figura 3.21. Implementos Utilizados para el Ensayo de Erosión por Cepillado .....	68
Figura 3.23. Ensayo de Impacto .....	69
Figura 4.1. Probetas Ensayadas a Compresión Simple .....	86
Figura 4.2. Fallas de Probetas Ensayadas a Compresión Simple .....	87

	Pág.
Tabla 2.1. Composición Química del Cemento .....	8
Tabla 2.2. Propiedades Eléctricas del PET .....	23
Tabla 2.3. Propiedades Físicas del PET .....	23
Tabla 2.4. Propiedades Mecánicas del PET .....	23
Tabla 2.5. Propiedades Térmicas del PET .....	24
Tabla 2.6. Resistencia Química del PET .....	24
Tabla 2.7. Precios Referenciales de Materiales de Construcción ...	37
Tabla 3.1. Componentes de las Mezclas .....	47
Tabla 3.2. Costo de 1 M <sup>3</sup> de la Mezcla Patrón de Concreto .....	70
Tabla 3.3. Costo de 1 M <sup>3</sup> de Mezcla Patrón de Mortero .....	71
Tabla 3.4. Costo de 1 M <sup>3</sup> de la Mezcla A .....	71
Tabla 3.5. Costo de 1 M <sup>3</sup> de la Mezcla B .....	71
Tabla 3.6. Costo de 1 M <sup>3</sup> de la Mezcla E .....	71
Tabla 4.1. Resultados de Contenido de Humedad .....	72
Tabla 4.2. Resultados Contenido de Humedad de Otros Materiales .	73
Tabla 4.3. Resultados Granulometría del PET .....	74
Tabla 4.4. Resultados Granulometría de Otros Agregados .....	75
Tabla 4.5. Cálculo del Volumen del Recipiente para Peso Unitario Compacto .....	77
Tabla 4.6. Cálculo de Peso Unitario Compacto .....	77
Tabla 4.7. Comparación del Peso Unitario Compacto con las Mezclas Patrón .....	78
Tabla 4.8. Peso Unitario Compacto de las Mezclas Patrón .....	79
Tabla 4.9. Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los Siete Días .....	80
Tabla 4.10. Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los Siete Días (Probetas Pequeñas) .....	81
Tabla 4.11. Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los 28 Días (Probetas Normalizadas) .....	82
Tabla 4.12. Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 Días (Probetas Pequeñas) .....	82
Tabla 4.13. Resultados de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 días (Probetas Pequeñas) .....	83
Tabla 4.14. Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 días (Probetas Pequeñas) .....	84
Tabla 4.15. Resultados de los Ensayos a Compresión Simple a los Siete Días del Suelo – Cemento .....	88
Tabla 4.16. Resultados de los Ensayos de Absorción .....	90

	Pág.
Tabla 4.17. Resultados de los Ensayos de Absorción de Suelo – Cemento .....	92
Tabla 4.18. Absorción, Ciclo Húmedo – Seco .....	94
Tabla 4.19. Absorción, Diferencia en Peso de Cada Una de las Muestras por Ciclo entre el Peso Húmedo y Peso Seco ..	95
Tabla 4.20. Resultados de Ensayo de Erosión por Cepillado .....	97
Tabla 4.21. Resultados de Ensayo de Erosión por Rociado .....	99
Tabla 4.22. Resultados de Ensayo de Impacto .....	100

	Pág.
Fórmula 2.3. Reacción General de Polimerización .....	21
Fórmula 2.4. Fórmula Química del Polietilen Tereftalato .....	21
Fórmula 2.1. Ley de Abrams .....	13
Fórmula 2.2. Ley de Abrams .....	15
Fórmula 3.1. Determinación del Volumen de un Recipiente .....	58
Fórmula 3.2. Simplificación de la Determinación del Volumen de un Recipiente .....	58
Fórmula 3.3. Determinación del Peso Unitario Compacto .....	59
Fórmula 3.4. Absorción .....	64
Fórmula 3.5. Coeficiente de Absorción .....	64

	Pág.
Gráfico 2.1. Resistencia versus a/C .....	14
Gráfico 4.1. Comparación del Contenido de Humedad Agregados Usados en la Construcción .....	73
Gráfico 4.2. Curva Granulométrica del PET.....	76
Gráfico 4.3. Comparación de Distintas Curvas Granulométricas de Agregados y la del PET .....	76
Gráfico 4.4. Curva de Variación de Resistencia a Compresión en Función del Tiempo para Probetas Pequeñas .....	87
Gráfico 4.5. Resistencia a Compresión para Mezclas de PET-Cemento .....	88
Gráfico 4.6. (Comparación) Resultados de los Ensayos a Compresión Simple entre el PET - Cemento y el Suelo - Cemento .....	89
Gráfico 4.7. Porcentaje de Absorción de las Mezclas de PET - Cemento .....	91
Gráfico 4.8. Promedio Porcentaje de Absorción de las Mezclas de PET - Cemento .....	89
Gráfico 4.9. Porcentaje de Absorción de las distintas mezclas.....	93
Gráfico 4.10. Comparación promedio de Porcentaje de absorción de las distintas mezclas.....	93
Gráfico 4.11. Peso Húmedo Promedio por Ciclo para Mezclas de PET - Cemento .....	95
Gráfico 4.12. Peso Seco Promedio por Ciclo para Mezclas de PET - Cemento .....	95
Gráfico 4.13. Absorción Promedio para Mezclas de PET - Cemento .	96
Gráfico 4.14. Ensayo de Erosión por Rociado .....	98
Gráfico 4.15. Ensayo de Erosión por Rociado .....	99
Gráfico 4.16. Comparación de Costos de los Distintos Materiales de Construcción .....	101

El Polietilen Tereftalato (PET), fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J.T. Dicknson en 1941. Dicho polímero comenzó a ser utilizado a partir de 1955 para la producción de envases de bebidas carbónicas, aceite, agua mineral, zumos, té y bebidas isotónicas, vinos y bebidas alcohólicas, salsas y otros alimentos, detergentes y productos de limpieza, productos cosméticos, productos químicos, lubricantes y productos para tratamientos agrícolas, así como muchos otros usos.<sup>1</sup>

A través del tiempo la industria del plástico ha ido en aumento y ha sustituido diversos materiales tales como el vidrio, la madera y el PVC por el PET, ya que el mismo es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a compresión y a las caídas, posee alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y olor de los alimentos, es un barrera contra los gases. La producción anual de envases de PET en el mundo es aproximadamente 207 millones de Toneladas, siendo en Sudamérica de 16,7 millones de Toneladas, cifra que va aumentando considerablemente a nivel mundial.<sup>2</sup>

El PET es uno de los materiales más útiles en la vida cotidiana pero uno de los que genera más contaminación en el mundo. Ante esta disyuntiva, su reciclaje se convierte en uno de los principales temas a tratar en los congresos de reciclaje a nivel mundial, como por ejemplo el II Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje realizado en mayo de 2004 en Zaragoza, España, además de el Séptimo Congreso Internacional de Reciclaje realizado en julio de 2004 en la Habana, Cuba, entre otros.

Sin embargo, no todas las botellas de PET son reciclables, a pesar que la tendencia actual de los fabricantes es conseguir envases ligeros, resistentes

---

<sup>1</sup> **“Reciclado de Envases PET”** (en línea): Estructplan on Line, Argentina, Fecha de Publicación: 1/1/2000. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>. (Consulta: marzo, 2005).

<sup>2</sup> VÁZQUEZ, Loreley. **“El Plástico”** (en línea): SoyEntrepreneur.com, Fecha de Publicación: Abril 2003. <http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts?N=13714>. (Consulta: marzo, 2005).

mecánicamente, etc., que a la vez sean cómodos y llamativos para el consumidor sin dificultar posteriormente su reciclado. Este reciclado se facilita con el empleo de envases de PET transparentes, ya que sin pigmentos tiene mayor valor y mayor variedad de usos en el mercado.

Los mecanismos utilizados actualmente para el manejo del plástico son:

- Ubicarlos en un relleno sanitario,
- Reciclarlo y convertirlo en materia prima nuevamente; proceso mediante el cual el plástico pierde parte de sus propiedades,
- Como materia prima para la elaboración de bloques totalmente de plástico de alta densidad,
- Diseño de esculturas o adornos,
- Reuso dentro de los quehaceres del hogar, etc.,

Además de los procesos mencionados anteriormente, diariamente aparecen nuevos métodos para reciclar los plásticos y también nuevos productos creados a partir de plásticos reciclados.

En este sentido cabe plantear la siguiente interrogante:

¿Podría ser utilizado el Polietilen Tereftalato (PET) como material para la construcción?, y así crear otro proceso para lograr una disposición adecuada de los plásticos producidos a nivel mundial, ya que el PET es un material que existe en gran cantidad en todo el mundo y no posee un destino final adecuado y suficiente.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la factibilidad de la utilización del Polietileno Tereftalato (PET) como agregado en diseños de mezcla para la construcción de obras civiles.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.1.2.1. Caracterizar las propiedades del PET como material de construcción.
- 1.1.2.2. Proponer una técnica para la obtención de la granulometría adecuada de los agregados a ser utilizados provenientes del PET.
- 1.1.2.3. Proponer diseños de mezcla para probetas de PET-cemento a partir de diseños de mezcla de otros materiales de construcción.
- 1.1.2.4. Cuantificar las características mecánicas y de durabilidad del PET-cemento.
- 1.1.2.5. Comparar costos de producción en m<sup>3</sup> del PET-cemento con otros tipos de materiales de construcción.
- 1.1.2.6. Estimar la posibilidad de uso de PET-cemento en construcción de obras civiles.
- 1.1.2.7. Estimar el impacto ambiental que puede causar dicho material.

## 1.2 APORTES AL CONOCIMIENTO

La Ingeniería desde sus comienzos ha buscado la forma de hacer la vida mas fácil para el ser humano, pero en la búsqueda de esos beneficios ha ido haciendo intervenciones en el ambiente, generando de esta forma un impacto social y ambiental debido a la producción masiva de materiales no biodegradables, por lo que ha ideado formas de disminuirlo. De aquí surge la idea de desarrollar un material que sirva para regular las cantidades de PET que no poseen una disposición final adecuada.

La sociedad hoy en día presenta la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías en búsqueda de mejores beneficios a menores costos, es por ello que se estudian nuevos materiales para la construcción, ya que en estos momentos una de las necesidades primordiales de la humanidad es el desarrollo de edificaciones en general y debido a esto se desea elaborar un material adecuado que sea producido en grandes cantidades, para así poder obtenerlos de manera funcional, eficiente y económica, que pueda satisfacer las demandas existentes.

Por lo anteriormente expuesto se puede decir que se fortalece la línea de investigación dedicada a nuevos materiales y técnicas constructivas que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Estructural de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, que a su vez está vinculada con investigaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la misma institución, en torno a la obtención de nuevos materiales los cuales incluyan como agregados elementos que no puedan ser reciclados o dispuestos de una manera adecuada sin afectar al ambiente.

Para lograr un estudio óptimo en esta área de investigación es necesaria la aplicación de todos los conocimientos adquiridos durante la carrera y ponerlos en práctica.

## **2.1. DISEÑO DE MEZCLA<sup>[32]</sup>**

El diseño de mezcla es el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla, para obtener de este material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en su estado endurecido. Los requisitos de una dosificación apropiada debe cumplir son:

- Economía y manejabilidad en estado fresco,
- Resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido.

Además de cumplir su propósito específico de establecer las cantidades a usar de cada componente, el diseño de mezcla es una importante herramienta para el análisis teórico de la influencia que ciertos cambios en los materiales o en las proporciones de uso pudieran tener sobre la mezcla.

### **2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS<sup>[41]</sup>**

El concreto de uso común, se produce mediante la mezcla de cuatro componentes esenciales, conglomerante, agregados finos, gruesos y agua, mientras que el mortero se produce mediante la mezcla de tres componentes, conglomerante, agregados finos y agua.

El concreto se elabora con arena y grava (agregados) que constituyen entre el 70 y 75 por ciento del volumen y una pasta cementante endurecida formada por cemento hidráulico con agua, que con los vacíos forman el resto.

Las proporciones de los materiales del concreto deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento. Las proporciones de una mezcla se definen numéricamente mediante fórmulas, v. gr.: 1:2:4 que representa: "1" parte de cemento, "2" partes de arena, "4" partes de grava, al peso o al volumen. Las proporciones (dosificaciones) al peso son las más recomendables.

Las proporciones en volumen son cada vez menos usadas; se usan donde no se requiere una resistencia muy controlada: aplicaciones caseras o poblaciones pequeñas alejadas de los centros urbanos, y siempre presentan grandes variaciones en su resistencia, no siendo modernamente recomendables. En la ciudades grandes la producción se hace generalmente en plantas de premezclado, lo que permite un control de calidad estricto y una resistencia del concreto más uniforme, con reducción en el consumo de cemento. Una mezcla típica de concreto en el país tiene una resistencia de 210 kgf/cm<sup>2</sup>.

### **2.1.1.1. CONGLOMERANTE**

#### **2.1.1.1.1. CEMENTO <sup>[41]</sup>**

El cemento es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente solo un 10 a un 20 % del peso del concreto. Siendo un 80 a 90 % de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del cemento. En la práctica, son decisivas la calidad de los agregados y las proporciones entre los componentes.

El cemento es un polvo seco hecho de sílice, alúmina, cal, oxido de hierro y oxido de magnesio, que se endurece cuando se mezcla con agua.

Los cementos naturales, poco resistentes, se obtienen por trituración y cocción de rocas calizas arcillosas. El cemento Pórtland se obtiene del Clinker añadiendo solo piedra de yeso natural

Entre las características del cemento se pueden mencionar las siguientes: es uniforme, fino, hidráulico, moldeable, durable, resistente, adhesivo, impermeable y aislante, cualidades que permiten una ilimitada variedad de usos diarios que dan forma a nuestro mundo.

El cemento es hidráulico, ya que al mezclarse con el agua, reacciona químicamente hasta que endurece. Este sólido material tiene una moldeabilidad única: cuando entra en contacto con agua, el cemento tiene la capacidad total de tomar cualquier forma tridimensional. A pesar de las condiciones atmosféricas, el cemento mantiene la forma y volumen que se le da, y su durabilidad se incrementa con el paso del tiempo.

Una vez transformado en concreto el cemento desarrolla propiedades específicas de resistencia debido a la cohesión y adhesión de cada uno de sus granos y a su vez con los materiales agregados, tales como arena y grava.

El cemento suministra las propiedades adhesivas y cohesivas a la pasta. Se usa el cemento Pórtland Tipo I. Para su hidratación requiere cerca del 25% de agua. Sin embargo para mejorar la movilidad del cemento dentro de la pasta se requiere un porcentaje adicional del 10 al 15 %. La relación agua - cemento (a/C) mínima es de 0,35; en la práctica es mayor para darle trabajabilidad a la mezcla de concreto. La relación a/C es uno de los parámetros que más afecta la resistencia del concreto, pues a medida que aumenta, aumentan los poros en la masa y por ende disminuye la resistencia.

**2.1.1.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA <sup>[31]</sup>**

Tabla 2.1. “Composición Química del Cemento”<sup>3</sup>

COMPOSICIÓN QUÍMICA	FÓRMULA QUÍMICA	FÓRMULA ABREVIADA
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} - \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} - \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO} - \text{AlO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{FA}$
Yeso	$\text{CaSO}_4 - 2\text{HO}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	N + K
Magnesia	MgO	M
Cal Libre	$\text{CaO} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo Insoluble	$\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$	R.I.

**2.1.1.2. AGREGADOS <sup>[18]</sup>**

La Norma Venezolana COVENIN 221:2001 nos dice que “El agregado es el material pétreo natural o artificialmente dividido en trozos o partículas resistentes de forma y tamaño estable cuya función específica es actuar como material inerte en morteros y concretos”.

Según la Norma Venezolana COVENIN 221:2001 “El agregado fino es el que pasa como mínimo el 95% por el cedazo COVENIN 4,76 mm (# 4) y queda retenido en el cedazo COVENIN 74µm (# 200)”.

“El agregado grueso es el que queda retenido como mínimo el 95% en el cedazo COVENIN 4,76 mm (#4)”. (Norma COVENIN 221:2001).

<sup>3</sup> PORRERO, J.; RAMOS, C.; GRASES, J.; VELAZCO, G.. “**Manual del Concreto Estructural**”. Sidetur, Excelencia Siderúrgica, Caracas, Enero, 2004. Primera Edición.

#### **2.1.1.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS** <sup>[18,20,31]</sup>

“La granulometría es la técnica que tiene por objeto la medida y la determinación de la forma y tamaño de un agregado”. (Norma COVENIN 221:2001).

La granulometría es una de las características del material que determina su calidad para ser utilizado como componente del concreto, ya que ella puede modificar la calidad del concreto e influir en las relaciones establecidas dentro de una mezcla.

El análisis granulométrico permite determinar la distribución por tamaños de las partículas que conforman el material.

La granulometría se determina según la Norma Venezolana COVENIN 255:1998: “Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica”.

#### **2.1.1.2.2. TAMAÑO MÁXIMO DE LOS AGREGADOS** <sup>[18,31]</sup>

“El Tamaño Máximo Nominal es la abertura del cedazo COVENIN de malla menor a través de la cual puede pasar como mínimo el 95% del agregado”. (Norma COVENIN 221:2001).

El tamaño máximo de un agregado es la dimensión de sus partículas más gruesas, medido como abertura de un tamiz. Ese tamiz será, yendo de los finos a los gruesos, el primero que deje pasar al menos el 95% del material combinado. Desde el punto de vista técnico, su relación con las características de la mezcla es decisiva para la calidad y economía de ésta.

### **2.1.1.2.3. PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LOS AGREGADOS <sup>[21,31]</sup>**

El uso principal de estos pesos es para la selección y manejo de los agregados, por lo que se relaciona, en cierta forma, con su calidad. Desde el punto de vista normativo se describen tres:

- **Peso Unitario Suelto:** Se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable con el agregado, dejándolo caer libremente desde cierta altura. Después se pesa y se establece la relación peso / volumen. La regularidad del peso unitario en una obra, sirve para convertir pesos en volúmenes y viceversa cuando se habla de agregados y también para descubrir posibles cambios bruscos en la granulometría o en la forma del agregado.
- **Peso Unitario Compacto:** Este peso se determina mediante un proceso parecido al anterior, pero compactando el material dentro del molde. Se usa en algunos métodos de diseños de mezcla.
- **Peso Específico:** Peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado (sin huecos entre granos). Se usa para establecer la condición del volumen en ciertos métodos de diseño de mezclas.

### **2.1.1.3. AGUA <sup>[42]</sup>**

El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- a. La formación de gel.
- b. Permitir que el conjunto de la masa adquiriera las propiedades que:

- En estado fresco faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma; y

- En estado endurecido la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto.

Se puede mencionar que no todas las aguas inadecuadas para beber son inconvenientes para preparar concreto. En general, el agua de mezclado deberá estar libre de sustancias colorantes, aceites, azúcares, sales, sulfatos y materia orgánica. En general, el agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en éste.

El agua de amasado o agua libre es el agua contenida en el concreto fresco, descontada el agua absorbida por los áridos.

El agua de amasado cumple dos roles fundamentales dentro de la mezcla de concreto:

1. Hidratar al cemento para formar una pasta que pueda fraguar y posteriormente endurecer, convirtiéndose en el cementante requerido para unir las partículas de áridos. La cantidad de agua necesaria para activar químicamente al cemento es aproximadamente un 28 % de su peso. Es decir, se necesitan como mínimo unos 28 litros de agua para hidratar por completo 100 kg de cemento. Sin embargo, si

se usa esta cantidad de agua, la mezcla resultaría extremadamente seca y no manejable en obra.

2. Otorgar trabajabilidad o fluidez a la mezcla de concreto para que pueda ser utilizado en obra. La cantidad de agua necesaria para esta función es adicional a la requerida para combinarse químicamente con el cemento.

Los requisitos de calidad o composición química que debe cumplir el agua de amasado son los siguientes: valores de pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, materia orgánica, cloruros y sulfatos solubles presentes en el agua de amasado no deben ser mayores a los especificados en la Norma Venezolana COVENIN 2385:2000; el agua potable será siempre apta para la confección de concretos; no permite el uso de agua que contenga azúcares y acepta el uso de agua de mar solamente en concretos simples (sin armaduras).

La cantidad de agua de amasado debe ser siempre la menor compatible con la obtención de un buen mezclado, es decir, un concreto homogéneo, y con la aptitud para ser manejado en obra, esto es, transportado, depositado y compactado. Lo anterior se debe a que un concreto confeccionado con la menor cantidad de agua tendrá:

1. El menor costo. El concreto alcanzará su resistencia especificada con una menor dosis de cemento, dado que en general la resistencia está determinada por una relación fija a/C.
2. El menor riesgo de fisuración por retracción plástica, ya que existirá menos agua que pueda evaporarse.
3. La mayor densidad (menos porosidad) y por ello será potencialmente un concreto más resistente y durable.

El agua utilizada en la mezcla además de influir directamente en la resistencia mecánica del concreto a través de la relación a/C (agua/cemento), afecta otras características como potencialidad de fisuración plástica, retracción a largo plazo, densidad, permeabilidad y en un concepto más amplio, la durabilidad del concreto.

En general, a mayor cantidad de agua se obtendrán concretos de mayor probabilidad de fisuración, retracción, de menor densidad, mayor permeabilidad y menor durabilidad. Sin embargo, la influencia cuantitativa del exceso de agua en estas características no es tan clara como en el caso de la resistencia, ya que además dependen de otros factores como las condiciones y efectividad del sistema de curado, la temperatura ambiente, la composición del concreto, la calidad de los áridos, etc.

El proceso de hidratación genera calor, que produce aumento de temperatura en la mezcla y expansión volumétrica y que debe controlarse sobre todo en vaciados masivos.

### 2.1.2. LEY DE ABRAMS <sup>[14,18,31]</sup>

La Ley de Abrams es aquella ley según la cual para los mismos materiales y condiciones de ensayo la resistencia de un concreto completamente compactado a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación a/C. Para cuantificar esto Abrams propuso la siguiente expresión de tipo exponencial:

$$R = A / BL$$

Fórmula 2.1. "Ley de Abrams".<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> **“Importancia del agua de amasado en la calidad de hormigones y morteros”** (en línea): Melon, WebTips, WebTip N° 8, s/f. [www.melon.cl/html\\_construc\\_prof/webtipn8.htm](http://www.melon.cl/html_construc_prof/webtipn8.htm). (Consulta: marzo 2005).

donde:

**R**: resistencia media a la compresión.

**A** y **B**: constantes empíricas.

**L**: relación agua cemento en peso.

El factor de mayor importancia en la resistencia del concreto es el cociente entre la cantidad de agua de amasado y la de cemento ( $\alpha = a / C$ ) (Ley de Abrams, 1919). Este cociente se denomina relación agua/Cemento (abreviada a/C) y se expresa como fracción en peso de los materiales. Se puede mencionar que para una menor relación a/C existe una mayor resistencia.

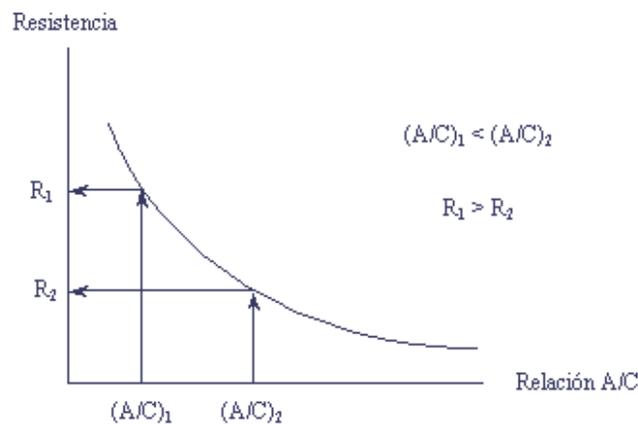


Gráfico 2.1. "Resistencia versus a/C"<sup>5</sup>

Además, se ha determinado que la resistencia del concreto sigue dependiendo principalmente de la relación a/C incluso ante variaciones en sus componentes (proporción de áridos, dosis de cemento o agua), siempre que los áridos sean de calidad, la mezcla sea plástica, manejable y no presente segregación. De esta forma, si la dosis de cemento es constante, a mayor cantidad de agua la resistencia será menor.

<sup>5</sup> **"Importancia del agua de amasado en la calidad de hormigones y morteros"** (en línea): Melon, WebTips, WebTip N° 8, s/f. [www.melon.cl/html\\_construc\\_prof/webtipn8.htm](http://www.melon.cl/html_construc_prof/webtipn8.htm). (Consulta: marzo, 2005).

El concepto expuesto en la Norma Venezolana COVENIN 221:2001 sobre la relación agua/cemento es el siguiente:

“Es el cociente entre el peso del contenido de agua libre y el de cemento que entran en una mezcla dada”.

Otra forma de expresar la Ley de Abrams es:

$$R = M / N^{\alpha}$$

Fórmula 2.2.”Ley de Abrams”.<sup>6</sup>

Donde R representa la resistencia media esperada, M y N son constantes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla y de la edad del ensayo, así como la forma de ejecutarlo y  $\alpha$  es la relación agua / cemento.

## 2.2. USO DE NUEVOS MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN

Con el transcurrir del tiempo se ha hecho menester utilizar nuevos materiales de construcción, ya que se necesitan materiales fáciles de usar y elaborar, preferiblemente ligeros, todo esto para disminuir costos de producción, ya que en el mundo entero existen problemas de viviendas de interés social.

Pero también existen nuevos materiales que se han creado para darle uso a un objeto que ya no lo tiene, como por ejemplo el uso de escombros de concreto para elaborar muros o como agregado picado en una nueva mezcla de concreto.

---

<sup>6</sup> PORRERO, J.; RAMOS, C.; GRASES, J.; VELAZCO, G.. “Manual del Concreto Estructural”. Sidetur, Excelencia Siderúrgica, Caracas, Enero, 2004. Primera Edición.

Otro material como el suelo – cemento es utilizado en la industria de la construcción ya que el mismo otorga la ventaja de utilizar materiales del sitio de construcción y así disminuir los costos de transporte de los materiales. Se puede decir que el conjunto de suelo, cemento y agua, debidamente dosificado, mezclado y compactado, constituye el suelo - cemento (Rodríguez y Simonpietri, 2002).

Mediante la elaboración de bloques de polietileno de alta densidad reciclado, se han podido eliminar un poco los desechos producidos a nivel mundial por el PET, además de suministrar estructuras muy livianas y de muy bajos costos.

Otro material de desecho utilizado como material de construcción es el proveniente de los procesos de obtención de los agregados para la industria de la construcción, este es conocido como ripio. En la elaboración de un bloque de ripio se utilizan tres materiales: cemento, agua y el propio ripio, el cual es el principal componente de la mezcla (Korody, 1998).

En busca de nuevos materiales para la construcción también se ha trabajado con mezclas que incluyen papel, Rocha (2002) comenta en su nota titulada: “Casas de Papel, una posible tendencia del futuro”, que el material con que construyen estas nuevas viviendas ecológicas en Bloomfield, Estados Unidos, se llama “papercrete”. Se trata de una mezcla de papel reciclado, cemento, agua y arena que estaba patentada desde 1928 y ahora se redescubrió. La correcta compresión del material hace que los ladrillos sean resistentes, incluso al fuego, después de haber estado expuestos durante 9 horas a 1800 grados de temperatura.

Otro caso de la utilización de materiales para la construcción elaborados a partir de desecho se ve en Colombia, específicamente en la Universidad del Valle, donde han trabajado los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales con el cual han evaluado su potencial como cementante. También realizaron investigaciones para encontrar alternativas diferentes con las cenizas de carbón, además de probar con

cenizas del bagazo de la caña de azúcar, residuos de la industria ladrillera, escombros de construcción, etc.; todos los resultados obtenidos fueron muy positivos.

### **2.3. ¿QUÉ ES EL POLIETILENO TEREFALATO (PET)?** <sup>[2,10,27,30,32,33,44]</sup>

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales como por ejemplo, el PVC. Presenta una demanda creciente en todo el mundo.

La terminología correspondiente a los vocablos relacionados con el Polietilen Tereftalato (PET) se encuentran en el Anexo A "Glosario, Terminología del PET".

La fabricación de estos envases se consigue en un proceso de inyección - estirado - soplado que parte de la resina de PET. Gracias a este proceso, las moléculas se acomodan en forma de red, orientándose en dos direcciones; longitudinal y paralela al eje del envase, propiedad denominada biorientación la cual aporta la elevada resistencia mecánica del envase y la baja permeabilidad a gases y vapores.

Su empleo actual es muy diverso; como envase, quizás el uso más conocido, se emplea en bebidas carbónicas, aceite, aguas minerales, jugos, té, vinos y bebidas alcohólicas, salsas y otros alimentos, detergentes y productos de limpieza, productos cosméticos, productos químicos, lubricantes y productos para tratamientos agrícolas. En forma de film, se emplea en contenedores alimentarios, láminas, audio / video y fotografía, embalajes especiales, aplicaciones eléctricas y electrónicas. Además, existe un amplio sector donde este material se emplea en la construcción de diversos

elementos; fibra textil, alfombras, tuberías, perfiles, piezas inyectadas, construcción, automoción, etc.

El PET es el material plástico con el cual se elaboran los envases de bebidas gaseosas y aguas minerales, entre otras. Las botellas son desechables, por lo que su destino suele ser la bolsa de basura y, por extensión, los rellenos sanitarios donde se depositan los residuos domiciliarios. Desde principios de la década del '90, cuando comenzaron a impulsarse programas de recolección diferenciada de residuos en pequeños municipios del interior, el interés por recuperar las botellas y destinarlas al reciclado comenzó a crecer.

El PET, en resumen, es un plástico de alta calidad que se identifica con el número uno, o las siglas PET, o "PETE" en inglés, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según sistema de identificación SPI.



Figura 2.1. "Símbolo del PET".<sup>7</sup>

Según la empresa Plásticos Mexicanos en los Estados Unidos se recicla casi un tercio de las botellas de PET por año. En 1994 se recicló el 48% de todos los envases de gaseosas. Los materiales de empaque de PET representan, aproximadamente, sólo el 0,3 % del total de los residuos sólidos urbanos. Los esfuerzos en todo el mundo siguen siendo para reducir la cantidad de envases de PET que se depositan en los rellenos sanitarios.

---

<sup>7</sup> **"Reciclado de Envases PET"** (en línea): Estructplan on Line, Argentina, Fecha de Publicación: 1/1/2000. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>. (Consulta: marzo, 2005).

Aunque los envases de PET no se descomponen, ellos no contienen componentes nocivos que podrían lixiviar en las aguas subterráneas. Las aplicaciones del PET reciclado son alfombras, fibras, envases para alimentos y productos no alimenticios, componentes de moldeo, ropa y geotextiles.

### **2.3.1. ORIGEN DEL PET** <sup>[32,33]</sup>

El PET, cuyo nombre técnico es Polietilen Tereftalato, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941. Catorce años más tarde, en 1955 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster.

Desde entonces hasta hoy en día, la fabricación de PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico, logrando un alto nivel de calidad y una diversificación en sus empleos.

A partir de 1976 se emplea en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas, los cuales, al principio eran botellas gruesas y rígidas, pero hoy en día, sin perder sus excelentes propiedades como envase, son mucho más ligeros.

La primera comercialización del PET para hacer botella se llevó a cabo en los Estados Unidos, produciéndose en Europa a partir de 1974. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo - lo cual conlleva un beneficio añadido para el consumidor final.

Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector. Su más reciente y exitosa aplicación ha

sido en el envasado de aguas minerales, habiendo copado prácticamente el mercado en detrimento del PVC.

También se ha comenzado a utilizar el PET para el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel. Su próximo reto es el envasado de leche y, sobre todo, de cerveza, mercados donde ya se han emprendido pequeñas pero decididas aproximaciones.

### **2.3.2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DEL PET <sup>[39]</sup>**

Según Serrano (2001) la producción de resina para botellas gaseosa tenía un incremento de 11,3% anual en 1999; mientras que la tasa de aumento en el reciclaje de las mismas botellas de PET llegaba a 10,5%. Por otro lado, ese mismo año, el uso de la resina para hacer botellas de agua se estaba incrementando a más del 30%.

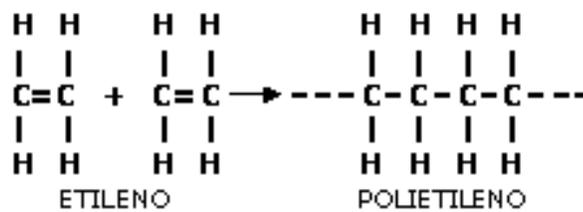
### **2.3.3. COMPOSICIÓN DEL PET <sup>[28,32,33]</sup>**

El PET es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico.

El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El Etileno es un gas que es sometido en un reactor a un proceso de polimerización, es decir la formación de largas cadenas que conforman la

estructura del Plástico, dicho proceso se puede representar por medio de la siguiente reacción:



Fórmula 2.3. "Reacción General de Polimerización".<sup>8</sup>

Esta polimerización se realiza en presencia de un catalizador, presión y temperatura que posibilitan la formación de estas largas cadenas llamadas POLÍMEROS. Estos polímeros son termoplásticos sólidos que tienen la forma de gránulos. Estos gránulos son luego utilizados por los transformadores como materia prima para dar lugar a los diferentes productos plásticos a través de los procesos de extrusión, soplado, moldeo o inyección.

El PET se hace combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol. La fórmula química del polietileno tereftalato o politereftalato de etileno, en resumen, es la siguiente:



Fórmula 2.4. "Fórmula Química del Polietilen Tereftalato".<sup>9</sup>

<sup>8</sup> **"Plásticos y Medio Ambiente, Polietilenotereftalato"** (en línea): Plastivida Argentina, s/f. [http://www.plastivida.com.ar/1\\_usos.htm](http://www.plastivida.com.ar/1_usos.htm). (Consulta: marzo, 2005).

<sup>9</sup> **"Reciclado de Envases PET"** (en línea): Estructplan on Line, Argentina, Fecha de Publicación: 1/1/2000. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>. (Consulta: marzo, 2005).

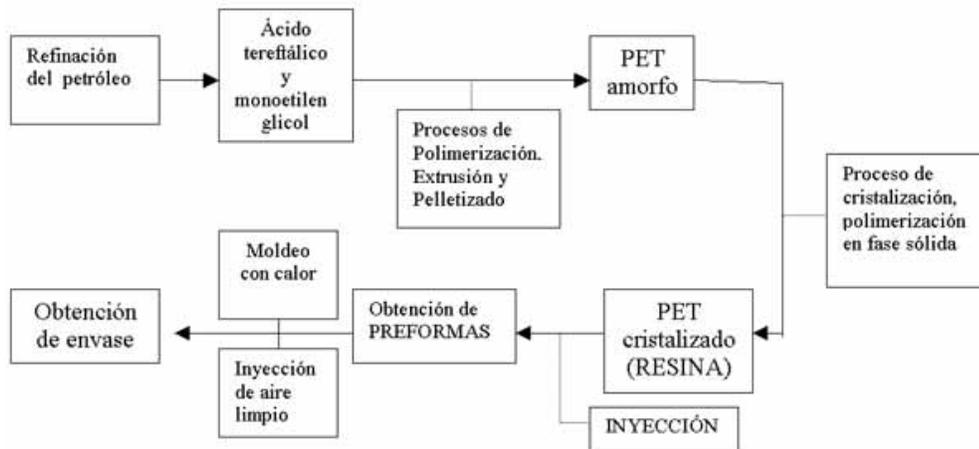


Figura 2.2. “Diagrama de Flujo para la Producción del PET”.<sup>10</sup>

### 2.3.4. PROPIEDADES DEL PET

Entre las principales propiedades del PET se pueden mencionar las siguientes:

- Versátil (permite múltiples aplicaciones).
- Excelente aislante eléctrico.
- Varias presentaciones (transparente, opaco o colores atractivos).
- Resistente a las bajas temperaturas.
- Higiénicos y seguros.
- Inerte a los ataques de productos químicos.
- Excelente barrera a la humedad.
- Económico.
- 100 % reciclable.

<sup>10</sup> “**Servicios El PET y su situación actual en el Distrito Federal**” (en línea): Procuraduría Ambiental y del ordenamiento territorial del D.F (P.A.O.T.), s/f. <http://www.paot.org.mx/centro/publi-ext/PET/03aspectos.html>. (Consulta: marzo, 2005).

Tabla 2.2. “Propiedades Eléctricas del PET”.<sup>11</sup>

<b>Propiedades Eléctricas</b>	
Constante Dieléctrica @1MHz	3,0
Factor de Disipación a 1 kHz	0,002
Resistencia Dieléctrica ( kV mm <sup>-1</sup> )	17
Resistividad Superficial ( Ohm/sq )	10 <sup>13</sup>
Resistividad de Volumen ( Ohmcm )	>10 <sup>14</sup>

Tabla 2.3. “Propiedades Físicas del PET”.<sup>12</sup>

<b>Propiedades Físicas</b>	
Absorción de Agua - Equilibrio ( % )	<0,7
Absorción de Agua – en 24 horas ( % )	0,1
Densidad ( g/cm <sup>3</sup> )	1,3-1,4
Índice Refractivo	1,58-1,64
Índice de Oxígeno Límite ( % )	21
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Buena

Tabla 2.4. “Propiedades Mecánicas del PET”.<sup>13</sup>

<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Coefficiente de Fricción	0,2-0,4
Dureza – Rockwell	M94-101
Módulo de Tracción ( GPa )	2-4
Relación de Poisson	0,37-0,44
Resistencia a la Tracción ( MPa )	190-260
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	13-35

<sup>11,12,13</sup> **“Politereftalato de Etileno (Polyester, PET, PETP) - Información de Material”** (en línea): Goodfellow, s/f. [http://www.goodfellow.com/csp/active/STATIC/S/Politereftalato\\_de\\_Etileno.HTML](http://www.goodfellow.com/csp/active/STATIC/S/Politereftalato_de_Etileno.HTML). (Consulta: marzo, 2005).

Tabla 2.5. “Propiedades Térmicas del PET”.<sup>14</sup>

<b>Propiedades Térmicas</b>	
Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1200 - 1350
Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	20-80
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,15-0,4
Temperatura Máxima de Utilización ( C )	115-170
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-40 a -60
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa ( C )	115
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa ( C )	80

Tabla 2.6. “Resistencia Química del PET”.<sup>15</sup>

<b>Resistencia Química</b>	
Ácidos – concentrados	Buena-Mala
Ácidos – diluidos	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena-Aceptable
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Aceptable-Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Buena-Aceptable

### 2.3.5. VENTAJAS DEL PET

El PET como material presenta las siguientes ventajas y beneficios:

- Barrera a los gases.
- Variadas presentaciones, la más utilizada es la transparente.
- Irrompible.
- Liviano.
- Impermeable.

---

<sup>14,15</sup> **“Politereftalato de Etileno (Polyster, PET, PETP) - Información de Material”** (en línea): Goodfellow, s/f. [http://www.goodfellow.com/esp/active/STATIC/S/Politereftalato\\_de\\_Etileno.HTML](http://www.goodfellow.com/esp/active/STATIC/S/Politereftalato_de_Etileno.HTML). (Consulta: marzo, 2005).

- No tóxico.
- Inerte (no reacciona con el contenido).

Las ventajas de utilizar el PET para envasar son las siguientes:

- Disminuir costos de transporte y manipulación: El PET es aproximadamente siete veces más liviano que el vidrio.
- Disminuir costos por rotura de envases: Este puede caer desde 2 mts de altura sin sufrir ninguna deformación.
- Mejorar la imagen de sus productos: La ausencia de roturas elimina las cajas maltratadas por producto vertido. La transparencia del envase de PET es netamente superior a la del vidrio, por lo cual sus productos no ofrecen dudas.
- Seguridad: Los productos envasados en PET mantienen sus características organolépticas sin que exista deterioro de las unidades por el paso del tiempo.
- Respetar al medio ambiente: Los envases de PET son reciclables; por su alto contenido energético, se utilizan como fuente de calor y por las características de sus moléculas, para la fabricación de redes de pesca, alfombras, etc.
- Disponer de un envase resistente: La biorientación de sus moléculas en la etapa de soplado proporciona una carga superior a 20 kg.
- Aprovechar el efecto barrera: Los envases de PET presentan una elevada resistencia a la entrada de oxígeno, por lo cual no se produce la oxidación de los productos envasados.

- Disponer de un cierre perfecto: Como consecuencia del proceso de fabricación (inyección y soplado) los envases obtienen en su boca un índice de calidad superior a otro tipo de material. Asegurar la calidad del cierre es garantizar la calidad de su producto.

### 2.3.6. GRANULOMETRÍA DEL PET <sup>[2,10]</sup>

Las botellas recolectadas son compactadas y luego trituradas en molinos, hasta obtener una suerte de picadillo de plástico. El procesamiento de estas escamas puede derivar en la obtención de fibra poliéster, destinada a la industria textil, o monofilamentos de plástico, con los que se elaboran las escobas o escobillones que se encuentran en el sector limpieza de cualquier supermercado.

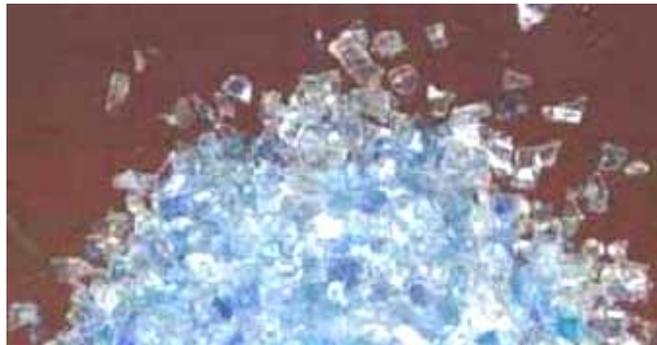


Figura 2.3. “PET Molido”.<sup>16</sup>

### 2.3.7. TRANSFORMACIÓN DEL PET PARA SU DISPOSICIÓN FINAL <sup>[27]</sup>

La necesidad de solucionar la gestión de residuos sólidos urbanos impulsa el desarrollo de sistemas alternativos del reciclado. Estas soluciones están a cargo,

---

<sup>16</sup> **“Ecología y Plástico”** (en línea): Ecoplast, Nuestros Productos, s/f. <http://www.ecoplast.com.ve/productos.htm>. (Consulta: marzo, 2005).

básicamente, de las empresas, aunque se observa cada vez mayor preocupación social y una incipiente cultura en el consumidor por disminuir la agresión al ambiente.

Alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruído en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo.<sup>17</sup>

El PET también puede ser depolimerizado a través de metanólisis o glicólisis. Dichos procesos someten al PET a una reacción química que lo reduce a sus monómeros o a sus materias primas originales. El resultante luego es purificado o vuelto a reaccionar, dando un nuevo PET que puede usarse para envases de alimentos, etc.

La incineración con recuperación energética representa el 17% de la disposición de los residuos sólidos en Estados Unidos. El PET tiene un alto valor de incineración de 10.000 BTUs por libra, una cantidad que se compara al carbón.

Como los envases de PET no contienen halógenos, azufre o nitrógeno, los productos de la combustión completa son compuestos que contienen hidrógeno, oxígeno y carbono.

La producción, uso y disposición de los envases de PET implica menos energía, menos emisiones aéreas y menos residuos líquidos, comparado con otros materiales de empaque.

---

<sup>17</sup> “**Plásticos y Medio Ambiente. Polietileno tereftalato. Cómo se Recicla el PET**” (en línea): Plásticos Mexicanos. México, s/f. <http://www.plasticosmexicanos.com.mx/medioPET.htm>. (Consulta: febrero, 2005).

### 2.3.8. VOLÚMENES SIN DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA <sup>[27]</sup>

Los materiales de empaque de PET representan, aproximadamente, sólo el 0,3% del total de los residuos sólidos urbanos. Los esfuerzos en todo el mundo siguen siendo para reducir la cantidad de envases de PET que se depositan en los rellenos sanitarios.

Por lo expuesto anteriormente se han ido buscando las formas de reciclarlos para no abarrotar los rellenos sanitarios de PET y se ha determinado que el mismo ofrece una lista importante de cualidades que aseguran la existencia en el futuro de varias opciones efectivas de reciclaje. Entre las cualidades más importantes del PET, desde el punto de vista del reciclaje, se pueden mencionar las siguientes:

- El PET es una resina de condensación y por lo tanto, su costo es mayor que el de las resinas de consumo masivo. Es así como cada kilo de PET recuperado tiene un mayor valor en el mercado de reciclados.
- El PET puede ser reciclado con propiedades mecánicas que son superiores a las del material desechado como desperdicio. La reacción de condensación del PET es reversible y por lo tanto, en el proceso de reciclaje se puede someter a condiciones de tratamiento que favorecen la reacción de polimerización sobre la de degradación. Particularmente, el vacío aplicado a alta temperatura produce la polimerización de la resina en "estado sólido", por efecto de la extracción de agua. Esta propiedad no la tienen las resinas de consumo masivo convencionales y apunta a aumentar el valor agregado del material reciclado.
- Existen procesos comprobados tecnológicamente que pueden llevar los desperdicios de PET a la forma de sus precursores químicos, para recomponer la resina mediante la repolimerización a partir de los monómeros recuperados. Estos

procesos buscan asegurar que la pureza de la resina recuperada sea igual a la del material virgen. Este tipo de proceso pertenece al grupo denominado de recuperación regenerativa y que tiene varias opciones alternas comprobadas comercialmente.

- Los usos del PET recuperado están liderados en el momento por las fibras. Sin embargo, el gran mercado de reciclado debe ser en el futuro el sector de las botellas, ya que la calidad del reciclado puede controlarse satisfactoriamente por los procesos ya mencionados. El uso de PET reciclado para hacer nuevas botellas de bebidas expandirá significativamente el mercado de aplicaciones para este material.

### **2.3.9. MÉTODOS DE RECICLAJE DEL PET <sup>[3,34]</sup>**

Hoy en día muchos plásticos son reciclados físicamente, para ello, generalmente son recolectados, lavados y molidos. Una vez molidos se les calienta y se les da la forma que se desea para su nueva aplicación. Este proceso es relativamente sencillo, pero no puede aplicarse a todos los plásticos ni realizarse numerosas veces, los plásticos reciclados son de menor calidad que el material nuevo (material virgen). Cada vez que el material es reciclado sufre un proceso de degradación que disminuye sus propiedades. Además, el reciclaje físico requiere que el material se encuentre libre de impurezas y contaminación, no sólo de sustancias tóxicas o peligrosas, sino también de otros plásticos o materiales. Este es uno de los inconvenientes más grandes para lograr un buen reciclaje físico, la separación de los materiales.

El ciclo de vida del PET desde que es producido, utilizado y reciclado para convertirlo nuevamente en materia prima se puede observar en la figura 2.4.



Figura 2.4. “Ciclo de Vida del PET”<sup>18</sup>

Si se tiene en cuenta que se puede entender como basura un residuo colocado en un lugar equivocado, el comienzo del reciclado es la separación en origen y la recolección diferenciada en el ámbito municipal, dada la responsabilidad que le cabe a los municipios de dar disposición final a los residuos urbanos.

### 2.3.9.1. TÉCNICAS DE RECICLADO

#### 2.3.9.1.1. RECICLADO MECÁNICO<sup>[31]</sup>

<sup>18</sup> “**Reciclado**” (en línea): AprePET. s/f. [http://www.aprePET.org.mx/esp/sec\\_2/sec2c.htm](http://www.aprePET.org.mx/esp/sec_2/sec2c.htm). (Consulta: febrero, 2005).

Es la técnica más utilizada en la actualidad, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer gránulos, en la fabricación de productos por inyección o extrusión. El Polietileno es reciclable, es decir, se vuelve a fundir y transformar en productos finales. El Polietileno reciclado es utilizado para fabricar bolsas de residuos, tubos, madera plástica para postes, marcos, etc. En la figura siguiente se puede observar un ejemplo de reciclado mecánico:



Figura 2.5. “Limpieza y Separación del PET”.<sup>19</sup>

### 2.3.9.1.2. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA <sup>[31]</sup>

Los residuos plásticos –incluidos los de Polietileno – contienen energía comparable con la de los combustibles fósiles, de ahí que constituyen una excelente alternativa para ser usados como combustible para producir energía eléctrica y calor.

<sup>19</sup> “Reciclado” (en línea): AprePET. s/f. [http://www.aprePET.org.mx/esp/sec\\_2/sec2c.htm](http://www.aprePET.org.mx/esp/sec_2/sec2c.htm). (Consulta: febrero, 2005).

El PET es un polímero que está formado sólo por átomos de Carbono e Hidrógeno, por lo cual al ser quemado produce sólo dióxido de carbono y agua ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) con desprendimiento de energía.

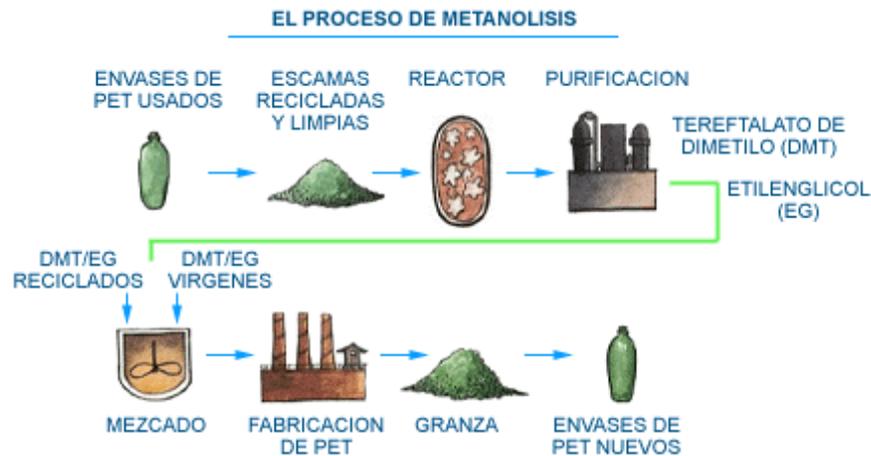
Cuando se trata de comunidades pequeñas o medianas, geográficamente aisladas, las posibilidades de reciclado son limitadas por los volúmenes disponibles y los costos de transporte hacia centros que dispongan de infraestructura adecuada. En estos casos el aprovechamiento energético permite dar asistencia a escuelas, asilos y sectores de menores recursos para complementar su calefacción, agua caliente, etc. En estos casos las metas son directamente ambientales y sociales. El beneficio debe medirse en el mejoramiento de la calidad de vida de toda la población.

Un gramo de PET libera una energía de 22,075 Btu/g similares a las que tienen otros combustibles derivados del petróleo.

### **2.3.9.1.3. RECICLADO QUÍMICO <sup>[31]</sup>**

En la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas de gran complejidad que permitirán reciclar químicamente no sólo al Polietileno sino a todos los plásticos. El reciclado químico que consiste en la separación de los componentes básicos de la resina y la síntesis de nueva materia virgen, lo cual permite ampliar la gama de materiales a reciclar y el sustancial ahorro de gas y petróleo, que son las materias primas básicas del PET y así optimizar aún más los recursos naturales.

Existen varios procesos para realizar el reciclado químico, de los cuales los más importantes son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis. A continuación en la figura 2.6 se muestra uno de ellos:



Otro sistema de reciclado químico, utilizado en escalas relativamente pequeñas, es la esterificación para componer resinas insaturadas utilizadas para fabricar láminas plásticas moldeadas en frío como las destinadas a techos, recubrimientos de guardafangos de automóviles, etc. y una infinidad de productos.

El reciclaje químico, al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclaje físico. Además, permite utilizar al desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir nuevamente el material original, sino producir otros materiales con diferentes características.

#### 2.3.9.1.4. RELLENOS SANITARIOS <sup>[31]</sup>

El Polietileno, al igual que otros plásticos, es un material demasiado valioso como para descharlo; por lo que su valorización es siempre la opción preferible para su tratamiento. Pero de no mediar otra opción, si tienen que ser enterrados en un Relleno Sanitario, es importante saber que los residuos de polietileno son

<sup>20</sup> “**Reciclado**” (en línea): AprePET. s/f. [http://www.aprePET.org.mx/esp/sec\\_2/sec2c.htm](http://www.aprePET.org.mx/esp/sec_2/sec2c.htm). (Consulta: febrero, 2005).

absolutamente inocuos para el medio ambiente. Por su naturaleza son inertes y no sufren degradación lo cual nos garantiza que no generan lixiviados de productos de degradación, líquidos o gases que puedan emitirse al suelo, aire o aguas subterráneas.

### **2.3.10. ANTECEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DEL POLIETILEN TEREFALATO (PET) COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN <sup>[11,26,36,43]</sup>**

El creciente deterioro del medio ambiente a causa de la contaminación producida por desperdicios y residuos desechables, ha hecho que los investigadores de esta área, comiencen a desarrollar nuevos materiales de construcción más económicos y de fabricación simple, con maquinarias y herramientas de bajo costo, mano de obra intensiva, escaso uso de capital, fácil difusión y simple aprendizaje para su fabricación y aplicación.

Por lo expuesto anteriormente la utilización del PET como material de construcción empieza a cobrar importancia en la construcción de viviendas económicas y de esta forma disminuir la cantidad de desechos de origen urbano-industrial existente en las poblaciones, ya que a medida que pasa el tiempo el consumo de los productos envasados con este tipo de material aumenta considerablemente.

Es por esto que en el Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), ubicado en Argentina, se desarrolla un proyecto denominado “Apropiación de tecnologías ambientales para el hábitat por parte de jóvenes desocupados en Argentina”, financiado por Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GATE-GTZ). Dicho proyecto propone el desarrollo de ladrillos utilizando en su composición desechos de envoltorios plásticos y/o PET; para así disminuir las cantidades de residuos, además es posible disminuir la tasa de desempleo poniendo en

marcha el sector construcción y así rescatar las capacidades y mano de obra de los desempleados de este sector. (Gatani, 2004).

El reciclado de desechos como insumos de producción de nuevas tecnologías de materiales, constituye hoy una línea de trabajo específica, que incorpora los desperdicios de los envases plásticos dentro de mezclas de cemento para formar un nuevo producto con características sobresalientes para conformar componentes de construcción.

El proyecto que se está desarrollando en Argentina se denomina “Materiales y elementos constructivos en base a reciclados de origen plástico”. Los aspectos técnicos - constructivos son desarrollados en el Área de Investigación y Desarrollo de Tecnologías para Viviendas y Nuevos Materiales del mismo centro.

Entre las características sobresalientes del proyecto se destaca el desarrollo de nuevos materiales de construcción. Son ecotécnicas basadas en materiales de desecho de origen urbano – industrial de composición plástica. Dos son los insumos principales de trabajo:

- PET, proveniente del descarte de envases de gaseosas.
- Envoltorio plásticos (films) desechados por la industria de envoltorios de alimentos.

El CEVE ha realizado ladrillos con distintos materiales de desechos, entre los que se encuentran: papel, PET y cáscaras de maní. Los ladrillos de papel son mucho más livianos que los convencionales. Su aspecto es rugoso y gris.; son resistentes, aunque en menor medida que los tradicionales. “Un ladrillo común pesa 2,5 kilos; los de papel, 1,1 kilo; los de PET, un kilo; y los de cáscara de maní, medio kilo”.

En la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU) de la Universidad de Buenos Aires existen bolsas de polietileno, botellas de agua mineral y parachoques de autos, separados de los residuos, los cuales se convertirán por medio de un emprendimiento social en placas de revestimiento, viguetas y otros materiales para la construcción de casas económicas y de calidad.

Al analizar lo antes expuesto se puede decir que existen diversas técnicas y posibilidades para solucionar problemas sociales, ya que con desechos reciclados las personas de bajos recursos pueden construir sus casas a bajos costos y, a la vez, limpiar el medio ambiente.

Las distintas experiencias llevadas a cabo, en distintas partes de América, indican y demuestran que se pueden realizar viviendas confortables, tanto en su interior como en su aspecto exterior, con una diversidad de materiales poco costosos.

### **2.4. COSTOS DE PRODUCCIÓN DE DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN <sup>[12]</sup>**

En el momento en que se decide hacer una construcción es necesario determinar los costos que acarreará la misma, estos costos dependen del material que se va a utilizar y de las cantidades que se requieran de los mismos, además de los costos que se producen por la mano de obra y los gastos administrativos, entre otros.

Para poder determinar los costos de producción de las mezclas de PET – Cemento y poder compararlas con otras mezclas utilizadas como material de construcción es necesario conocer los precios de los mismos, por eso en la siguiente tabla se hace referencia a los costos de cada uno de ellos:

Tabla 2.7. “Precios Referenciales de Materiales de Construcción”.<sup>21</sup>

Material	Unidad	Costo Unitario (Bs)
Agua	L	1.375
Arena Lavada	M <sup>3</sup>	55.000
Cemento	Saco	11.390
PET	Kg	1.500
Piedra	m <sup>3</sup>	55.000

El costo de los materiales utilizados en la construcción depende en cierta forma de la calidad del mismo, cuestión que debe analizarse a fondo con la finalidad de conseguir un producto de buena calidad.

## 2.5. IMPACTO AMBIENTAL DEL PET <sup>[13]</sup>

Desde el punto de vista ambiental, el PET es la resina que presenta mayores aptitudes para el reciclado, ostentando el número 1 rodeado de tres flechas formando un triángulo, en el fondo del envase. El principal destino de esta materia prima postconsumo es la fabricación de fibras textiles, utilizándose en la confección de alfombras, cuerdas, cepillos y escobas, telas para prendas de vestir, calzados, camisetas, etc. El PET reciclado no se destina a nuevos envases para bebidas o alimentos en contacto permanente.

Otras ventajas ambientales de esta resina, es la reducción drástica de la energía utilizada en el transporte, la simpleza de procedimientos y las relativamente

<sup>21</sup> “**Precios de Insumos**” (en línea): Guía Referencial de Partidas de Construcción, 1995 – 2005. Disponible en: <http://www.grc.com.ve/mapa.php>. (Consulta: octubre, 2005).

bajas temperaturas a las cuales debe ser sometido el PET para ser transformado en nuevos productos, estos también reciclables.

Se puede decir que la separación domiciliaria de los residuos es muy importante para contar con futuras materias primas limpias, de manera de lograr mejores precios de venta por parte de la comunidad, eliminando los subsidios necesarios para la disposición final de los residuos. En consecuencia se evita el daño ambiental, son menores los costos de excavación para su disposición y son menores las superficies destinadas a los basureros. Una ventaja de la separación domiciliaria es que al hacer esta recolección ya se tendría la materia prima para la elaboración de alguna obra civil necesaria dentro o fuera de la vivienda.

Los beneficios de la recolección diferenciada y el reciclado deben entenderse en términos de una mejor calidad de vida de los habitantes, minimización de los daños ambientales, mejores condiciones de trabajo para los recolectores y empleados de la planta de clasificación, disminución de enfermedades infectocontagiosas o derivadas de residuos peligrosos domiciliarios.

Rocha (2002) indica que son necesarias veinticinco toneladas de plástico para construir una vivienda económica. Esto nos indica que gran parte del PET producido y desechado puede ser utilizado en la construcción y así no tener que darle otra ubicación.

La mezcla de PET - Cemento constituye una posible solución al problema de disposición final del PET, lo que contribuiría notablemente a mitigar los problemas antes mencionados, además de disminuir la posibilidad de que material llegue a los mares, ríos, lagunas, etc. y puedan afectar de forma negativa a la fauna, alterando los ecosistemas.

## 2.6. PROPIEDADES MECÁNICAS <sup>[16]</sup>

Las propiedades mecánicas y de durabilidad definen la respuesta de los materiales cuando se les somete a la acción de fuerzas externas. Para poder analizar esta respuesta se deben definir previamente dos parámetros fundamentales:

Tensión: es la fuerza por unidad de área. En general, en cuerpos sometidos a la acción de cargas, se calcula la tensión promedio asumiendo una distribución uniforme de la carga sobre el área en la que actúa.

Deformación: cuando un material es sometido a la acción de una carga sufre un cambio en sus dimensiones originales, cambio que recibe este nombre.

Las propiedades mecánicas describen la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas temperaturas. A continuación, se definen algunas de ellas:

- Tenacidad: Es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, las tensiones bruscas que se les apliquen.

- Elasticidad: Consiste en la capacidad de algunos materiales para recobrar su forma y dimensiones primitivas cuando cesa la tensión que había determinado su deformación.

- Dureza: Es la resistencia que un material opone a la penetración.

- Fragilidad: Un material es frágil cuando se rompe fácilmente por la acción de un choque.

- Plasticidad: Aptitud de algunos materiales sólidos de adquirir deformaciones permanentes, bajo la acción de una presión o fuerza exterior, sin que se produzca rotura.

- Ductilidad: Considerada una variante de la plasticidad, es la propiedad que poseen ciertos materiales para poder ser deformados antes de sufrir una falla.

### **2.6.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN** <sup>[26,32,43]</sup>

La compresión es la propiedad más característica e importante del concreto, las demás propiedades mecánicas se evalúan con referencia a ella. La resistencia a compresión ( $f^c$ ) se mide usualmente mediante el ensayo a compresión en cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y con 28 días de edad. Últimamente se ha ido popularizando la medida de la compresión con cilindros de menor diámetro, 100 y 75 mm, con las ventajas de menor consumo de concreto para el programa de control de calidad y menor peso para el transporte de los cilindros; en este caso el tamaño máximo del agregado debe limitarse a 2,5 cm (una pulgada).

La resistencia a compresión ( $f^c$ ) varía significativamente con la variación de algunos parámetros, tales como: la relación agua - cemento ( $a/C$ ), el tamaño máximo de la piedra, las condiciones de humedad durante el curado, la edad del concreto, la velocidad de carga, la relación de esbeltez de la muestra.



Figura 2.7. “Moldes para Ensayos de Compresión”<sup>22</sup>

La resistencia de un determinado concreto se determina al conocer el promedio de los valores de los resultados de ensayo válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido.

### 2.6.2. ENSAYO DE ABSORCIÓN <sup>[17,38,40]</sup>

Se entiende por absorción al contenido de humedad total interna de un material que está en la condición de saturado con superficie seca.<sup>23</sup>

La capacidad de absorción del material se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secada superficialmente. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.

---

<sup>22</sup> “Universidad Nacional de Colombia (s/f). **“Composición del Concreto Simple”** (en línea): Curso: Ingeniería Estructural I. Una Introducción a las Estructuras. Univirtual, s/f. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/COMPOSICION%20DEL%20CONCRETO%20SIMPLE.htm>. (Consulta: marzo, 2005).

<sup>23</sup> RODRÍGUEZ, L.; SIMONPIETRI, M. (2002). **“Diseños de Mezcla para su Uso en la Elaboración de Bloques Aligerados de Suelo – Cemento”**: Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

### **2.6.3. ENSAYO DE EROSIÓN** <sup>[38,40]</sup>

El ensayo de erosión es el procedimiento mediante el cual se pueden evaluar las características de durabilidad de un material, simulando en el mismo los efectos de los agentes externos que lo pueden afectar de manera negativa.

### **2.6.4. ENSAYO DE IMPACTO.**

El ensayo de impacto es una prueba mecánica en la que se cuantifica la energía que absorbe un material antes de provocar su ruptura. El ensayo consta de una esfera de masa fija de aproximadamente 500 gr.; ésta se coloca a una altura determinada, que equivale a una energía potencial inicial. Luego, se deja caer libremente hasta que choque con la muestra, la cual, al romperse absorbe parte de la energía de la esfera.

Las probetas más idóneas para este ensayo son paralelepípedos de dimensiones 20 x 20 x 5 cm. (largo x ancho x alto).

En este Trabajo Especial de Grado se cuantificaron las características mecánicas y de durabilidad de las mezclas de PET - Cemento mediante ensayos básicos de laboratorio.

Para lograrlo, se planificaron una serie de ensayos normalizados para determinar las propiedades básicas del material, entre las cuales se tienen: compresión simple, absorción, erosión e impacto.

La determinación de estas características son la base para comparar el material elaborado con otros materiales de construcción que se utilizan actualmente.

#### **3.1. MATERIALES Y EQUIPOS**

La correcta selección de los materiales y equipos utilizados fue de suma importancia ya que de ellos dependió en gran parte los resultados obtenidos en los ensayos que se realizaron.

##### **3.1.1. LABORATORIO**

Los laboratorios en los cuales se realizaron los ensayos pertenecen al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), de la Universidad Central de Venezuela. Específicamente, para la evaluación del material se utilizó el Laboratorio de Suelos, para la ejecución de las probetas se utilizó el Laboratorio de Agregados, mientras que los ensayos de compresión simple se realizaron en la Nave de Ensayos Físicos del mismo Instituto.

Estos laboratorios están dotados de todos los instrumentos necesarios para elaborar las probetas y determinar todas las características de los materiales utilizados para los diseños de mezcla evaluados.

Entre los instrumentos necesarios existentes en estos laboratorios se tienen los siguientes:

- Mezcladora eléctrica de eje vertical (60 litros).
- Prensa Hidráulica con Manómetro (universal), cap. 30 ton., marca Baldwin.
- Prensa Hidráulica con Manómetro (universal), cap. 200 ton., marca Baldwin.
- Horno.
- Báscula, marca Toledo (60000gr. / precisión 50gr.).
- Báscula, marca Ohaus (20000gr. / precisión 1 gr.).
- Moldes cilíndricos normativos.
- Taras.
- Tubos de PVC de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura.
- Formaletas cuadradas.
- Brocha para la aplicación del aceite.
- Tobos (cuñetes) de 19 litros.
- Cepillo de cerdas de acero.
- Barras para compactación.
- Rastrillo.
- Pala.
- Cucharas.
- Manguera.
- Mesa Nivelada.
- Batea.
- Aceite (lubricación).

En la figura 3.1 se muestran algunos de los equipos e instrumentos mencionados anteriormente.



a.-



b.-



c.-



d.-



e.-



f.-

Figura 3.1. “Instrumentos y Herramientas de Laboratorio”.

a.- Báscula. b.- Mesa. c.- Mezcladora. d.- Rastrillo, pala y escoba.  
e.- Conjunto de Herramientas. f.- Batea.

## 3.2. REALIZACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

### 3.2.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL

En la realización de la parte experimental de este Trabajo Especial de Grado, se utilizaron los siguientes materiales: Arena, Piedra, Cemento, Agua y PET para la elaboración de las mezclas, así como también los equipos necesarios para realizar las probetas que fueron evaluadas en cada uno de los diferentes ensayos que determinaron las características de las mezclas.

El PET utilizado fue suministrado por la Compañía GIOSCA la cual se dedica al reciclaje del mismo. Dicho material ha pasado por distintos tratamientos, ya que el

mismo es recolectado en rellenos sanitarios, por consiguiente, esta compañía debe tratarlo para eliminar todas las impurezas y restos de materia orgánica que posee.

El resto de los materiales posee las siguientes características:

- Arena del tipo lavada.
- Piedra picada y con un tamaño máximo igual a 1”.
- Cemento gris, Pórtland tipo I.
- Agua libre de impurezas ya que era agua potable.

### **3.2.2. ENSAYOS PRELIMINARES**

Al material suministrado se le realizaron ensayos preliminares, como por ejemplo inspección visual del material, en donde se observó si el mismo estaba libre de impurezas, restos de resinas, si no tenía restos de su contenido inicial (líquidos, etc.) y su granulometría.



Figura 3.2. “PET Suministrado por la Compañía GIOSCA”.

### **3.2.3. OBTENCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ADECUADA**

Para obtener la granulometría del PET necesaria para utilizarlo como agregado dentro de la mezcla se probó empleando utensilios domésticos que sirven para moler alimentos así como también cortadoras de papel.

Otra forma que se utilizó para obtener la granulometría del material fue cortando con una tijera y un cuchillo el envase de PET, tratando en lo posible que los trozos cortados quedaran de buen tamaño para que la mezcla no perdiese su fluidez y se mantuviera lo más homogénea posible. La manera más cómoda de cortarlos fue en pequeñas tiras asemejando la fibra.

### 3.2.4. ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE PET - CEMENTO

#### 3.2.4.1. DISEÑO DE MEZCLA

Los diseños de mezcla realizados se basaron en la determinación de la dosificación de cada uno de los materiales utilizados para lograr una mezcla óptima, que pueda servir más adelante como material de construcción de obras civiles y como un nuevo método de disposición final de los residuos de PET.

Para la elaboración del diseño de mezcla se utilizó el “Método RARH para Diseño de Mezclas de Concreto”, extraído del “Taller de Diseño e Inspección de Mezclas de Concreto”, dictado por el Ing. Roberto Rosario.

En la tabla 3.1 se presentan las cantidades de cada uno de los componentes de las mezclas.

Tabla 3.1. “Componentes de las Mezclas”.

	MEZCLA A	MEZCLA B	MEZCLA C	MEZCLA D	MEZCLA E
PET (Kg)	2,017	2,56	0	0	1,7
CEMENTO (Kg)	7,645	6,24	6,39	3,75	6,42
ARENA (Kg)	44,013	16,67	35,2	17,75	35,03
PIEDRA (Kg)	0	19,62	0	17,75	0
AGUA (L)	5,275	4,71	4,7	4,3	4,73

En donde:

Mezcla A: Mortero con un 5% de Polietilen Tereftalato reciclado.

Mezcla B: Concreto con un 15% de Polietilen Tereftalato reciclado.

Mezcla C: Mezcla patrón de mortero.

Mezcla D: Mezcla patrón de concreto.

Mezcla E: Mortero con un 10% de Polietilen Tereftalato reciclado.

### **3.2.4.2. COMPONENTES DE LAS MEZCLAS DE PET - CEMENTO**

#### **3.2.4.2.1. TRANSPORTE, ALMACENAJE Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES <sup>[32]</sup>**

Este paso metodológico fue de suma importancia ya que para obtener buenos resultados de las mezclas fue necesario dar un buen acondicionamiento de los componentes para que las características de los mismos no variaran por estar en contacto directo con el medio ambiente.

Luego de adquirir la piedra, la arena y el cemento se procedió a trasladarlos al Laboratorio de Agregados en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela, para almacenarlos de forma adecuada.

Debido a que el cemento es bastante sensible a la humedad y al anhídrido carbónico atmosférico, se tomaron las precauciones necesarias para su almacenamiento conservándose en un ambiente seco y aireado y los sacos se montaron sobre un emparrillado, de modo que se encontraban aislados del suelo.

En cuanto a la arena, ésta se encontraba húmeda por lo que se procedió a secarla al sol removiéndola de vez en cuando con la ayuda de una pala y un rastrillo,

todo esto con la finalidad de disminuirle el contenido de humedad. En cuanto al almacenaje de ésta, se realizó en un sitio libre de humedad, ya que si varía su contenido de humedad éste influirá en la mezcla variando la relación  $\alpha$  (agua/cemento).

La piedra no representa muchos problemas, aún cuando se tuvo sumo cuidado con el sitio en donde se almacenó ya que es propensa a adherir materia orgánica, cuestión que afecta de manera notable la resistencia de la mezcla y el fraguado de la misma, provocando que los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple se alteren.



a.-

b.-

c.-

d.-

Figura 3.3. “Almacenaje de los Componentes”.

a.- Arena. b.- Piedra c.- Cemento. d.- PET.

#### 3.2.4.2.2. MEZCLADO DE LOS COMPONENTES <sup>[22]</sup>

Este procedimiento se realizó según las especificaciones encontradas en la Norma Venezolana COVENIN 354:2001: “*Concreto. Método para Mezclado en el Laboratorio*”.

El mezclado de los componentes se realizó en una mezcladora mecánica de eje vertical, con la cual se logra una mezcla homogénea. La misma fue capaz de

combinar y mezclar los componentes, produciendo una mezcla uniforme dentro del tiempo y la velocidad especificada y descargada sin segregación de partículas.

Para realizar el mezclado de los materiales se pesaron cada uno de los componentes que conforman la mezcla. Estos pesos fueron los obtenidos en los diferentes diseños de mezclas.

La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado.

En la figura 3.4 se representa parcialmente el proceso de mezclado



Figura 3.4. “Proceso de Mezclado”.

### **3.2.5. PROBETAS DE PET - CEMENTO**

#### **3.2.5.1. ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS**

Se confeccionaron veintiún (21) probetas por cada uno de los diseños de mezcla calculados, dichas probetas fueron utilizadas para realizar los diferentes ensayos. Las especificaciones de las mismas fueron encontradas en la Norma Venezolana COVENIN 338:2002: “*Concreto. Método de Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de Concreto*”.

### 3.2.5.2. FORMA Y TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Las probetas utilizadas durante el desarrollo de ésta investigación fueron de dos tipos: cilindros y paralelepípedos. En cuanto a las probetas cilíndricas se utilizaron dos tamaños, unas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, medidas que están estipuladas en la Norma Venezolana COVENIN 338:2002: “*Concreto. Método de Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de Concreto*” y otras probetas de dimensiones de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura, ambas para realizar los ensayos de compresión. También se realizaron probetas de 5 cm de diámetro por 10cm de altura para realizar los ensayos de absorción y erosión. Por otro lado los paralelepípedos de 20 cm de largo, 20 cm de ancho y 5 cm de alto se realizaron para el ensayo de impacto.

En la figura 3.5 se muestran las formaletas utilizadas para las probetas cilíndricas.



Figura 3.5. “Formaletas para Cilindros”.

### 3.2.5.3 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS <sup>[15,21,23,36]</sup>

Para la elaboración de las probetas se ejecutaron los pasos explicados a continuación:

**Antes de la elaboración del cilindro se verificó:**

- Que el sitio de elaboración de los cilindros no estuviese expuesto a condiciones severas de sol, lluvia o viento; el sitio escogido era ideal ya que es un sitio cubierto.
- Que los moldes metálicos no contuviesen residuos de concreto adheridos en las paredes internas.
- Que la varilla de compactación fuese de las dimensiones especificadas en las normas, de aproximadamente 60 cm. de longitud y 16 mm. de diámetro, de acero liso y de extremo redondeado.
- Que la superficie sobre la cual se realizara el ensayo fuese plana y libre de vibraciones.
- Que todos los materiales estuviesen pesados para tener la dosificación específica y así no perder tiempo entre la colocación de un material y otro en la mezcladora.



Figura 3.6. “Laboratorio de Agregados”.



Figura 3.7. “Preparación y pesado de los Componentes”.

**Durante la elaboración se llevaron a cabo los siguientes pasos:**

- Los materiales se colocaron con sumo cuidado, uno por uno, manteniendo la mezcladora encendida.
- Primero se colocó el agregado grueso, después el agregado fino seguido del cemento hasta obtener una mezcla de color uniforme y por último el agua poco a poco.
- Antes de comenzar a realizar las probetas se verificó el asentamiento de la mezcla mediante el ensayo del Cono de Abrams.
- El sitio de elaboración de los cilindros fue el mismo donde se almacenaron durante las primeras 24 horas.
- Antes de la elaboración de los cilindros la mezcla se remezcló para asegurar su uniformidad.
- Se elaboraron dos cilindros (como mínimo) por cada edad de ensayo.
- El cilindro se elaboró en 3 capas de igual volumen, más o menos  $1/3$  del volumen total de la probeta.

- A cada capa se le dio 25 golpes con la varilla de compactación, procurando no penetrar demasiado en la capa inmediatamente anterior ni tampoco golpear el molde.
- Después de retirar la varilla compactadora se le dieron golpes suaves a las paredes del molde para cerrar los espacios vacíos.
- El enrase superior del cilindro se realizó con la barra compactadora desde el centro de la probeta hacia los extremos.
- Los cilindros fueron debidamente marcados e identificados con un marcador para evitar alterar la superficie.

En la figura 3.8 se muestra parte de la secuencia de pasos para la elaboración de las probetas.



Figura 3.8. “Proceso de Mezclado”

Como se dijo anteriormente, uno de los ensayos que se realizó durante la elaboración de las probetas fue la verificación del asentamiento de las mezclas mediante la realización del Cono de Abrams (Norma Venezolana COVENIN 339, “*Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams*”).

Muchos ensayos han sido diseñados con el objetivo de estimar anticipadamente las aptitudes que tendrá la muestra endurecida. Sin duda el más utilizado de todos, es el ensayo de asentamiento de Abrams.

El procedimiento para realizar este sencillo ensayo fue el siguiente:

1º.- Se colocó el cono sobre una superficie plana, horizontal, firme, no absorbente y ligeramente humedecida. Se aconseja usar una chapa de metal cuya superficie sea varios centímetros mayor que la base grande del cono. Se colocó el cono con la base mayor hacia abajo pisando las aletas inferiores para que quedase firmemente sujeto.

En la figura 3.9 se muestra la colocación del cono descrita.



Figura 3.9. “Llenado del Cono de Abrams”.<sup>44</sup>

2º.- Se llenó el cono en tres capas: la primera capa hasta aproximadamente 1/3 de su volumen y se compactó la mezcla con una varilla lisa, de acero, de 1,6 centímetros de diámetro y con uno de los extremos semiesféricos. La compactación se hizo con veinticinco (25) golpes de la varilla, con el extremo semiesférico impactando la mezcla. Los golpes se repartieron uniformemente en toda la superficie y penetrando la varilla en el espesor de la capa pero sin golpear la base de apoyo. Luego se procedió a llenar el cono con una segunda capa hasta aproximadamente 2/3 del

---

<sup>44</sup> INATEC, S.R.L.. “**Hormigón Fresco de Cemento Pórtland - Método de Ensayo de la Consistencia Utilizando el Tronco de Cono de Abrams**” (en línea): Manual de Uso del Hormigón Elaborado, s/f. [http://www.inatec.com.py/manual\\_hormigon/manual\\_hormigon7.html](http://www.inatec.com.py/manual_hormigon/manual_hormigon7.html). (Consulta: Febrero, 2005).

volumen del mismo y se compactó como la capa anterior. Durante la compactación de esta capa se atravesó la misma y se penetró ligeramente (2 a 3 cm.) la capa inferior. Por último se llenó el volumen restante del cono agregando un poco más de mezcla y se compactó igual que las dos capas anteriores, tratando que la varilla penetrara ligeramente la capa anterior.

3°.- Se retiró el exceso de mezcla con la barra de compactación, de modo que el cono quedó perfectamente lleno y enrasado. Se quitó la mezcla que pudo caer alrededor de la base del Cono.

En las figuras 3.10 y 3.11 se muestran los pasos descritos anteriormente.

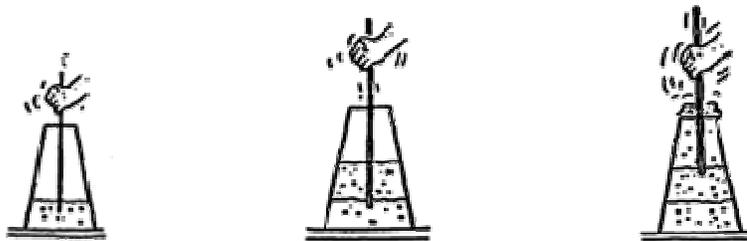


Figura 3.10. “Procedimiento para Realizar el Ensayo del Cono de Abrams”.<sup>45</sup>



Figura 3.11. “Ejecución del Ensayo del Cono de Abrams”.

6°.- Se sacó el molde con cuidado, levantándolo verticalmente en un movimiento continuo, sin golpes ni vibraciones y sin movimientos laterales o de torsión que pudiesen modificar la posición de la mezcla.

<sup>45</sup> INATEC, S.R.L.. **“Hormigón Fresco de Cemento Pórtland - Método de Ensayo de la Consistencia Utilizando el Tronco de Cono de Abrams”** (en línea): Manual de Uso del Hormigón Elaborado, s/f. [http://www.inatec.com.py/manual\\_hormigon/manual\\_hormigon7.html](http://www.inatec.com.py/manual_hormigon/manual_hormigon7.html). (Consulta: Febrero, 2005).

La figura 3.12 describe el proceso de desmolde del cono.

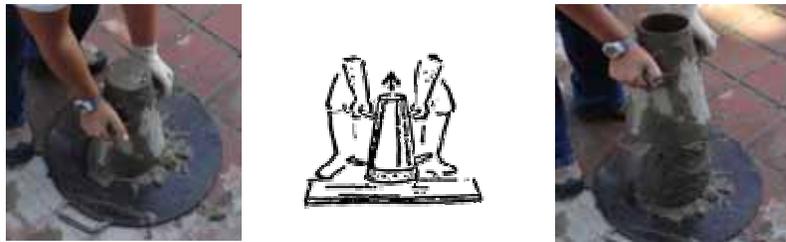


Figura 3.12. “Proceso de Desmolde del Cono de Abrams”.

7°.- Medida del asentamiento: Se colocó el cono de Abrams al lado del formado por la mezcla y se midió la diferencia de altura entre ambos. Si la superficie del cono de mezcla no queda horizontal, debe medirse en un punto medio de la altura y nunca en el más bajo o en el más alto.

En la figura 3.13 se muestra el proceso de medición del asentamiento.

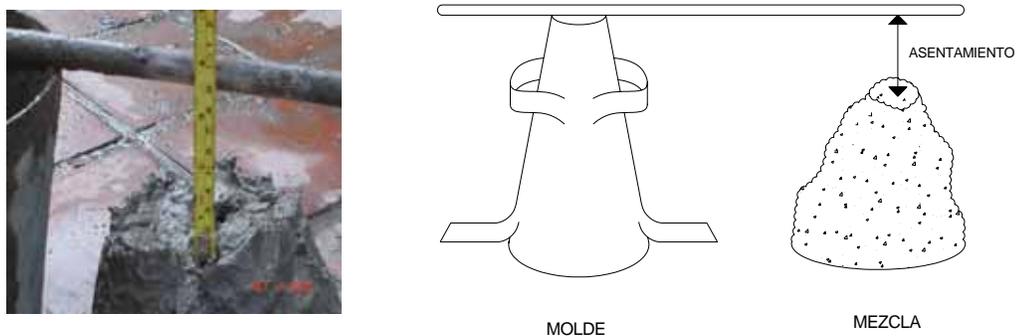


Figura 3.13. “Medición del Asentamiento del Cono de Abrams”.

Si el formado se desmorona, se realiza un nuevo ensayo con otra porción de la mezcla. Las operaciones se realizaron en lugares totalmente exentos de vibraciones.

Hay muchos casos en que la aceptación o rechazo de una mezcla elaborada, depende de una variación de sólo 2 ó 3 centímetros en la medida del asentamiento

hecha con el Cono de Abrams. Y esta diferencia puede deberse, en muchos casos, a la forma como se ejecutó el método de ensayo. De allí la importancia de hacerlo correctamente.

Después de determinar el asentamiento y antes de elaborar las probetas se determinó el peso unitario compacto para establecer el peso por unidad de volumen de la mezcla y así poder utilizar este valor para compararlo con otros materiales utilizados en la construcción. Este peso se determinó de la siguiente forma:

1. Para calibrar el recipiente se procedió de la siguiente manera:
  - a. Se pesó el recipiente vacío.
  - b. Se pesó el vidrio que se utilizó para tapar el recipiente.
  - c. Se llenó de agua el recipiente y se enrasó con el vidrio procurando en lo posible que no quedara ninguna burbuja de aire entre la superficie del agua y el mismo.
  - d. Se pesó el conjunto (recipiente + vidrio + agua).
  - e. Al peso que se obtuvo se le restó el peso tanto del vidrio como el del recipiente, con lo que se obtuvo el peso del volumen de agua.
  - f. Como la densidad del agua es  $1 \text{ Kg/cm}^3$  se determinó el volumen del recipiente mediante la siguiente fórmula:

$$V_{\text{agua}} (\text{cm}^3) = \frac{\text{PesodelAgua}(\text{Kg})}{\text{DensidaddelAgua}(\text{Kg} / \text{cm}^3)}$$

Fórmula 3.1. “Determinación del Volumen de un Recipiente”.

Se puede decir entonces que:

$$V_{\text{agua}} (\text{cm}^3) = \text{PesodelAgua}(\text{Kg})$$

Fórmula 3.2. “Simplificación de la Determinación del Volumen de un Recipiente”.

Ya determinado el volumen que ocupa el agua en el recipiente, se consiguió el volumen del recipiente.

2. Se llenó el molde en tres capas, siguiendo los mismos pasos ejecutados para el Cono de Abrams.
3. Se retiró el exceso de mezcla con la barra de compactación, de modo que el molde quedó perfectamente lleno y enrasado.
4. Se procedió a pesar el molde con la mezcla bien enrasada para así obtener el peso de la misma.
5. A continuación se procedió a calcular el peso unitario compacto de la mezcla mediante la siguiente fórmula:

$$P_{unitario} = \frac{PesodelaMuestra(Kg)}{VolumendelRe c ipiente(Kg / cm^3)}$$

Fórmula 3.3. “Determinación del Peso Unitario Compacto”

En la figura 3.14 se muestran los pasos a seguir para el cálculo del Peso Unitario Compacto.



a.-



b.-



c.-

Figura 3.14. “Procedimiento para Determinar el Peso Unitario Compacto”.

a.- Recipiente para determinar el peso unitario. b.- Compactado de la mezcla. c.- Recipiente preparado.

En la figura 3.15 se presentan los pasos para la compactación de las probetas normalizadas.



Figura 3.15. “Proceso de Elaboración de las Probetas”.

#### **Después de la elaboración de las probetas se verificó:**

- Que las probetas estuvieran durante las primeras veinticuatro (24) horas libres de vibraciones, con humedad de 95% y temperatura entre 16 y 27°C.
- Que durante la remoción de los moldes metálicos, los cilindros no se golpearan.
- Que después de remover el molde, se identificaran los cilindros sin alterar la superficie.
- Que durante el transporte de los cilindros desde el sitio de almacenamiento hasta el laboratorio de ensayo, estos fuesen bien tratados, para evitar golpes que fuesen a generar microfisuras.

#### **3.2.5.3 CURADO DE LAS PROBETAS <sup>[22]</sup>**

En las primeras 24 horas de elaboración de las probetas existe una pérdida de humedad en las mismas, por consiguiente después de su elaboración hay que

controlar que dicha pérdida no sea acelerada, ya que esto puede producir grietas de retracción en las probetas disminuyendo así la calidad de las mismas, este es el procedimiento de curado.

Para realizar el curado de las probetas se siguen los pasos y los tiempos estipulados en la Norma Venezolana COVENIN 338:2002: “*Concreto. Método de Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de Concreto*”.

Este procedimiento se realizó de la siguiente manera: luego de haber desencoformado las probetas (veinticuatro (24) horas después de haberlas elaborado) se procedió a sumergirlas en agua durante siete (7) días para evitar todo lo anteriormente expuesto. Al cumplirse el tiempo se sacaron del agua y se almacenaron hasta el día de los ensayos.

A continuación se muestra en la figura 3.16 el proceso de curado de las probetas.



Figura 3.16.- “Curado de las Probetas”.

### **3.2.5. ENSAYOS DE LAS PROBETAS DE PET - CEMENTO**

#### **3.2.5.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN [26,32,43]**

La resistencia potencial del concreto se determina siguiendo un procedimiento normalizado y su valor puede ser tomado como referencia de calidad. Dicho

procedimiento está especificado en la Norma Venezolana COVENIN 189:1982: “*Método de Ensayo para la Obtención, Preparación y Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto y Mortero Endurecido Liviano Aislante*”.

La resistencia a la compresión ( $R_c$ ) es la principal propiedad para evaluar la calidad de las probetas de PET - Cemento y está definida como la carga máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ) referida a la sección (A) de la probeta sometida a compresión.

El primer ensayo a compresión se realizó a los siete (7) días contados a partir de la elaboración de las probetas, ya curadas y secadas al horno para que alcanzaran una condición de humedad y peso constante. Para realizar este ensayo las secciones de las probetas deben estar paralelas y perpendiculares al eje de aplicación de la carga para lograr un contacto neto con las superficies de los cabezales de la prensa de compresión para que la fuerza aplicada se distribuya uniformemente y por ende, las solicitaciones aumenten de la misma forma. Este ensayo se realizó con el fin de llevar a las probetas hasta la rotura y de esta manera determinar la lectura de la fuerza máxima que soportó.

El segundo ensayo se realizó a los veintiocho (28) días, tiempo estipulado en la Norma Venezolana COVENIN 1897:1982, en el cual se estima que la mezcla debe tener un 95% de su resistencia final. En este ensayo se llevaron a cabo los mismos pasos para su ejecución que los que se siguieron en los ensayos realizados a los siete (7) días.

En la figura 3.17 se muestra la colocación de las probetas en la prensa universal y el manejo por un técnico especializado.



Figura 3.17. “Ensayo de Compresión en la Prensa Universal”

### 3.2.5.3 ENSAYO DE ABSORCIÓN <sup>[17,38,40]</sup>

Este ensayo se debe realizar después de haber concluido el proceso de curado, para que parte del agua absorbida contabilizada no sea utilizada para reaccionar con el cemento.

Se realizaron quince (15) ensayos de probetas (curadas anteriormente durante siete (7) días) de dimensiones 5 X 10 cm correspondiendo tres (3) probetas por cada una de las mezclas.

Para realizar este ensayo se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se secaron las probetas al horno durante veinticuatro (24) horas.
2. Se dejaron enfriar hasta alcanzar una temperatura aproximada a la ambiente.
3. Se pesaron.
4. Se sumergieron completamente durante veinticuatro (24) horas en agua con una temperatura aproximada de 15,5 °C a 30 °C.

5. Se sacaron del agua, se secaron con toallas absorbentes.
6. Se pesaron en los primeros cinco (5) minutos luego de retiradas del agua.

La absorción de agua de las probetas de PET - Cemento se calculó para cada una de las muestras con la siguiente fórmula:

$$Ab_j = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Fórmula 3.4. “Absorción”.<sup>46</sup>

Donde:

Ab = Absorción del agua.

P<sub>1</sub> = Peso seco de cada muestra.

P<sub>2</sub> = Peso de la muestra luego de veinticuatro (24) horas sumergida.

El coeficiente de absorción (A) es entonces el promedio de la absorción de las dos (2) probetas correspondientes a cada una de las mezclas según la fórmula que se muestra a continuación:

$$A = \frac{\sum Ab_j}{2}$$

Fórmula 3.5. “Coeficiente de Absorción”.<sup>47</sup>

Este procedimiento se realizó cinco (5) veces más convirtiéndose así en un ciclo húmedo – seco, lo cual sirvió para determinar las pérdidas de material y los

---

<sup>46,26</sup> SANCHEZ, J.; MORENO, R. (2002). **Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo – Cemento**: Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

cambios de volumen (contracción y expansión) producidos por repetidas inmersiones en agua y procesos de secado de las probetas de PET - Cemento.

En la figura 3.18 se muestra los pasos de ejecución del ciclo húmedo-seco.



Figura 3.18.- “Ejecución del Ensayo de Absorción”.

a.- Cámara Húmeda. b.- Horno. c.- Cámara Húmeda

### 3.2.5.3 ENSAYO DE EROSIÓN <sup>[38,40]</sup>

Este ensayo se realiza de dos formas, por rociado y por cepillado, con la finalidad de evaluar una de las propiedades de durabilidad de la mezcla PET - Cemento.

A continuación se explican ambos métodos para determinar de la resistencia a la erosión de cada una de las probetas ensayadas.

#### 3.2.5.3.1. EROSIÓN POR ROCIADO

Por medio de este ensayo se evaluó la resistencia que ofrecen las probetas a las acción del agua, pretendiéndose simular la acción combinada de la lluvia y el viento.

Se realizaron diez (10) ensayos de probetas de dimensiones 5 X 10 cm., curadas durante siete (7) días, correspondiendo dos (2) probetas a cada una de las mezclas.

El procedimiento seguido para realizar este ensayo fue el siguiente:

1. Se roció por un lapso de dos (2) horas a cada una de las probetas con agua de manguera a una presión constante.
2. Después de transcurrido el tiempo establecido para rociar cada probeta se determinó la pérdida de peso de cada una de ellas.

Se debe tomar en cuenta que aunque no observen perforaciones o mucha pérdida de material en la probeta ensayada entonces se puede decir que la mezcla es resistente, sin embargo puede ocurrir que la mezcla sea poco resistente a la acción de las lluvias aún cuando lo sea a compresión.

En la figura 3.19 se muestra el proceso de erosión por rociado.



Figura 3.19.- “Erosión por Rociado”.

### **3.2.5.3.2. EROSIÓN POR CEPILLADO**

Este ensayo permitió determinar de manera efectiva la pérdida de material PET - Cemento de las distintas probetas ensayadas.

Se realizaron diez (10) ensayos de probetas, curadas durante siete (7) días de dimensiones 5 X 10 cm., correspondiendo dos (2) probetas a cada una de las mezclas.

El método seguido para realizar este ensayo fue el siguiente:

1. Se secaron las probetas en el horno.
2. Se sumergió cada una de las probetas en la cámara húmeda durante veinticuatro (24) horas cuidando que la probeta se encontrara parada y cubierta totalmente por el agua.
3. Se colocó la probeta dentro de un recipiente que permitiera cubrirla totalmente de agua y luego con un movimiento suave se llevó a cabo el procedimiento con un cepillo de cerdas duras, noventa (90) veces hacia abajo y noventa (90) veces hacia arriba, siempre por el lado mayor de la probeta cuidando de no llegar a las orillas para evitar romperlas.
4. Se sacó la probeta del recipiente y se dejó reposar el agua.
5. Se dejó asentar el material durante un tiempo promedio de diez minutos.
6. Se botó el agua cuidadosamente para que quedara en el fondo el material desprendido.
7. Se lavó el material asentado y se dejó reposar nuevamente por diez minutos.

8. Se secó al horno el sedimento y se pesó.

Si el peso del material sedimentado no sobrepasa los dieciséis (16) gramos se puede decir que la mezcla que se utilizó es adecuada; pero si el peso obtenido es mayor a este valor se deberá colocar mayor cantidad de cemento.

La figura 3.20 representa los resultados de la erosión por cepillado.



Figura 3.20.- “Erosión por Cepillado”

La figura 3.21 representa los resultados de la erosión



Figura 3.21.- “Implementos Utilizados para el Ensayo de Erosión por Cepillado”.

#### **3.2.6.4. ENSAYO DE IMPACTO.**

Para este ensayo se evaluaron trece (13) probetas de dimensiones 20 x 20 x 5 cm. (largo x ancho x alto), curadas durante siete (7) días, correspondiendo dos (2)

probetas a las mezclas patrón (una de mortero y la otra de concreto) y tres (3) probetas de cada una de las mezclas que contienen 5%, 10% y 15% de PET.

La metodología que se utilizó para la realización de este ensayo es la siguiente:

1. Se colocó la probeta en una superficie horizontal, lisa y fija.
2. Se midió una altura determinada (en el caso de este trabajo se utilizó un (1) metro).
3. Se dejó caer una esfera desde dicha altura.
4. Se tomaron las medidas de la huella que dejó el impacto de la misma sobre la probeta (diámetro).
5. Se observó la probeta a ver si presentaba fisuras, desprendimiento de material etc., y se tomaron notas.

En la figura siguiente, figura 3.22 se muestra de una manera elemental el ensayo de impacto.

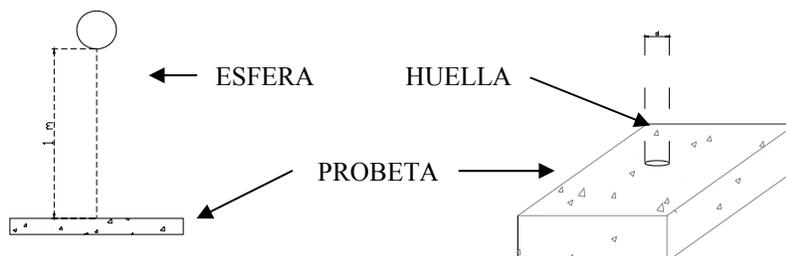


Figura 3.23.- “Ensayo de Impacto”

Por medio de este método se pudo obtener el resultado del impacto de un cuerpo que viene con una energía potencial específica contra las distintas probetas para así analizar cada una de ellas y observar su comportamiento ante este efecto, sacando conclusiones al respecto.

### 3.3. COMPARACIÓN DE COSTOS DE DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para determinar los costos de producción de distintos materiales de construcción se determinó la dosificación para un metro cúbico de cada una de las mezclas en las que son utilizados estos materiales. Con estas dosificaciones y los costos de cada uno de los componentes de las mezclas se obtuvo el costo por metro cúbico, para así determinar que mezcla es más económica para una construcción.

A continuación se presentan una serie de tablas comparativas de los diferentes costos de los materiales analizados:

Tabla 3.2. “Costo de 1 M<sup>3</sup> de la Mezcla Patrón de Concreto”.

Concreto (Patrón)		
Material	Cantidad	Costo (Bs)
Agua (l)	205.000	281.88
Arena Lavada (m <sup>3</sup> )	0.603	33165.00
Cemento (saco)	6.991	79627.49
Piedra (m <sup>3</sup> )	0.644	35420.00
	Total	<b>148494.37</b>

Tabla 3.3. “Costo de 1 M<sup>3</sup> de Mezcla Patrón de Mortero”.

<b>Mortero (patrón)</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (Bs)</b>
Agua (l)	211	290,13
Arena Lavada (m <sup>3</sup> )	1,195	65725,00
Cemento (saco)	7,196	81962,44
	<b>Total</b>	<b>147.977,57</b>

Tabla 3.4. “Costo de 1 M<sup>3</sup> de la Mezcla A”.

<b>(Mezcla A) Mortero con 5% de PET</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (Bs)</b>
Agua (l)	211	290.13
Arena Lavada (m <sup>3</sup> )	1,136	62480.00
Cemento (saco)	7,196	81962.44
PET (m3)	0,060	12109.50
	<b>Total</b>	<b>156842.07</b>

Tabla 3.5. “Costo de 1 M<sup>3</sup> de la Mezcla B”.

<b>(Mezcla B) Concreto con 15% de PET</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (Bs)</b>
Agua (l)	205	281,88
Arena Lavada (m <sup>3</sup> )	0,512	28160,00
Cemento (saco)	6,991	79627,49
PET (m3)	0,090	18301,95
Piedra (m <sup>3</sup> )	0,644	35420,00
	<b>Total</b>	<b>161.791,32</b>

Tabla 3.6. “Costo de 1 M<sup>3</sup> de la Mezcla E”.

<b>(Mezcla E) Mortero con 10% de PET</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (Bs)</b>
Agua (l)	211	290,13
Arena Lavada (m <sup>3</sup> )	1,076	59180,00
Cemento (saco)	7,196	81962,44
PET (m3)	0,120	24300,00
	<b>Total</b>	<b>165.732,57</b>

Luego de obtener los resultados de los distintos ensayos, se determinó el potencial del PET – Cemento para ser utilizado como material de construcción. Para ello se realizaron diversos cálculos a fin de obtener la resistencia a compresión y durabilidad de las mezclas, y determinar así si dichas muestras se encuentran dentro de los valores obtenidos con otros materiales de construcción.

Igualmente se realizaron análisis económicos, los cuales comparan los precios de distintos materiales de la construcción con el PET – Cemento, determinándose así si la elaboración de esta mezcla es competitiva o no.

A continuación se desglosan los resultados obtenidos de los distintos ensayos tanto de resistencia como de durabilidad del material evaluado.

#### 4.1 ENSAYOS PRELIMINARES

##### 4.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 4.1. “Resultados de Contenido de Humedad de la Arena”.

Muestra	Peso Tara (g)	Peso Húmedo (g)		Peso Seco (g)		Contenido de Humedad (%)
		TARA + ARENA	ARENA	TARA + ARENA	ARENA	
Húmeda	107	760	653	717	610	7,05
Seca	154	843	689	814	660	4,39

Estos valores fueron utilizados para la corrección de los diseños de mezclas respectivos, tomándolos en cuenta para el cálculo de la cantidad de agua corregida necesaria en la mezcla.

A continuación se muestran valores de otros materiales:

Tabla 4.2. “Contenido de Humedad de Otros Materiales”.

	W %
Arena de Cantera	0,04
Ripio de Cantera de Arena	1,48
Ripio de Cantera de Piedra	0,58

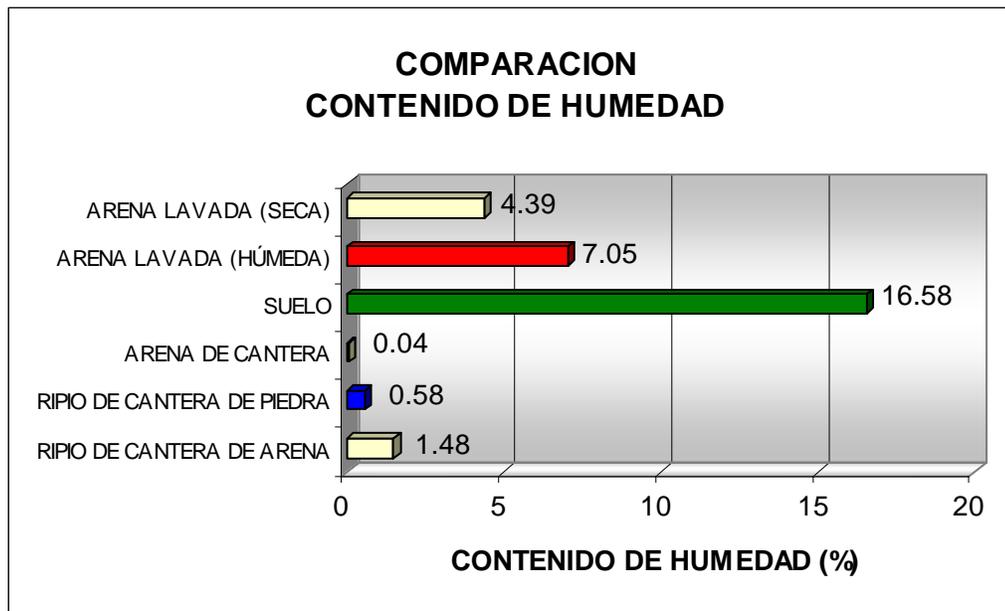


Gráfico 4.1. “Comparación del Contenido de Humedad Agregados Usados en la Construcción”.

Como se puede observar en el gráfico anterior, las arenas lavadas utilizadas (húmeda y seca) poseen un contenido de humedad mayor al del ripio de cantera de arena, al de cantera de piedra y la arena de cantera pero al compararlas con el contenido de humedad promedio de un suelo resultaron menores. La arena lavada húmeda es un 79% mayor que el ripio de cantera de arena, un 91,8% mayor que el ripio de cantera de piedra, un 99,4% mayor que la arena de cantera; por otro lado, el suelo resultó tener un contenido de humedad mayor que la arena analizada en un 57,5%. La arena lavada seca es un 66,3% mayor que el ripio de cantera de arena, un 86,8% mayor que el ripio de cantera de piedra, un 99,1 % mayor de la arena de

cantera; pero el suelo resultó sobrepasar los valores de contenido de humedad en un 73,5 %.

Por lo mencionado anteriormente, se puede decir que el contenido de humedad del material utilizado es alto, por lo que se debe verificar con cuidado la cantidad de agua de mezclado a utilizar ya que se podría alterar la relación agua/cemento afectando así la resistencia final de la mezcla a la que se le agregó dicho material.

En cuanto al contenido de humedad del suelo utilizado como comparación, este valor no debe tomarse como constante, ya que el mismo depende del sitio y método de extracción. El suelo tomado en cuenta para esta comparación fue extraído por el Metro de Caracas en el túnel correspondiente a la Línea 4 en las inmediaciones de Plaza Venezuela (2002).

#### 4.1.2 GRANULOMETRIA

Los resultados arrojados por el ensayo para obtener la granulometría del PET fueron los que se presentan en la tabla 4.3:

Tabla 4.3. “Resultados Granulometría del PET”.

Tamiz (Pulgadas)	Peso Tara + Material	Peso Tara (g)	Peso Retenido (g)	Peso Pasante (g)	% Retenido	% Pasante
1"	0,00	0,00	0,00	278,30	0,00	100,00
3/4"	0,00	0,00	0,00	278,30	0,00	100,00
1/2"	4,00	0,00	4,00	274,30	1,44	98,56
3/8"	93,00	76,00	17,00	257,30	6,11	92,45
Nº 4	405,40	197,10	208,30	49,00	74,85	17,61
Nº 8	75,00	31,00	44,00	5,00	15,81	1,80
Nº 16	80,00	77,10	2,90	2,10	1,04	0,75
FONDO			2,10		0,75	
		<b>TOTAL</b>	<b>278,30</b>			

## IV.- Resultados y Análisis

En la tabla anterior se puede observar que la granulometría del PET no es uniforme, es decir, es un material mal gradado ya que el 74,85% de la muestra es retenido en el tamiz N° 4.

En la tabla 4.4 se presentan los resultados granulométricos de algunos agregados:

Tabla 4.4. “Resultados Granulometría de Otros Agregados”.

	Cedazos	Retenido (G)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%Total Pasante
<b>Ripio de Cantera de Arena</b>	3/8"	0	0	0	100
	#4	0	0	0	100
	#8	0	0	0	100
	#16	0,9	0,2	0,2	99,8
	#30	80,4	16,1	16,3	83,7
	#50	169,9	34	50,2	49,8
	#100	146,3	29,3	79,5	20,5
	P-100	102,4	20,5	100	0
<b>Ripio de Cantera de Piedra</b>	3/8"	27,2	5,4	5,4	94,6
	#4	28,6	5,7	11,2	88,8
	#8	26,4	5,3	16,4	83,6
	#16	26,9	5,4	21,8	78,2
	#30	28	5,6	27,4	72,6
	#50	40,8	8,2	35,6	64,4
	#100	131,8	26,4	61,9	38,1
	P-100	190,2	38	100	0
<b>Arena de Cantera</b>	3/8"	0	0	0	100
	#4	31,8	6,4	6,4	93,6
	#8	100,9	20,2	26,5	73,5
	#16	115,6	23,1	49,7	50,3
	#30	67,6	13,5	63,2	36,8
	#50	57,7	11,5	74,7	25,3
	#100	31,4	12,3	87	13
	P-100	64,8	13	100	0
<b>Suelo</b>	3/8"	9,5	1,9	1,9	98,1
	#4	77,1	15,4	17,3	82,7
	#10	76,5	15,3	32,6	67,4
	#20	41,5	8,3	40,9	59,1
	#40	35,3	7	47,9	52,1
	#100	50,1	10	57,9	42,1
	#200	28,2	5,6	63,5	36,5
	pasa 200	181,8			

El suelo seleccionado para realizar esta comparación está bien gradado. También se puede observar que posee un 63,5% de arena y un 36,5% de finos.

A continuación, en la gráfica 4.2 se muestra la curva granulométrica representativa del PET:

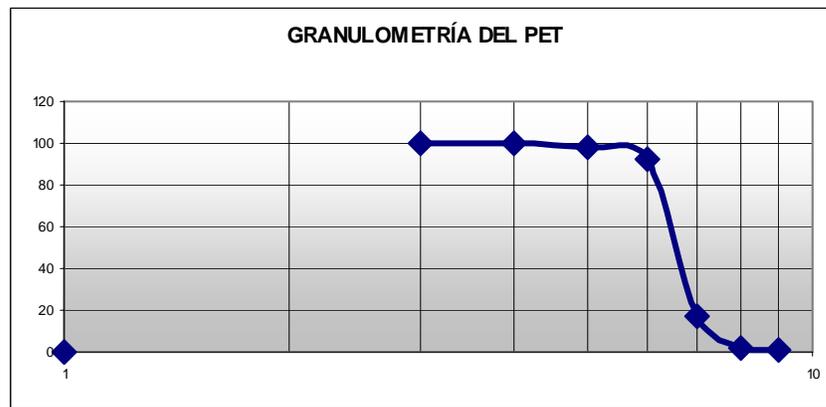


Gráfico 4.2. "Curva Granulométrica".

Las curvas granulométricas mostradas a continuación en la gráfica 4.3 son representativas de diversos materiales con el fin de realizar una comparación y ver el tipo de comportamiento:

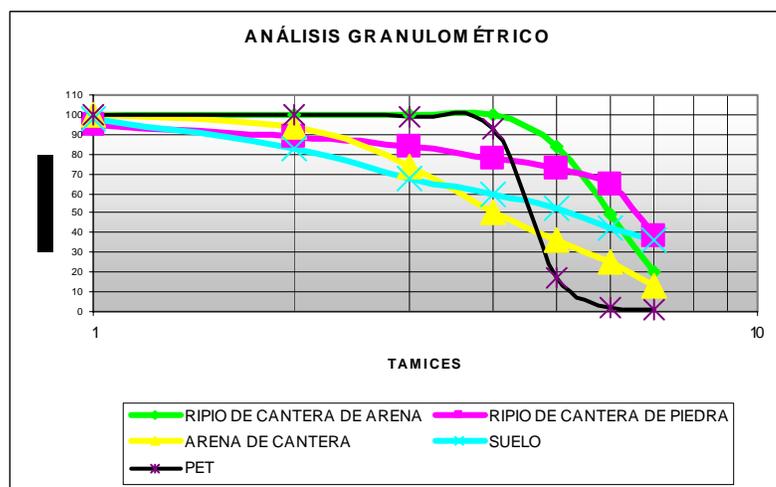


Gráfico 4.3. "Comparación de Distintas Curvas Granulométricas de Agregados y la del PET".

Ahora bien, en base a la observación de las tablas 4.3 y 4.4 y gráficos 4.2 y 4.3, se puede decir que todos los materiales utilizados en la construcción presentan una granulometría continua, mientras que el PET no. Este dato debe ser tomado en cuenta para realizar un diseño de mezcla. El PET puede ser utilizado como agregado intermedio entre uno muy fino y uno grueso.

### 4.1.3 PESO UNITARIO COMPACTO

En cuanto al peso unitario compacto de las mezclas realizadas se obtuvo lo siguiente mostrado en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. “Cálculo del Volumen del Recipiente para Peso Unitario Compacto”.

Peso Molde (g)	Peso Molde + Vidrio (g)	Peso Molde + Vidrio + Agua (g)	Peso Agua (g)	Volumen Agua (cm <sup>3</sup> )
2700	3650	6500	2850	2850

El cálculo anterior fue realizado para determinar el volumen del recipiente utilizado para calcular el peso unitario compacto de las mezclas elaboradas, esto sirve para obtener el volumen exacto a ser rellenado con la mezcla.

En la siguiente tabla se indican los pesos de cada una de las mezclas realizadas:

Tabla 4.6. “Cálculo de Peso Unitario Compacto”.

	Peso Molde + Muestra (g)	Peso Muestra (g)	Peso Unitario Compacto (g/cm <sup>3</sup> )
Mezcla A	8275	5575	1,956
Mezcla B	5300	2600	0,912
Mezcla C	8300	5600	1,965
Mezcla D	9250	6550	2,298
Mezcla E	8350	5650	1,982

El Peso Unitario Compacto se calculó con la finalidad de conseguir la densidad de la muestra analizada y poder compararlas con las mezclas patrón para poder así determinar cuánto disminuye el peso de una mezcla que posee distintos agregados a los normalmente utilizados en la construcción. Ya que se tiene el Peso Unitario Compacto de las muestras patrón (mezclas C y D), las mismas sirvieron de base de comparación con las mezclas que contenían PET, generando los siguientes resultados:

- De la mezcla A (mortero con un 5% de PET), se obtuvo un peso unitario compacto de  $1,956 \text{ Kg/cm}^3$ , lo cual representa un 99,55% en peso con respecto a la mezcla patrón, es decir, la muestra A resultó ser un poco más liviana que la mezcla C.
- La mezcla B (concreto con un 15% de PET) presenta un Peso Unitario Compacto menor al que arrojó la mezcla patrón, es decir, representa un 53,98%. En resumen, lo que se pudo detectar fue una desproporción entre la cantidad de mortero y de piedra, es decir, esta variación considerable en el peso pudo deberse a que al reducir la cantidad de arena existía muy poco mortero dentro de la mezcla, lo que ocasionó que las probetas presentaran cangrejeras
- La mezcla E (mortero con un 10% de PET) arrojó un resultado de  $1,982 \text{ Kg/cm}^3$ , lo cual representa más del 100% en peso de la muestra patrón, es decir, es un 0,89% más densa.

Las mezclas utilizadas como patrón arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 4.7 “Peso Unitario Compacto de las Mezclas Patrón”.

Mezcla	P.U. ( $\text{Kg/cm}^3$ )
C (mortero)	1,965
D (concreto)	2,298

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de cada una de las mezclas y la comparación en porcentaje entre ellas y las patrón:

Tabla 4.8 “Comparación del Peso Unitario Compacto con las Mezclas Patrón C y D”.

Mezcla	P.U. (g/cm <sup>3</sup> )	Comparación de la diferencia entre las mezclas de PET y las patrón (%)
A	1,956	0,45
B	0,912	53,98
E	1,982	0,89

## 4.2. ENSAYOS DE LAS PROBETAS DE PET – CEMENTO

La nomenclatura utilizada para nombrar cada una de las probetas fue la siguiente: la letra significa el tipo de muestra y el número ayuda a cuantificar las muestras de cada uno de los ensayos, para cada ensayo se eligieron al azar las probetas a utilizar.

### 4.2.1 COMPRESION

Este ensayo se realizó tomando en cuenta la lectura de la carga aplicada en el momento que ocurría la falla de la probeta (carga máxima) y se consiguió la resistencia de cada una de ellas mediante el cálculo del cociente entre dicha carga y el área de aplicación de la misma.

A continuación se muestran los resultados tanto de resistencia a compresión tanto a los siete (7) días como también a los veintiocho (28).

El ensayo realizado a los siete (7) días arrojó los resultados presentados a continuación en la tabla 4.9:

Tabla 4.9 “Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los Siete Días (Probetas Pequeñas)”.

Cilindro	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensión Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> )
A-10	349	4,68	10,175	680	39,530	42,583
A-14	346	4,635	10,17	770	45,635	
B-6	342	4,625	10,575	1100	65,476	62,705
B-7	331	4,655	10,64	1020	59,934	
C-9	374	4,67	10,46	1430	83,486	86,697
C-10	374	4,67	10,355	1540	89,908	
D-5	386	4,67	10,455	930	54,295	46,244
D-6	398	4,655	10,71	650	38,193	
E-2	340	4,685	10,16	660	38,286	38,912
E-7	347	4,645	10,255	670	39,538	

En la tabla anterior se puede apreciar la resistencia promedio de cada una de las mezclas.

Estos valores son preliminares, no son concluyentes, sólo pueden dar una orientación de cómo podría comportarse la mezcla a los 28 días.

La mezcla que debería dar un valor de resistencia mayor de todas es la mezcla D, es decir, el concreto patrón, seguido del mortero patrón representado por la mezcla C; cuestión que no se cumple en esta etapa.

Lo que sí es de notar es que las mezclas elaboradas con PET, arrojaron valores inferiores a los patrón.

La mezcla A obtuvo una resistencia menor en un 50,9% que la muestra patrón correspondiente. Por otro lado la mezcla B alcanzó un valor de 26,3% mayor que la muestra D, por último, la mezcla E resultó ser un 55,1% menor que la mezcla C.

La siguiente tabla muestra un resumen de los tipos de falla de cada una de las probetas y sus posibles causas:

Tabla 4.10 “Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los Siete Días (Probetas Pequeñas)”.

CILINDRO	OBSERVACIONES
A-10	Falló por adherencia, pero no terminó de romperse por el PET.
A-14	Falló por adherencia, pero no terminó de romperse por el PET.
B-6	Falló la interfase falta de adherencia.
B-7	Falló por la interfase pero no terminó de romperse por el PET.
C-9	Falló por adherencia.
C-10	Falló por adherencia.
D-5	Falló la interfase.
D-6	Falló la interfase.
E-2	Falló la interfase pero no terminó de romperse por el PET.
E-7	Falló la interfase pero no terminó de romperse por el PET.

En general el tipo de falla más común fue por adherencia entre el mortero y el agregado grueso, más aún si algún trozo de plástico quedó entre la pasta y el agregado grueso debido a que el PET impidió que la interfase se generara, creando una especie de grieta ayudando a que la probeta falle por ahí. Por otro lado, la adherencia entre el mortero (arena, agua y cemento) y el PET no ocurrió en su totalidad, ya que las propiedades del plástico impidieron que se generara una adherencia total entre el PET y el mortero, contribuyendo también a la falla. Cabe destacar que el plástico ayudó a que no se quebrara por completo la probeta, manteniéndola unida.

Resumiendo, el tipo de falla fue por adherencia, es decir no se formó completamente la interfase entre los componentes de las mezclas, provocando microfisuras dentro de las probetas, induciendo esto a que las probetas fallaran por esas fisuras en el momento de aplicar las cargas

En algunos puntos de las probetas el PET no permitió que el agregado grueso completara la interfase con el mortero creando espacios donde no existía adherencia, por consiguiente en el momento de aplicar las cargas las probetas no ofrecieron resistencia en estos sitios, pero el PET ayudó a que la probeta no se rompiera

## IV.- Resultados y Análisis

totalmente ya que funcionó como una fibra ayudando a que la grieta no pasara de un lado a otro, es por esto que las probetas no se rompieron totalmente.

El ensayo realizado a los veintiocho (28) días arrojó los resultados, presentados en la tabla 4.11, para las probetas cilíndricas normalizadas:

Tabla 4.11 “Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los 28 Días (Probetas Normalizadas)”.

Cilindro	Peso (Kg)	Carga Máx (Kgf)	Tensión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensión Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> )
A-1	10,09	34500	195,23	196,39
A-2	10,16	34910	197,55	
B-1	10,069	35400	200,32	200,35
B-2	10,617	35410	200,38	
C-1	9,778	37000	209,38	207,96
C-2	9,832	36500	206,55	
D-1	11,886	35900	203,15	209,09
D-2	11,904	38000	215,04	
E-1	10,074	36000	203,72	206,55
E-2	10,02	37000	209,38	

La siguiente tabla muestra un resumen de los tipos de falla observados en cada una de las probetas normalizadas ensayadas a los 28 días y sus posibles causas:

Tabla 4.12 “Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 Días (Probetas Pequeñas)”.

Cilindro	Tipo de Falla	Posible Causa de la Falla
A-1	En v.	Por interfase (falta de adherencia entre el mortero y el PET).
A-2	En v.	Por interfase (falta de adherencia entre el mortero, la piedra y el PET).
B-1	Diagonal.	Por interfase (falta de adherencia entre el mortero, la piedra y el PET).
B-2	Diagonal.	Por interfase (falta de adherencia entre el mortero y el PET).
C-1	Diagonal.	La mezcla no es fluida (mala compactación).
C-2	Diagonal.	La mezcla no es fluida (mala compactación).
D-1	Diagonal.	Por interfase.
D-2	Diagonal.	Por interfase.
E-1	Horizontal sup.	Problema de compactación.
E-2	Horizontal sup.	Problema de compactación.

## IV.- Resultados y Análisis

El comportamiento de estas probetas no ocurrió fuera de lo que se esperaba, que era que la probeta de concreto (patrón) arrojara valores superiores a las demás; seguida directamente del mortero patrón; luego el mortero con 10% de PET seguida del concreto con 15% de PET y por último el mortero con 5% de PET.

Para las probetas cilíndricas pequeñas:

Tabla 4.13 “Resultados de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 días (Probetas Pequeñas)”.

Cilindro	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máx (Kgf)	Tensión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensión Promedio (Kgf/cm <sup>2</sup> )
A-7	322	4,64	9,90	1600	94,62	91,63
A-8	318	4,64	10,13	1540	91,07	
A-12	325	4,63	9,96	1650	98,21	
A-13	315	4,65	9,96	1400	82,62	
B-5	329	4,63	10,25	3010	178,78	180,61
B-8	345	4,62	10,64	3000	179,34	
B-14	337	4,67	10,40	2900	169,67	
B-16	310	4,43	10,22	3000	194,64	
C-1	340	4,67	10,06	3000	175,52	191,78
C-5	350	4,65	10,25	3400	200,64	
C-8	341	4,67	10,21	3310	193,24	
C-15	355	4,61	10,29	3300	197,71	
D-1	380	4,60	10,39	3190	192,37	193,93
D-3	365	4,65	10,25	3250	191,79	
D-4	362	4,65	9,94	3350	197,26	
D-11	385	4,65	10,30	3300	194,32	
E-5	328	4,64	10,13	2000	118,28	113,17
E-9	333	4,69	10,20	2400	139,22	
E-12	330	4,70	10,46	1540	88,95	
E-14	328	4,65	10,35	1800	106,22	

La Mezcla A obtuvo una resistencia de 196,39 Kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un 52,2% menos que la mezcla C; por otro lado la muestra B arrojó una resistencia de 200,35 Kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un 4,2% menos que la resistencia alcanzada por la mezcla patrón (mezcla D). En cuanto a la mezcla E, ésta es un 0,7% menor a la mezcla patrón (mezcla C).

## IV.- Resultados y Análisis

Los resultados obtenidos en esta etapa de ensayo de probetas pequeñas arrojaron valores de resistencia tales que el concreto patrón arrojó valores mayores a los demás, seguidos del mortero patrón, luego la mezcla que contiene 10% de PET, después el concreto que contiene un 15% de PET, y por último la que contiene un 5% de PET.

La siguiente tabla muestra un resumen de los tipos de falla de cada una de las probetas cilíndricas pequeñas ensayadas a los 28 días y sus posibles causas:

Tabla 4.14 “Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 días (Probetas Pequeñas)”.

Cilindro	Tipo de Falla	Posible Causa de la Falla
A-7	Horizontal.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico (mala compactación).
A-8	Horizontal.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico (mala compactación).
A-12	Horizontal.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico (mala compactación).
A-13	Horizontal.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico (mala compactación).
B-5	Horizontal.	Falta de mortero, tamaño de la piedra muy grande.
B-8	Diagonal.	Falta de mortero, tamaño de la piedra muy grande.
B-14	Diagonal.	Falta de mortero, tamaño de la piedra muy grande.
B-16	Diagonal.	Falta de mortero, tamaño de la piedra muy grande.
C-1	En v.	Por mortero.
C-5	En v.	Por mortero.
C-8	En v.	Por mortero.
C-15	En v.	Por mortero.
D-1	Diagonal.	Falla por interfase.
D-3	Diagonal.	Falla por interfase.
D-4	Diagonal.	Falla por interfase.
D-11	Diagonal.	Falla por interfase.
E-5	En v.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico.
E-9	En v.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico.
E-12	En v.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico.
E-14	Diagonal.	Falta de adherencia entre el mortero y el plástico.

Durante la realización de estos ensayos se pudo observar lo siguiente:

- La probeta elaborada con un 5% de PET (mezcla A mortero) alcanzó una resistencia a compresión con respecto a la muestra patrón de  $100,15 \text{ Kg/cm}^2$  inferior en las probetas pequeñas, y  $11,57 \text{ Kg/cm}^2$  en las normalizadas lo que representa un 52,2% y 5,6% respectivamente.
- En cuanto a la mezcla E que contiene un 10% de PET (mortero), se puede decir que arrojó también valores de resistencia a compresión inferior. La diferencia es de  $78,61 \text{ Kg/cm}^2$  en las probetas pequeñas, y  $1,41 \text{ Kg/cm}^2$  en las normalizadas, resultados que se ven representados por un 41% y un 0,7% respectivamente.
- Por último, la mezcla realizada con un 15% de PET (mezcla B concreto) alcanzó una resistencia menor a la patrón (mezcla D), aunque la variación no fue tan alta como las otras mezclas; las probetas pequeñas alcanzaron una variación de  $13,33 \text{ Kg/cm}^2$  y en las normalizadas de  $8,74 \text{ Kg/cm}^2$ , valores representativos siendo la variación de un 6,9% y un 4,2% respectivamente.
- Con respecto a las fallas de las probetas se pudo observar en el caso de las mezcla A Y E existió la pérdida de adherencia entre el mortero y el PET. Por otro lado la mezcla B tuvo problemas de adherencia entre la piedra y el mortero al igual que entre el plástico y el mortero, lo que la hizo más vulnerable. Tomando en consideración lo visto en el momento del ensayo de las probetas se puede decir que en los lugares donde se encontraba el plástico no hubo suficiente adherencia la mezcla se separó y por ende formó una especie de grieta, lo que se pudo observar al momento de la ruptura ya que la superficie de contacto (interfase) entre el mortero y el PET se encontraba sumamente lisa y los trozos de PET se desprendían fácilmente; sabiendo esto se puede decir que para la probeta que contenía un 15% de PET, si se encontraba un trozo de del mismo junto a la

pedra, no se logró adherir lo que hizo que fallara más rápido. Cabe destacar que las probetas no se terminaron de romper por efectos del plástico que se comportó como una especie de fibra ayudando así a minimizar los efectos propios del ensayo.

- Ninguna de las probetas realizadas con esta mezcla presentó efectos de retracción.

En general, la falla fue por pérdida de adherencia entre el mortero y el plástico acompañada por una mala compactación de la probeta causada por la calidad de la mezcla, la cual no era fluida, por ende, la trabajabilidad de la misma no fue la adecuada.

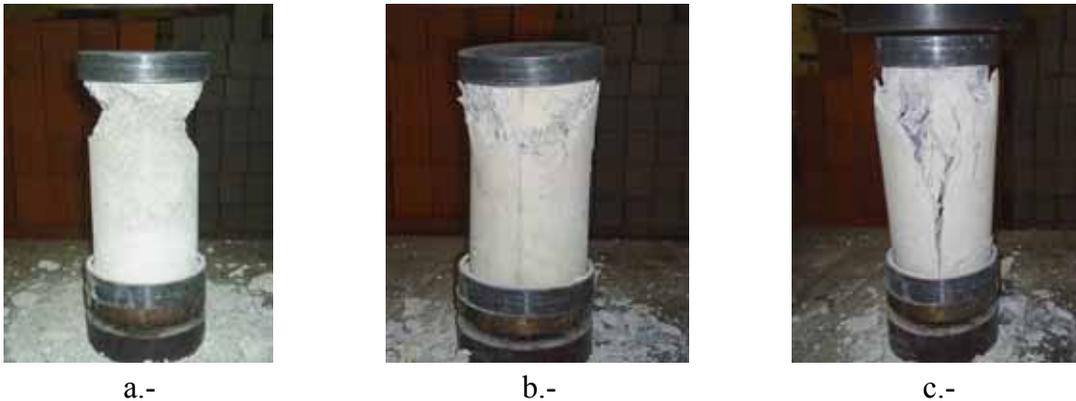


Figura 4.1 “Probetas Normalizadas Ensayadas a Compresión Simple”.

- a.- Falla horizontal superior de la mezcla E. b.- Falla por mala compactación Mezcla D (no fluida) c.- Falla en forma de v de la mezcla D.



a.-

b.-

c.-

Figura 4.2 “Fallas de Probetas Ensayadas a Compresión Simple”.

a.- Falla de interfase (piedra y mortero). b.- Falla por mala compactación (mezcla no fluida).

c.- Falla por falta de adherencia entre la pasta y el PET.

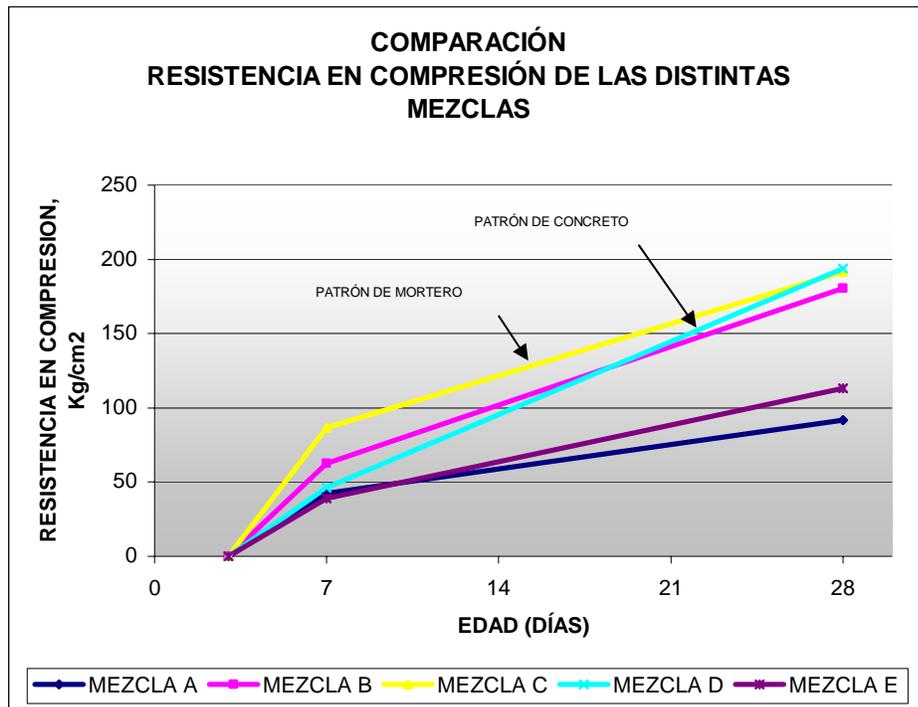


Gráfico 4.4. “Curva de Variación de la Resistencia a Compresión en Función del Tiempo para Probetas Pequeñas”.

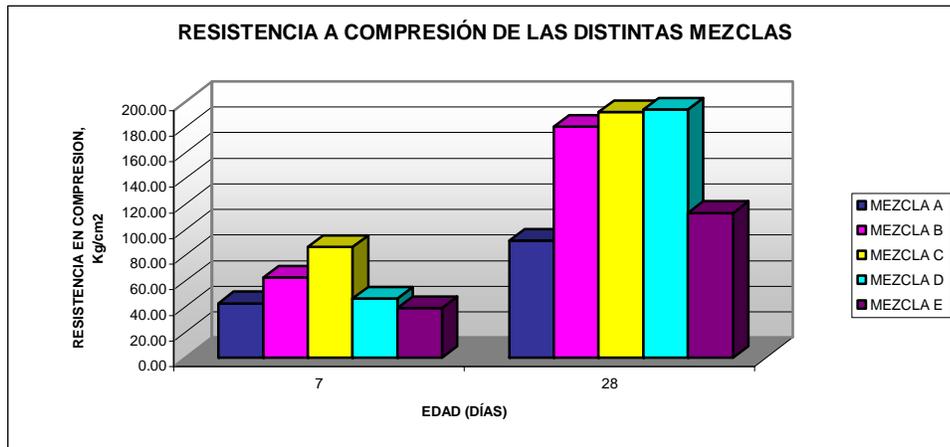


Gráfico 4.5. “Resistencia a Compresión para Mezclas de PET - Cemento”.

La siguiente tabla muestra los valores de resistencia a compresión del Suelo - Cemento:

Tabla 4.15 “Resultados de los Ensayos a Compresión Simple a los Siete Días del Suelo - Cemento”.<sup>53</sup>

Cilindro	Peso (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Vol. (M <sup>3</sup> )	Carga Máx (Kgf)	Tensión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensión Promedio
1-A	15	640,9	0,009	14720	23,0	23,086
1-B	16,1	640,9	0,009	16200	25,3	
1-C	15,4	640,9	0,009	13740	21,4	
1-D	15,3	640,9	0,009	13460	21,0	
1-E	14,8	640,9	0,009	15860	24,7	
2-A	14,7	640,9	0,009	8600	13,4	14,867
2-B	15,6	640,9	0,009	9860	15,4	
2-C	15,8	640,9	0,009	10020	15,6	
2-D	15,2	640,9	0,009	9640	15,0	
2-E	15,5	640,9	0,009	9520	14,9	
3-A	16,3	640,9	0,009	7240	11,3	11,802
3-B	15,1	640,9	0,009	7500	11,7	
3-C	15,7	640,9	0,009	8000	12,5	
3-D	14,3	640,9	0,009	7620	11,9	
3-E	14,8	640,9	0,009	7460	11,6	

<sup>53</sup> RODRÍGUEZ, L.; SIMONPIETRI, M. (2002). “Diseños de Mezcla para su Uso en la Elaboración de Bloques Aligerados de Suelo – Cemento”: Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

El Suelo - Cemento es otro material de construcción que puede servir como punto de comparación en referencia a nuevos materiales de construcción ya que pertenece también a esta línea de investigación.

De la tabla de los resultados de los ensayos a compresión realizados a tres tipos distintos de probetas realizadas con variados diseños de mezclas de suelo - cemento, se puede observar una tendencia promedio de la resistencia de este tipo de mezclas.

A continuación, en la gráfica 4.6 se muestra una comparación de resistencia a compresión entre las mezclas de PET - CEMENTO y de Suelo-Cemento:

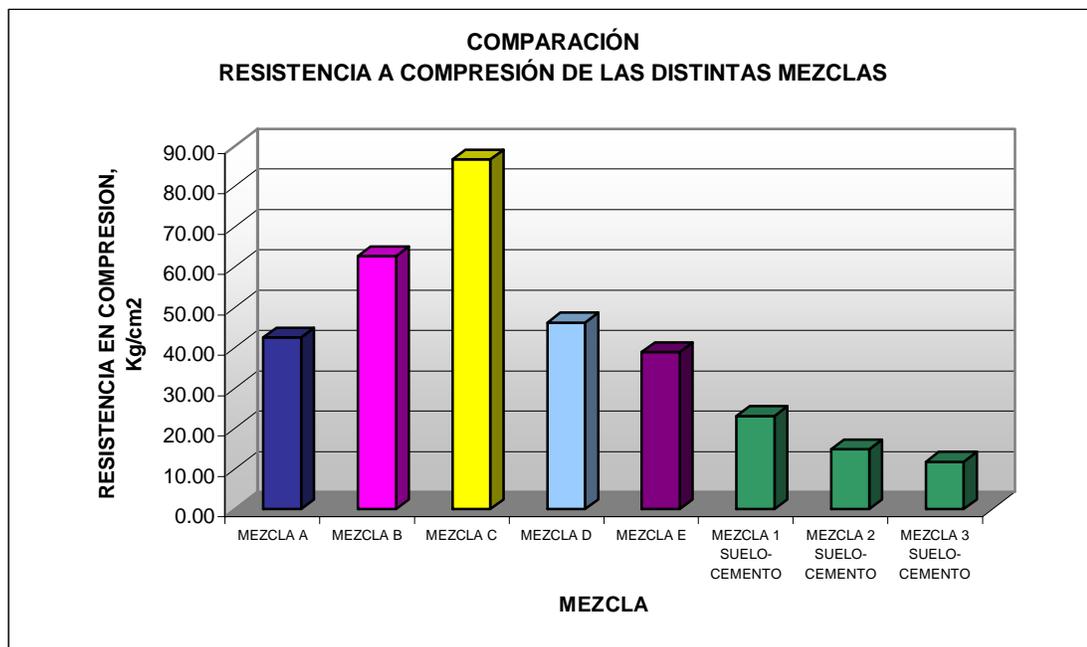


Gráfico 4.6. “(Comparación) Resultados de los Ensayos a Compresión Simple entre el PET - Cemento y el Suelo - Cemento”.

En la gráfica anterior se puede observar que las mezclas de PET-cemento arrojaron valores de resistencia mayores a las de suelo-cemento que contienen un 10%, 7,5% y 5% de cemento respectivamente.

**4.2.2 ABSORCION**

La cantidad de agua absorbida por las probetas se determinó a través de la diferencia entre el peso de las mismas secas y el registro luego de haberlas sumergido; por ende se puede decir que el porcentaje de absorción que posee cada una de las mezclas viene representado por el incremento en peso de cada una de las probetas ensayadas al ser sumergidas en agua por 24 horas.

A continuación se muestra la tabla 4.16 explicativa de cada uno de los porcentajes de absorción que arrojaron cada una de las cinco diferentes mezclas:

Tabla 4.16. “Resultados de los Ensayos de Absorción”.

CILINDRO	PESO SECO (g)	PESO HÚMEDO (g)	% DE ABSORCION	COEFICIENTE DE ABSORCION	EDAD DE ENSAYO
A-1	298	339	13,76	13,44	9
A-3	305	345	13,11		9
A-15	290	329	13,45		9
B-1	298	330	10,74	8,91	9
B-4	309	333	7,77		9
B-11	316	342	8,23		9
C-2	331	365	10,27	10,71	8
C-6	330	364	10,30		8
C-16	320	357	11,56		8
D-10	315	340	7,94	8,16	8
D-12	333	360	8,11		8
D-16	332	360	8,43		8
E-1	302	338	11,92	11,79	8
E-4	311	347	11,58		8
E-16	303	339	11,88		8

En la tabla anterior se puede observar claramente que:

- La mezcla A es un 2,73% mayor que la mezcla C, lo cual pudo ocurrir por mala compactación, ya que al quedarle orificios a la mezcla se generan vacíos que pueden llenarse de agua.
- La mezcla B arrojó un valor de absorción de 8,91%, mayor en un 0,75% más que la muestra patrón, valor que puede estar dentro de un rango aceptable en cuanto a contenido de humedad.
- La mezcla E tuvo un 0,75 % más de porcentaje de absorción que la muestra patrón.

**PORCENTAJE DE ABSORCION DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS**

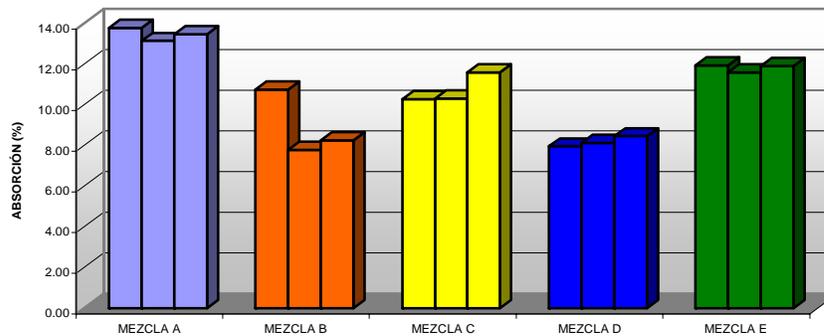


Gráfico 4.7. “Porcentaje de Absorción de las Mezclas de PET - Cemento”.

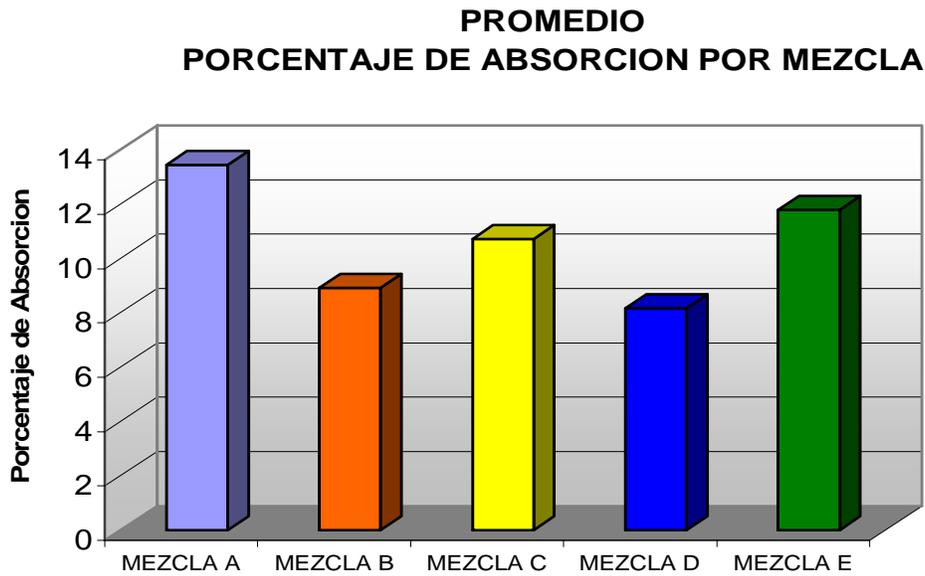


Gráfico 4.8. “Promedio Porcentaje de Absorción de las Mezclas de PET - Cemento”.

Tabla 4.17. “Resultados de los Ensayos de Absorción de Suelo-Cemento”.

Material	Coficiente de Absorción (%)	Promedio Coficiente de Absorción (%)
Ripio de Cantera	19,9	22,69
	22,69	
	25,83	
	22,32	
Suelo – Cemento	18,8	20,66
	20,7	
	22,6	
PET - Cemento	13,44	11,38
	8,91	
	11,79	

La tabla 4.17 muestra algunos coeficientes de absorción de materiales utilizados para la construcción los cuales sirvieron de base de comparación para este nuevo material de construcción a analizar.

A continuación se muestra un gráfico comparativo de los valores de porcentaje de absorción distintos materiales:

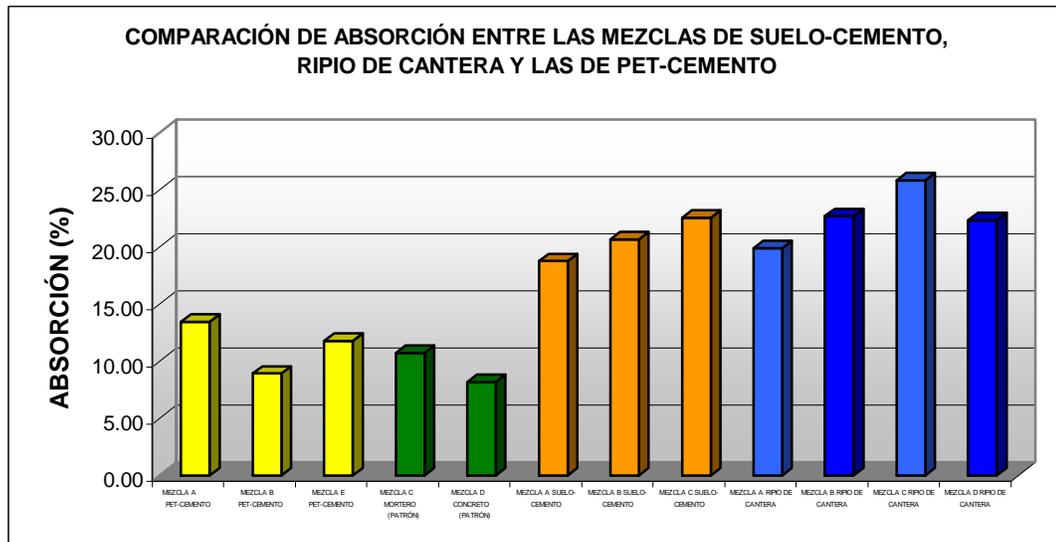


Gráfico 4.9. “Porcentaje de Absorción de las distintas mezclas”.

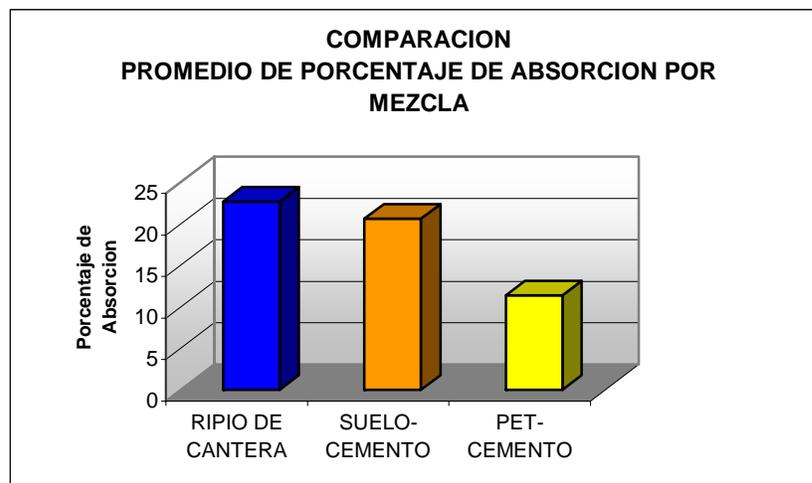


Gráfico 4.10. “Comparación Promedio de Porcentaje de Absorción de las distintas mezclas”.

El gráfico 4.10 demuestra de manera cuantitativa que el PET - Cemento posee un coeficiente de absorción notablemente menor al Suelo-Cemento y ripio de cantera, específicamente un 44,92% menor al suelo y un 49,83% menor al ripio de cantera.

En el gráfico 4.9 se expresan los porcentajes de absorción de cada uno de los materiales desglosados por diseño de mezcla elaborada, lo que puede demostrar la tendencia entre los valores propios de cada uno; el suelo – cemento presenta una diferencia entre sus valores extremos del 16,81%, el ripio del 22,96% y el PET – Cemento del 33,71%, lo que da a entender que el que se ve más afectado por la variación en su dosificación es el PET – Cemento.

#### 4.2.3.1. CICLO HÚMEDO - SECO

Se realizaron cinco ciclos a cada uno de los ensayos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.18. “Absorción, Ciclo Húmedo – Seco”.

Muestra	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		Ciclo 4		Ciclo 5	
	Peso (g)		Peso (g)		Peso (g)		Peso (g)		Peso (g)	
	Seco	Húmedo								
A-1	321	340	298	339	294	335	290	330	289	330
A-3	325	345	305	345	301	346	300	345	300	345
A-15	312	330	290	329	289	320	289	325	288	324
B-1	312	325	298	330	280	310	280	295	280	295
B-4	319	332	309	333	305	330	300	330	300	330
B-11	328	342	316	342	310	342	310	340	308	340
C-2	353	365	331	365	330	365	328	365	325	365
C-6	348	365	330	364	325	360	324	360	320	358
C-16	341	361	320	357	318	357	320	359	320	358
D-10	328	341	315	340	308	335	308	335	300	330
D-12	345	360	333	360	332	360	330	359	328	360
D-16	347	360	332	360	328	360	325	360	325	360
E-1	322	338	302	338	300	338	298	337	300	338
E-4	330	348	311	347	303	340	300	340	303	341
E-16	325	340	303	339	300	337	300	338	305	338

Tabla 4.19. “Absorción, Diferencia en Peso de Cada Una de las Muestras por Ciclo entre el Peso Húmedo y el Peso Seco”.

MUESTRA	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
A-1	19	41	41	40	41
A-3	20	40	45	45	45
A-15	18	39	31	36	36
B-1	13	32	30	15	15
B-4	13	24	25	30	30
B-11	14	26	32	30	32
C-2	12	34	35	37	40
C-6	17	34	35	36	38
C-16	20	37	39	39	38
D-10	13	25	27	27	30
D-12	15	27	28	29	32
D-16	13	28	32	35	35
E-1	16	36	38	39	38
E-4	18	36	37	40	38
E-16	15	36	37	38	33

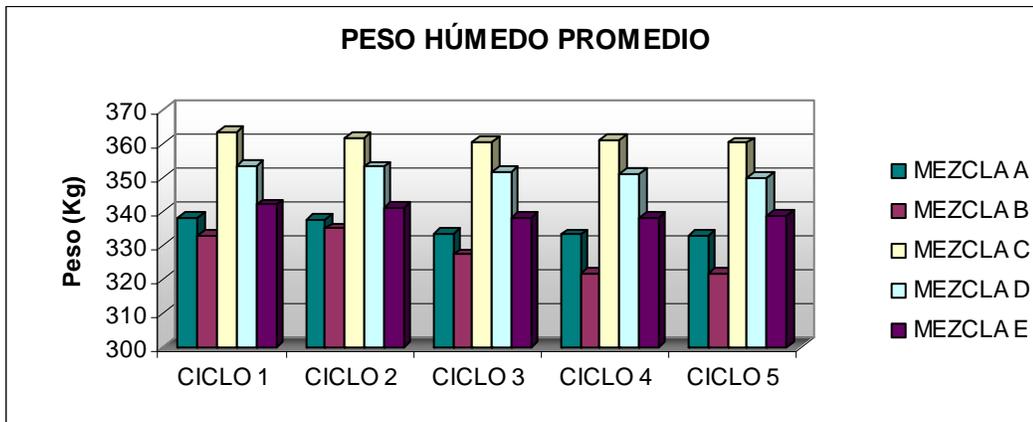


Gráfico 4.11. “Peso Húmedo Promedio por Ciclo para Mezclas de PET - Cemento”.

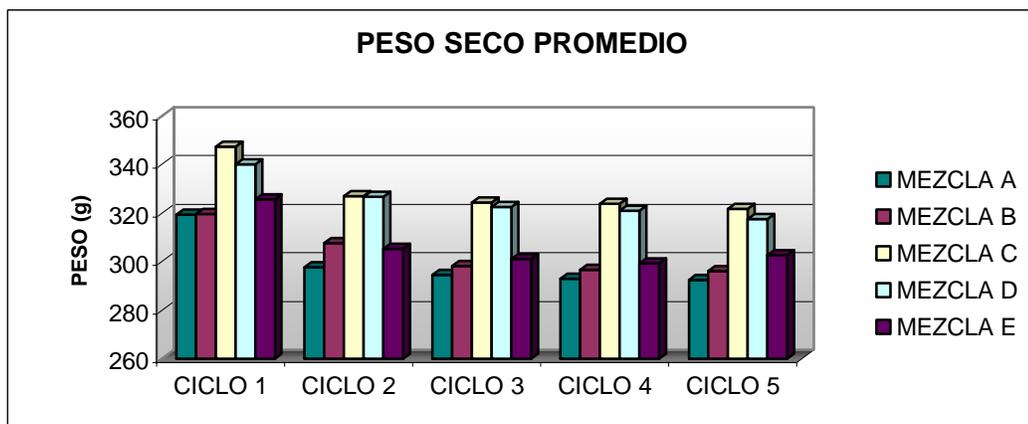


Gráfico 4.12. “Peso Seco Promedio por Ciclo para Mezclas de PET - Cemento”.

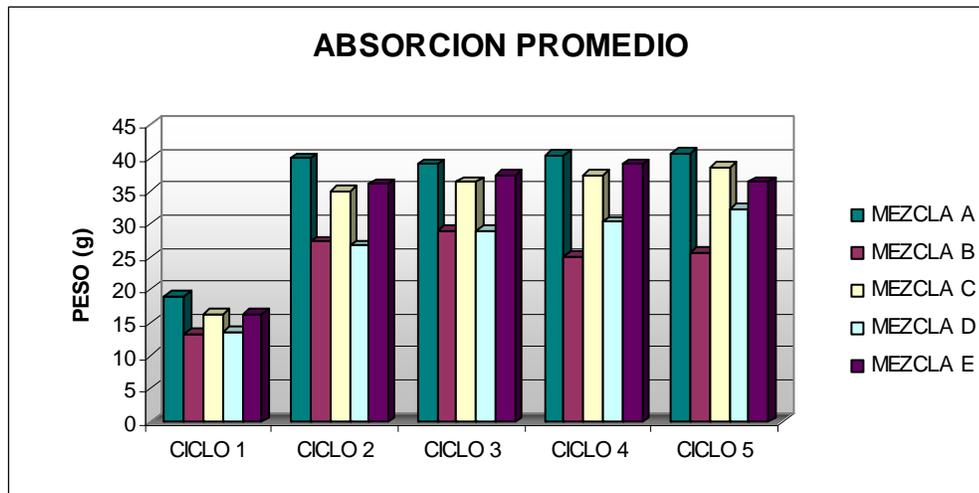


Gráfico 4.13. “Absorción Promedio para Mezclas de PET - Cemento”.

De acuerdo a los resultados obtenidos de este ensayo y lo percibido visualmente se puede decir que:

La mezcla A sufrió desprendimiento en su superficie, más no en gran cantidad; también se observó que la absorción que sufrió esta muestra no varió significativamente desde el segundo ciclo hasta el quinto, pero el primer ciclo si posee valores significativamente menores a los demás, esto pudo pasar debido a la pérdida de material sufrida por dichas probetas.

En cuanto a la mezcla B, se puede mencionar ésta también sufrió desprendimiento de material superficialmente aunque muy poco. La absorción de esta mezcla no fue notable Se puede decir que la variación se debe a la pérdida de material ocasionado por el desprendimiento de los bordes de la probeta, aunque los valores promedio de cantidad de agua que absorbe la misma en el primer ciclo, al igual que la muestra A, son menores.

Mencionando también la mezcla E, se puede decir que su comportamiento fue muy similar al que tuvieron las otras dos mezclas, ya que la misma sufrió también

desprendimiento de la superficie, aunque a esta probeta se le pudo ver, al momento de extraerla del horno, que el plástico que antes no se veía a simple vista y que se encontraba cerca de la superficie, había levantado la probeta, ya que el plástico es expansivo en el calor.

La mezcla C y D sufrieron pérdida de material, mas no fue relevante.

En general, todas las probetas sufrieron pérdida de material, pero no se observaron grietas de ningún tipo.

Todas las probetas a nivel individual estabilizaron sus valores desde el segundo ciclo de calor-humedad, esto se pudo deber a que en el primer ciclo se generó la pérdida de material de la probeta.

### 4.2.3 EROSION

#### 4.2.3.1. POR CEPILLADO

Tabla 4.20 “Resultados de Ensayo de Erosión por Cepillado”

Cilindro	Peso (g)	Peso (g)		Pérdida de Material (g)	Promedio Pérdida Material (g)	% Pérdida Promedio	Edad de Ensayo
		Muestra + Papel	Papel				
A-4	330	2	1	1	0,75	0,23	9
A-9	332	2	1,5	0,5			9
B-12	310	2	1,5	0,5	0,5	0,16	9
B-13	329	2	1,5	0,5			9
C-12	369	2	1,25	0,75	0,625	0,17	8
C-14	367	2	1,5	0,5			8
D-7	397	2,25	1	1,25	0,75	0,19	8
D-14	391	1,75	1,5	0,25			8
E-6	351	2,51	2,5	0,01	0,01	0,003	8
E-15	342	2,76	2,75	0,01			8

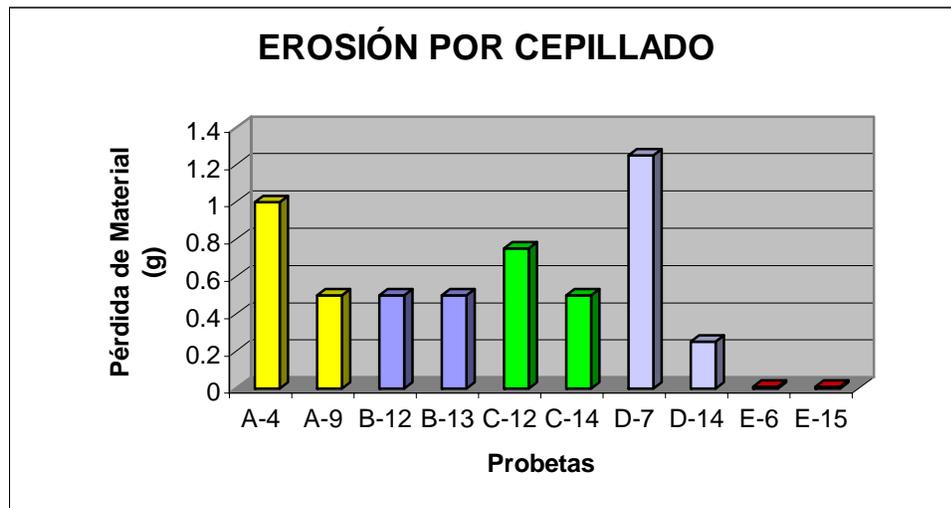


Gráfico 4.14. “Ensayo de Erosión por Cepillado.”

Las probetas elaboradas con la mezcla E fueron las que presentaron la menor pérdida de material 0,01g lo que equivale a un, seguidas de la mezcla B con una pérdida de 0,5 g y luego la mezcla C, sucedida de las mezclas A Y D.

Las pérdidas de material de las distintas probetas, expresadas en porcentaje del peso seco de cada probeta fue: 0,23 % para la mezcla A, 0,16 % para la mezcla B, 0,17% para la mezcla C, 0,19% para la mezcla D, y un 0,003% para la mezcla E.

Tomando en cuenta lo expresado en el método sobre las especificaciones para este ensayo, se consideran todas las muestras aceptables, ya que los valores de pérdida de material se encuentran por debajo de los 16 g de material desprendido.

**4.2.3.2. POR ROCIADO**

Tabla 4.21. “Resultados de Ensayo de Erosión por Rociado”.

Cilindro	Peso Seco (g)		Pérdida de Material (g)	Promedio Pérdida Material (g)	Edad de Ensayo
	Inicial	Final			
A-2	332	322	10	9	9
A-11	335	327	8		9
B-9	311	308	3	4	9
B-15	328	323	5		9
C-11	369	358	11	10,5	8
C-13	365	355	10		8
D-2	398	388	10	9,5	8
D-9	392	383	9		8
E-11	350	340	10	8	8
E-13	343	337	6		8

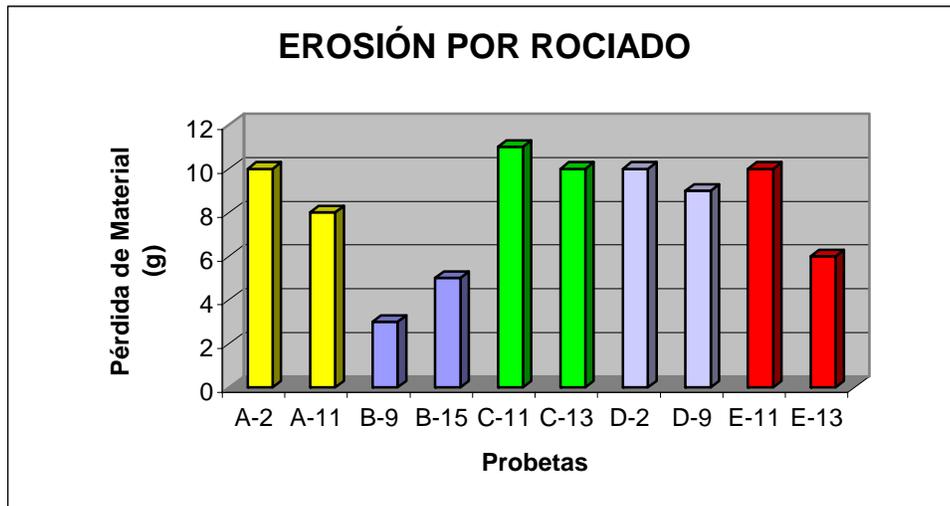


Gráfico 4.15. “Ensayo de Erosión por Rociado”.

Las probetas ensayadas con la mezcla A presentaron una pérdida de material de 9 g, lo que representa un 2,7 % del peso seco inicial. En cuanto a la mezcla B, esta presentó un 1,25 % de pérdida de material, la mezcla C un 2,86 %, la mezcla D un 2,41 % y la mezcla E un 2,31 % de pérdida de material PET – Cemento.

Cabe destacar que las mezclas, a excepción de la mezcla C, presentaron poros muy pequeños, de menos de 1mm. de profundidad; por otro lado, las mezclas C y D presentaron una mayor pérdida de material.

Se puede decir entonces, que todas las mezclas son resistentes a los efectos de las lluvias y la acción combinada de la lluvia y el viento, aunque todavía no se le ha hecho los ensayos de fuego pertinentes.

#### 4.2.4 IMPACTO

Tabla 4.22. “Resultados de Ensayo de Impacto”.

Probeta	Diámetro de la Huella (cm)	Promedio Diámetro de la Huella (cm)	Promedio Diámetro de la Huella Mezcla (cm)	Profundidad de la Huella (cm)	Profundidad Promedio de la Huella (cm)	Promedio profundidad por probeta		
A-1	1,2	1,2	1,08	0,08	0,08	0,06		
	1,2			0,08				
A-2	1,2	1,1		0,08	0,06			
	1			0,05				
A-3	1	0,95		0,05	0,05			
	0,9			0,04				
B-1	0,9	1,05	0,78	0,04	0,06	0,05		
	1,2			0,08				
B-2	0	0		0,00	0,00			
	0			0,00				
B-3	1,3	1,3		0,09	0,09			
	1,3			0,09				
C-1	1	1,05	1,13	0,05	0,06	0,07		
	1,1			0,06				
C-2	1,2	1,2		0,08	0,08			
	1,2			0,08				
D-1	1,3	1,25		1,28	0,09		0,08	0,09
	1,2				0,08			
D-2	1,2	1,3	0,08		0,09			
	1,4		0,10					
E-1	0,9	1	0,70		0,04	0,05	0,04	
	1,1				0,06			
E-2	0	0		0,00	0,00			
	0			0,00				
E-3	1,1	1,1		0,06	0,06			
	1,1			0,06				

Con los valores de profundidad promedio de las huellas realizadas a las probetas se puede decir que: la probeta que contenía el 10% de PET fue la que más resistió al impacto, seguida de la muestra B con un 15% de PET, luego la que contiene un 5% de PET, después el mortero y por ultimo el concreto.

#### 4.3 COMPARACION DE LOS COSTOS DE LAS DISTINTAS MEZCLAS.

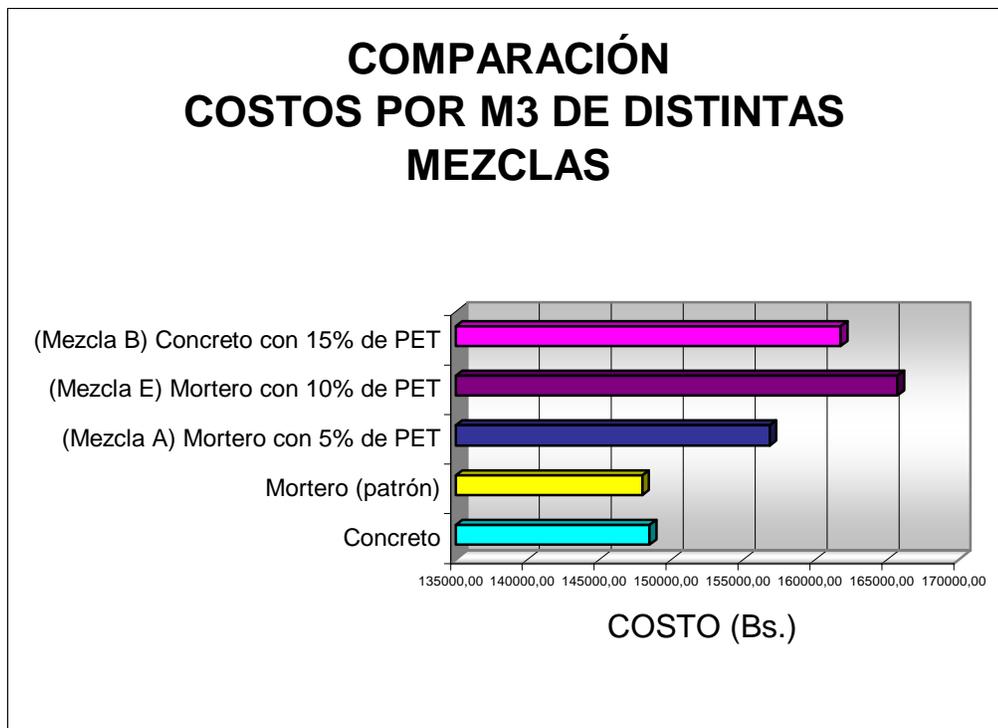


Gráfico 4.16. “Comparación de Costos de los Distintos Materiales de Construcción”.

En este gráfico se puede observar las variaciones en cuanto a costos de las mezclas se refiere, donde la más económica es la que tiene el 5% de PET, ahora bien, comparándola con el concreto, ésta es un 5,62% más costoso y con el mortero resultó ser un 5,99% más costoso también; por otro lado la mezcla E es más costosa que el concreto en un 11,61% y un 11,99% con respecto al mortero. Por último comparando

la mezcla que poseía un 15% de PET arrojó un 8,95% más que el concreto y un 9,34% más también que el mortero.

Por lo anteriormente expuesto, la mezcla E es la más costosa de todas dando un promedio de 11,8% más que las mezclas normales de mortero y piedra.

Ésta es la que presenta el precio más elevado ya que sus componentes principales son la arena y el PET que son los más costosos.

Aún cuando el costo de producción es más elevado que los materiales más comunes, se puede mencionar el ahorro por parte de los sitios de disposición de este material, además de su disminución en el medio ambiente.

Antes de utilizar cualquier material innovador en el área de la construcción se deben primero realizar una serie de investigaciones con la finalidad de aportar un conjunto de resultados confiables que ayuden a ampliar los conocimientos en cuanto a la aplicación de estos materiales como nuevos materiales.

Basados en los resultados arrojados por los distintos ensayos realizados se puede concluir que:

Para poder realizar un diseño de mezcla para concreto óptimo utilizando el PET como agregado no se puede sustituir la arena de la mezcla, ya que al eliminar los agregados finos se pierde mortero y se producen cangrejeras.

En la dosificación al mantener constante la cantidad de cemento y variar la cantidad de arena para agregar el PET hace que varíe la resistencia a compresión.

La elección de la dosificación de los agregados y el cemento no sólo corresponde a valores de resistencia y durabilidad, sino que también debe tomarse en cuenta el factor económico.

La forma más económica y sencilla de obtener la granulometría del PET es la de cortar los envases reciclados, es de fácil aplicación en cualquier sitio, pero es muy poco práctica, ya que requiere de mucho tiempo para hacerlo, pero tiene la ventaja que cualquier persona podría hacerlo.

La densidad de la mezcla de PET – Cemento es menor que los concretos o morteros, ya que el PET es menos pesado que la arena y la piedra, lo que hace que la mezcla sea más liviana.

Al agregar PET a una mezcla de concreto se pierde un poco de resistencia, aunque con la obtenida se podría utilizar como mezcla para elementos que no requieran de estética ni soporten mucha carga.

Con respecto a la absorción se puede concluir que la mezcla de PET – Cemento absorbe mayor cantidad de agua que las mezclas con las que fue comparada, esto se debe a que al poseer menor cantidad de finos existen más espacios vacíos dentro de la mezcla que son colmados de agua al momento de sumergirla en el líquido.

Los ensayos de erosión realizados a las mezclas de PET arrojaron valores tales que demuestran que estas mezclas se ven más afectadas por factores externos como lluvia y viento (simulados en el laboratorio) que las muestras patrón así como también las muestras de ripio y suelo-cemento.

Tomando en cuenta los costos de los materiales de construcción se puede concluir que la mezcla de PET – Cemento no es rentable si el material es comprado en una planta recicladora ya que el PET costaría más que la piedra o la arena, mientras que si el PET es recogido y tratado por la persona que los va a utilizar el costo sería casi nulo.

Al utilizar el PET como agregado en diseños de mezcla para la construcción de obras civiles se ayuda de forma indirecta a disminuir el impacto ambiental producido por la disposición final no adecuada de este material y la alta producción de envases de PET.

La geometría del PET que suministró la compañía de reciclaje GIOSCA no es la mejor, de hecho se pudo observar que por la misma, el plástico influyó de forma negativa en el comportamiento de la mezcla endurecida, ya que éste debería tener una

forma angular con un área de influencia menor. Esta propiedad juega un factor importante, lo que implica que la geometría que posee el PET suministrado por las empresas del reciclaje no es la mejor.

Por otro lado, es importante destacar que durante el proceso de mezclado, al momento de colocar los agregados, si la arena (agregado fino) posee un contenido de humedad un poco alto se comporta de manera negativa impidiendo que la homogeneidad de esta etapa de mezclado se cumpla, generando grumos.

Elaborar una investigación en donde se evalué los efectos del fuego sobre las probetas elaboradas con la mezcla de PET – Cemento.

A la hora de realizar el diseño de mezcla para un concreto, se recomienda sustituir parte del agregado grueso (piedra picada) en vez de parte de la arena, como se hizo en esta investigación, teniendo en cuenta que ni los volúmenes ni los pesos de los materiales son iguales.

Para utilizar el PET como agregado en una mezcla se debe cubrir el exterior del elemento para evitar pérdidas de material por expansión del PET, ya que el mismo al expandirse si no tiene suficiente mortero en sus alrededores hace que se desprenda.

Estudiar la posibilidad de conseguir un método que recicle el PET y le de una granulometría bien gradada de manera práctica.

Continuar con investigaciones en este campo que permitan ampliar y establecer un método y una normativa sobre el PET – Cemento para ser utilizado como material de construcción.

Estudiar la posibilidad de realizarle un tratamiento al PET de manera que el mismo presente otra configuración geométrica y textura artificial mediante mecanismos destinados para tal fin adquiriendo así una capacidad de adherencia muchísimo mayor, que genere un aumento en la resistencia o por lo menos que no disminuya.

Utilizar una arena seca para facilitar el mezclado de los componentes y así lograr una homogeneidad de los agregados en su etapa de mezclado.

- [1] ARRIETA, Javier (2001). “**Fabricación de Bloques de Concreto con una Mesa Vibradora**” (en línea): Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Lima, Perú. Disponible en: [www.cismid-uni.org/articulos/proy-03.pdf](http://www.cismid-uni.org/articulos/proy-03.pdf). (Consulta: febrero, 2005).
- [2] CAPANO, Daniela (s/f). “**El Reciclado de Botellas de PET Aumentó 12 Veces en Cinco Años**” (en línea): Página/12, s/f. Disponible en: <http://www.resol.com.br/arquivoNot/Reciclables%20de%20PET.htm>. (Consulta: marzo, 2005).
- [3] CHÁVEZ, J.; LAOS, R.; ROSPIGLIOSI, C.; NAKAMATSU, J. (2002). “**Concreto Polimérico a Partir de Botellas Descartables**” (en línea): ConCiencia, Agencia Universitaria de Periodismo Científico PUCP. Disponible en: [http://www.pucp.edu.pe/invest/conciencia/numero1/cientif\\_reci.htm](http://www.pucp.edu.pe/invest/conciencia/numero1/cientif_reci.htm). (Consulta: febrero, 2005).
- [4] “**Diccionario Básico del Medioambiente**” (en línea): Diccionario Ecologízate – Basuras. Disponible en: [http://www.gaztenet.com/teleformacion/ecologizate\\_basuras/pag/diccionario.htm](http://www.gaztenet.com/teleformacion/ecologizate_basuras/pag/diccionario.htm). (Consulta: septiembre, 2005)
- [5] “**Diccionario de la Real Academia Española**” (en línea): Terra.com, Perú. Disponible en: <http://diccionario.terra.com.pe/cgi-bin/b.pl>. (Consulta: septiembre, 2005).
- [6] “**Diccionario de Términos de Reciclaje**” (en línea): Escuela de reciclaje en el hogar. Disponible en: [http://escuelas.consumer.es/web/es/reciclaje/online/diccionario\\_p.php](http://escuelas.consumer.es/web/es/reciclaje/online/diccionario_p.php). (Consulta: septiembre, 2005).
- [7] “**Diccionario Ecológico**” (en línea): Perú. Disponible en: [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_t.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_t.htm). (Consulta: septiembre, 2005).

- [8] **“Diccionario”** (en línea): Clave. Disponible en: <http://clave.librosvivos.net>. (Consulta: septiembre, 2005).
- [9] **“Diccionarios”** (en línea): El Mundo.es. Disponible en: [http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/lee\\_diccionario.html?busca=auto\\_moción&diccionario=1](http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/lee_diccionario.html?busca=auto_moción&diccionario=1). (Consulta: septiembre, 2005).
- [10] Ecoplast, C.A. (s/f). **“Ecología y Plástico”** (en línea): Nuestros Productos, s/f. Disponible en: <http://www.ecoplast.com.ve/productos.htm>. (Consulta: marzo, 2005).
- [11] GATANI, M.; GAGGINO, R.; ARGÜELLO, R.; BERRETTA, H. (2004). **“Gestión de Tecnología Sustentable para Viviendas Experiencia con Reciclados Plásticos de Origen Urbano – Industrial”**. I Conferencia Latinoamericana de Construcción Sostenible / claCS´04 – 10º Encuentro Brasileño de la Tecnología do Ambiente Construido / ENTAC´04. San Pablo, Brazil.
- [12] **“Precios de Insumos”** (en línea): Guía Referencial de Partidas de Construcción, 1995 – 2005. Disponible en: <http://www.grc.com.ve/mapa.php>. (Consulta: octubre, 2005).
- [13] IMBELLONI, Rodrigón (2003). **“El Reciclado del PET”** (en línea): web-resol. Argentina. Disponible en: [http://resol.com.br/curiosidades2\\_esp.asp?id=1289](http://resol.com.br/curiosidades2_esp.asp?id=1289). (Consulta: febrero, 2005).
- [14] **“Importancia del Agua de Amasado en la Calidad de Hormigones y Morteros”** (en línea): Melon, WebTips, WebTip N° 8, s/f. Disponible en: [www.melon.cl/html\\_construc\\_prof/webtipn8.htm](http://www.melon.cl/html_construc_prof/webtipn8.htm). (Consulta: marzo 2005).

- [15] INATEC, S.R.L.. “**Hormigón Fresco de Cemento Pórtland - Método de Ensayo de la Consistencia Utilizando el Tronco de Cono de Abrams**” (en línea): Manual de Uso del Hormigón Elaborado, s/f. Disponible en: [http://www.inatec.com.py/manual\\_hormigon/manual\\_hormigon7.html](http://www.inatec.com.py/manual_hormigon/manual_hormigon7.html). (Consulta: febrero, 2005).
- [16] Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (s/f). “**Propiedades Generales de los Materiales. Propiedades Mecánicas**”. Materiales y Ensayos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [17] KORODY, María E. (1998). “**Estudio de la Factibilidad de Utilización del Ripio de Cantera como Material Estructural para Viviendas de Bajo Costo**”. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [18] Norma Venezolana COVENIN 221:2001: “**Materiales de Construcción. Terminología y Definiciones**”. (1era Revisión).
- [19] Norma Venezolana COVENIN 2385:2000: “**Concreto y Mortero. Agua de Mezclado. Requisitos**”.
- [20] Norma Venezolana COVENIN 255:1998: “**Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica**”. (1era Revisión).
- [21] Norma Venezolana COVENIN 263:1978: “**Agregados. Métodos de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado**”.
- [22] Norma Venezolana COVENIN 338:2002: “**Concreto. Método de Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de Concreto**”. (2da Revisión).

- [23] Norma Venezolana COVENIN 339:2003: “**Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams**”. (2da Revisión).
- [24] Norma Venezolana COVENIN 349:1979: “**Método de Ensayo Gravimétrico para Determinar el Peso por Metro Cúbico, Rendimiento y Contenido de Aire en el Concreto**”.
- [25] Norma Venezolana COVENIN 354:2001: “**Concreto. Método para Mezclado en el Laboratorio**”. (1 era revisión).
- [26] Norma Venezolana COVENIN 1897:1982 “**Método de Ensayo para la Obtención, Preparación y Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto y Mortero Endurecido Liviano Aislante**”.
- [27] OTERO, Mariana (2004). “**Papel, Plástico y Maní para Construir Casas**”. La Voz del Interior On Line. Córdoba, Argentina. Disponible en: [http://www.lavozdelinterior.net/2004/1012/sociedad/nota276080\\_1.htm](http://www.lavozdelinterior.net/2004/1012/sociedad/nota276080_1.htm) (Consulta: marzo, 2005).
- [28] Plásticos Mexicanos (s/f). “**Plásticos y Medio Ambiente. Polietileno Tereftalato. Cómo se Recicla el PET**” (en línea): México, s/f. Disponible en: <http://www.plasticosmexicanos.com.mx/mediopet.htm>. (Consulta: febrero, 2005).
- [29] Plastivida (s/f). “**Plásticos y Medio Ambiente, Polietileno tereftalato**” (en línea): Argentina, s/f. Disponible en: [http://www.plastivida.com.ar/1\\_usos.htm](http://www.plastivida.com.ar/1_usos.htm). (Consulta: marzo, 2005).
- [30] Plastivida (s/f). “**Revista EcoPlast® | Contribución de los Plásticos en la Industria de la Alimentación**” (en línea): Argentina, s/f. Disponible en: <http://www.plastivida.com.ar/nota4.htm>. (Consulta: marzo, 2005).
-

- [31] **“Politereftalato de Etileno ( Polvester, PET, PETP ) - Información de Material”** (en línea): Goodfellow, s/f. Disponible en: [http://www.goodfellow.com/csp/active/STATIC/S/Politereftalato\\_de\\_Etileno.HTML](http://www.goodfellow.com/csp/active/STATIC/S/Politereftalato_de_Etileno.HTML). (Consulta: marzo, 2005).
- [32] PORRERO, J.; RAMOS, C.; GRASES, J.; VELAZCO, G. (2004). **“Manual del Concreto Estructural”**. Sidetur, Excelencia Siderúrgica, Caracas. Primera Edición.
- [33] Procuraduría Ambiental y del ordenamiento territorial del D.F (P.A.O.T.) (s/f). **“Servicios El PET y su Situación Actual en el Distrito Federal”** (en línea): Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/publi-ext/pet/03aspectos.html>. (Consulta: marzo, 2005).
- [34] **“Reciclado de Envases PET”** (en línea): Estructplan on Line, Argentina, Fecha de Publicación: 1/1/2000. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>. (Consulta: marzo, 2005).
- [35] **“Reciclado”** (en línea): Aprepet. s/f. Disponible en: [http://www.aprepet.org.mx/esp/sec\\_2/sec2c.htm](http://www.aprepet.org.mx/esp/sec_2/sec2c.htm). (Consulta: febrero, 2005).
- [36] **“Resistencia, Hoja Técnica #1”** (en línea): Comité Técnico de LATEICA, s/f. Disponible en: <http://mipagina.cantv.net/lateica/default2.htm>. (Consulta: febrero, 2005).
- [37] ROCHA, Laura (2002). **“Las Casas de Papel, una Alternativa Ecológica”** (en línea): eco2site.com. Argentina. Disponible en: <http://www.eco2site.com/arquit/casa-papel.asp>. (Consulta: febrero, 2005).

- [38] RODRÍGUEZ, L.; SIMONPIETRI, M. (2002). “**Diseños de Mezcla para su Uso en la Elaboración de Bloques Aligerados de Suelo – Cemento**”: Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [39] ROSARIO, Roberto (2004). “**Taller: Diseño e Inspección de Mezclas de Concreto. Método RARH para Diseño de Mezclas de Concreto**”. Holcim Formación Superior, para una construcción sostenible. Universidad Santa María, Caracas.
- [40] SANCHEZ, J.; MORENO, R. (2002). “**Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo – Cemento**”: Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [41] SERRANO, Carlos (2001). “**Luz Verde para el Reciclaje de PET**” (en línea): Plástico.com. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/plasticos/plasticocom/pet.htm>. (Consulta: marzo 2005).
- [42] UGAS, Celso (1985). “**Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión, Evaluación, Procedimiento**”. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Tercera Edición, Primera Impresión.
- [43] Universidad Nacional de Colombia (s/f). “**Composición del Concreto Simple**” (en línea): Curso: Ingeniería Estructural I. Una Introducción a las Estructuras. Univirtual, s/f. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/COMPOSICION%20DEL%20CONCRETO%20SIMPLE.htm>. (Consulta: marzo, 2005).
- [44] Universidad Nacional de Ingeniería (s/f). “**Tecnología del Concreto I**” (en línea): Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil.

Departamento de Construcción, s/f. Disponible en: [http://fic.uni.edu.pe/construccion/concreto/tec\\_conc01.html](http://fic.uni.edu.pe/construccion/concreto/tec_conc01.html). (Consulta: febrero, 2005).

[45] VACCA, Paola (2003). “**Los Ecomateriales: Una Alternativa Económica para la Construcción**”. Agencia Universitaria de Periodismo Científico y Cultural (AUPEC).Universidad de Valle. Cali, Colombia. Disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/2003/febrero/ecomateriales.html>. (Consulta: febrero, 2005).

[46] “**Ventajas de Envasar en PET**” (en línea): Vpet de México, 2003. Disponible en: <http://vpetdemexico.com/ventajas.htm>. (Consulta: marzo, 2005).

- **BTU SIGLAS DE BRITISH THERMAL UNIT:** Es una unidad para medir la cantidad de energía contenida en un material dado. Técnicamente un BTU es la cantidad de calor requerida para subir la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.<sup>[4]</sup>
  
- **ESTERIFICACIÓN:** Es al proceso por el cual se sintetiza un éster. Un éster es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un oxiácido y un alcohol.<sup>[9]</sup>
  
- **EXTRUSIÓN:** Es un proceso continuo, en que la resina es fundida por la acción de temperatura y fricción, es forzada a pasar por un dado que el proporciona una forma definida, y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes. Se fabrican por este proceso: tubos, perfiles, películas, manguera, láminas, filamentos y gránulos.<sup>[6]</sup>
  
- **GLICÓLISIS:** Conjunto de reacciones químicas del interior de la célula que degradan algunos azúcares, obteniendo energía en el proceso.<sup>[5]</sup>
  
- **HIDRÓLISIS:** En química, división o descomposición de un compuesto producidos por la acción del agua, de un ácido o de un fermento: Durante la digestión, las grasas sufren una hidrólisis.<sup>[8]</sup>
  
- **IMPACTO AMBIENTAL:** alteración del medio ambiente debida a la intervención humana. Cada una de las acciones que en mayor o menor medida desvirtúan el equilibrio ambiental.<sup>[7]</sup>
  
- **INYECCIÓN:** Introducción a presión de una sustancia en un cuerpo o en una cavidad.<sup>[8]</sup>

- **LIXIVIACIÓN:** Proceso en el que diversas sustancias de las capas superiores del suelo son disueltas y arrastradas hacia las capas inferiores y, en algunos casos hasta el agua subterránea. Asimismo, esta vía siguen los líquidos que se filtran a través de los residuos sólidos u otro medio.<sup>[4]</sup>
  
- **LIXIVIADO:** Líquido que se ha filtrado a través de los residuos sólidos u otros medios y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos. Denominación que se le da a los constituyentes sólidos tras haber sufrido el proceso de lixiviación.<sup>[4]</sup>
  
- **MONÓMEROS:** Elementos simples para la fabricación del plástico, que se unen formando cadenas denominadas Polímeros.<sup>[5]</sup>
  
- **ORGANOLÉPTICAS:** Son aquellas características que podemos percibir a través de nuestros sentidos, como el color, olor, sabor, etc.<sup>[7]</sup>
  
- **PLANTA DE RECICLAJE:** Instalación de transformación de residuos de forma que puedan volver a ser introducidos de nuevo en el ciclo de producción.<sup>[9]</sup>
  
- **PLÁSTICOS:** Polímeros orgánicos obtenidos a partir de sustancias naturales (petróleo) o de síntesis química. Son de gran diversidad y elevado número de aplicaciones, por ser muy moldeable. Muchos plásticos dan lugar a problemas ambientales por sí mismos al no ser degradables o por los procesos industriales de su obtención con la producción de sustancias contaminantes.<sup>[7]</sup>
  
- **POLIMERIZACIÓN:** Proceso químico por el cual mediante el calor, la luz o un catalizador, se unen varias moléculas de un compuesto para formar una cadena de múltiples eslabones de estos y obtener una macromolécula.<sup>[9]</sup>

- **POLÍMERO:** Sustancia natural o sintética, formada por una reacción química llamada polimerización, cuyas moléculas están constituidas por más de una unidad de monómeros o moléculas pequeñas: Las proteínas y el almidón son polímeros sintetizados por seres vivos, y el poliuretano y el polietileno son polímeros sintetizados en laboratorio.<sup>[8]</sup>
- **PVC, CLORURO DE POLIVINILO:** Polímero orgánico obtenido por polimerización del cloruro de vinilo. Sus propiedades de resistencia a ácidos y bases, estabilidad y plasticidad hacen que sea uno de los productos más utilizados de la industria del plástico, con numerosas aplicaciones.<sup>[5]</sup>
- **RECICLAJE:** Utilización de objetos como materia prima para fabricar nuevos productos.<sup>[5]</sup>
- **RECOGIDA SELECTIVA:** Recogida de residuos que previamente se han separado y presentado aisladamente por su productor.<sup>[5]</sup>
- **RESIDUO SÓLIDO URBANO:** Es aquella sustancia u objeto que ha sido generado en domicilios particulares, comercios, oficinas o servicios de la que hay que desprenderse. Estos residuos se pueden clasificar en Residuos Sólidos Urbanos No Peligrosos (papel, vidrios, chatarra, muebles, ropas, desechos orgánicos, etc) y Residuos Sólidos Urbanos Peligrosos (pinturas, aceites, plásticos, medicamentos, pilas, etc) son aquellos que por su peligrosidad, características tóxicas o grado de concentración, precisan de un tratamiento específico y un control periódico.<sup>[5]</sup>
- **SEPARACIÓN DOMICILIARIA:** Acción de separar los residuos en los domicilios, previa presentación para su recogida.<sup>[6]</sup>

- **SOPLADO:** Operación que consiste en soplar con fuerza o en inyectar aire en la pasta de un material fundido para moldearlo.<sup>[8]</sup>
  
- **TERMOPLÁSTICO:** Material plástico que puede fundirse hasta un estado líquido o semilíquido, endureciéndose de nuevo al enfriarse.<sup>[4]</sup>



← Probetas cilíndricas pequeñas

Probetas cuadradas para las  
losetas de impacto →



← Probetas cilíndricas normalizadas



← Forma de marcar las probetas

Proceso de llenado y compactación  
de las probetas pequeñas →



← Desencofrado de la probeta  
de concreto elaborada  
con un 15% de PET



← Almacenamiento de las Probetas curadas



↑ Fallas más comunes observadas en las probetas pequeñas



←



↓



← Desencofrado de las probetas normalizadas



Diferencia de tamaños entre las probetas pequeñas y las normalizadas



← Desencofrado de las probetas pequeñas

