

DISEÑOS DE MEZCLA DE TEREF TALATO DE POLIETILENO (PET) – CEMENTO

ALES MAR LUIS¹, NALIA RENDÓN², MARÍA EUGENIA KORODY³

¹Inelectra, Caracas, Venezuela, email: alesmarluis@gmail.com

²Minatelf, C.A., Caracas, Venezuela, email: naliarendon@hotmail.com

³Departamento de Ingeniería Estructural, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería,
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, email: maria.korody@ucv.ve

Recibido: noviembre de 2007

Recibido en forma final revisado: febrero de 2008

RESUMEN

Corresponde a este trabajo experimental, la tarea de elaborar, ensayar y caracterizar Mezclas de Tereftalato de Polietileno (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 proveniente de las botellas de gaseosas 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 mezclas 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.

Palabras Clave: PET-Cemento, Resistencia, Durabilidad, Impacto ambiental.

POLYETHYLENE TERAF TALATE (PET) – CEMENT MIXTURE DESIGNS

ABSTRACT

The paper describes the making, testing and main features of Polyethylene Teraftalate (PET) – Cement mixtures. To this end, a methodology based on theoretical-practical research which helped to determine at the preliminary stage the possible behavior of plastic from soda bottles when used as an aggregate in a mixture. The mixtures of PET – Cement produced are made up by 5%, 10%, 15% of PET besides sand and stone, in proportions which depend on the type of mixture, that is, if they are for mortar or concrete. Three mixture designs were used in which part of the sand was substituted by plastic. In order to determine the mechanical and durability properties of the mixtures made, a series of testing sites were created with the ideal characteristics for the respective tests in simple compression, absorption, erosion and impact. These were cured for 7 days and afterwards were stored up to 28 days in order to carry out the previously mentioned tests, except for the ones related to absorption and erosion which must be done on day 7. From the resistance and durability perspective; in simple compression, the B mixture (concrete with a 15% PET) is the one considered most appropriate since it resulted being in average the most resistant though it is not the most homogeneous mixture. In contrast, its absorption capacity is

low, as is its behavior when faced by erosion and impact, which makes the mixture ideal when it is meant to be used as a construction material. It is worth mentioning that it is not the most expensive of the three mixtures formulated with PET. The PET mixture – Cement helps reduce the PET quantities which do not have an adequate final disposition, thus lowering its environmental impact, since they need a considerable amount of plastic bottles in order to obtain the material to make the mixture, thus removing them from the environment.

Keywords: PET – Cement, Resistance, Durability, Environmental impact.

INTRODUCCIÓN

El Tereftalato de Polietileno (Polietilén Tereftalato - PET), fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941. Dicho polímero comenzó a ser utilizado a partir de 1955 para la producción de envases de líquidos (Estrucplan on Line).

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 cloruro de polivinilo (PVC) por el PET, ya que el mismo es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a compresión, posee alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y olor de los alimentos, y es una barrera contra los gases. La producción anual de envases de PET en el mundo es aproximadamente de 207 millones de Toneladas, cifra que va aumentando considerablemente a nivel mundial (Vázquez, 2003).

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 en el II Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje realizado en mayo de 2004 en Zaragoza, España, además del 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. En este sentido cabe plantearse la siguiente interrogante:

¿Podría ser utilizado el Tereftalato de Polietileno (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 es un material que existe en gran cantidad en todo el mundo y no posee un destino final adecuado y suficiente.

¿QUÉ ES EL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)?

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión, 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, el cual presenta una demanda creciente en todo el mundo. 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.

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%.

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.

TRANSFORMACIÓN DEL PET PARA SU DISPOSICIÓN FINAL

La necesidad de solucionar la gestión de residuos sólidos urbanos impulsa el desarrollo de sistemas alternativos del reciclado. Estas soluciones están a cargo, 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 extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo (Plásticos Mexicanos).

VOLÚMENES SIN DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA

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.

ANTECEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DEL TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE) de Argentina, 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; el de papel 1,1 kilo; el de PET un kilo; y el 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.

IMPACTO AMBIENTAL DEL PET

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 (figura 1), en el fondo del envase. El principal destino de esta materia prima post-consumo 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.



Figura 1. Símbolo del PET

(<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>).

ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE PET – CEMENTO

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

podiera 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.

El PET utilizado para la investigación fue donado por una compañía que se encarga de triturarlo por un proceso industrializado, y se exporta a China para que sirva de materia prima en la confección de textiles a base de Poliéster. El tamaño aproximado de las piezas irregulares que se obtienen es de ¼” a ½”, y no se realizó una granulometría del mismo.

Se elaboraron veintiún (21) probetas por cada uno de los diseños de mezcla calculados, dichas probetas fueron utilizadas para realizar los diferentes ensayos (COVENIN 338:2002).

En la tabla 1 se presentan las cantidades de cada uno de los componentes de las mezclas.

Tabla 1. Componentes de las Mezclas

	MEZCLA				
	A	B	C	D	E
PET (Kg)	2,017	2,560	0,00	0,00	1,700
CEMENTO (Kg)	7,645	6,240	6,390	3,750	6,420
ARENA (Kg)	44,013	16,670	35,20	17,750	35,030
PIEDRA (Kg)	0,000	19,620	0,00	17,750	0,00
AGUA (L)	5,275	4,710	4,700	4,300	4,730

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.

Las probetas utilizadas durante el desarrollo de esta 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 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 10 cm 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 las primeras 24 horas de elaboración de las probetas existió una pérdida de humedad en las mismas, por consiguiente después de su elaboración hubo que controlar que dicha pérdida no fuese acelerada, ya que esto podía producir grietas de retracción en las probetas disminuyendo así la calidad de las mismas, este fue el procedimiento de curado. Para realizar el curado de las probetas se siguieron los pasos y los tiempos normativos.

ENSAYOS DE LAS PROBETAS DE PET – CEMENTO

Compresión

La resistencia potencial del concreto se determinó siguiendo un procedimiento normalizado y su valor pudo ser tomado como referencia de calidad (COVENIN 189:1982). 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 ($P_{máx}$) referida a la sección (A) de la probeta sometida a compresión.

Absorción

Este ensayo se realizó 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 días) de dimensiones 5 X 10 cm correspondiendo tres (3) probetas por cada una de las mezclas.

Erosión

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

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 días, correspondiendo dos probetas a las

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.

ENSAYOS DE LAS PROBETAS DE PET – CEMENTO

La nomenclatura utilizada para nombrar cada una de las probetas fue: 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.

Compresión

El ensayo realizado a los siete días arrojó los resultados presentados en la tabla 2. Estos valores son preliminares, no son concluyentes, sólo pueden dar una orientación de cómo podría comportarse la mezcla a los 28 días. Se ha de notar que las mezclas elaboradas con PET, arrojaron valores inferiores a los de las mezclas 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.

Tabla 2. Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los siete días (Probetas 5 cm; h 10 cm)

Cilindro	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Tensión Promedio (Kgf/cm ²)
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	

La tabla 3 muestra un resumen de los tipos de falla de cada una de las probetas y sus posibles causas. 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.

Tabla 3. Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los siete días (Probetas 5 cm; h 10 cm)

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

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 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 días arrojó los resultados presentados en la tabla 4, para las probetas cilíndricas normalizadas.

Tabla 4. Resultados de los Ensayos de Compresión Simple a los 28 días (Probetas 15 cm; h 30 cm)

Cilindro	Peso (Kg)	Carga Máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Tensión Promedio (Kgf/cm ²)
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	

Adicionalmente en la tabla 5 se muestra un resumen de los tipos de falla observados en cada una de las probetas normalizadas, ensayadas y sus posibles causas.

Tabla 5. Observaciones de los Ensayos a Compresión Simple a los 28 días (Probetas 5 cm; h 10 cm)

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	Problema de compactación
E-2	Horizontal	Problema de compactación

El comportamiento de estas probetas fue lo que se esperaba, ya que la probeta de concreto (patrón) arrojó 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.

Durante la realización de estos ensayos se pudo observar (figura 2):

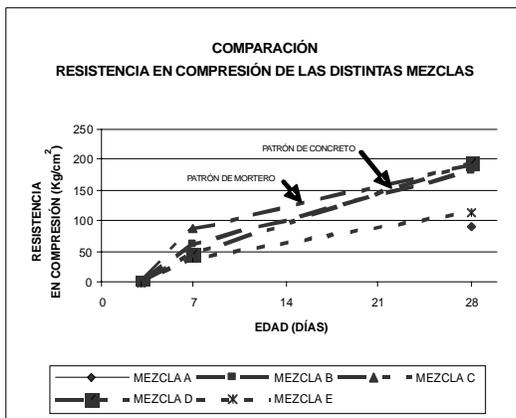


Figura 2. Curva de Variación de la Resistencia a Compresión en función de la Edad para Probetas Pequeñas.

- Las probetas elaboradas con un 5% de PET (mezcla A mortero) alcanzaron una resistencia a compresión con respecto a la muestra patrón de 100,15 Kg/cm² inferior en las probetas pequeñas, y 11,57 Kg/cm² 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 78,61Kg/cm² en las probetas pequeñas, y 1,41 Kg/cm² 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 al patrón (mezcla D), aunque la variación no fue tan alta como las otras mezclas; las probetas pequeñas alcanzaron una variación de 13,33 Kg/cm² y en las normalizadas de 8,74 Kg/cm², 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, que hubo 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, por tal motivo 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 del mismo junto al agregado grueso no existía adherencia, lo que hizo que fallara más rápido la probeta. 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.

Absorción

La tabla 6 muestra de cada uno de los porcentajes de absorción que arrojaron cada una de las cinco diferentes mezclas (figura 3).

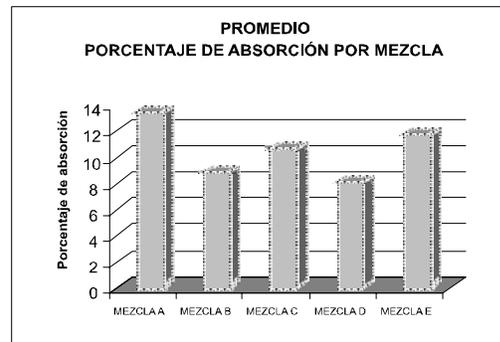


Figura 3. Promedio Porcentaje de Absorción de las Mezclas de PET – Cemento.

- 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 pudieron 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.

Tabla 6. Resultados de los Ensayos de Absorción

Cilindro	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	% abs	Chef abs	Edad 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					
B-1	298	330	10,74	8,91	9
B-4	309	333	7,77		9
B-11	316	342	8,23		9
C					
C-2	331	365	10,27	10,71	8
C-6	330	364	10,30		8
C-16	320	357	11,56		8
D					
D-10	315	340	7,94	8,16	8
D-12	333	360	8,11		8
D-16	332	360	8,43		8
E					
E-1	302	338	11,92	11,79	8
E-4	311	347	11,58		8
E-16	303	339	11,88		8

Ciclo Húmedo – Seco

Se realizaron cinco ciclos a cada uno de los ensayos obteniendo los siguientes resultados (figura 4):

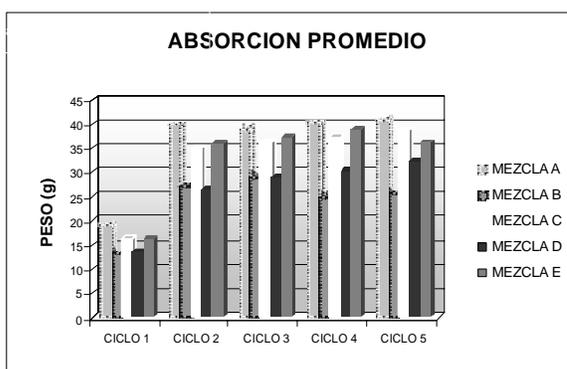


Figura 4. Absorción Promedio para Mezclas de PET – Cemento.

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 que ésta también sufrió desprendimiento de material superficial aunque muy poco. La absorción de esta mezcla no fue notable. 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 observar 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, por ser expansivo en el calor. La mezcla C y D sufrieron pérdida de material, en menor medida.

Erosión

- Por Cepillado (figura 5).

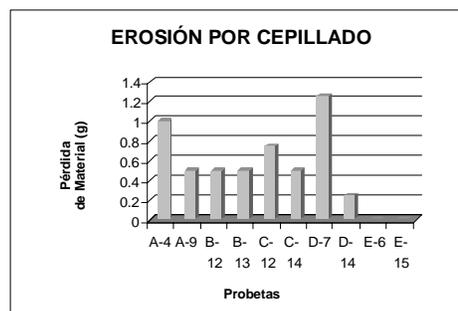


Figura 5. Ensayo de Erosión por Cepillado.

Las probetas elaboradas con la mezcla E fueron las que presentaron la menor pérdida de material, seguidas de la mezcla B, luego la mezcla C, sucedida finalmente por 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.

- Por Rociado (figura 6)

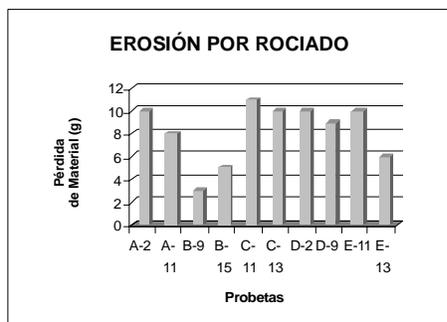


Figura 6. Ensayo de Erosión por Rociado.

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, ésta 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.

- Por Impacto (tabla 7)

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 contenía un 5% de PET, después el mortero y por último el concreto.

Tabla 7. Resultados de Ensayo de Impacto

Probeta	Diámetro Huella (cm)	Promedio Diámetro Huella (cm)	Promedio Diámetro Huella Mezcla (cm)	Profundidad Huella (cm)	Profundidad Promedio 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				

CONCLUSIONES

El PET puede ser usado como agregado en las mezclas, a fin de contribuir al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo cual ayuda de forma indirecta a disminuir el impacto ambiental. Dichas mezclas pueden utilizarse en la construcción de elementos de obras civiles, cuyas cargas y su durabilidad estén limitadas a cierto rango.

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

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

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 o para bloques u otros elementos que no soporten importantes cargas.

Para poder realizar un diseño de mezcla 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 discontinuidades dentro del mismo.

La geometría irregular del PET con el que se realizaron las muestras, influyó de forma negativa en el comportamiento de la mezcla endurecida, según lo observado.

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, lo cual la hace interesante en estructuras sometidas a bajas cargas.

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 de cantera 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.

REFERENCIAS

CHÁVEZ, J, LAOS, R, ROSPIGLIOSO, C, NAKAMATSU, J (2002): «Concreto polimérico a partir de botellas descartables» (en línea): ConCiencia, Agencia Universitaria de Periodismo Científico PUCP. Disponible en http://www.pupc.edu.pe/invest/conciencia/numero1/cientif_reci.htm. (consulta, Febrero 2005).

GATANI, M, GAGGINO, R, ARGÜELLO, R, BERRETA, 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, Brasil.

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».

NORMA VENEZOLANA COVENIN 221:2001 «Materiales de Construcción, Terminología y definiciones» (1era. Revisión).

NORMA VENEZOLANA COVENIN 338:2002: «Concreto. Método de Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de Concreto».

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).

PORRERO, J, RAMOS, C, GRASES, J, VELÁZCO, G (2004) «Manual del Concreto Estructural». SIDETUR, Caracas. Primera Edición.

RECICLADO DE ENVASES PET (en línea): Estructplan on Line, Argentina, Fecha de Publicación: 1/1/2000. <http://www.estructplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>. (Consulta: marzo, 2005).

RODRÍGUEZ, L, SIMONPIETRI, M (2002): Diseños de mezcla para su uso en la elaboración de bloques aligerados de Suelo-Cemento. Trabajo Especial de Grado. UCV, Caracas.

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