

Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster

**Physico-mechanical-based polymer concrete resinter
polyesters characterization**

**Mayra E. Valencia - Paola A. Collazos
José H. Mina - Edward F. Toro**

Resumen

Este trabajo publica los resultados obtenidos a partir del diseño de concreto polimérico (CP) por el método de espacios libres, para lo cual se utilizó una resina poliéster tereftálica como aglomerante; polvo cerámico y escoria de alto horno, como fillers y arena de río y granito, como agregados. Con el contenido de resina se determinó la influencia en las propiedades mecánicas y físicas del material mediante el análisis de un parámetro denominado relación masa filler/masa-resina (Mf/MR), que se puede considerar como equivalente a la relación agua/cemento del concreto de cemento Portland. Las propiedades

mecánicas y físicas aumentaron con el incremento de la relación (Mf/MR).

Palabras clave: concreto polimérico, resina poliéster, filler, escoria de alto horno, polvo cerámico.

Abstract

This paper publishes the results obtained from the design of polymer concrete (PC) by the method of free spaces, for which it was used a polyester resin as a terephthalic binder, ceramic powder and blast furnace slag as fillers and River sand and granite, as aggregates. With the resin content was determined the influence on the mechanical

• Fecha de recepción del artículo: 28 de septiembre de 2009. • Fecha de aceptación: 17 de diciembre de 2009.

MAYRA ELIANA VALENCIA ZAPATA. Magíster en Ingeniería e Ingeniería de Materiales de la Universidad Del Valle, Cali-Colombia. Docente de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, Valle del Cauca-Colombia. Correo e: mevalencia@usbcali.edu.co - **PAOLA A. COLLAZOS.** Ingeniera de Materiales de la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Correo e: paola.collazos@plasticel.com - **JOSÉ H. MINA.** Doctor en Ingeniería e Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Docente-investigador e integrante del grupo de Materiales Compuestos de la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Correo e: josemina1@hotmail.com - **EDWARD FERNANDO TORO.** Doctor en Ingeniería e Ingeniero de Materiales de la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Docente-investigador y director del grupo de investigación de Materiales Verdes para la Vida, GIMAVI, de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, Colombia. Correo e: eforo@usbcali.edu.co

* Este artículo es producto del proyecto de investigación *Determinación de la influencia de parámetros de selección y proceso en concreto polimérico con matriz en resina poliéster y su relación con las propiedades mecánicas, físicas y químicas.*

and physical properties of the material by analyzing a parameter called filler mass ratio / mass-resin (Mf/MR), which can be considered as equivalent to the relationship water / cement of the Portland cement concrete. The mechanical and physical properties increased with the ratio (Mf/MR), increase.

Keywords: polymer concrete, polyester resin, filler, blast furnace slag, ceramic powder.

Introducción

El concreto polimérico (CP) es un material relativamente nuevo con excelente resistencia mecánica y durabilidad, que consta básicamente de agregados minerales y un polímero que normalmente es una resina termoestable (D.W. Fowler, 1999; Gemert et al, 2005; Gorninski et al, 2004; Ohama Y., 1997). Al comparar el CP con el concreto convencional (cemento portland) este último queda en desventaja. A pesar de ser un material con gran versatilidad en cuanto a su funcionalidad y economía, el cemento convencional presenta algunas limitaciones tales como: alta porosidad y baja resistencia a esfuerzos de flexión, tensión y a reactivos químicos altamente corrosivos (Muthukumar M. y Mohan D. 2004).

En la actualidad el CP se emplea en el área de la construcción para la elaboración de pisos industriales, mesones para baños y cocinas, saunas, tanques para almacenamiento de agua y prefabricados para el campo de la construcción; igualmente se usa en aplicaciones eléctricas tales como: aisladores para transmisión de alta tensión, soporte para aislamiento de bujes, núcleos sólidos para aislamiento, entre otras (Pratap, Arun, 2002). El trabajo de conformado con CP se caracteriza por depender en alto grado de los conocimientos empíricos de los obreros, de tal forma que este campo carece de metodologías que estandaricen el diseño y producción del CP.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, el presente estudio se plantea como

una metodología de diseño de CP basada en resina poliéster, que permite a los constructores tener un criterio de diseño basado en una metodología similar a la seguida con los concretos convencionales. De igual manera, en esta investigación se evalúa la influencia del contenido de resina y la relación masa filler/masa resina en la viscosidad de la pasta cementante (resina más filler) y en las propiedades fisicomecánicas del CP. Estos parámetros se tienen en cuenta debido a la importancia de disminuir el contenido de resina como componente costoso en la formulación del CP y de introducir el concepto masa filler/masa resina como parámetro de diseño. Finalmente, ensayado en las mismas condiciones, se lleva a cabo la comparación de los resultados de la evaluación del CP con un concreto de cemento portland tradicional de media resistencia.

Metodología experimental

Materiales

Para desarrollar este estudio se usó arena del río Cauca como agregado fino, granitos conocidos comercialmente bajo la clasificación de N° 1 y N° 2 como agregado grueso. Los fillers empleados para la elaboración de la pasta cementante fueron escoria de alto horno proporcionada por Acerías Paz del Río y polvo cerámico. La resina trabajada fue una tereftálica preacelerada con cobalto referencia 115A y catalizada con peróxido de metil-etil-cetona (MEK). Estos últimos materiales fueron proporcionados por SUIN S.A.

Etapas seguidas en el diseño y evaluación del CP

Para la estandarización del método de diseño y evaluación del CP se toma un ejemplo de aplicación con etapas que se pueden reproducir para la elaboración de CP con resinas y/o agregados y fillers diferentes. Estas etapas se basan en la caracterización de la materia prima, la elaboración del di-

seño por espacios libres, el conformado de los especímenes de ensayo y la valoración fisicomecánica de acuerdo con las normas específicas para cada ensayo.

Caracterización de la materia prima

A cada uno de los fillers y agregados se les realizó ensayo granulométrico según lo especificado en la Norma Técnica Colombiana (NTC 77). A los agregados se les efectuó además análisis de contenido de materia orgánica (NTC 127), masa unitaria suelta y compacta (NTC 92), peso específico (NTC 237), densidad y absorción (NTC 176).

A la resina poliéster se le realizó ensayo de tiempo de gel y pico exotérmico de acuerdo con la norma ASTM D2471, que consistió en depositar 20 g de la resina catalizada al 2% con peróxido de metil etil cetona (MEK) en un molde a 23 °C y registrar datos de tiempo y temperatura alcanzada por la reacción. Adicionalmente se le practicó a la resina ensayo de viscosidad en un viscosímetro rotacional Brookfield con el spindle # 1 a 27 °C.

Diseño por espacios libres

Con los resultados obtenidos en la caracterización de cada uno de los materiales empleados. Se desarrollaron los diseños correspondientes de concreto polimérico por el método de espacios libres (O'Reilly V., 1997) para diferentes relaciones M_f/M_r que van desde 0 hasta 1,4 con incrementos de 0,2. Es importante resaltar que la proporción empleada de cada uno de los agregados fue la determinada como óptima usando el método gráfico de combinación de agregados propuesto por Diego Sánchez de Guzmán (1996).

Caracterización de la pasta cementante

La mezcla de resina, carga y catalizador se denominó pasta cementante, y se caracterizó por medio de ensayos de viscosidad para cada una de las relaciones M_f/M_r en un viscosímetro rotacional Brookfield, con el spindle No. 1 y a una temperatura de 27 °C. Este ensayo se planteó con el fin de evaluar

la fluidez y por lo tanto tener indicios acerca del posible comportamiento de las pastas al ser mezcladas con los agregados.

Caracterización física del CP

Debido a que no existen ensayos estandarizados aplicables directamente a probetas de CP (Rebeiz, K.S., 1995), en este estudio se utilizaron las normas ASTM correspondientes a cada ensayo normalizado para concreto con base en cemento portland.

Para la realización de los ensayos físicos del CP las probetas fueron conformadas manualmente de acuerdo con las normas correspondientes para cada ensayo y se dejaron curar a temperatura ambiente por 24 horas; luego estos especímenes de ensayo fueron sometidos a un proceso de post curado en horno durante 3 horas a 80°C y finalmente se hicieron los ensayos respectivos 24 horas después de este último tratamiento.

El ensayo de absorción de agua se efectuó de acuerdo con la norma ASTM C642, habiendo determinado previamente el peso de las probetas con una geometría cilíndrica de 2 pulgadas de diámetro por 4 pulgadas de longitud.

Caracterización mecánica del CP

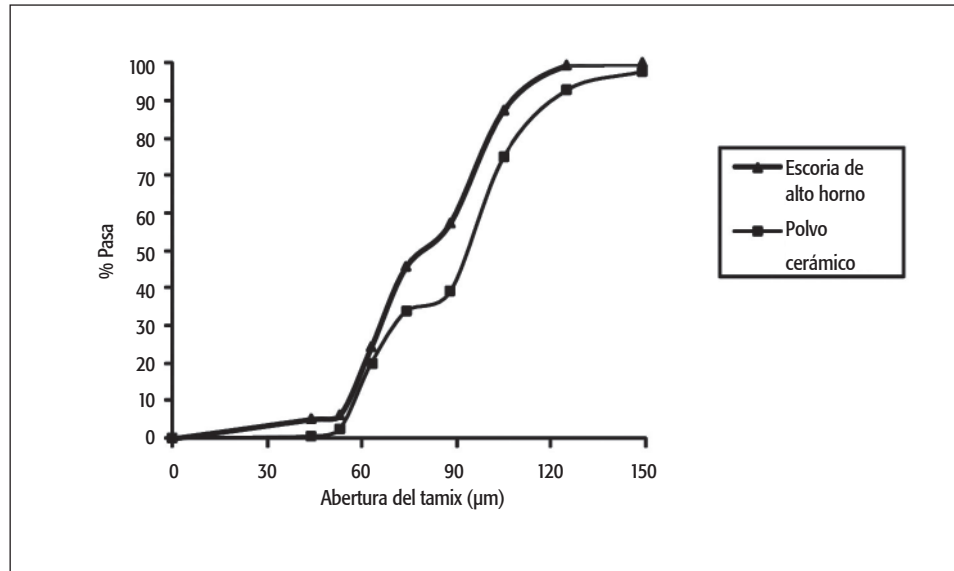
Las probetas utilizadas para los ensayos mecánicos fueron sometidas al mismo tratamiento que las probetas con las que se realizaron las pruebas físicas. En cuanto a los ensayos de compresión y tracción indirecta se emplearon especímenes cilíndricos de "2x4", los cuales fueron evaluados de acuerdo con las normas ASTM C39 y ASTM C496; igualmente, se usaron vigas de sección cuadrada de 4cm x 4cm x16 cm para el ensayo de flexión, siguiendo la norma ASTM C293.

Resultados y discusión

Caracterización de la materia prima

En la Figura 1 se presenta la distribución granulométrica de los fillers y en ella se puede

Figura 1
Gramulometría de los fillers



apreciar que la escoria de alto horno es más fina con respecto al polvo cerámico, como se deduce del porcentaje que pasa por cada tamiz, el cual es mayor para la escoria. De manera similar en la granulometría de los agregados mostrada en la Figura 2 se aprecia que la arena es más fina que los granitos usados, debido a que su tamaño máximo es de 1.19 mm, en tanto el tamaño máximo del granito No. 1 es de 4.76 mm, lo que lo hace

más fino que el granito No. 2 cuyo tamaño máximo es de 9.51 mm. En las Tablas 1 y 2 se recopilan los resultados obtenidos a partir de la caracterización física del agregado fino y de los gruesos; en ellas se aprecia que la arena presenta la menor densidad con 2.53 g/cm^3 , comparada con los granitos 1 y 2, cuyos valores de densidad corresponden a 2.57 cm^3 y 2.65 g/cm^3 , respectivamente. El granito 1 presenta una porcentaje de absorción de

Figura 2
Gramulometría de los agregados

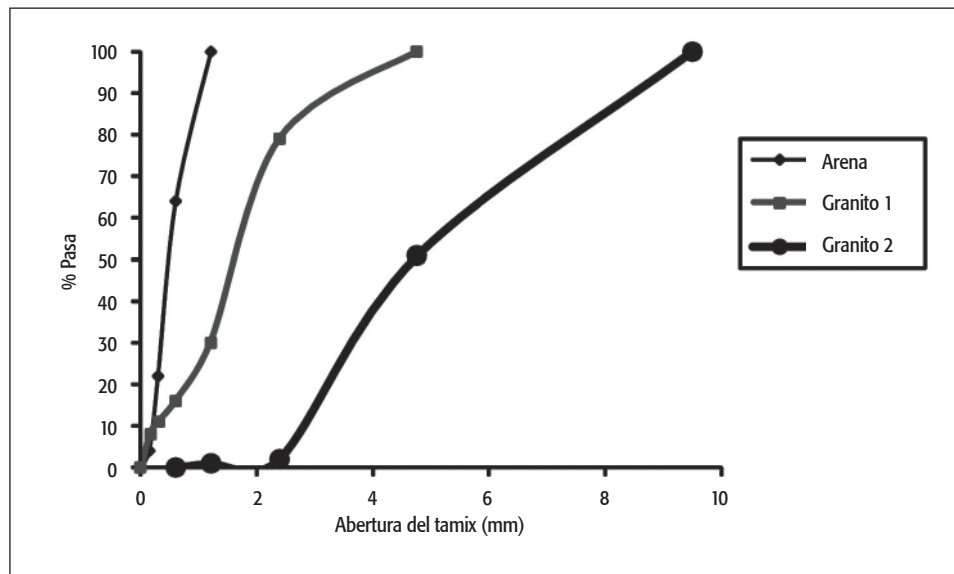


Tabla 1

Peso específico, absorción de la arena y materia orgánica

Arena	
Peso específico (g/cm ³)	2.71
Peso unitario seco (g/cm ³)	2.53
Absorción (%)	2.54
Peso unitario saturado y de superficie (g/cm ³)	2.60
Contenido de materia orgánica	2

Tabla 2

Densidad y absorción del agregado grueso

Ensayo	Granito 1	Granito 2
Densidad nominal (g/cm ³)	2.57	2.65
Densidad aparente (g/cm ³)	2.75	2.76
Absorción (%)	4.3	1.5

humedad 69.3% mayor que el encontrado para la arena, y 186.7% mayor que el calculado para el granito 2, lo que evidencia que en materiales iguales (granitos) la absorción de humedad disminuye con el aumento en el tamaño de las partículas.

En la Figura 3 se presentan los resultados del ensayo de tiempo de gel y pico exotérmico de la resina poliéster, y en ella se aprecia un tiempo de gel de 10 min y un pico exotérmico de 138 °C. Así mismo, en la Figura 4 se observa que la viscosidad de la resina

varía entre 570 cps y 556 cps. Este parámetro está en función de la velocidad de corte del viscosímetro, representada indirectamente por la velocidad de rotación del mismo. El comportamiento típico que la resina fue pseudoplástico.

Diseño del concreto polimérico

Al utilizar el método grafico de combinación de agregados se determinó que los porcentajes óptimos de cada uno estos fue: 33% arena, 38% granito No. 1 y 29% granito No. 2. En la Tabla 3, que corresponde al diseño del CP con ambos fillers por el método de espacios libres, se aprecia una disminución en la cantidad de resina en el CP cuando aumenta la relación Mf/Mr; reducción más marcada cuando se emplea polvo cerámico. De la misma manera se vislumbra un aumento en el contenido de filler cuando se incrementa la relación Mf/Mr.

Caracterización de la pasta cementante

En las Figuras 5 y 6 se presentan las viscosidades de la pasta cementante para cada relación Mf/Mr con ambos fillers. En ellas se aprecia que la viscosidad aumenta progresivamente al incrementarse la relación Mf/Mr, y se acrecienta notablemente a partir de valores de relación Mf/Mr de 0,8; comportamiento común para las pastas con ambos fillers. Es

Figura 3
Tiempo de gel y pico exotérmico de la resina

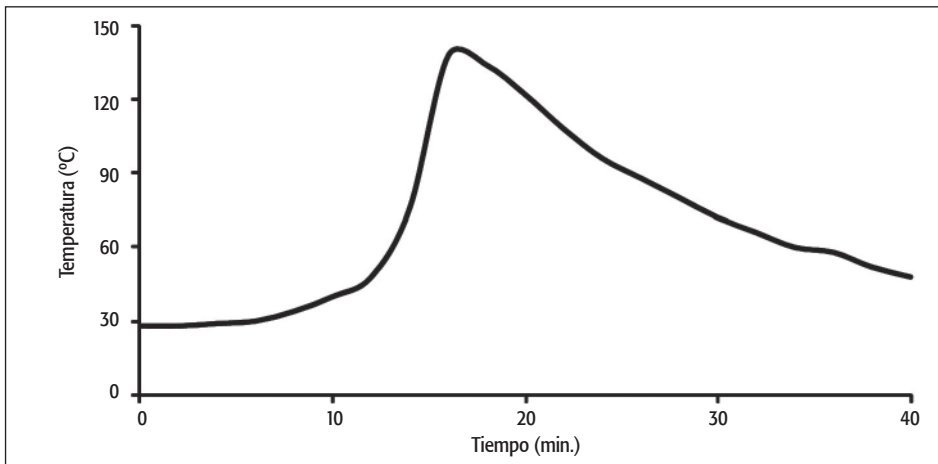


Figura 4
Viscosidad de la resina

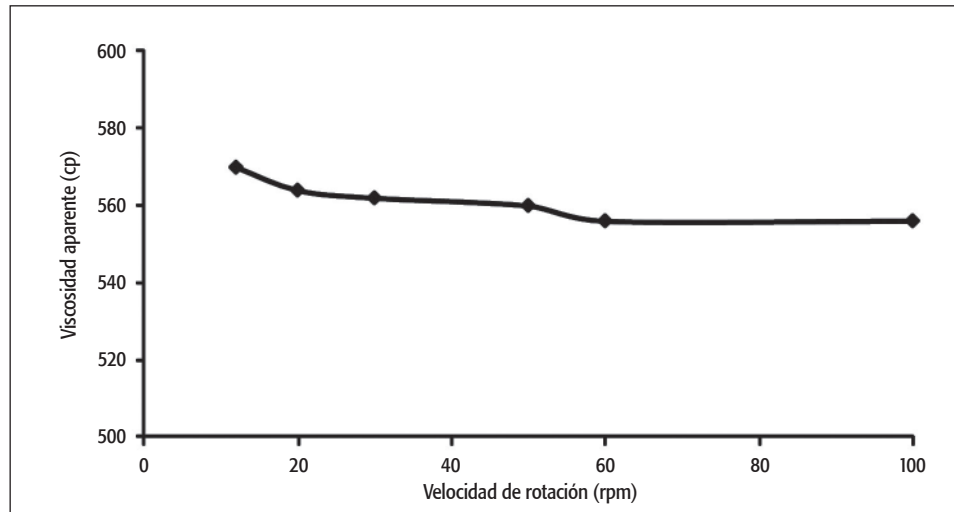


Tabla 3
Diseño del CP con ambos fillers

Porcentaje en Peso para el CP con escoria								
M _f /M _r	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
Agregados	83,41	81,85	80,54	79,42	78,46	77,63	76,90	76,25
Resina	16,59	15,13	13,9	12,86	11,96	11,18	10,50	9,9
Escoria	0	3,03	5,56	7,72	9,57	11,18	12,60	13,85
Porcentaje en peso para el CP con polvo cerámico								
Agregados	83,41	81,96	80,76	79,76	78,89	78,15	77,5	76,93
Resina	16,59	15,03	13,74	12,65	11,73	10,92	10,23	9,61
Polvo Cerámico	0	3,01	5,5	7,59	9,38	10,92	12,27	13,46

importante resaltar que los valores más altos de viscosidad se presentan cuando la carga que se emplea es el polvo cerámico; comportamiento que se refleja en dificultad para la homogenización de la pasta con relaciones M_f/M_r de 1,2 y 1,4.

Para efectos de comparación cabe referenciar el trabajo de Lachemi et al (Lachemi, M., 2004), donde se evalúan algunas propiedades reológicas en pastas de cemento portland adicionadas con modificadores de viscosidad. En este trabajo reportan viscosidades aparentes del orden de 5000 cps a 35000 cps para un amplio intervalo de velocidades de corte. Desde ese punto de vista hay que resaltar que la mayoría de pastas poliméricas evaluadas en el presente estudio generan viscosidades similares y menores a las especificadas por

Lachemi. Las de polvo cerámico con relaciones M_f/M_r de 1.2 y 1.4 fueron las únicas excepciones.

Caracterización física del CP

A partir de la Figura 7 se deduce que el peso del CP aumenta a medida que aumenta la relación M_f/M_r cuando se utiliza escoria de alto horno. El peso del CP con polvo cerámico aumenta con la relación M_f/M_r hasta 0.8; a partir de aquí, empieza a decaer. Esta disminución se puede explicar por el aumento de la viscosidad en la pasta cementante a medida que aumenta la relación M_f/M_r, lo que se traduce en mayor dificultad para homogenizar la mezcla, humectación irregular de los agregados y generación de

Figura 5
Viscosidad de la pasta cementante con escoria de alto horno

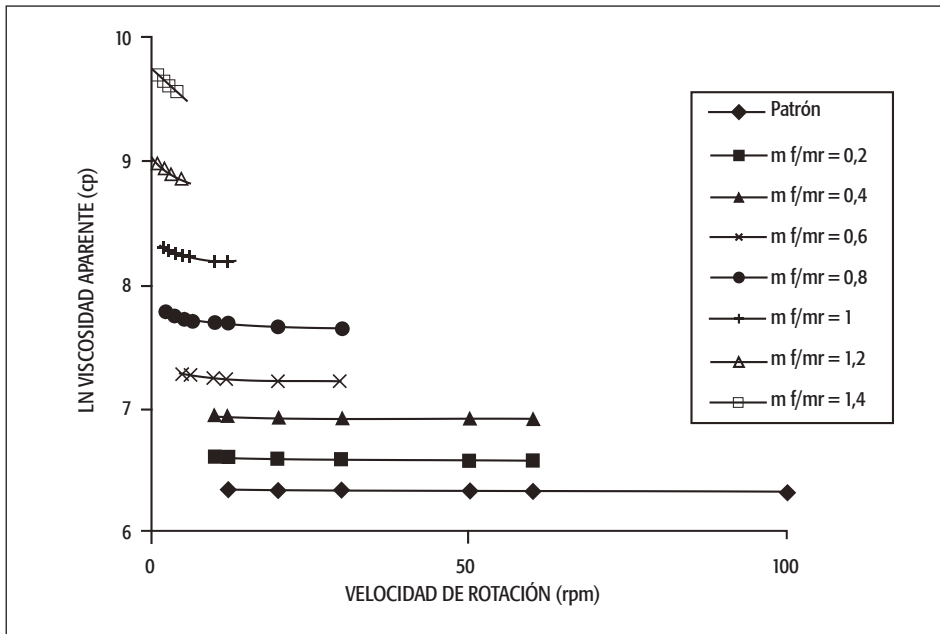
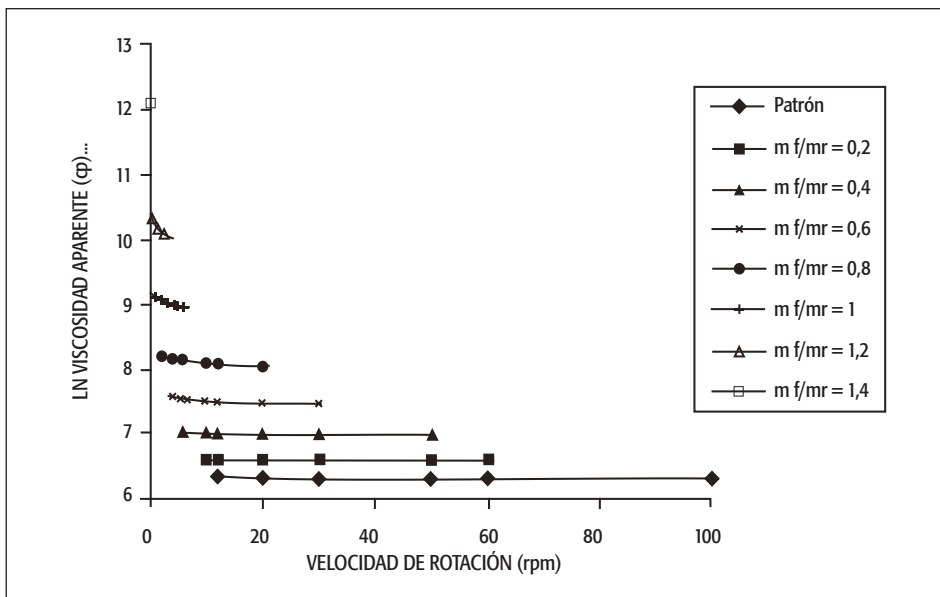


Figura 6
Viscosidad de la pasta cementante con polvo cerámico



poros en el interior de las probetas. De igual manera, en esta figura se puede apreciar que el concreto de cemento portland presenta mayor peso que todos los especímenes de CP trabajados en el estudio, diferencia que llega a un 25.3% para el CPPC con una relación Mf/Mr de 1.4. Este comportamiento puede ser atribuido a la densidad del cemento

portland (3.1g/cm^3), aproximadamente tres veces mayor que la de la resina.

Los resultados mostrados en la Figura 8 evidencian la presencia de mayor cantidad de poros en el CP con polvo cerámico para las relaciones Mf/Mr altas, ya que en estas se nota un aumento en la absorción de agua

Figura 7
Peso del CP

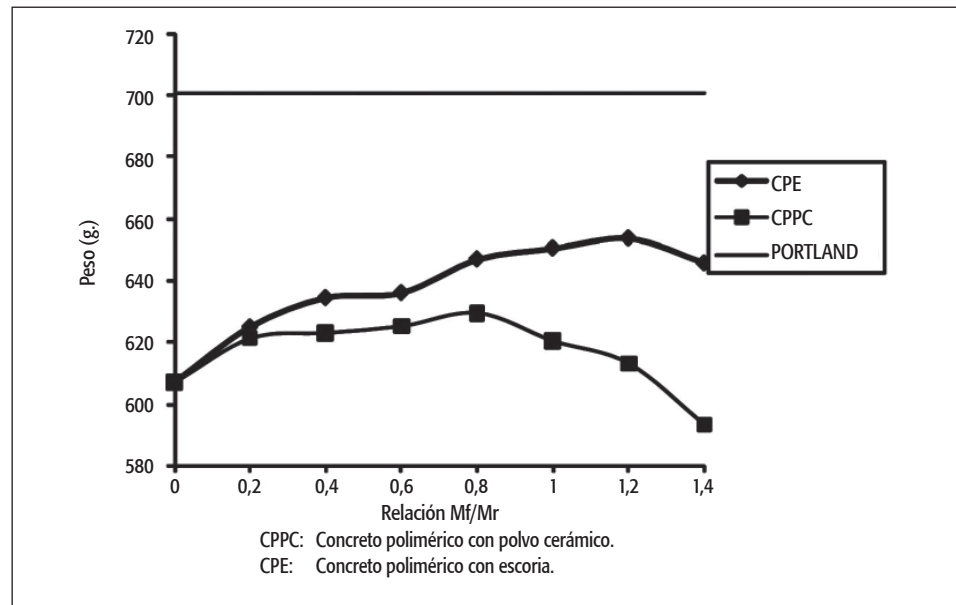
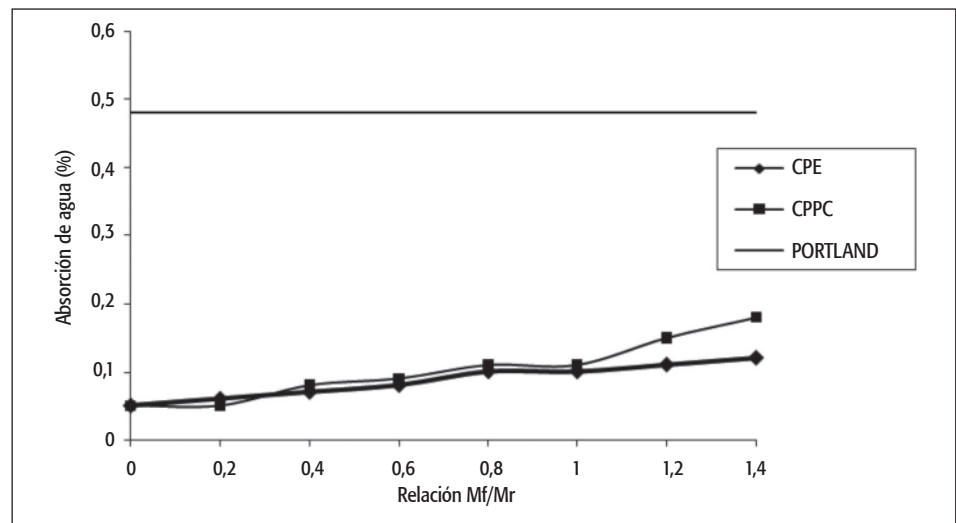


Figura 8
Absorción de agua del CP



del CP. No obstante, el concreto de cemento portland es el material con mayor porcentaje de absorción (92% más alta que la exhibida por la relación Mf/Mr de 1.4 de CPPC que fue el mayor valor entre los concretos poliméricos), debido a que presenta mayor cantidad de poros y afinidad con el agua con respecto a la resina poliéster (Muthukumar, M. y Mohan, D., 2004).

Ensayos mecánicos del CP

En las Figuras 9 y 10 se puede notar que el CP con escoria de alto horno presenta mejor resistencia a compresión y a tracción en todo el intervalo de relaciones Mf / Mr que el CP con polvo cerámico. El CP con polvo cerámico mostró una disminución del 19% en la resistencia a compresión cuando se varió la relación Mf/Mr de 0.4 a 0.6, y un 59% cuando se varió de 0.4 a 1.4, en tanto con la

Figura 9
Resistencia a compresión del CP

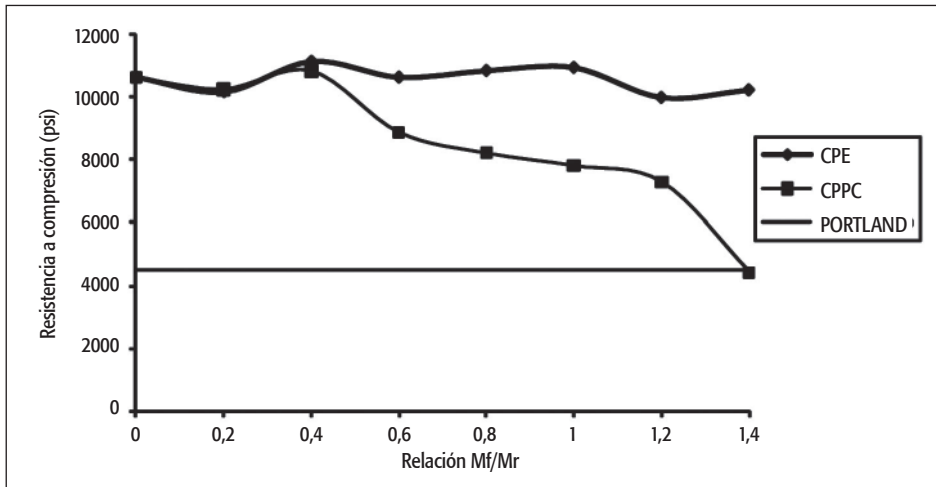
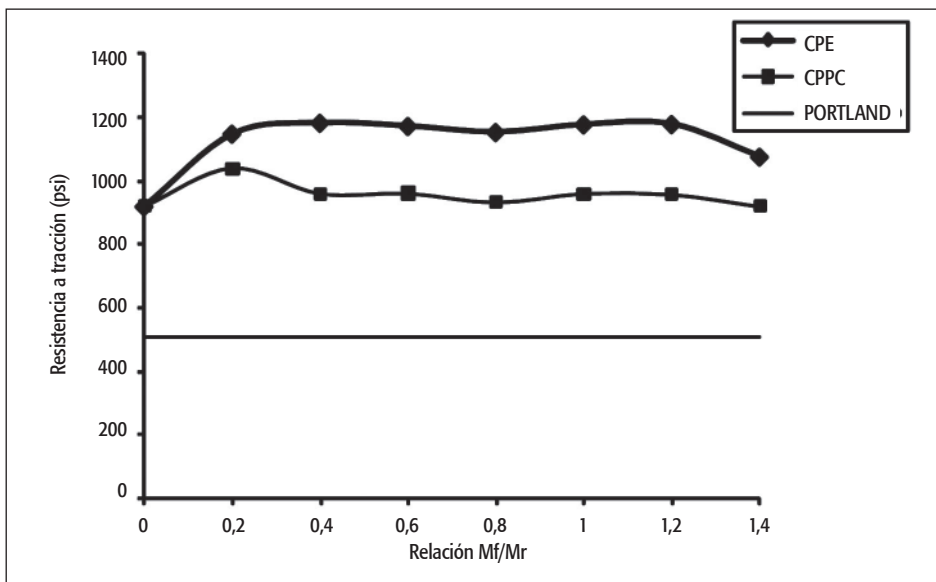


Figura 10
Resistencia a tracción del CP



adición de escoria de alto horno se obtuvo una resistencia a compresión con cambios poco significativos en todo el rango de relaciones Mf/Mr. En el caso de la resistencia a tracción indirecta, esta no presenta cambios notorios en todo el intervalo de estudio.

Aunque el concreto de cemento portland presenta una resistencia media tanto a compresión como a tracción, el CP lo supera notablemente. Se exceptúan el caso particular del CP con adición de polvo cerámico y relación Mf/Mr=1.4.

Con la relación Mf/Mr=1.4 (que equivale a 9.9% de resina) y escoria de alto horno como filler se obtuvo una resistencia a compresión del orden de 11000 psi, la cual equivale a más del doble de los 5200 psi referenciados por Muthukumar y Mohan (2004) para CP vibrado a altas frecuencias, con contenidos de resina furánica del orden de: 7.50, 9.38 y 11.25% ensayados después de 7 días de curado. En dicha investigación emplearon microfillers y tres tipos de agregados con tamaños entre 0.15 mm y 9.52 mm.

Aunque investigadores como Gorninski et al (2004), han logrado resistencias a compresión de hasta 17400 psi en concreto polimérico, lo cual implica un 56% de resistencia mayor a la conseguida en el presente estudio, hay que comentar que ellos emplearon resinas de mayor peso molecular y además es probable que los especímenes fueran conformados por compactación mecánica, mientras que en este estudio los especímenes de ensayo fueron conformados manualmente.

En la Figura 11 se observa que el CP con polvo cerámico para las relaciones menores a 0,8 sobrepasa las resistencias a flexión del CP con escoria de alto horno y aunque el concreto de cemento portland presenta una resistencia a flexión aceptable, el CP con ambos fillers lo supera hasta en un 163%.

El porcentaje más alto de resina trabajado en este estudio se obtuvo para la relación $Mf/Mr=0$ en ausencia de fillers. En este caso se manejó un concreto polimérico con 16,59% de resina y 83,41% de agregados, y se obtuvo una resistencia a flexión de 2625 psi, mayor que los 201 lpsi referenciados por Pratap (2002) para un concreto polimérico con contenidos de 20% de resina vinilester y 80% de sílice como agregado grueso. Es importante resaltar que en el trabajo de Pratap el

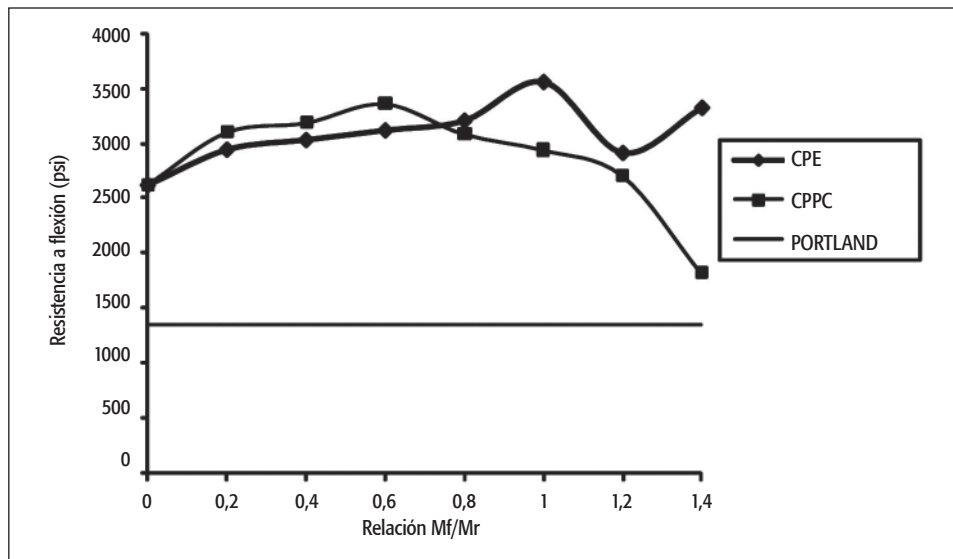
contenido de resina usado en la elaboración del material no se encuentra soportado en una metodología de diseño.

Con la relación $Mf/Mr=0.4$ se obtiene un concreto con un 14,3% de contenido de resina que reporta un valor de 3031psi en resistencia a flexión; valor similar al reportado por Varughese, quien evalúa a flexión un CP con matriz en resina poliéster isoftálica, granito como agregado grueso y arena de río o ceniza volante como agregado fino y alcanza resistencias a flexión de 2610psi y 3335 psi para CP con 14,3% de resina con arena de río y ceniza volante, respectivamente. De igual manera, con la relación $Mf/Mr=1.4$ y escoria de alto horno, equivalente al 10% en peso de resina trabajado por Varughese, se obtienen resistencias mayores, y se aprecia una diferencia de más de 1000 psi con respecto a la configuración que ellos trabajaron con ceniza volante como agregado fino.

Conclusiones

Al variar la relación Mf/Mr con cada una de las cargas se aprecian comportamientos diferentes en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas. Por lo tanto para seleccionar la mejor relación Mf/Mr para una aplicación

Figura 11
Resistencia a flexión del CP



específica se precisa tener en consideración la resistencia de diseño y con base en esta determinar las proporciones de cada uno de los componentes.

El concreto polimérico con escoria de alto horno (CPE) presentó las mejores propiedades físicas, ya que los pesos y valores de absorción de humedad fueron menores que los del concreto que tenía polvo cerámico (CPPC), por lo que el CPE y la relación Mf/Mr de 1.4 alcanza resistencias a compresión 130% mayores que las reportadas por el CPPC para la misma relación, a tracción, logra ser un 17% más resistente y a flexión alcanza un 82% de mayor resistencia para la misma relación Mf/Mr, lo que evidencia su mejor comportamiento mecánico en todo el rango de relaciones Mf/Mr estudiadas.

De acuerdo con los resultados de viscosidad obtenidos en la pasta cementante, las mezclas más trabajadas son las que tienen menor relación Mf/Mr y escoria de alto horno como carga.

Los concretos poliméricos con las diferentes relaciones Mf/Mr presentaron propiedades hasta un 100% mejores que las alcanzadas con un concreto portland tradicional.

Bibliografía

- American Society for Testing Materials. ASTM C293 - 08 *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*.
- ———. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM C39 / C39M - 05e2
- ———. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM C642 - 06
- ———. *Standard Test Method for Gel Time and Peak Exothermic Temperature of Reacting Thermosetting Resins*. ASTM D2471-99
- ———. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM C496 / C496M - 04e1
- FOWLER, D.W. (1999). "Polymers in concrete: a vision for the 21st century". *Cement & Concrete Composites* 21, 449-452.
- GEMERT, et al. (2005). "Cement concrete and concrete -polymer composites: Two merging worlds". A report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004. *Cement & Concrete Composites* 27, 926-933.
- GORNINSKI, et al. (2004). "Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and portland cement concrete". *Cement and Concrete Research* 34, 2091 - 2095.
- LACHEMI, M. (2004). "Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste". *Cement and Concrete Research*, 185-193.
- MUTHUKUMAR, M. y MOHAN, D. (2004). "Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion". *European Polymer Journal* 40, 2167-2177.
- OHAMA, Y. (1997). "Recent progress in concrete-polymer composites". *Elsevier* 5, 31-40.
- O'REILLY, V. (1997). *Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento*. Cali: Universidad del Valle.
- PRATAP, Arun. (2002). "Vinyl ester and acrylic based polymer concrete for electrical applications". *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 117 - 125.
- REBEIZ, K. S. (1995). "Time - temperature properties of polymer concrete using recycled PET". *Cement & Concrete Composites* 17, 119-124.
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. (1996) *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Biblioteca de la Construcción.
- VARUGHESE, K y CHATURVEDI, B. (1996). "Fly ash as fine aggregate in polyester based polymer concrete". *Cement & Concrete Composites* 18, 105-108.