



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

GÓMEZ, M. S.; CARVAJAL, A. M.; SANTELICES, V.
Influencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento
Revista de la Construcción, vol. 10, núm. 3, diciembre, 2011, pp. 110-121
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127622721011>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Influence of high density
polyethylene (HDPE) used as
addition in cement mortar*

Influencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento



Autores

GÓMEZ, M. S. Académica Escuela de Construcción Civil, PUC

CARVAJAL, A. M. Académica Escuela de Construcción Civil, PUC

SANTELICES, V. Tesista, Constructor Civil - PUC

Fecha de recepción 12/05/2011

Fecha de aceptación 20/11/2011

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el cambio en las propiedades de un mortero de cemento al agregar PEAD picado proveniente de bolsas de polietileno, agregadas en la mezcla en una proporción de 0,2%, 0,5% y 0,8% del peso del cemento, de modo de confeccionar una material sustentable. Se realizaron análisis de resistencia a

flexión, a compresión, permeabilidad a la penetración de iones cloruro, a la carbonatación y absorción capilar. Se obtuvo como resultado una baja para las resistencias a flexión y compresión, aunque menos pronunciada para el 0,5% de adición, mientras que por otro lado disminuyó la permeabilidad a la penetración de cloruros, la carbonatación y la absorción capilar.

Palabras clave: Adición PEAD, resistencia, permeabilidad a cloruros, carbonatación.

Abstract

This study aims to determine change in the properties of cement mortar with addition of PE to the mixture at a rate of 0,2%, 0,5% and 0,8% by weight of cement, for to make a sustainable material.

It was realized analysis of bending and compressive strength, permeability to

chloride penetration, carbonation and capillary absorption.

It was obtained lower resistance to bending and compressive strength, although less pronounced for the 0,5% addition, while on the other side a reduce of chloride penetration, carbonation and a decrease in the amount of water absorbed.

Key words: Addition PEAD, strength, chloride permeability, carbonation.

1. Introducción

El presente estudio está orientado a evaluar el efecto de agregar polietileno (PEAD) proveniente del reciclaje de bolsas plásticas, en morteros, y analizar sus consecuencias, tanto en resistencia a compresión y a flexión, como en la penetración de cloruros y carbonatación, además de estudiar si el PE puede reducir la cantidad de agua que el mortero absorbe por capilaridad, ya que este es uno de los mecanismos mediante el que las sustancias agresivas ingresan al interior del hormigón.

En investigaciones anteriores ya se ha estudiado el efecto en el hormigón de agregar fibras, en un comienzo de acero, pero por la existencia del riesgo de corrosión además del aumento de costo que su implementación significa, es que se ha ido optando por polímeros tales como Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Nylon [4] en donde sus principales ventajas son su bajo peso (lo que lo hace ideal para ser utilizados en hormigones livianos [5]), su nula reacción química con la pasta de cemento y la inexistencia de corrosión. Sin embargo, se debe tener presente que el material adicionado corresponde a fibras obtenidas mediante un proceso industrial [6], en que los resultados señalan que si bien en cuanto a resistencia a compresión se presenta una leve baja en comparación a muestras sin la adición de polímeros, se mejora en aspectos tales como resistencia a la retracción plástica [7] y por secado [6, 8], contribuyendo al control de grietas producto de lo anterior, pues actúa como puente disminuyendo el plano de debilidad producido por la grieta, retrasando también además la aparición de estas, determinándose un mayor retraso mientras mayor es el volumen de fibra utilizada [6, 9].

Las investigaciones también han estado orientadas a demostrar que la utilización de hormigón reforzado con fibras de PET y PP tienen un efecto positivo en la resistencia a flexión, ya que a diferentes contenidos en volumen de fibras (0%, 0,5%, 1,0% y 1,5%), se puede apreciar un aumento de esta junto con permitir una mayor deflexión frente a la carga antes de presentar la falla, ya que las fibras sirven como puente entre las partes del hormigón que comienzan a separarse por la grieta, disminuyendo la abertura que se genera y por tanto reduciendo el desprendimiento del material, obteniéndose por tanto hormigones más dúctiles [4, 6-7, 10].

Es conveniente aclarar que los resultados obtenidos varían dependiendo de la forma geométrica y tamaño de la fibra de polímero utilizada, destacándose el hecho de que una fibra fina es más efectiva que una gruesa, pues tiene una mayor superficie específica de contacto con el hormigón, a la vez que una mayor

cantidad de fibras atraviesan una determinada sección de este [9], además de que si su tamaño es mayor va a generar una falla en la adherencia entre el mortero y el agregado grueso, más aún si el PET impide que la interfase se genere, creando una especie de grieta que contribuye a que el hormigón falle en ese punto al ser comprimido [11].

Se han propuesto diversos métodos de reutilización del PET para ser adicionado al hormigón, pero siempre a manera de fibras [12], entre otros.

2. Desarrollo experimental

Para la realización de los ensayos se confeccionaron viguetas de 40 x 40 x 160 mm de mortero de cemento. Las cantidades de cada material pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificación 1 m³ de mortero M20 (20 MPa o 200 kg/cm²)

Razón agua / cemento	0,54
Cemento	515 kg
Agua	278 L
Arena	952 kg
Adición PEAD	0,2%; 0,5%; 0,8% del peso del cemento

El cemento utilizado corresponde a "Cemento Puzolánico Tipo Corriente", definido según la Norma NCh 1480f68; el agua corresponde a agua potable, mientras que las características de la arena son presentadas en la Tabla 2.

Para el porcentaje de adición de PEAD utilizado se tuvo en cuenta que para ser considerado como refuerzo secundario se requiere un porcentaje mayor a 0,1% de fibra [6-9], cumpliéndose ese requerimiento con la cantidad utilizada.

2.1 Ensayos

Se confeccionaron muestras de 3 probetas, cada una según la Norma NCh158.0f67, confeccionándose un total de 9 muestras para cada uno de los porcentajes de adición de PEAD (0,2%; 0,5%; 0,8%), además de una muestra sin adición que se utilizó como patrón.

En total para cada porcentaje de adición de PEAD se tienen 9 muestras, de las cuales se toman 3 para ser sometidas a carbonatación y otras 3 a penetración de cloruros.

El curado consistió en una sumersión total de estas en agua potable con cal a una temperatura controlada de 23 ± 2 °C durante 28 días.

2.1.1 Densidad

De las probetas correspondientes para cada porcentaje de adición se obtiene su densidad con el fin de compararlas con la muestra con 0% (probeta patrón).

2.1.2 Consistencia

Se realizó la determinación de consistencia de los morteros (patrón y con distintos porcentajes de PEAD), según método de extendido en mesa de sacudidas (NCh2257/1) y el método de asentamiento de cono (NCh2257/3).

2.1.3 Flexión

El ensayo de flexión se realiza según la norma NCh158. Of67.

2.1.4 Compresión

El ensayo de compresión se realiza según la norma NCh158.Of67.

2.1.5 Carbonatación

Luego del curado, las probetas son secadas en horno durante 24 horas a temperatura constante de 50 °C. Cumplido el plazo son retiradas del horno e ingresadas en una cámara totalmente sellada y aislada, manteniéndose a una temperatura constante de 25 ± 1 °C durante 72 horas y saturadas con CO_2 , de modo de producir carbonatación [15,16].

Retiradas de la cámara, las probetas son sometidas a los ensayos de compresión, flexión y absorción capilar, los trozos de estas son rociados en la sección de la falla con fenolftaleína con el fin de medir la profundidad que alcanzó la carbonatación en la probeta, partiendo desde la cara externa hacia el interior. El mortero no carbonatado se teñirá morado.

2.1.6 Penetración de cloruros.

Luego del curado, las probetas son secadas en horno durante 24 horas a temperatura constante de 50 °C, para posteriormente ser sumergidas totalmente en una solución de cloruro de sodio (NaCl) y agua (250

Tabla 2. Características de la arena

Tamaño del agregado	Norma de ensayo	Arena
Densidad aparente compactada (kg/m ³)	NCh1116	1.810
Densidad real seca (kg/m ³)	NCh1116	2.590
Densidad neta (kg/m ³)	y NCh1239	2.690
Absorción (%)		1,40
Material fino menor a 0,08 mm	NCh1223	2,3
Contenido materias orgánicas	ASTM C40	No tiene
Porcentaje de huecos (%)	NCh1326	30,3
Tamaño máximo (mm)	NCh165	5
Módulo de finura (%)		3,0

g de sal por cada 750 ml de agua) durante 24 horas, para después secarlas en horno durante 24 horas y luego repetir la sumersión en la mezcla mencionada por 24 horas más.

Al igual que en el método anterior, las probetas son sometidas a los ensayos de compresión, flexión y absorción capilar, y los trozos obtenidos de los ensayos anteriores, son rociados en la sección de la falla con nitrato de plata (AgNO_3) con el fin de medir la profundidad que alcanzó la penetración del cloruro de sodio en la probeta desde la cara externa hacia el interior, ya que el nitrato de plata reacciona con el cloruro de sodio, y posteriormente se rocía cromato de potasio (K_2CrO_4), el que reacciona con el ion plata del nitrato de plata que no haya reaccionado con el cloruro de sodio, tiñendo la sección de un color rojizo [17].

2.1.7 Absorción capilar

El procedimiento utilizado es el de la norma Swiss Standard – SIA 162/1 – Succión Capilar, en que una vez que termina el curado de las probetas (1 probeta de cada una de las muestras reuniendo una nueva muestra para carbonatación, penetración de cloruros y de control para cada porcentaje de adición), estas son secadas en horno a una temperatura constante de 50 °C durante 24 horas. Luego las probetas se colocan en una bandeja con una lámina de esponja de 10 mm de espesor para separar las probetas del fondo de la bandeja, la cual se encuentra llena de agua.

El nivel del agua se mantiene constante durante toda la prueba (4 a 5 mm sobre la cara inferior de la probeta).

Tabla 3. Densidad mortero

Cantidad adición PEAD (%)	Densidad probetas (kg/m ³)	Pérdida de peso (%)
0	2.309	-
0,2	2.279	1,31
0,5	2.277	1,69
0,8	2.239	3,03

3. Resultados y análisis

3.1 Densidad

La densidad para las muestras con cada porcentaje, así como su disminución porcentual de peso respecto de la muestra patrón (0%), se indica en la Tabla 3. Los valores corresponden a promedios de todas las probetas realizadas para cada porcentaje de PEAD.

3.3 Flexión

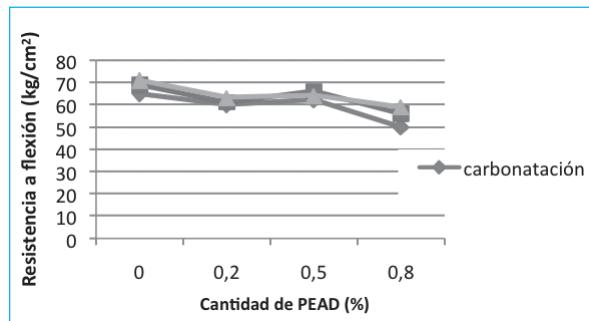
En la Tabla 5 se presentan los resultados para el ensayo de flexión de las probetas. La relación de los valores se puede apreciar en la Figura 1.

La fractura no se genera por adherencia entre la pasta de cemento y el PEAD, pues la superficie de contacto entre el mortero y el polímero no se encontraba lisa ni tampoco los trozos de plástico se desprendían con facilidad, algo que no era esperable, pues se ha comprobado la baja adherencia entre ambos materiales [4].

Tabla 5. Resultados ensayos a flexión

Cantidad PEAD (%)	Resistencia a flexión (kg/cm ²) promedio de 3 muestras		
	Carbonatación	Penetración cloruros	Patrón
0	65	69	71
0,2	60	61	63
0,5	62	66	64
0,8	50	56	59

Figura 1. Resistencia a flexión vs cantidad de adición



Cabe destacar que las probetas con adición de PEAD (en todos los porcentajes) presentan una disminución en la resistencia a flexión en relación a la que no tiene adición (ver Tabla 5), rompiéndose en todo el plano de falla, por lo que no se alcanzó a producir el efecto mediante el que las fibras de polímeros sirven de puente para transmitir la carga de un lado a otro de la grieta que se está formando y detener la apertura de esta, lo que se traduciría en una admisión de una carga mayor.

El comportamiento señalado podría tener su explicación en que el largo de los trozos de PEAD haya sido insuficiente para la transmisión de la carga, pero aun teniendo en consideración esto se optó por el tamaño usado, ya que trozos de una mayor longitud afectaban el mezclado, a la vez que con trozos más pequeños se buscaba que una mayor cantidad de estos atravesaran una sección determinada, además de que un trozo más pequeño tiene una mayor superficie específica de contacto con la pasta de cemento, por lo que si se hubieran utilizado trozos de mayor largo y tamaño, la falta de homogeneidad de la mezcla que se hubiera traducido en segregación de esta, sumado a una aglomeración de PEAD en un punto hubieran conducido a una menor resistencia.

Tabla 6. Pérdida porcentual resistencia a flexión

Cantidad de PEAD (%)	Resistencia a flexión (kg/cm²)	Pérdida porcentual (%)
0	68	-
0,2	61	10,3
0,5	64	5,9
0,8	55	19,1

El valor utilizado como resistencia a flexión en la Tabla 6, corresponde al promedio entre los valores de resistencia de probetas sometidas a carbonatación, penetración de cloruros y de control (ver Tabla 5).

Por otro lado la ausencia del efecto esperado para el PEAD en relación a las fibras de polímeros como adición al mortero en que aumentan la resistencia a flexión de este, también se puede explicar porque las fibras de PET o PP son sometidas a procesos en que su superficie se hace ondulada y con relieve para mejorar su unión con la pasta de cemento, a la vez que también son sometidas a procesos de fabricación que le otorgan una mayor tenacidad y elongación. En contraposición, el PEAD utilizado no tiene la capacidad de estirarse, por lo que queda descartada la posibilidad de elongación de los trozos que haría posible absorber una cantidad de energía adicional, lo que se traduciría en una contribución a aumentar la carga que soporta antes de fallar [12].

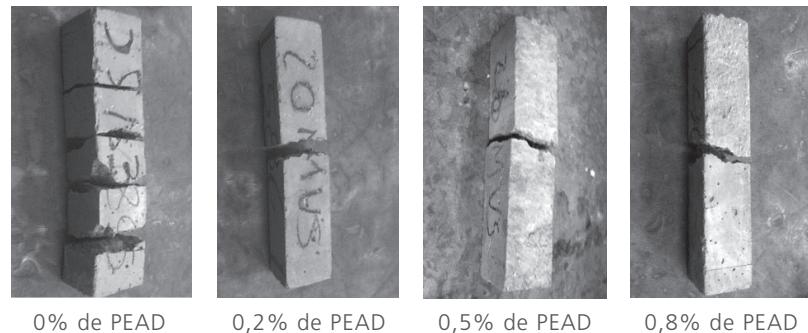
Pese a lo anterior, se logra ver que la pérdida de resistencia a flexión no aumenta acorde a la cantidad de PEAD, ya que respecto al 0,2% de adición, el 0,5% presenta un alza (4,9%) en los valores de la resistencia en todos los casos (carbonatadas, penetración de cloruros y de control), lo que hace pensar que el PEAD agregado en esa proporción tendría un efecto positivo en aumentar la resistencia, ya que el número de trozos de plástico que pasan por la sección de falla podría ser el preciso, mientras que para el 0,2% de adición parece ser insuficiente, sirviendo los trozos adicionados solamente para restar compacidad al mortero.

Por su parte, para el mortero con 0,8% de adición, se tiene que el alto número de trozos y por tanto la menor cantidad de pasta de cemento rellenando esos espacios se traduciría en una pérdida excesiva de compacidad, teniéndose una baja en relación al mortero de 0,5% de adición del 14,1%.

En la Figura 1 se puede apreciar que la muestra patrón presenta una resistencia mayor a la que es sometida a carbonatación y a penetración de cloruros, sin embargo, en el 0,5% de adición es sobrepasada por ésta última, para finalmente recuperarse en el porcentaje siguiente. La muestra sometida a carbonatación siempre se mantiene por debajo de los valores.

Si bien las probetas con PEAD se rompieron en todo el plano de falla y con una carga menor que en el mortero sin adición, se puede observar que la fractura ocurre acompañada de un menor desprendimiento de mortero en relación al mortero sin adición, contribuyendo esto a tener una falla más dúctil, que permitiría evitar una falla catastrófica del material.

Figura 2. Probetas luego de los ensayos de flexión y compresión



3.4 Compresión

En la Tabla 7 se presentan los resultados para el ensayo de compresión de las probetas. El número de muestras es igual al del ensayo de flexión. La relación entre los valores se puede ver en la Figura 3.

Tabla 7. Resultados ensayos a compresión

Cantidad PEAD (%)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)		
	Carbonatación	Penetración cloruros	Muestra patrón
0	441	448	439
0,2	327	321	339
0,5	337	346	350
0,8	313	298	322

De acuerdo a los resultados se puede observar que en todas las muestras con los porcentajes de adición de PEAD se obtiene una baja en la resistencia a compresión en relación al mortero con 0% (ver Tabla 8). Lo anterior puede tener su explicación en que el PEAD no sirve como refuerzo estructural.

La presencia de trozos de PEAD indudablemente reducen el módulo elástico del mortero, pues estos tienen un bajo módulo deformándose con mucha facilidad [8], por lo que cabe esperar que decrezca la fuerza necesaria para deformar el material a medida que aumenta el porcentaje de adición usada [6].

Figura 3. Resistencia a compresión vs cantidad de adición

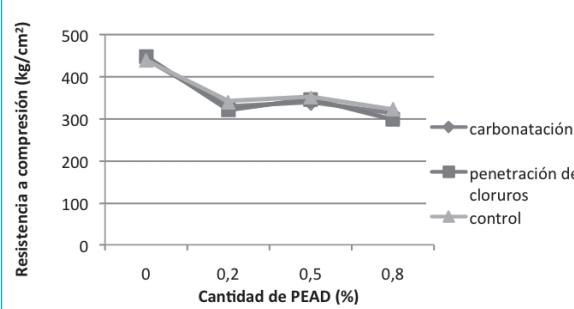


Tabla 8. Pérdida porcentual resistencia a compresión

Cantidad de PEAD (%)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Pérdida porcentual (%)
0	443	-
0,2	329	25,7
0,5	344	22,3
0,8	311	29,8

Pese a lo anterior se puede ver un aumento del 4,5% en la resistencia obtenida para el 0,5% de adición respecto al 0,2%, lo que podría tener su explicación en que el PEAD agregado en una correcta proporción

permite mantener equivalente la sección original, logrando mantener cierta uniformidad, y las fisuras formadas durante las etapas iniciales de carga son unidas por los trozos distribuidos homogéneamente en el mortero [6, 8, 9].

Se entiende por tanto que la cantidad de trozos de PEAD para el mortero con 0,2% de adición no son suficientes para provocar ese efecto y que, por otro lado, la cantidad de 0,8% produciría un exceso de trozos que restan compacidad al mortero, encontrando por tanto la carga una menor resistencia al ser aplicada. Es importante indicar que el aumento experimentado en la resistencia a compresión mencionado es poco significativo y con todos los porcentajes de adición de PEAD se experimenta una baja en la resistencia.

Por otro lado, derivado del ensayo de consistencia se tiene que para 0,8% de PEAD se obtiene una mezcla con menor docilidad, lo que puede haber producido dificultades en la compactación debido a la aglomeración de trozos de PEAD, generándose una mayor cantidad de espacios vacíos que disminuyen la compacidad del mortero y, por tanto, su resistencia a compresión.

En la Figura 2 se puede apreciar que la muestra patrón presenta una resistencia mayor en todos los porcentajes de adición a la que es sometida a carbonatación y a penetración de cloruros, manteniéndose las dos últimas en valores cercanos.

Asimismo, a medida que se aumenta la carga se va desarrollando una tensión lateral, iniciando así la aparición de grietas y el progreso de estas, sin embargo, a medida que el avance de la grieta se acerca a una sección con la adecuada cantidad de PEAD, el desprendimiento de este comienza después de que las fuerzas

de tracción perpendicular a la evolución previsible de la grieta van avanzando, disminuyendo la cantidad de estas y limitando el desprendimiento del mortero [12], como puede ser observado en la Figura 2, en que los trozos ensayados para todos los porcentajes de adición se pueden ver casi intactos a simple vista en comparación a la probeta con 0%.

3.5 Carbonatación

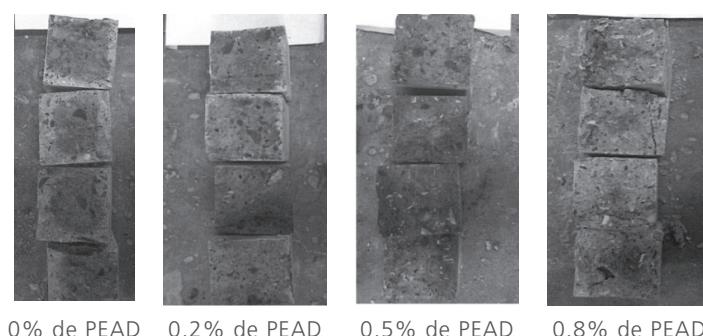
La profundidad de penetración se indica en la Tabla 9 para todos los porcentajes de adición. Corresponde a un promedio obtenido de las muestras midiendo desde la cara externa hacia el centro de la sección.

Tabla 9. Profundidad penetración carbonatación

Cantidad de adición PEAD (%)	Profundidad penetración (mm)
0	7,0
0,2	3,0
0,5	0,0
0,8	12,7

De acuerdo a los resultados, se tiene que la adición de PEAD tiene un efecto favorable al reducir la cantidad de poros y conectividad de estos, constituyendo una especie de barrera física para el paso de CO_2 , lo que es posible a la excelente distribución de los trozos de

Figura 4. Profundidad de carbonatación en probetas (prueba con fenolftaleína)



plástico en la mezcla y la unión que logran con la pasta de cemento, no generando abertura adicional de vacíos, lo que permite obtener una mezcla homogénea. Es así como para el porcentaje de adición de 0,2% de PEAD se obtiene una disminución en la profundidad de la penetración de carbonatación del 57,7%, mientras que para el 0,5% se obtuvo una baja del 100% frente al mortero sin adición.

Es posible que por la acción del PEAD se permita solo un reducido paso de CO_2 hacia el interior del mortero, generándose carbonato insoluble (CaCO_3) que produce una mayor compacidad, lo que implicaría tener un hormigón menos poroso, pero impidiéndose un ingreso masivo de CO_2 , ya que si eso ocurriera se genera bicarbonato soluble ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)$) que es fácilmente disuelto y arrastrado al exterior de los capilares, lo que aumentaría la porosidad del mortero [14].

Para el 0,8% de adición PEAD se puede ver un aumento de la profundidad de penetración del 81,4% respecto al mortero con 0% de adición, atribuida a los problemas en el mezclado que generó la aglomeración de trozos de plástico.

3.6 Penetración de cloruros

La profundidad de penetración se indica en la Tabla 10, para todos los porcentajes de adición. Corresponde a un promedio obtenido de las muestras midiendo desde la cara externa hacia el centro de la sección.

El comportamiento observado según los datos obtenidos, se explica como que la adición de PEAD tiene un efecto favorable al reducir ya sea la cantidad de poros

o la conectividad de estos, constituyendo una especie de barrera para el paso de iones. Es así como para el porcentaje de adición de 0,2% de PEAD se obtiene una disminución en la profundidad de la penetración de cloruros del 66,7%, mientras que para el 0,5% se obtuvo una baja del 33,3% respecto del con 0%.

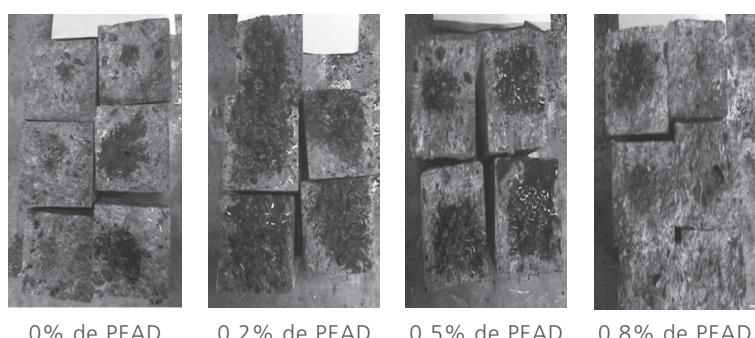
De acuerdo a lo anterior queda descartada una posible reacción química que tienda a tomar parte de los cloruros que ingresan al interior del mortero y formen compuestos estables (como ocurre con cenizas volantes cuando son utilizadas como adición en que forman C_3A con parte de los cloruros reduciendo por tanto la disponibilidad de iones libres [2]), ya que el PEAD es totalmente inactivo frente a estos.

Para el 0,8% de adición se puede ver un aumento de la profundidad de penetración del 35% respecto al mortero con 0%, atribuida a los problemas en el mezclado que generó la aglomeración de trozos de PEAD, generando un mortero demasiado poroso.

Tabla 10. Profundidad penetración cloruros

Cantidad de adición PEAD (%)	Profundidad penetración (mm)
0	12,0
0,2	4,0
0,5	8,0
0,8	15,6

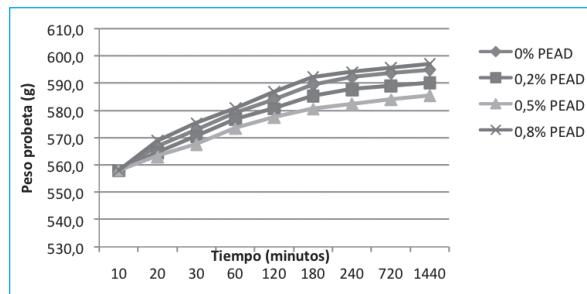
Figura 5. Profundidad de penetración de cloruros (prueba de AgNO_3 y K_2CrO_4)



3.7 Absorción capilar

En la Figura 6 se presenta la absorción obtenida para las muestras. Los resultados son un promedio de las muestras carbonatadas, con penetración de cloruros y de control para cada porcentaje de adición de PEAD.

Figura 6. Absorción por capilaridad



La menor absorción obtenida para los morteros con 0,5% y 0,2% de adición en relación al mortero con 0%, puede tener su explicación en la naturaleza no absorbente del PEAD, además de que por medio de una excelente unión entre pasta de cemento y el plástico generaría una menor cantidad de poros o bien interrumpiría su conectividad, actuando como barrera a la ascensión del agua [13], mientras que para el 0,8% de adición corresponde a la mayor porosidad generada por un deficiente mezclado.

Con los porcentajes adecuados de aplicación de la adición se puede apreciar también una disminución en la velocidad de absorción de agua, como se puede ver en las curvas del gráfico de la Figura 6 al ir disminuyendo las pendientes de estas.

En los gráficos de la Figura 7 se puede apreciar que para todos los porcentajes de adición, las muestras sometidas a penetración de cloruros fueron las que presentaron una mayor absorción de agua, mientras que las muestras de control y las sometidas a carbonatación presentaron similares resultados, presentándose alguna diferencia a medida que se aumentaba la proporción de PEAD, en que la menor absorción la presenta el mortero de control.

Figura 7a. Absorción por capilaridad 0% PEAD

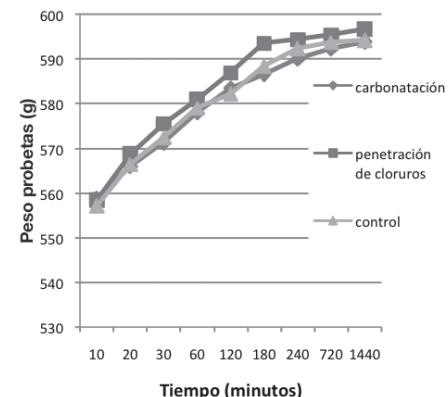


Figura 7b. Absorción por capilaridad 0,2% PEAD

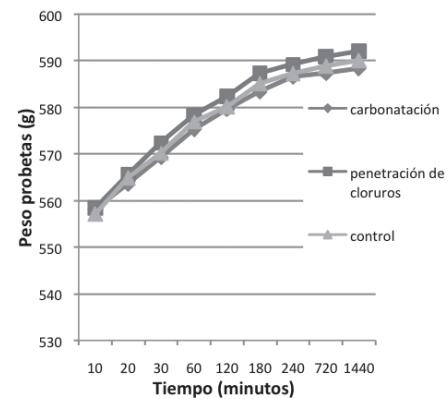


Figura N° 7c. Absorción por capilaridad 0,5% PEAD

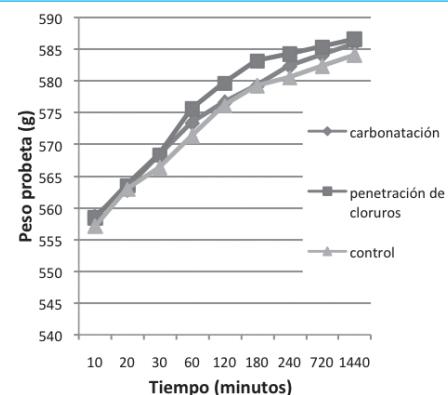
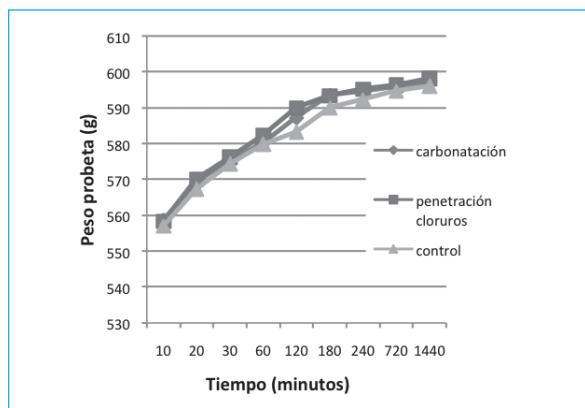


Figura 7d. Absorción por capilaridad 0,8% PEAD



4. Conclusiones

Al agregar PEAD a una mezcla de mortero se pierde resistencia tanto a flexión como a compresión, sin embargo, no se puede establecer una relación entre que una mayor cantidad de adición genera una mayor baja en la resistencia, ya que para ambos ensayos se obtiene un incremento para el 0,5% de adición respecto al 0,2%, experimentando posteriormente la mayor disminución para el 0,8%. Se estima que con la resistencia obtenida para los 0,2% y 0,5% se podría ocupar el material para elementos que no soporten importantes cargas.

5. Referencias

- [1] Loser, R. (2010). Chloride resistance of concrete and its binding capacity – comparison between experimental results and thermodynamic modeling. *Revista Cement and Concrete Composites*, 32, 34-42.
- [2] Montemor, M. (2002). Corrosion behavior of rebars in fly ash mortar exposed to carbon dioxide and chlorides. *Revista Cement and Concrete Composites*, 24, (45-53).
- [3] Kim, J., Kim, C., Yi, S. & Lee, Y. (2009). Effect of carbonation on the rebound number and compressive strength of concrete. *Revista Cement and Concrete Composites*, 31, (139-144).
- [4] Ochi, T., Okubo S. & Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Revista Cement and Concrete Composites*, 29, (448-455).
- [5] Saradhi Babu, D., Ganesh Babu, K. & Tiong – Huan, W. (2006). Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. *Revista Cement and Concrete Composites*, 28, (520-527).
- [6] Kim, S., Yi, N., Kim, H., Kim J. & Song, Y. (2009). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Revista Cement and Concrete Composites*, 30, (112-121).
- [7] Barreda, M., Lailani, C. & Sota, J. (2000). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón. *IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga*. (1145-1150).

Para la carbonatación se presenta un efecto beneficioso de la adición respecto a la muestra con 0%, pues en un porcentaje agregado del 0,5% se impide la penetración de CO_2 en toda la sección del mortero, lo mismo que para el 0,2% pero en una menor medida, ya que el ingreso del gas presenta una mayor profundidad de penetración, pero siempre menor a la alcanzada en el mortero con 0%. Para el mortero con 0,8% se verifica la mayor penetración de CO_2 .

Para el ensayo de penetración de cloruros, el porcentaje óptimo de adición resulta ser el 0,2% seguido por el de 0,5%, sin embargo, en ninguno de ellos se logra eliminar completamente la penetración de sales. Sería por lo tanto recomendable ver el efecto que tendría usar este tipo de adición en elementos expuestos a ambientes agresivos, tales como el marino.

En el ensayo de absorción por capilaridad se obtienen resultados que confirman los anteriores en la medida que la adición de PEAD contribuye a disminuir la permeabilidad del mortero, ya que se obtuvo una menor cantidad de agua absorbida para el mortero con 0,5% seguido por el de 0,2%, ambos presentando una menor cantidad que el mortero con 0%. Nuevamente el 0,8% de adición presenta los valores más desfavorables.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es que se estima que el porcentaje óptimo de adición de PEAD correspondería al 0,5%, no descartándose el 0,2%, ya que los valores obtenidos son bastante cercanos entre sí. Por otro lado se descarta totalmente el 0,8% por no presentar ningún beneficio.

- [8] Puertas, F., Amat, T., Fernández-Jiménez, A. & Vázquez T. (2003). Mechanical and durable behaviour of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres. *Revista Cement and Concrete Composites*, 33 (2031-2036).
- [9] Banthia, N. & Gupta, R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 36 (1263-1267).
- [10] Medina, F. & Cifuentes, H. (2007) Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño. *Anales de la Mecánica de Fractura*, 1 (215-220).
- [11] Alesmar, L., Rendón, N. y Korody, M. (2008). Diseños de mezcla de Tereftalato de polietileno (PET) – Cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* 23 (77-86).
- [12] Song, P., Hwang, S. & Sheu, B. (2005). Strength properties of nylon and polypropylene fiber reinforced concretes. *Revista Cement and Concrete Composites*, 35 (1546-1550).
- [13] Benazzouk, A. (2007). Physico – mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes. *Revista Cement and Concrete Composites*, 29 (732-740).
- [14] Giani, R. & Solas A. (2001). Propiedades del Hormigón Endurecido. En *El Hormigón y su Tecnología* (pp. 126-128). Santiago, Chile: [s.e].
- [15] Carvajal A.M., Maturana P., Pino C., Poblete J. (2009) Analysis of the relation between accelerated carbonation, porosity compressive strength and capillary absorption in concrete, in the search of a new control method by durability. *Revista de la Construcción* Vol 8, nº 2 (129-135).
- [16] Carvajal A. M., Benavides F., Silva C., Valiente J., Venegas A. (2007) Efectos de la carbonatación acelerada en distintos tipos de cemento y hormigones. *Revista de la Construcción*. Vol. 6, Nº 1 (88-97).
- [17] Carvajal A. M., Maturana, P., Benavides F., Cortés, J.E. (2010). Metodología de obtención de muestras de hormigón en polvo para análisis de cloruro y correlación entre el contenido de cloruros en ambiente marino real por cinco años y ambiente acelerado en muestras de hormigón. *Revista de la Construcción*. Vol. 9, Nº 1 (74-80).