



COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CON AGREGADO PRECOLOCADO Y SU APLICACIÓN EN VIGAS Y COLUMNAS.

Luis Fierro¹, Marlon Valarezo²

Universidad Técnica Particular de Loja

Resumen:

Al poner en obra el hormigón se presentan algunos problemas referentes a: disgregación de la mezcla, proporción agregado-cemento, fluidez de la mezcla para vencer zonas densamente armadas, tamaño de las partículas, etc., que en muchas ocasiones causan espacios vacíos dentro del elemento a fabricar, disminuyendo su resistencia. La tecnología del hormigón viene desarrollando múltiples investigaciones con el propósito de mejorar cada vez más el rendimiento y la calidad del hormigón en las condiciones de trabajo en las cuales se va a desempeñar.

El Hormigón con Agregado Precolocado (HAP), concebido por Lee Turzillo, por el año 1937 es un hormigón elaborado mediante la inyección de grout en los espacios vacíos formados por una masa limpia y gradada de agregado grueso, que se presenta como una alternativa de solución frente a los problemas planteados. El estudio de este tipo de hormigón no es nuevo, incluso el American Concrete Institute-ACI, ha emitido mediante su Comité 304 una guía para el uso de este tipo de concreto con aplicaciones en hormigón estructural y en masa, e investigadores como James Warner publican periódicamente recomendaciones referentes a su utilización.

La presente investigación pretende ser un aporte al estudio de este tipo de hormigón, dentro de la misma se realiza un estudio experimental del comportamiento del HAP, demostrando la efectividad de este tipo de hormigón y su uso en la fabricación de vigas y columnas.

La investigación avanza desde la implementación y características de los equipos y materiales utilizados en su producción, así como la elaboración de gráficas elaboradas en función de las características de sus componentes y las propiedades del mismo hormigón, las mismas que permiten obtener resultados con respecto a su comportamiento y la influencia de estas variables. Posteriormente se ha comprobado su funcionamiento en obra mediante modelos de vigas y columnas hechos en el laboratorio variando el porcentaje de densidad de acero. Los resultados de esta investigación permiten al lector tener una idea más clara del proceso de fabricación, control y comportamiento del HAP además de sus alternativas de uso en la construcción.

Palabras-clave: hormigón, agregado precolocado, construcción, pilotes.

1. - INTRODUCCIÓN

El Hormigón con Agregado Precolocado (HAP) es elaborado a partir de la inyección de un grout dentro de los espacios vacíos de una masa limpia y gradada de agregado grueso, usualmente con aditivos químicos. Uno de los varios aspectos más importantes de este

¹ Estudiante, Ingeniería Civil, U.T.P.L., Loja - Ecuador, lafierro@utpl.edu.ec

² Ingeniero Civil, Área de Materiales de Construcción, U.T.P.L., Loja - Ecuador, mvalarezo@utpl.edu.ec

hormigón es que la gradación y la forma del agregado no son muy importantes por la trabajabilidad y cohesión del grout. El grout es inyectado bajo presión lo que permite llenar completamente los espacios vacíos que existen entre las partículas del agregado. El grout es una mezcla de materiales cementantes, o no cementantes con o sin agregados, agua y otros fluidos para producir una consistencia fluida [1]. La función primaria del grout es llenar los espacios vacíos en el agregado grueso para ligar, endurecerse y consolidar una masa.

El HAP es de gran utilidad para la colocación en áreas donde existe excesivo reforzamiento [2], disminuir la segregación del hormigón, donde la colocación de un hormigón normal podría ser extremadamente difícil o imposible [3], en hormigones con bajo cambio de volumen y cuando se requiere hormigones de elevada densidad, se ha aplicado en una forma segura en diferentes situaciones en donde se desee eliminar la posibilidad de sangrado en el hormigón [4]. El HAP contiene un alto porcentaje de agregado existiendo un contacto intenso entre los agregados por tal razón el agregado grueso es el factor más importante que determina la calidad y economía del HAP y depende exclusivamente de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados [5].

2. - OBJETIVOS

- El objetivo principal de este trabajo es estudiar las propiedades y características del hormigón elaborado con agregado precolocado.
- Observar el comportamiento y aplicabilidad en estructuras como vigas y columnas.

3. - MATERIALES CONSTITUYENTES

3.1. - Agregado grueso

El agregado grueso utilizado en esta investigación son cantos rodados procedentes del sector El porvenir, Provincia de Loja. Los áridos utilizados tienen una textura uniforme, las propiedades físicas y mecánicas son mostradas en la tabla 1.

Tabla 1 – Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso

Propiedades de los agregados	Agregado grueso	Norma
Densidad Real sss.(gr./cm ³)	2.64	ASTM C 127
Densidad Real Seca(gr./cm ³)	2.61	ASTM C 127
Densidad Relativa Aparente(gr./cm ³)	2.68	ASTM C 127
Absorción de agua (%)	1.10	ASTM C 127
Densidad Aparente Compactada(gr./cm ³)	1.64	ASTM C 127
Abrasión (%)	28.33	ASTM C 535

3.1.1. - Porcentaje de vacíos presentes en el agregado precolocado

En la figura 1 se pueden apreciar el porcentaje de vacíos presentes en el agregado grueso de acuerdo al tamaño de los mismos. Se observa que a medida que se incrementa el tamaño de los agregados se aumentan los vacíos. Se determino que el agregado con tamaño de 19 mm es el más adecuado en cuanto a porcentaje de vacíos y trabajabilidad con el grout, para ser utilizado en la presente investigación en la fabricación de especímenes, y en la confección de vigas y columnas con HAP.

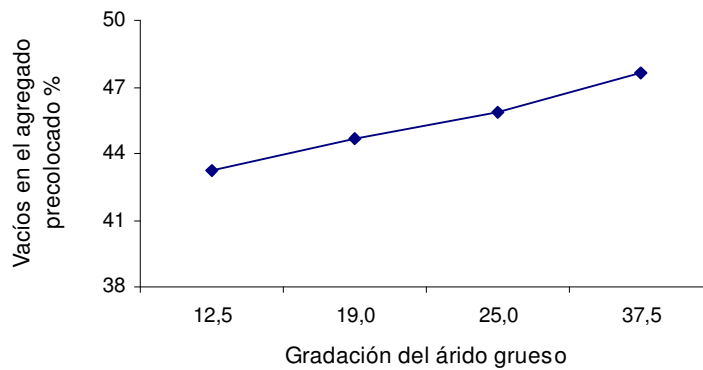


Figura 1 – Porcentaje de vacíos en función del tamaño del agregado

3.1.2. - Influencia del tamaño de los agregados en el Hormigón con Agregado Precolocado.

Para determinar la influencia de los diferentes tamaños de los agregados en el HAP se utilizó un diseño de grout con W/C de 0.62 y Ar/C de 1.5 con un tiempo de fluidez de 28 seg. La figura 2 resume la resistencia del HAP, con distintos tamaños de agregado uniforme. Manteniendo una proporción constante de grout con una fluidez de 22 seg. fueron ensayados a edades de 7 días. Se puede observar que la resistencia está en función de los tamaños máximos de los agregados. Para el tamaño de 12.5 mm la resistencia es mayor pero este tamaño hace que no sea lo suficientemente trabajable dando muchos problemas como taponamiento e incremento de los espacios vacíos en el hormigón. Para tiempos de fluidez mayores se obtiene una resistencia satisfactoria para un tamaño del agregado de 19 mm, 25 mm y 37.5 mm.

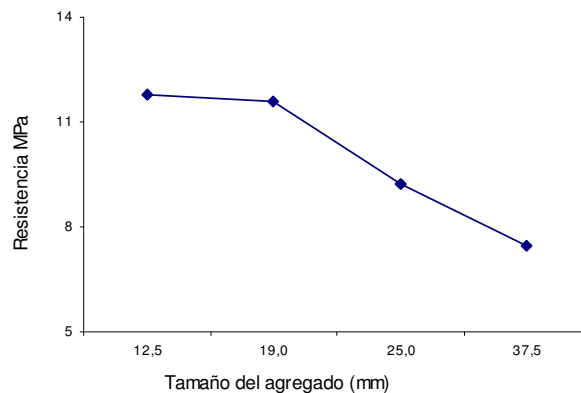


Figura 2 –Influencia del tamaño del agregado en la resistencia del HAP

3.2. - Equipo y procedimiento

Para la confección de los especímenes cilíndricos de 150x300 mm se cumplió con los requerimientos y especificaciones de la norma ASTM C 943-02 [7], con las mismas condiciones de curado para todos los especímenes. En la figura 5 se muestra los moldes cilíndricos y el equipo diseñado para este procedimiento.

Para la inyección del grout se mantuvo una presión constante entre 60 a 55 KPa. con un caudal de 4 a 5 L./min. La determinación de la resistencia de los especímenes a la compresión se realizó de acuerdo a ASTM C 39 [8].



a) equipo utilizado para la inyección del grout



b) Vista en planta de un molde utilizado para pruebas.



c) Placas colocadas para tapar los moldes

Figura 5 – Equipo y moldes cilíndricos utilizados para confeccionar el HAP

3.3. - Grout

Se utilizaron 7 tipos de grout en esta investigación. Las propiedades de los mismos se muestran en las tablas 2 y 3, las que se obtuvieron del proyecto “DISEÑO ÓPTIMO DE LECHADA DE RELLENO (GROUT) PARA SER UTILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS CON AGREGADO PRECOLOCADO” [6] que se desarrollo conjuntamente con esta investigación.

Tabla 2 – Proporciones de las mezclas y propiedades del grout en estado fresco y endurecido

ID	Ar./C	W/C	Fluidez (Seg.)	Resistencia a la compresión 7 días MPa.	Densidad Kg./m ³
G1	130	0.62	18.62	17,2	1962
G2	140	0.62	21.15	17,58	2000
G3	150	0.62	28.22	19,69	2005

Tabla 3 – Proporciones de las mezclas y propiedades del grout en estado endurecido

ID	Ar./C	Puzolana %.	W/C	Fluidez (Seg.)	Resistencia a la compresión 7 días MPa.	Densidad Kg./m ³
GP1	120	0	0.58	21.55	25.20	2031
GP2	110	5	0.58	23.91	25.86	2055
GP3	120	10	0.62	24.7	13.65	2050

3.3.1. - Eficiencia del Grout en el Hormigón con Agregado Precolocado en función de la fluidez.

Se analizo la eficiencia del grout en función de la fluidez en el HAP. En la tabla 2 se muestra las propiedades del grout utilizadas para el efecto. La figura 3 permite observar la eficiencia del HAP en especímenes ensayados a la edad de 7 días, con agregado grueso uniforme de 19 mm, manteniendo la fluidez del grout variable (baja, media, alta) y con una relación W/C de 0.62. Se puede observar que cuando el tiempo de fluidez del grout se incrementa la resistencia del HAP también se incrementa, así para tiempos de fluidez que están dentro del rango

aceptable de 22 ± 2 seg., se hace satisfactoria la aplicación del grout en la mayoría de tamaños del agregado. Para tiempos de fluidez menores se puede utilizar de una forma segura con tamaños no menores de 12.5 mm. Al tener una relación demasiado alta W/C se produce un excesivo sangrado y consecuentemente la pérdida de resistencia en el HAP. En la figura 4 se aprecia como varía la eficiencia del grout en función del tiempo de fluidez siendo las más eficientes las que tienen un mayor tiempo de fluidez.

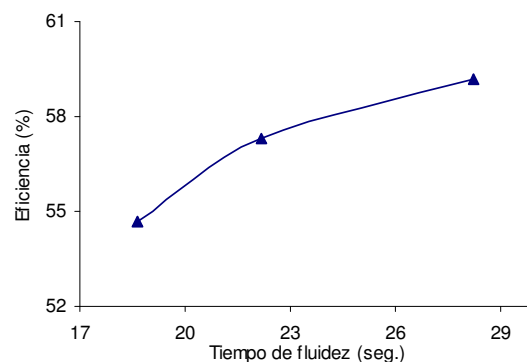
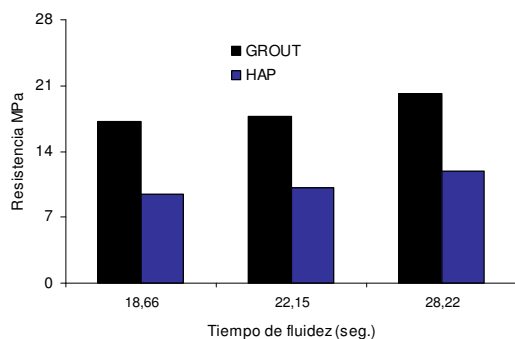


Figura 3. – Eficiencia del grout en función la fluidez

Figura 4 - Comportamiento de la fluidez del grout en el HAP

4. - ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. - Propiedades físicas y mecánicas del Hormigón con Agregado Precolocado.

Las mezclas y proporciones de grout utilizadas para este efecto son detalladas en la tabla 3, se escogieron diferentes tipos de mezclas de grout con 0, 5 y 10 % de puzolana que están de acuerdo a los requerimientos de trabajabilidad y resistencia. El tamaño del agregado grueso utilizado para el efecto fue de 19 mm para todos los especímenes. Las propiedades del HAP en estado endurecido se muestran en la tabla 4. En la figura 6 se pueden apreciar la resistencia a la compresión de los especímenes a edades de 7, 14 y 28 días, los resultados indican que cuando existe una reducción en W/C la resistencia del HAP se incrementa. El grout con 5 y 10 % de puzolana tienen un mejor comportamiento en el HAP debido a que estas proporciones de grout tienen una mayor trabajabilidad y distribución en los espacios vacíos en el agregado precolocado, los resultados de eficiencia de estas mezclas en el HAP se muestran en la figura 7. Se observó que para edades tempranas la fractura del HAP se debe a fallas en el material de relleno y cuando el grout ha alcanzado la mayor parte de la resistencia los componentes del HAP se comportan de una forma semejante. En la figura 8 se observa que los especímenes que contiene puzolana presentan un llenado uniforme de los espacios vacíos con grout no así con mezclas de grout que no tienen este material.

Tabla 4 -Dosificación en estado fresco, Propiedades físicas y mecánicas en estado endurecido del HAP

ID	W/C	Agregado Grueso Kg./m ³	Cemento Kg./m ³	Arena (%)	Grout ID	Densidad Kg./m ³	Resistencia a la compresión MPa.		
							7 días	14 días	28 días
HAP1	0.58	1454	338	402	GP1	2400	8.73	13.66	15.24
HAP2	0.58	1384	361	414	GP2	2450	8.94	14.09	16.14
HAP3	0.62	1384	322	426	GP3	2406	7.25	10.47	11.87

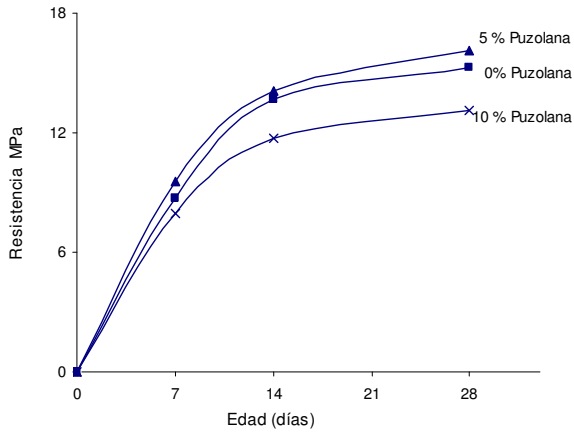


Figura 6 – Resistencia del HAP con 0 - 5 y 10 % puzolana

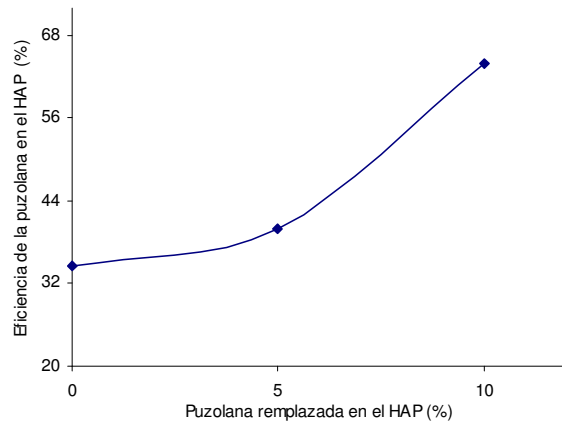


Figura 7 – Eficiencia en fusión del % de puzolana



a) HAP con puzolana



b) HAP sin puzolana

Figura 8 – Corte de especímenes elaborados con HAP.

5. - HORMIGÓN CON AGREGADO PRECOLOCADO APLICADO A COLUMNAS Y VIGAS.

Las dimensiones de las vigas y columnas que se utilizaron en este estudio fueron de 0.25 x 0.25 x 1 m. Los moldes fueron construidos de madera procurando que sean completamente herméticos para evitar posibles fugas del grout y que resistan a los empujes laterales [9]. El agregado grueso utilizado tanto en vigas como en columnas fue de 19 mm debidamente lavado y saturado antes de la colocación en los respectivos moldes. La colocación del agregado grueso se la efectuó en forma manual, la compactación se realizó mediante varillado para obtener un porcentaje de vacíos lo más bajo posible. Para la inyección del grout se utilizó una presión constante de 60 KPa. con un aforo de 2.52 L./min. Los accesorios colocados en los puntos de inyección constan de una válvula de media vuelta y neopros colocados, con el fin de que una vez inyectado el grout se cierre la válvula y avance al siguiente punto. El tipo de dosificación del grout utilizado para el efecto es mostrada en la tabla 5. Para la inyección del grout en el agregado precolocado se inicia en la parte más baja de la masa de agregado, y continúa el llenado del grout uniformemente hacia la parte superior de la masa de agregado como se indica en la figura 9.

Tabla 5 – Dosificaciones de Grout empleadas para la elaboración de vigas y columnas con HAP.

Elemento	W/(C+P)	Arena %	Fluidez	Resistencia a la compresión 7 días (MPa)	Densidad Kg./cm ³
Viga	0.62	150	28	200.75	2005
Columna	0.56	100	19	214.73	1989

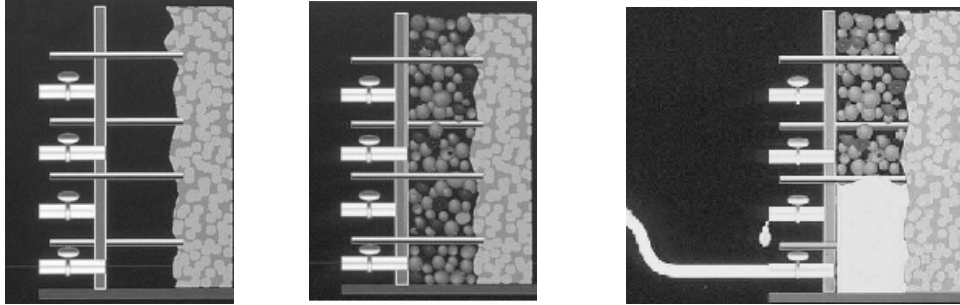


Figura 9 – Colocación del agregado grueso y llenado del grout. [10]

5.1. – Columnas.

Para el llenado de grout en las columnas se empleo el método de avance en pendiente [11]. Se realizaron dos puntos de inyección a una altura de 7 y 55 cm. A partir de la base de la columna, con un diámetro de 12.5 mm. El armado de la viga y puntos de inyección utilizados en las columnas se muestran en la figura 10 y 11 respectivamente.

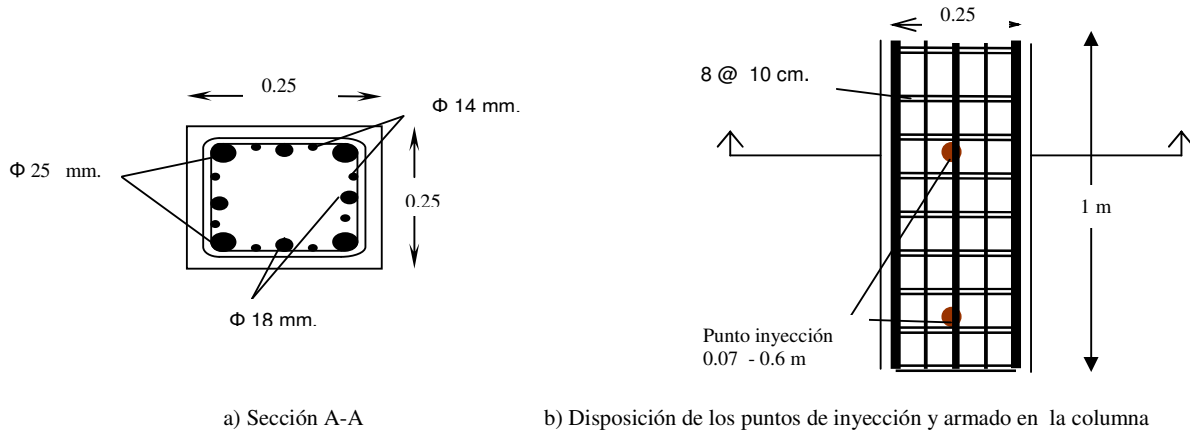


Figura 10 Armado de una columna y puntos de inyección para la inyección del grout



a) Armado de una columna b) Puntos de inyección del grout para la inyección en la columna

Figura 11 - Armado y inyección del grout en la columna

5.2. - Vigas.

En las vigas el método que se utilizó para el llenado del grout fue el avance horizontal [12]. Este método permite mantener el nivel del grout constante cuando tenemos secciones más largas que anchas. Para el efecto se colocaron dos puntos de inyección a una distancia de 0.30 y 0.60 m, a partir del extremo inferior tal como se muestra en la figura 12, a una altura de 7 cm de la parte inferior de la viga. Luego del llenado del agregado grueso en los moldes se enrasó y se cubrió con madera para tener una correcta distribución del grout a lo largo de la viga dejando dos orificios en la parte superior donde se adaptó una tubería para que una vez que se halla llenado completamente de grout fluya a través de estos. El armado de acero y la colocación del agregado grueso en las vigas se muestran en la figura 13.

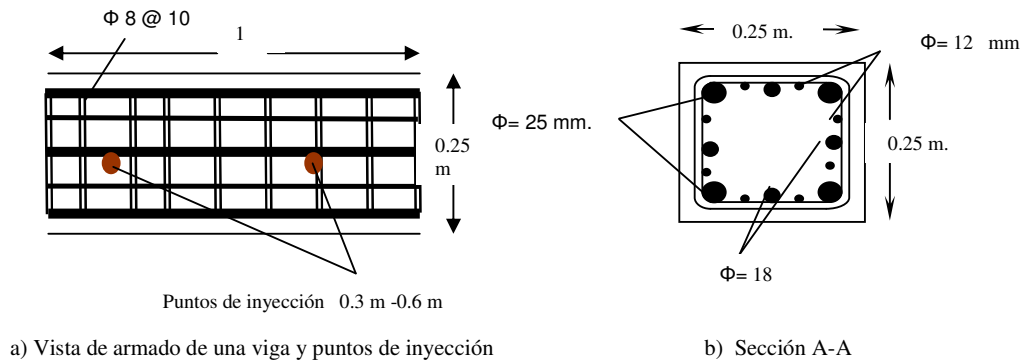


Figura 12 - Sección típica de una viga armada y puntos de inyección



a) Colocación del agregado grueso



b) Colocaron de los puntos de inyección en la viga

Figura 13 - Colocación del agregado grueso y puntos de inyección en una viga

5.3. - Ensayos para la determinación de la resistencia en vigas y columnas elaboradas con HAP.

Para la determinación de la resistencia en las vigas y columnas se procedió a la extracción de núcleos de hormigón con un diámetro de 10 x 20 cm. Se los ensayó a la edad de 28 días para las columnas y a 14 días en el caso de las vigas. Los resultados obtenidos se resumen en la figura 14. Se puede apreciar un pequeño descenso de la resistencia esto puede ser atribuido a las diferencias ambientales de curado. Cabe resaltar que un núcleo representa el 80 % de la resistencia del elemento analizado.

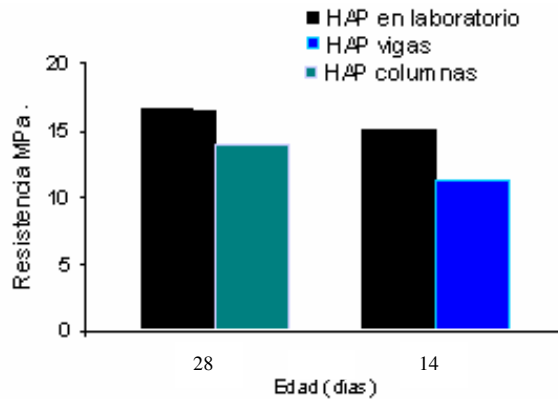


Figura 14 - Resistencia a la compresión de la viga y columna

6. - ANÁLISIS DE PRECIOS.

Se analizó el costo aproximado para la producción de 1 m^3 de HAP en condiciones locales. Los cálculos fueron basados de acuerdo a la mezcla de grout más eficiente en el HAP y el agregado utilizado, para lo cual se utilizó la mezcla con 5% de puzolana con un valor estimado de \$ 105, este valor es superior que al requerido para producir un 1 m^3 de un hormigón convencional de 21 MPa (\$ 83). El incremento de los costos del HAP se atribuye especialmente a las proporciones de cemento utilizadas en el grout y a los equipos requeridos para realizar la inyección del grout.

7. - CONCLUSIONES

Al término de esta investigación en la que se analizó la eficiencia del grout, la influencia de los distintos tamaños de agregados, las propiedades físicas, mecánicas y finalmente la utilización del HAP en elementos estructurales, podemos concluir lo siguiente

1. Un incremento de los tamaños de los agregados resulta en una reducción de la resistencia a la compresión del hormigón en el HAP.
2. Tiempos de fluidez menor a 22 seg. es ideal para la aplicación en tamaños de agregado menores a 19 mm que garantiza una óptima distribución dentro de los espacios vacíos del agregado
3. Para tiempos de fluidez mayor a 22 seg. el grout se puede utilizar con tamaños a 19 mm mayores de una forma satisfactoria
4. Cuando las mezclas de grout contienen puzolana son más fluidas permitiendo un eficaz llenado de los espacios vacíos presentes en el agregado, dando como resultado un ligero incremento de la eficiencia de la resistencia con respecto a las mezclas que no contienen puzolana.
5. Las mezclas de grout más eficientes en el HAP son las que contienen puzolana con un 62 % de eficiencia. Para lograr una resistencia en el HAP de 21 MPa. se necesitaría un grout de 33 MPa.
6. Cuando se utilizan relaciones W/C bajas incrementan la resistencia del HAP, lo que evita el sangrado del grout cuando es colocado en el agregado precolocado.
7. Se puede aplicar el HAP de una forma satisfactoria en la construcción y económica de elementos que no precisen de resistencias elevada.

8. - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1]. – Department of the Army, “Engineering and Design Grouting Technology” U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000 EM 1110-2- 3506
- [2]. - ACI Committee 304 R-92, “Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications”, , American Concrete Institute.
- [3]. - US Bureau of Reclamation. “Guide to Concrete repair”, 1996
- [4]. - REMR TN CS-MR-9.4 “Specialized Repair Technique Preplaced-Aggregate Concrete”
- [5]. - Edward G. Navy, “Concrete Construction Engineering Handbook” CRC Press, 26 Sep 1997.
- [6]. – Valdivieso, Luis y Valarezo Marlon F., “Diseño Óptimo De Lechada De Relleno (Grout) Para Ser Utilizada En La Construcción De Vigas Y Columnas Con Agregado Precolocado”, U.T.P.L., 2006
- [7]. - ASTM C 943 – 02 “Standard Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory”, ASTM International.
- [8]. - ASTM C 39/C 39M “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, ASTM International.
- [9]. - Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center, “Standard Specifications For Repair Of Concrete”, United States of America, August 1 996.
- [10]. - ACI Committee E 706, “Spall Repair by the Preplaced Aggregate Method”, 2005
- [11]. -Department of the Army U.S., “Standard Practice For Concrete For Civil Works Structures.” Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, 1 February 1994.
- [12]. - WARNER James, Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock and Structures, John Willey & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2 004.