

Influencia de la incorporación de desechos de finos de perlita en los Hormigones Autocompactantes Coloreados (HACC)

Autores: Artigas, Verónica¹; Cortez, Franco²; Positieri, María Josefina³ y Quintana, María Virginia⁴

(1) INIQUI-CONICET, Facultad de Ingeniería - UNSa, veroniccaartigas6@gmail.com

(2) Facultad de Ingeniería - UNSa, franco6cortez@gmail.com

(3) Universidad Tecnológica Nacional – FRC, mpositieri@gmail.com

(4) INIQUI-CONICET, Facultad de Ingeniería - UNSa, vquintan@unsa.edu.ar

RESUMEN: Al diseñar un Hormigón Autocompactante Coloreado (HACC) es fundamental considerar las respuestas de las distintas combinaciones de materiales constituyentes. El primer paso en su diseño es el análisis de pastas de cemento, verificando la respuesta del cemento y los demás materiales finos (adiciones y pigmentos), combinados con el agua y los aditivos. Este trabajo abarca el estudio de pastas de cemento para el diseño de HACC, con la incorporación de perlita cruda finamente molida como filler y pigmentos de óxido de hierro. La perlita es una roca de origen volcánico utilizada principalmente en la industria de la construcción, se extrae en numerosas canteras en San Antonio de los Cobres, Salta. Al ser procesada, se obtienen desechos de este material que impactan negativamente en el medio. Por ello, la posibilidad de incorporar estos residuos en mezclas de hormigones implica una contribución a la sustentabilidad del ambiente. Particularmente, en este trabajo se presentan resultados del estudio de la fluidez y su variación en el tiempo de pastas con diferentes dosificaciones. Los parámetros analizados son el contenido de cemento, de perlita y de pigmento. La caracterización en estado fresco se realiza mediante los ensayos de cono de Marsh y mini-slump.

ABSTRACT: It is essential take into account the different constituent materials combination responses when design a Colored Self-compacting Concrete (C-SCC). The cement pastes analysis is the first step in its design, verifying the cement and other fine materials (additions and pigments) response combined with water and additives. This paper it is about the cement pastes study for the C-SCC design, with the incorporation of finely ground raw perlite as filler and pigments of iron oxide. Perlite is a volcanic rock used mainly in the construction industry, it is extracted in numerous quarries in San Antonio de los Cobres, Salta. When it is processed, generates mineral waste that affect negatively into environment. Therefore, the possibility of incorporating these residues into concrete mixtures implies a contribution to the environment sustainability. Particularly, in this paper, the fluidity studies results and its variation in the time of pastes with different dosages are presented. The parameters analyzed are the cement, pearlite and pigment content. Fresh characterization was carried out using the Marsh cone and mini-slump tests.

Palabras claves: Hormigón autocompactante coloreado, Adiciones, Perlita

Keywords: Colored self-compacting concrete, Additions, Perlite

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Hormigón Autocompactante (HAC)*

El Hormigón Autocompactante (HAC) se ha definido como "aquel que es capaz de fluir en el interior de los encofrados, pasar a través de las armaduras de refuerzos, llenar completamente el molde, logrando la compactación solamente por la acción de su propio peso"; sin segregación. (Okamura, 1997)

Como expone Tobes (2009), en estado fresco este hormigón presenta una alta fluidez y una moderada viscosidad para asegurar la estabilidad del conjunto. Para alcanzar estas propiedades es indispensable la utilización de aditivos superfluidificantes y un contenido de finos mayor al de un hormigón convencional. Es por ello que se plantea la incorporación de finos de perlita (denominados FP) en la mezcla.

1.2 *Hormigón Coloreado (HC)*

Como menciona López (2007) los avances en el diseño del hormigón han dado lugar a nuevas aplicaciones estructurales y arquitectónicas que se suman a las tradicionales. Entre ellas se destaca la incorporación de color al hormigón y otros materiales elaborados con cemento portland; su empleo en elementos premoldeados, pisos y ornamentaciones permite lograr una mayor integración de las construcciones con el medio circundante.

A través de un diseño adecuado, utilización de productos cuya calidad esté convenientemente comprobada, y mano de obra con la debida experiencia, se puede conseguir resultados verdaderamente extraordinarios en la utilización del Hormigón Coloreado. (Carvalho, 2002)

1.3 *Hormigón Autocompactante Coloreado (HACC)*

El desarrollo del Hormigón Autocompactante Coloreado (HACC) abre nuevos campos de aplicación al HAC, ya que agrega alternativas atractivas para diseños arquitectónicos desafiantes en términos de forma y color, a las ya versátiles características estéticas del concreto tradicional coloreado. Además de las ventajas de fluidez y capacidad de llenado del HAC, el HACC amplía los aspectos estéticos de una variedad de texturas y colores. (Corinaldesi, 2012)

La complejidad y diversidad de los materiales componentes del HACC y la necesidad de optimizar su diseño, justifican un procedimiento de diseño por etapas aplicando el concepto de material compuesto (pastas, morteros y hormigones).

Según Tobes (2009) las experiencias sobre pastas se suelen aplicar para verificar la compatibilidad entre cementos, adiciones minerales y aditivos químicos, propiciando la selección entre los diversos materiales disponibles en base al estudio de la fluidez y su variación en el tiempo. Además, este primer paso de estudio de pastas de cemento resulta fundamental desde el punto de vista económico, ya que en las pastas se conjugan los componentes más costosos en la elaboración de hormigones.

1.4 *La Perlita*

La perlita es una roca de origen volcánico formada, principalmente, por silicatos, presentes en la mayor parte de la corteza terrestre. Su fuente de materia prima es abundante.

Las perlitas tienen la propiedad de expandirse por calor aumentando hasta veinte o más veces su volumen. Esta expansión la convierten en un material muy liviano por estar formado por burbujas de aire envueltas en vidrio y a la vez resistente por su naturaleza silícea. Esta particularidad de convertirse en vidrios inflados le otorga cualidades especiales, únicas, en cuanto a su estabilidad química y resistencia física, que la hacen un material valioso en numerosos usos y aplicaciones. Entre estas propiedades se encuentra la inercia química y su buen comportamiento como material acústico, térmico e ignífugo; por lo cual es utilizada en la industria de la construcción, sobre todo como aislante, uso en el que demuestra un rendimiento superior a los aislantes tradicionales.

La Puna Argentina es una región eminentemente volcánica y en ella se han encontrado numerosas coladas y domos de vidrio que se han perlitizado. En Salta se encuentran 9 de las 10 canteras que existen en Argentina, lo que la convierte en la mayor productora de América Latina. En San Antonio de los Cobres más precisamente se sitúan numerosas canteras de extracción de perlita, la cual es sometida a un proceso mecánico para llevar la roca a un tamaño más pequeño para poder transportarlo a la planta procesadora, esto

produce desechos del mineral llamados “finos de perlita”. (Artigas, 2016)

En una de las canteras ubicadas en el departamento de San Antonio de los Cobres, se tiene una producción de 100tn de perlita granulada sin expandir por mes. El 20% de esa producción es polvo de desecho propio del proceso de trituración de la roca.

Tabla 1. Composición química de los finos de perlita.

Compuesto	%
Si	30 - 36
Al	6 - 8
Fe	0 - 1
Ca	0 - 1
Mg	0 - 1
Na	2,5 - 5
K	2 - 4
Sulfato	exenta
O2	44,5 - 47,5
H2O	3 - 5

En cuanto a la composición química la perlita es un mineral de origen volcánico compuesto principalmente por óxido de silicio y de aluminio. (Cardozo, 2015) En la Tabla 1 se muestra la composición química de los finos de perlita empleados en la elaboración de pastas en este trabajo.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Se empleó cemento Pórtland compuesto (CPC 40, densidad 3,10), adición de perlita finamente molida (partículas menores a 0,075 mm, densidad 2,64), pigmentos a base de óxido de hierro (amarillo densidad 4,54 y rojo densidad 4,54) y aditivo superfluidificante a base de policarboxilatos (contenido sólido 35%).

Se analizó la fluidez y su variación en el tiempo de diferentes pastas, en las cuales las variables fueron el contenido de cemento, de adición mineral y la dosis de aditivo.

Se elaboró una pasta patrón (sin contenido de perlita ni pigmento), con relación agua/cemento de 0,4. Luego, se elaboraron pastas con relaciones

perlita/cemento iguales a 0,10; 0,15 y 0,20 (denominadas P10, P15 y P20) y pastas con pigmentos (A6 con pigmentos amarillos y R6 con pigmentos rojos). A continuación se mezclaron pigmentos y perlita en la misma pasta, obteniéndose seis combinaciones (P10-A6, P15-A6 y P20-A6 por un lado y P10-R6, P15-R6 y P20-R6 por el otro).

En la Tabla 2 se resume cuáles fueron los materiales componentes de cada dosificación. El símbolo “+” hace referencia a los componentes presentes en la pasta y el símbolo “-” a los ausentes.

Cabe destacar que en todos los casos la relación agua/cemento se mantuvo constante en 0,4. En cuanto a la dosis de pigmento adicionada, según lo expuesto por Positieri (2005) la dosificación de los pigmentos se realiza en porcentaje del peso de cemento para un metro cúbico de hormigón. A medida que se incrementa el porcentaje de pigmento la intensidad del color obtenido aumenta hasta llegar a un punto de saturación, a partir del cual si se emplea mayor contenido de pigmento la intensidad del color permanece prácticamente constante. De acuerdo a la bibliografía consultada dicho punto de saturación ronda los 6% en relación al peso del cemento, por lo tanto se tomó esta dosis en todos los casos.

La dosis de aditivo superfluidificante empleada en cada caso dependió de lo necesario para alcanzar valores satisfactorios en los ensayos y de la observación o no de segregación en la mezcla. Siempre se incorpora como porcentaje del peso del cemento.

Tabla 2. Materiales componentes de cada pasta.

Pastas	Cemento	FP	Pigmento		SF
			Amarillo	Rojo	
PP	+	-	-	-	+
P10 / P15 / P20	+	+	-	-	+
A6	+	-	+	-	+
R6	+	-	-	+	+
P10-A6 / P15-A6 / P20-A6	+	+	+	-	+
P10-R6 / P15-R6 / P20-R6	+	+	-	+	+

Es importante mencionar también que los finos de perlita (FP) empleados en la elaboración de las pastas fueron previamente secados en estufa a 105°C durante 24 horas.

2.2 Mezclas

En primer lugar se homogenizaron los finos de perlita con los pigmentos y el cemento, por aparte se mezcló el agua con el aditivo superfluidificante. Luego se combinaron ambas partes, mezclando mecánicamente durante cinco minutos, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación: 2 minutos a velocidad lenta, 1 minuto a velocidad rápida, 1 minuto de reposo (durante el cual se quita la pasta adherida a los bordes del recipiente contenedor) y 1 minuto a velocidad rápida.

Luego de finalizado el procedimiento de mezclado se procedió a realizar los ensayos de cono de Marsh y mini-slump, para los tiempos de 6, 30, 60 y 90 minutos (considerando tiempo cero el momento en el que se ponen en contacto el cemento con el agua de amasado), evaluando de esta manera la variación de los parámetros en el tiempo.

2.3 Ensayos sobre pastas en estado fresco

Gomes (2002) propone el uso de dos métodos para la dosificación de las pastas: cono de Marsh y mini-slump. El primero tiene el objetivo de determinar la compatibilidad entre el superfluidificante (SF) y el cemento. El punto de saturación se determina cuando el aumento en la dosificación de SF no provoca ninguna mejora considerable adicional en la fluidez de la pasta. El ensayo de mini-slump fue desarrollado por Kantro (1980) con el objetivo de obtener el contenido óptimo de finos en la pasta.

El ensayo de cono de Marsh consiste básicamente en llenar dicho cono con 1000 ml. de mezcla, dejarla fluir y medir el tiempo (t) que tarda en pasar cierta cantidad de material (300 ml. en este caso) por la boquilla inferior del cono. Se realiza esta operación dos veces y se promedian los resultados obtenidos. Se informa el logaritmo del tiempo medido, ya que facilita el análisis de los resultados en forma gráfica.

Para el ensayo de mini-slump se rellena el molde estandarizado con la pasta, se enrasa y luego se lo levanta, dejando que la pasta se extienda por la sola acción de la gravedad. El resultado del

ensayo queda determinado por el promedio de dos lecturas del diámetro final alcanzado medido en direcciones ortogonales (Df), y por el tiempo que tardó la pasta en alcanzar un diámetro de 115 mm (T115).

De acuerdo con Gomes (2002) los valores considerados satisfactorios son: diámetro de extendido (Df) de 180 mm \pm 10 mm y tiempo T115 de 3 seg \pm 1 seg.

3 RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Cono de Marsh

De acuerdo a los valores obtenidos en este ensayo, se determinaron las dosis de saturación para cada una de las pastas, las cuales se presentan en la Tabla 3. Se tuvo en cuenta la dosis de aditivo superfluidificante a partir de la cual no se observaban cambios importantes en las propiedades en estado fresco de las mezclas y la presencia o no de segregación en las mismas.

En primer lugar puede observarse claramente que tanto la incorporación FP como de pigmentos en las mezclas generan un incremento en la dosis de saturación.

Tabla 3. Dosis óptimas de SF.

Pasta	Dosis Óptima
PP	0,55%
P1	0,60%
P2	0,65%
P3	0,70%
A6	0,65%
R6	0,70%
P10-A6	0,85%
P15-A6	1,00%
P20-A6	1,15%
P10-R6	0,75%
P15-R6	0,90%
P20-R6	0,90%

Al comparar la pasta patrón con las pastas que contienen perlita, se observa que al incorporar perlita en una relación P/C = 0,10 la dosis óptima se eleva en un 9%, para P/C = 0,15 el incremento es del 18% y para P/C = 0,20 es del 27%.

Entonces, se presenta una variación lineal de la dosis con el agregado de finos de perlita.

Comparando ahora el patrón con las pastas con pigmentos de óxido de hierro podemos ver que el pigmento amarillo genera la necesidad de una dosis de saturación un 18% superior mientras que el pigmento rojo de un 27%.

Considerando la incorporación simultánea de perlita y pigmento amarillo en la mezcla, vemos que la necesidad de superfluidificante se eleva considerablemente, un 10% de perlita en la mezcla provoca un aumento del 55% en la dosis óptima comparada con el patrón, un 15% un incremento del 82% y un 20% ya produce una suba del 109% en la cantidad necesaria de SF.

Analizando las pastas con contenido tanto de FP como de pigmento rojo en comparación con la pasta PP, se observa que el requerimiento de superfluidificante para alcanzar la saturación se eleva en un 36% para la pasta P10-R6 y en un 64% tanto para la P15-R6 como para la P20-R6.

El motivo por el cual tanto la incorporación de FP como de pigmentos en la mezcla originan un incremento en la dosis óptima de SF, puede deberse al hecho de que ambas adiciones absorben agua en un grado significativo. Por el lado de la perlita, en trabajos previos se realizó el ensayo de requerimiento de agua de esta adición según la norma IRAM 1654-1, obteniéndose un índice de requerimiento de agua de aproximadamente el 95%.

En cuanto a los pigmentos, Barrera (2002) expone que los porcentajes indicativos de absorción de agua de los óxidos rojos están entre 22 – 34% y de los óxidos amarillos entre 26 – 80%. Lo dicho explica el motivo por el cual la incorporación de pigmento amarillo genera una dosis de saturación superior en comparación con las pastas con contenido de pigmento rojo. Además, como menciona Positieri (2005) fotos de microscopias revelan que las partículas de pigmentos de óxido de hierro amarillo tienen forma de agujas y las partículas de óxidos de hierro rojo tienen una forma cúbica a esférica, lo cual contribuye a explicar que las pastas coloreadas amarillas requieran mayores dosis de SF.

En cuanto a la variación en el tiempo de los valores obtenidos para este ensayo podemos afirmar que se reduce con la incorporación de FP en la mezcla. Mientras que al agregar pigmentos no se observaron modificaciones en la variación de la fluidez en el tiempo con respecto a la pasta patrón.

3.2 Mini-slump

Los resultados obtenidos para este ensayo se grafican en la Figura 1 y corresponden a las pastas con dosis óptimas en cada caso. En la Figura 2 se observan extendidos de pastas con y sin contenido de pigmento.

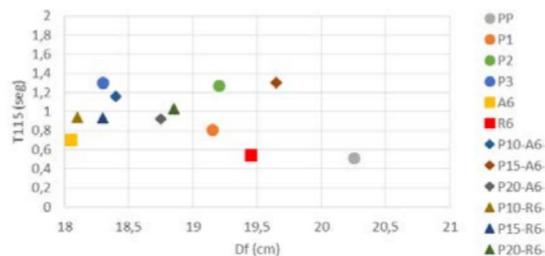


Figura 1. Resultados del ensayo de Mini-slump.

Se observa que el punto de saturación de la mayoría de las mezclas no coincide con los valores de diámetro de extendido ni de tiempo T115 considerados satisfactorios para pastas autocompactantes. Por este motivo se considera que se deberían ajustar las dosificaciones o considerar el empleo de un aditivo superfluidificante diferente. Sin embargo, las pastas con contenido de perlita y pigmentos (tanto amarillos como rojos) presentaron valores óptimos de Df (salvo en el caso de la P15-A6). El tiempo T115 resultó insatisfactorio en todos los casos.



Figura 2. Extendido sin pigmento, con pigmento amarillo y con pigmento rojo.

Se observa que el punto de saturación de la mayoría de las mezclas no coincide con los valores de diámetro de extendido ni de tiempo T115 considerados satisfactorios para pastas autocompactantes. Por este motivo se considera que se deberían ajustar las dosificaciones o considerar el empleo de un aditivo superfluidificante diferente. Sin embargo, las pastas con contenido de perlita y pigmentos (tanto amarillos como rojos) presentaron valores óptimos de Df (salvo en el caso de la P15-A6). El

tiempo T115 resultó insatisfactorio en todos los casos.

Con mínimas modificaciones en la dosis de aditivo superfluidificante se podrían alcanzar valores óptimos para las pastas P10-A6 y P20-R6, que representarían un reemplazo del cemento empleado del 10 y del 20% respectivamente.

El ensayo de mini-slump también demostró que al incorporar perlita en la mezcla disminuimos la variabilidad de los resultados con el tiempo y que la incorporación de pigmentos no altera dicha variabilidad.

4 CONCLUSIONES

Se analizó el efecto en estado fresco de la adición de finos de perlita en pastas cementicias autocompactantes coloreadas con pigmentos a base de óxido de hierro amarillo y rojo.

El ensayo de cono de Marsh permitió ver que al incorporar perlita se incrementó la dosis de aditivo superfluidificante necesaria para alcanzar la saturación, lo cual puede deberse a la mayor absorción de agua de mezclado por parte de este material fino. Adicionar perlita aumenta la viscosidad plástica de la mezcla.

El ensayo de mini-slump no muestra variaciones significativas en los resultados entre la pasta patrón y las pastas con incorporación de pigmentos y de FP, por lo tanto la cohesión no se modifica significativamente con dichas adiciones. Con ciertas modificaciones en la dosificación se pueden obtener mezclas con una viscosidad y fluidez aceptables para autocompactantes, en el caso de FP y pigmento amarillo hasta un 10% de reemplazo de perlita por cemento y en el caso de FP y pigmento rojo hasta un 20% de reemplazo.

En todos los casos la incorporación de FP en la mezcla disminuye la variabilidad de las propiedades en estado fresco de las pastas autocompactantes coloreadas a lo largo del tiempo.

Es viable la incorporación de FP en pastas autocompactantes coloreadas desde el punto de vista de las propiedades en estado fresco, ya que producen un efecto positivo en la cohesión y no modifican sustancialmente el resto de dichas propiedades. Es importante recalcar que se está empleando un desecho de la industria minera y de esta manera contribuyendo con la sustentabilidad del medioambiente.

Se plantea continuar con el estudio de la perlita como reemplazo de parte del cemento en los hormigones autocompactantes coloreados.

5 BIBLIOGRAFIA

- Artigas V., Cortez F., Burgos L., Cardozo H. y Sastre M. (2016). "Diseño de pastas autocompactantes con adición de finos de perlita". VII Congreso Internacional 21^a Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- Barrera, H.; Anabalon, A. y Gutierrez, S. (2002). Hormigones decorativos. Universidad de Santiago de Chile
- Cardozo, H. J.; Sastre, M. I.; Artigas, V. F.; Cortez, F. R. y Burgos, L. R. "Dosificación de hormigones autocompactantes con adiciones activas de la región". (2015). X Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA.
- Carvalho, F. y Calavera, J. "Estabilidade colorimétrica e influência da incorporaçã de pigmentos em concretos submetidos a diferentes estados de exposiçã ambiental" (2002). Instituto Brasileiro do Concreto - 44^o Congresso Brasileiro.
- Corinaldesi, V.; Monosi, S. y Ruello, M. L. (2012). "Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC". Construction and Building Materials.
- Gomes PCC. Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete. Barcelona, Espanha, Ph.D thesis. Universitat Politècnica da Catalunya (2002) p. 139.
- Kantro DL. Influence of water reducing admixtures on properties of cement pastes – a miniature slump test. Cem Concr Aggr (1980); 2: 95–102.
- Lopez, A.; Tobes, J.M.; Positieri, M. y Zerbino, R. (2007). "Medición del color en materiales a base de cemento portland". Ciencia y Tecnología del Hormigón N° 14 - Año 2007.
- Okamura H., 1997. "Self-Compacting High-Performance Concrete", Concr. Intl., Vol. 19.
- Positieri, M. "Propiedades físico-mecánicas y durabilidad del hormigón coloreado" Tesis doctoral. (2005)
- Tobes, J. M. "Hormigones autocompactantes simples y reforzados con fibras: diseño, caracterización y aplicaciones". Tesis doctoral. (2009).