

# Hormigones coloreados sustentables: Propiedades y durabilidad

## Sustainable colored concrete: Properties and durability

Presentación: 00/00/0000

Doctorando:

**Verónica Fernanda Artigas**Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba / Universidad Nacional de Salta  
veronicaartigas6@gmail.com

Director/es:

**Maria Josefina Positieri****Maria Virginia Quintana**

### Resumen

La perlita es una roca de origen volcánico, cuya propiedad sobresaliente es la de expandirse cuando es sometida a la acción del calor aumentando hasta veinte veces su volumen. Expandida, es utilizada principalmente en la industria de la construcción como aislante térmico y acústico. Durante el proceso de fraccionamiento de la misma se producen desechos del mineral llamados “finos de perlita”. Este trabajo abarca el estudio de hormigones autocompactantes coloreados (HACC) con la incorporación de finos de perlita (FP), planteando distintas dosificaciones con el fin de analizar las propiedades en estado fresco y endurecido de los hormigones para definir si es viable su uso como reemplazo de parte del cemento en la mezcla.

Palabras claves: HACC, Perlita, Sustentabilidad.

### Abstract

Perlite is a volcanic origin rock, whose outstanding property is to expand when subjected to the action of heat, increasing its volume up to twenty times. Expanded, it is used mainly in the construction industry as thermal and acoustic insulation. During its fractionation process mineral waste called "perlite fines" is produced. This work covers the study of colored self-compacting concrete (C-SCC) with perlite fines (PF) incorporation, different mixtures development is proposed in order to analyze concrete fresh and hardened state properties to define if its use is feasible as a replacement of a cement part in the mixture.

Keywords: SCCC, Perlite, Sustainability.

### Introducción

El hormigón es el material más utilizado, tanto para construcciones estructurales como no estructurales. Ya en el s. III A.C, los romanos utilizaban el hormigón para puentes, cúpulas, paredes, puertos, calles y sistemas de drenaje y canalizaciones de agua. Sin embargo, se trataba de un hormigón diferente del que conocemos en la actualidad, pero aun así, las reacciones químicas básicas eran similares y también las materias primas utilizadas entonces eran parecidas, aunque en la actualidad como es de esperar, el avance en las tecnologías lleva a considerar los llamados hormigones especiales. Y por otro lado a partir del informe Brundtland de 1987 de la ONU, se incorpora fuertemente el concepto de sustentabilidad. Que en el caso de los elementos constructivos se traduce en hormigones sustentables.

Considerando los materiales componentes del hormigón, en el caso del cemento existen actualmente diferentes clases y tipos y consecuentemente se abren muchas posibilidades de la aplicación eficaz de los mismos en las mezclas cementíceas.

Las características de las propiedades del hormigón, fácil de mezclar, transportar, colocar, con buenas propiedades mecánicas en estado endurecido, que no requiere demasiado mantenimiento lo convierten en un material económico y un material de construcción de amplio uso en el ámbito mundial.

La elaboración del hormigón conlleva un importante consumo de recursos naturales y de energía, además de ocasionar residuos. Dentro de los materiales constituyentes del hormigón, la elaboración del clinker de cemento Portland es la que mayor emisión de CO<sub>2</sub> produce, entre 730 y 990 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de material procesado, Battelle (2002). La búsqueda de la disminución del CO<sub>2</sub> para disminuir la contaminación ambiental al fabricar el cemento, conlleva la utilización de herramientas tecnológicas que permiten consumir menos clinker. Aparecen así los hormigones con adiciones activas y no activas, que mejoran aspectos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

Por otra parte surgen necesidades de entorno vivencial más agradables y una de las maneras es darle color a los elementos constructivos, ya sea solados, bloques, hormigones. Una de las formas de lograrlo es utilizando el color. Esto ha conducido a la aparición del Hormigón Coloreado (HC).

Además, la filosofía actual de un presente y un futuro sustentable plantea la problemática de obtener hormigones con bajo contenido de cemento, con la adición de finos activos y, coloreados a través de pigmentos. Y que satisfagan las condiciones de trabajabilidad y resistencia mecánica con durabilidad aceptable.

En este marco se proponen dosificaciones de hormigones autocompactables coloreados (HACC) utilizando finos de perlita, que son residuos de proceso de la industria minera en la zona de San Antonio de los Cobres (Salta – Argentina) en reemplazo de una parte del contenido de cemento.

Las aplicaciones de este hormigón podrán estar destinadas a pisos (plazas, peatonales, playas de estacionamiento, naves de taller y pavimentos en general), también a la industria de los pre moldeados, y además como hormigón estructural en elementos vistos de edificios con alto valor arquitectónico.

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. En este sentido, se plantea la realización de ensayos sobre pastas y hormigones.

En estado fresco se abarcará la realización de los ensayos Cono de Marsh y Mini-slump a nivel de pastas, mientras que a nivel hormigones se efectuarán los ensayos de escurrimiento, escurrimiento con anillo japonés, caja en L, embudo en V y peso unitario. En estado endurecido, a nivel de hormigones se evaluará el color, se realizarán ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas, módulo de elasticidad, succión capilar, absorción, carbonatación y abrasión.

## Metodología

Caracterización de los materiales a utilizar:

- Cemento: se utilizará cemento Portland CPC40 de procedencia local. Caracterización química. Determinación de densidad (IRAM 1624) y superficie específica (IRAM 1623).
- Finos de perlita: Determinación de densidad, pasante del tamiz N° 200, superficie específica (IRAM 1623), composición química, índice de actividad puzolánica con cemento portland y con cal y requerimiento de agua (IRAM 1654), método de ensayo de la puzolanidad para los cementos puzolánicos (IRAM 1651), contracción por secado (IRAM 1761).
- Pigmento: se utilizarán pigmentos inorgánicos, de dos colores distintos. Los pigmentos son a base de óxidos de hierro. Determinación de densidad, superficie específica (Blaine) y composición química. Ensayos según ASTM C 979.
- Agregados finos: Granulometría (IRAM 1505), módulo de finura (IRAM 1505), densidad condición sss (IRAM 1520) y absorción (IRAM 1520).
- Agregados gruesos: Granulometría (IRAM 1505), módulo de finura (IRAM 1505), densidad (IRAM 1533), P.U.S. (IRAM 1548), P.U.C. (IRAM 1548), contenido de espacios vacíos (IRAM 1548) y absorción (IRAM 1533).
- Superfluidificante: Determinación de residuo sólido.

Compatibilidad de cemento y aditivos:

- Dosificación de pastas con distintos porcentajes de finos de perlita (relación perlita/cemento de 0,10; 0,15 y 0,20).
- Ensayos en estado fresco sobre las pastas para determinar el porcentaje de aditivo para la dosis óptima: Cono de Marsh y Mini-Slump.

Dosificación de los hormigones: Se plantean doce familias de hormigones.

Ensayos de hormigones en estado fresco: Densidad y contenido de aire del Hormigón Fresco (IRAM1562), extendido o asentamiento (según corresponda), extendido con Anillo Japonés, caja L y embudo en V.

Ensayos de hormigones en estado endurecido: Medición y evaluación del color a 28, 90 y 180 días, resistencia a compresión a 7, 28, 90 y 180 días (IRAM 1546), módulo de elasticidad a 28, 90 y 180 días (ASTM C 469), capacidad de succión capilar y velocidad de succión capilar a 28 días (IRAM 1871), penetración del agua a presión a 28 días (IRAM 1554), conductividad térmica a 28 días, ultrasonido a 28 días, absorción total a 360 días (ASTM C642), abrasión a 360 días, carbonatación a 720 días, contracción por secado (IRAM 1597).

## Resultados

En cuanto a la caracterización de los materiales a utilizar, solamente mencionaremos los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre los finos de perlita (FP), ya que los ensayos realizados sobre el cemento, los pigmentos y los agregados son rutinarios y los resultados obtenidos estuvieron siempre dentro de los límites esperados.

- Densidad FP: 2.230 kg/m<sup>3</sup>
- Superficie específica FP: 52.800 m<sup>2</sup>/gr
- Requerimiento de agua FP: 95.4%
- Composición química de FP por difracción de rayos X (Figura 1 y Tabla 1)
- Microscopía electrónica de barrido de FP (Figura 2)
- Contracción por secado FP: -0,077%
- Coeficiente de puzolanicidad por Frattini de FP: 1,17 a los 8 días y 1,05 a los 15 días

En cuanto a las dosificaciones de pastas, 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.

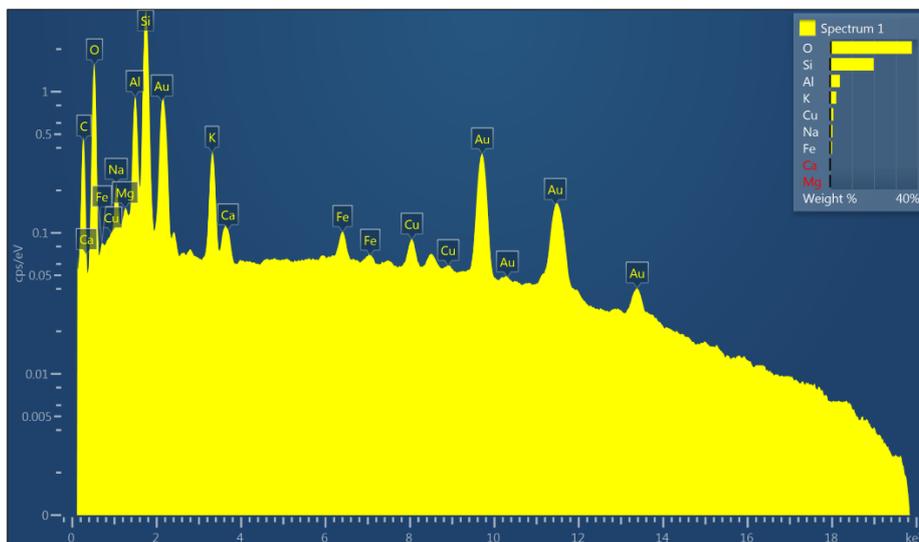


Figura 1 – Gráfico composición del material FP

Elemento	Concentración Aparente
O	17.63
Na	0.73
Mg	0.13
Al	3.37
Si	15.47
K	2.40
Ca	0.29
Fe	0.77
Cu	1.18

Tabla 1 - Composición semi-cuantitativa (EDS) de los FP

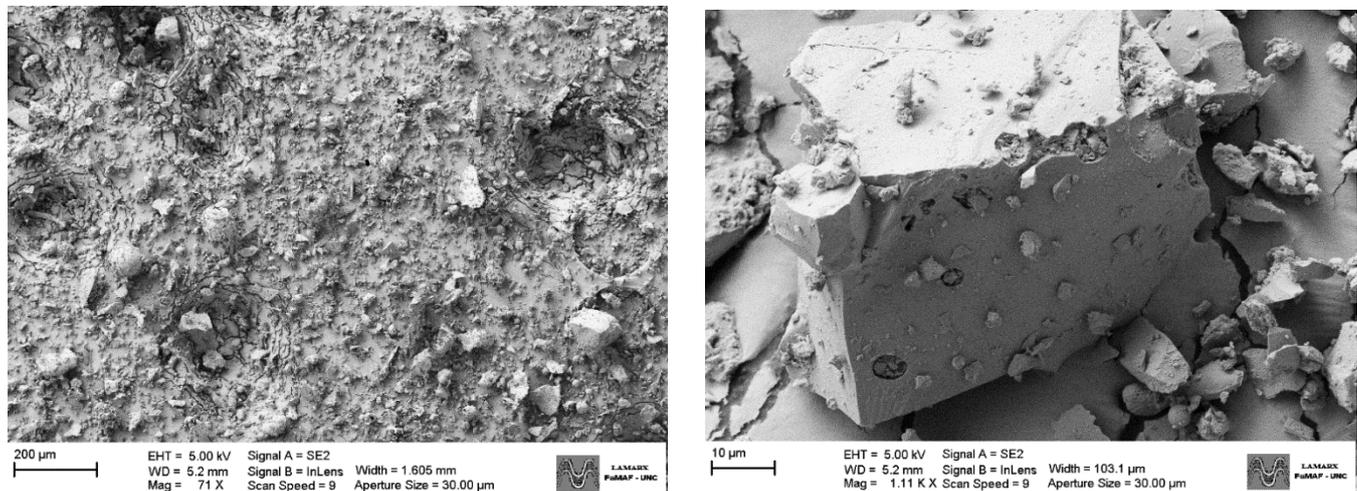


Figura 2 - Imagen mediante SEM de los cristales laminares de clinoptilolita-Na

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.

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	+	+	-	+	+

Tabla 2 - Dosificaciones de las pastas cementicias

De acuerdo a los valores obtenidos en el ensayo de cono de Marsh, se determinaron las dosis de saturación para cada una de las pastas, las cuales se presentan en la Tabla 3. Los resultados del ensayo de mini-slump obtenidos se grafican en la Figura 3 y corresponden a las pastas con dosis óptimas en cada caso.

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%

Tabla 3 - Dosis óptimas de aditivo

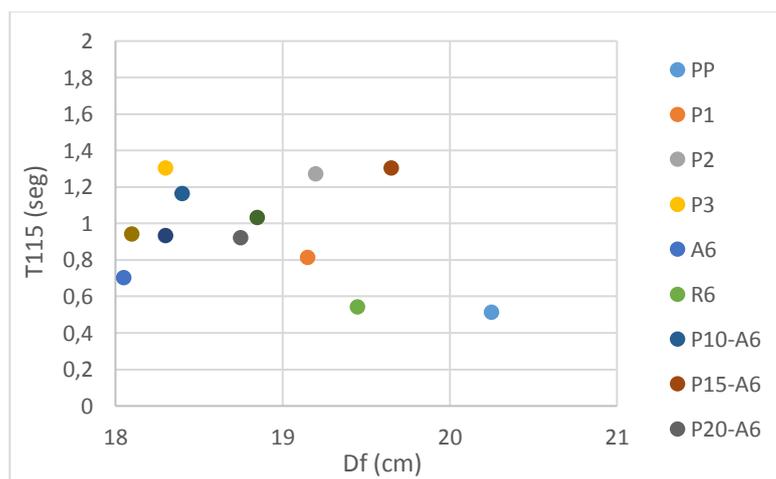


Figura 3- Resultados del ensayo de Mini-slump

Para la elaboración de los hormigones se consideró un hormigón patrón, tres hormigones con contenido creciente de finos de perlita (10, 20 y 30% en reemplazo del cemento), un hormigón solo con pigmento amarillo, otro solo con pigmento rojo y seis hormigones donde se combinaron los pigmentos y los FP. En todos los casos se mantuvo constante la relación agua/material fino en 0,45, el porcentaje de pasta en 50% y el porcentaje de agregado grueso en 35%. La dosis de aditivo superfluidificante fue la necesaria para alcanzar la fluidez buscada en cada caso.

Hormigones	HP	P10	P20	P30	A	R	P10-A	P20-A	P30-A	P10-R	P20-R	P30-R
Finos de perlita	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Pigmento amarillo	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-
Pigmento rojo	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+

Tabla – Dosificaciones de los hormigones

A continuación se presentan los resultados obtenidos en estado fresco para los hormigones elaborados. La Figura 3 muestra el gráfico de los valores de diámetro de extendido obtenido con y sin anillo japonés. La Figura 4 muestra la relación H2/H1 del ensayo de Caja en L y la Figura 5 muestra los tiempos de pasaje por el embudo en V.

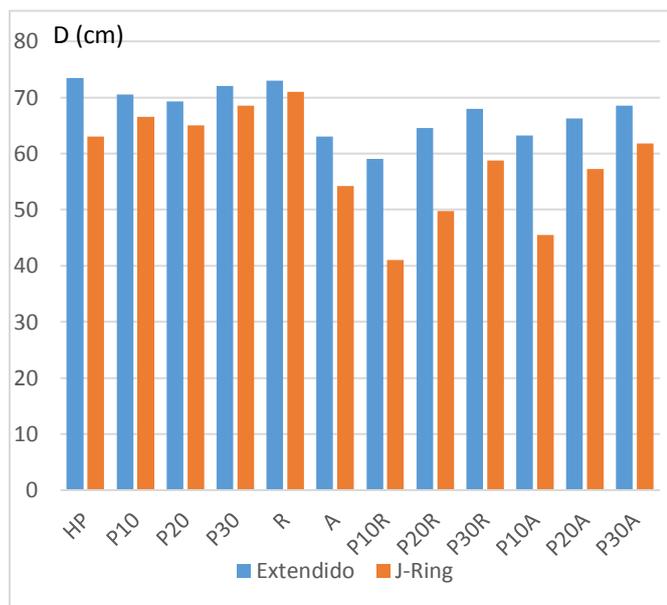


Figura 3 – Resultados ensayos de extendido y J-ring

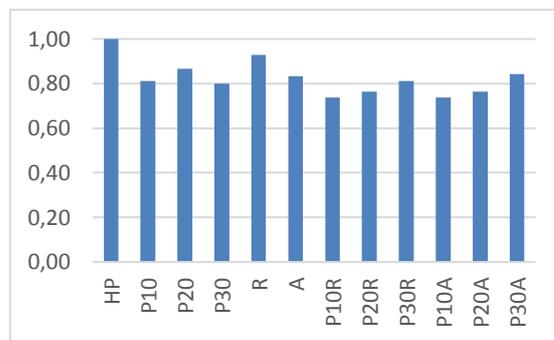


Figura 4 – Resultados relación H2/H1 del ensayo de Caja en L

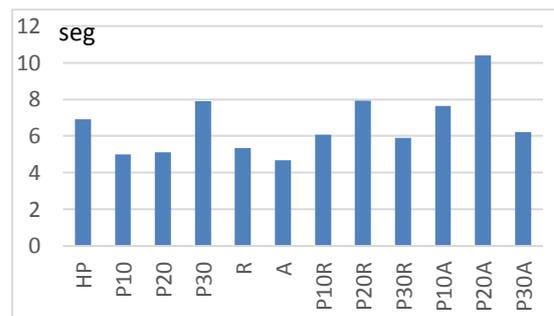


Figura 5 – Resultados tiempo de paso por Embudo en V

De acuerdo a la clasificación de HAC según el diámetro de extendido casi todos los hormigones están dentro del SF2 (660 – 750 mm) de aplicación en la mayoría de las estructuras (se debe rehacer el ensayo para P10R y P10A ya que en estos casos se obtiene un valor por debajo del mínimo).

En cuanto a la viscosidad, evaluada a partir del embudo en V tenemos en su mayoría  $T_v < 8 \text{ seg}$ , indicando hormigones con una gran capacidad de llenado aun cuando exista congestión de armaduras. Se pueden autonivelar y generalmente presentan una buena terminación. Sin embargo, son más susceptible de presentar segregación y exudación.

La relación H2/H1 denominada Índice de Bloqueo se encuentra en todos los casos por encima de 0,75.

En cuanto a los resultados en estado endurecido, se tienen hasta el momento los de resistencia a compresión y módulo de elasticidad a los 28 y 90 días que se muestran a continuación (Figura 6 y Figura 7).

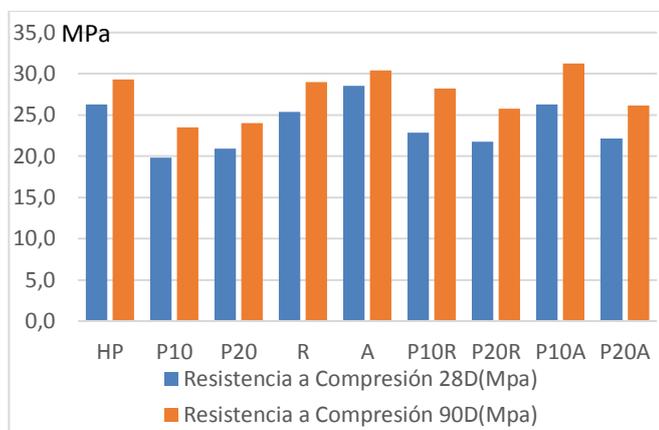


Figura 6 – Resultados ensayos a compresión

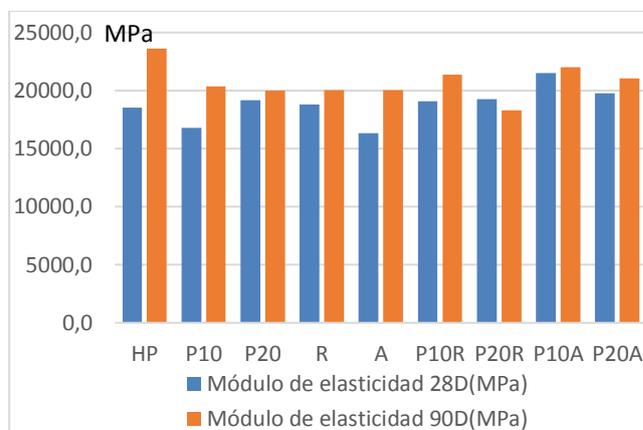


Figura 7 – Resultados ensayos de módulo de elasticidad

## Conclusiones

- El índice de puzolanidad obtenido hasta la edad de 15 días no indicaría propiedades puzolánicas por parte de los FP desde el punto de vista químico.
- 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.
- 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.
- En la etapa de hormigones se observó una marcada disminución de la trabajabilidad de la mezcla al incorporar los FP, requiriendo una dosis mayor de superfluidificante para alcanzar la fluidez buscada. Los pigmentos de color amarillo también disminuyen la fluidez de la mezcla debido a la forma lajosa de sus partículas.
- De acuerdo al criterio visual establecido para los HAC, podemos concluir que todos los hormigones elaborados tanto con FP como con FP y pigmentos mostraron estabilidad frente a la segregación.
- La habilidad de pasar a través de armaduras y obstáculos medida con el J-ring y la caja en L, disminuye con la incorporación de los FP pero se mantiene dentro de los límites definidos para los HAC.
- El tiempo de flujo por el embudo en V se encontró dentro de los límites estipulados en todos los casos, indicando una buena capacidad de paso en los hormigones elaborados con FP y pigmentos.
- La resistencia a compresión del hormigón se ve disminuida al incorporar los FP, este efecto es notorio a los 28 días de edad, mientras que a los 90 días de edad los valores de resistencia a compresión tienden a igualarse entre el patrón y los demás hormigones.

## Referencias

- Battelle (2002). The business of innovation. Summary report. Toward a sustainable cement industry. An independent study commissioned by World Business Council for Sustainable Development.
- Positieri, M. "Propiedades físico-mecánicas y durabilidad del hormigón coloreado" Tesis doctoral. (2005)