

# ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE CELULOSA EN MEZCLAS CEMENTICIAS

A.S. Szteinberg, E.Köber, G.A. Benítez, M.J. Fernández Sturla, E.H.Vergara (\*), A.A.Tomé (\*)  
**INTI Construcciones: Química Aplicada a la Construcción – Tecnología del Hormigón**  
**(\*) Somar MV SA Servicios Industriales**  
ekoerber@inti.gov.ar

## **INTRODUCCIÓN**

Mediante la activación térmica de residuos de celulosa provenientes de la fabricación del papel, es posible obtener un material con características de filler calcáreo y a la vez con propiedades puzolánicas, de manera similar a las propiedades aportadas por las adiciones naturales, comúnmente empleadas en la industria del cemento.

El empleo de este material calcinado como reemplazo del cemento, además de tener importancia desde el punto de vista del aprovechamiento de un subproducto industrial, también resulta en una disminución de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera generadas durante el proceso de fabricación del cemento con la consiguiente contribución a la sostenibilidad en la construcción.

## **OBJETIVO**

Determinar la temperatura óptima de calcinación y el porcentaje óptimo de reemplazo de lodo calcinado para ser adicionado al cemento y verificar la influencia de este material sobre las propiedades mecánicas.

## **DESCRIPCIÓN**

El material utilizado fue un cemento pórtland normal (CPN40) y un residuo procedente de la industria papelería. Se determinó la humedad y pérdida por calcinación a 550°C.

El lodo fue secado y calcinado durante 2 horas a 650 °C (LC1), 700 °C (LC2) y 750 °C (LC3). Los porcentajes de reemplazo estudiados fueron 10%, 20% y 25%.

Se determinó el contenido de óxido de calcio libre de las muestras calcinadas empleando el método BS EN 196-2:1995. Se discontinuó el ensayo para la muestra LC3 debido a la descarbonatación parcial de la calcita presente en la muestra.

Las muestras LC1, LC2 y el lodo seco (sin calcinar), se caracterizaron químicamente por fluorescencia de rayos X y mineralógicamente por difracción de rayos X.

Se estudió la actividad puzolánica de los lodos calcinados por dos métodos químicos y fueron comparados con los de una puzolana natural. El método acelerado valora la actividad puzolánica intrínseca de la muestra por contacto con una solución saturada de cal a 40

°C y el método de coeficiente puzolánico se realizó de acuerdo a la norma IRAM 1651.

La cinética de hidratación de las mezclas cementicias fue evaluada con un calorímetro isotérmico.

Se determinó densidad, superficie específica y se evaluó el comportamiento mecánico midiendo la resistencia a la compresión.

## **RESULTADOS**

Los lodos presentaban una humedad del 60% y una pérdida por calcinación del 53%, indicando un elevado contenido de materia orgánica.

Los resultados de DRX mostraron que los componentes cristalinos principales del lodo seco eran calcita, caolinita y talco y los de las muestras calcinadas eran calcita y talco, no detectándose los picos correspondientes a caolinita, debido a su transformación en metacaolinita.

El análisis por FRX indica que los lodos de papel están compuestos principalmente por carbonato de calcio, dióxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de magnesio. El resto de los óxidos están presentes en valores por debajo de la unidad.

La fracción mineral de las muestras LC1 y LC2 contienen un 67-68% de calcita, 19-20% de metacaolinita y 12% de talco. Estos porcentajes son aproximados debido a que en el diagrama de DRX se presentaron picos de poca intensidad correspondientes a especies cristalinas que no pudieron ser identificadas.

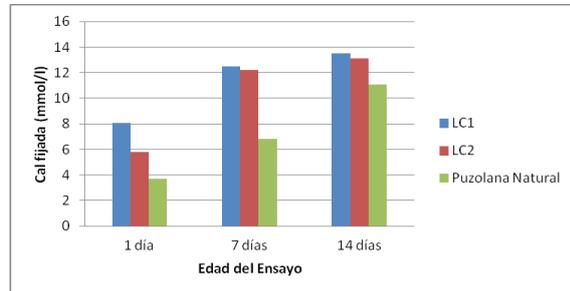
En la figura 1, se representa la actividad puzolánica del sistema  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{lodos calcinados}$  a distintas edades de ensayo y se observa que los lodos calcinados fijan cantidades de cal superiores a la puzolana natural. A medida que transcurre el tiempo de reacción las muestras LC1 y LC2 tienden a equipararse.

En la Figura 2 y Figura 3, se representaron los perfiles de hidratación y estos indicaron que la hidratación de las mezclas con lodo calcinado, progresa en forma similar a la del cemento pórtland, excepto para el 25% de reemplazo a 650 °C y 700 °C, que presentan una cinética de hidratación distinta a la de la muestra de referencia.

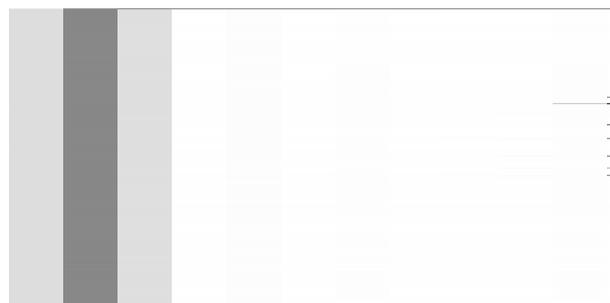
Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1: Ensayos Físico-Mecánicos**

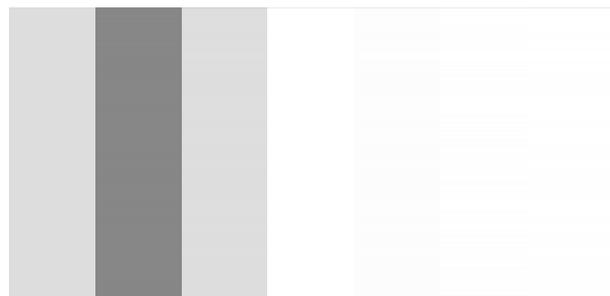
Identificación	LC1		Puzolana Natural	Patrón (CPN40)
% de cemento (en masa)	80	90	80	100
% de adición (en masa)	20	10	20	0
Densidad [kg/dm <sup>3</sup> ] (IRAM 1624)	2,58		2,38	3,15
Superficie específica [m <sup>2</sup> /kg] (IRAM 1623)	1341		366	333
Resistencia a la compresión a 28 días [MPa] (IRAM 1654)	56,2 ± 0,3	57,6 ± 0,9	54,2 ± 0,4	57,1 ± 0,8
Relación de Resistencias a la compresión ( $\frac{?_{puz}}{?_{patrón}} * 100$ [%])	100,9	98,4	94,2	-



**Figura 1: Método Acelerado-Disolución saturada de cal**



**Figura 2: Perfiles de hidratación con 10 %, 20 % y 25 % de reemplazo de lodo calcinado a 650 °C**



**Figura 3: Perfiles de hidratación con 10 %, 20 % y 25 % de reemplazo de lodo calcinado a 700 °C**

**CONCLUSIONES**

El lodo de partida está compuesto principalmente por materia orgánica, calcita, caolinita y talco y los lodos calcinados por calcita, metacaolinita y talco.

El porcentaje de muestra calcinada respecto de la muestra original es del 19%, evidenciando una importante reducción de volumen.

Los resultados de coeficiente puzolánico no cumplen con el requisito establecido en la norma IRAM 50000, para cemento pòrtland puzolánico, por lo tanto, un cemento adicionado con los porcentajes estudiados no podría ser designado como tal.

La presencia de calcita en los lodos calcinados, podría conferir a las mezclas cementicias, las

mismas propiedades que el filler calcáreo natural empleado normalmente en la fabricación de cemento y la metacaolinita daría un valor agregado al componente calizo debido a su naturaleza puzolánica, mejorando las prestaciones de los cementos y hormigones elaborados con ellas.

Mediante el proceso de molienda se obtuvo una superficie específica elevada por lo cual se debería estudiar el tiempo necesario para minimizar este proceso sin perjudicar el desempeño de la adición.

Las condiciones idóneas para la activación térmica de los lodos, está entre 650 °C y 700 °C, pero teniendo en cuenta el ahorro energético y la generación de CO<sub>2</sub> procedente de la descomposición de la calcita presente en el lodo de partida, se recomienda la calcinación a 650 °C.

Los resultados de calorimetría isotérmica, indican que los porcentajes óptimos de reemplazo fueron 10 y 20%. Esto fue verificado por los resultados de resistencia a la compresión, los cuales no presentaron diferencias significativas respecto del mortero patrón y fueron levemente superiores al valor obtenido para la puzolana natural de uso en el mercado utilizada para comparar.

**BIBLIOGRAFÍA**

BS EN 196-2:1995: Methods of testing cement. Chemical analysis of cement.  
 IRAM 1651: Cementos. Método de ensayo de la puzolanicidad para los cementos puzolánicos  
 IRAM 1654: Puzolanas. Métodos de ensayo generales.  
 IRAM 1668: Puzolanas. Características y muestreo.  
 IRAM 50000: Cemento. Cemento para uso general.  
 IRAM 1624: Cemento. Método de ensayo para la determinación de la densidad.  
 IRAM 1623: Cemento pòrtland. Método de ensayo de finura por tamizado seco y por determinación de la superficie específica por permeabilidad al aire (método de Blaine).  
 Rodríguez, O., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., García, R., Vigil, R. (2009). Efecto de la adición de lodos de papel activados térmicamente en las propiedades mecánicas y de porosidad de pastas de cemento. *Materiales de Construcción*, Vol. 59, N° 294, 41-52.