

## PUZOLANAS ARTIFICIALES. ESTUDIO DE LA ACTIVACIÓN TÉRMICA DE RESIDUOS DE CARBÓN.

BELTRAMINI, Loreley<sup>(1)</sup>; GUILARDUCCI, Anabela<sup>(1)</sup>

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI)  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe  
Lavaise 610 – (3000) Santa Fe – Argentina  
e-mail: cecovi\_materiales@frsf.utn.edu.ar*

**Palabras claves:** carbón, activación térmica, cemento, puzolanas artificiales.

### RESUMEN

*Los estériles son residuos de la depuración de carbón mineral, compuestos de arcillas caoliníticas impurificadas con cuarzo. Estos pueden, mediante su activación térmica, emplearse como puzolanas artificiales para la producción de cementos mezclas.*

*Para obtener la mayor reactividad de este material es necesario modificar su estructura cristalina por dehidroxilación, mediante el estricto control de parámetros como la temperatura, tiempos de calcinación y método de enfriamiento.*

*Para determinar las condiciones óptimas de producción, se estudian estériles procesados provenientes de la Central Termoeléctrica de Río Turbio, a temperaturas variables entre 400 y 800°C, con tiempos de permanencia en horno comprendidos entre 60 y 180 minutos, y cuyo enfriamiento puede ser al aire o introducidos en agua.*

*Mediante diseños de experimentos se identifican las combinaciones más favorables de temperatura y tiempos de calcinación (enfriadas en aire o agua) representadas por los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de las diferentes muestras producidas.*

### INTRODUCCIÓN

El uso del estéril calcinado como reemplazo de la fracción de arcilla en la fabricación del cemento es una alternativa ampliamente utilizada en el mundo. Esta metodología contribuye con los requerimientos energéticos de los procesos, ya que es posible una reducción en el consumo energético para la fabricación de una misma cantidad total de cemento) y además estos materiales pueden proveer la alúmina, hierro y sílice necesarios para la formación de compuestos cementíceos [1].

Grandes cantidades de estériles son producidos durante la explotación del carbón mineral en la actual planta de depuración, en Río Turbio Argentina. Estos residuos, constituidos por fragmentos de roca que acompañan las capas de carbón, son denominados estériles ya que no tienen ningún potencial como carbón mismo y son traídos a la superficie con el desarrollo de las actividades mineras.

Las puzolanas son materiales sílico-aluminosos que, finamente divididos y en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento para formar compuestos con propiedades cementíceas. Su origen se ha

generalizado debido al elevado volumen de subproductos industriales con propiedades puzolánicas que se producen en el mundo y cuya utilización se considera que se incrementará notablemente a medida que se tome conciencia de los beneficios ambientales implicados [2].

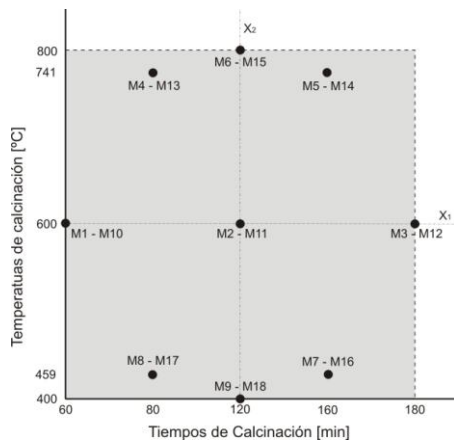
Las arcillas alcanzan su estado más reactivo cuando la temperatura de calcinación provoca la pérdida de oxhidrilos (dehidroxilación) y la modificación de su estructura cristalina original [1], este proceso de transformación depende principalmente de las condiciones de activación (temperatura y tiempo de permanencia en el horno), cuya incorrecta aplicación puede producir metacaolines con menores propiedades puzolánicas [2].

## OBJETIVOS

El presente trabajo aborda, la influencia de las condiciones de activación de los estériles, a fin de definir las combinaciones de los parámetros temperatura de calcinación, tiempos de permanencia en horno y tipo de enfriamiento, que proporcionen la mayor reactividad de la puzolana debido a la transformación de su estructura cristalina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron residuos de la depuración del carbón mineral y cemento portland sin adiciones (CPN, IRAM 50000:2000), con categoría resistente CP40, identificado como CP0. Estos residuos (estériles) fueron calcinados con una mufla, siguiendo el diseño de experimento planteado y enfriados al aire (ambiente a  $20 \pm 2$  °C) o al agua, según corresponda. Finalmente, las muestras obtenidas fueron molidas mecánicamente hasta alcanzar un tamaño máximo de partículas de 75  $\mu\text{m}$ .



**Figura 1.** Dominio de estudio que arroja el diseño de experimento. [Las muestras del 1 al 9 fueron enfriadas al aire y del 10 al 18 al agua.]

Para seleccionar las temperaturas y tiempos de permanencia en el horno, permitiendo su análisis como un sistema de variables interrelacionadas, se adoptó un diseño de experimentos *central compuesto centrado* [3], según se muestra en la **Figura 1**. Este sistema permitió evaluar las características de las puzolanas obtenidas mediante el análisis de superficies de isorrespuesta en todo el dominio de estudio. La ecuación del modelo está dada por la expresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_1 X_2$$

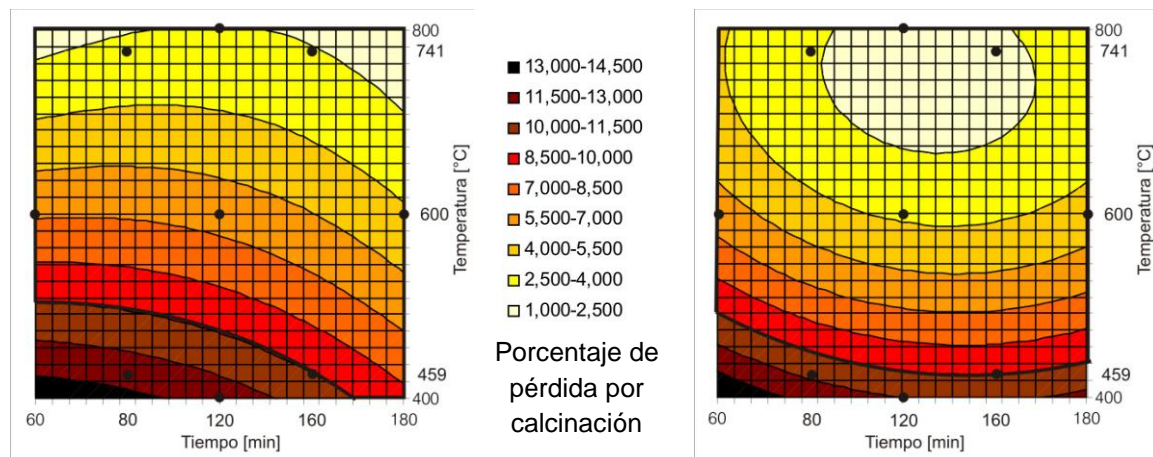
Donde Y es la propiedad estudiada (ensayos para evaluar la potencialidad de la adición artificial generada),  $X_1$  y  $X_2$  son las variables experimentales ( $X_1$  es el tiempo de permanencia y  $X_2$  es la temperatura de calcinación), y  $\beta_0$ - $\beta_5$  son los coeficientes estimados usando el método de mínimos cuadrados.

De esta manera, fueron generadas 18 muestras en total con diferentes temperaturas de calcinación y tiempos de permanencia como así también distintas metodologías de enfriado. Para todas ellas se evaluó la densidad absoluta, la pérdida por calcinación y la reactividad que presentan las mismas mediante la determinación de la puzolanidad por vía mecánica y por vía química.

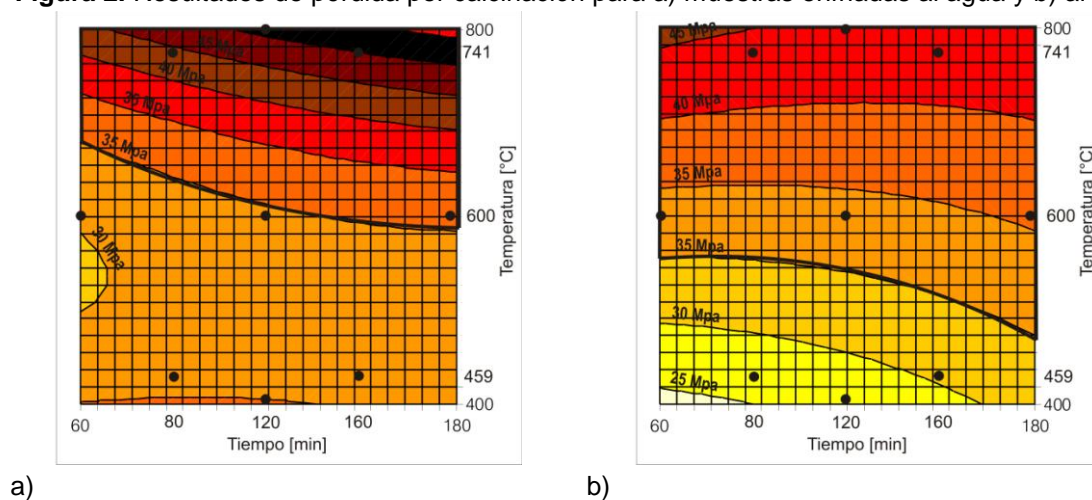
## RESULTADOS OBTENIDOS

En la **Figura 2** se presenta una superposición del dominio de estudio (representado por el esquema de puntos negros, donde cada uno de ellos se corresponde con una muestra) sobre los resultados de pérdida por calcinación para las mismas. Además se indica un recuadro que separa las muestras que cumplen con los requisitos normativos (IRAM 1668:1968) de las que no.

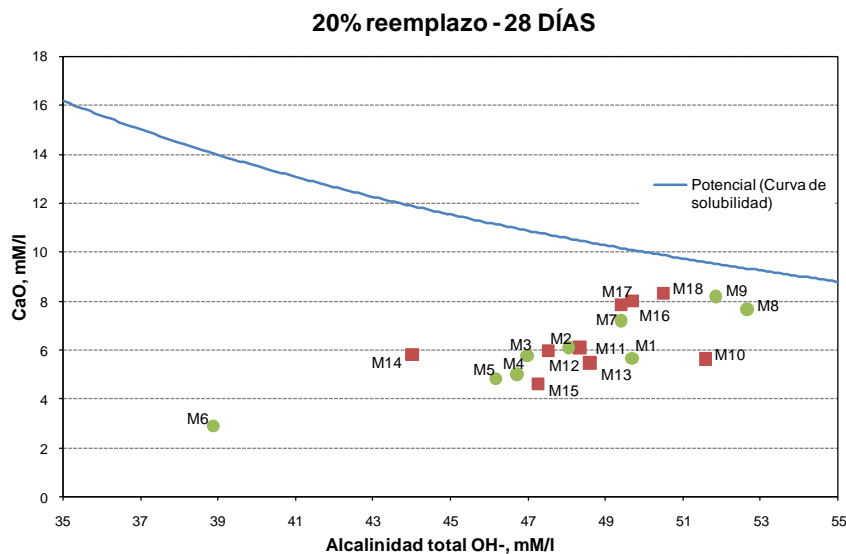
De tal manera, en la **Figura 3**, se grafican los valores de resistencia a la compresión a 28 días correspondiente a los ensayos de puzolanidad por vía mecánica para las puzolanas artificiales enfriadas al agua y al aire, respectivamente y en la **Figura 4**, los resultados de puzolanidad por vía química.



a) b) **Figura 2.** Resultados de pérdida por calcinación para a) muestras enfriadas al agua y b) al aire



a) b) **Figura 3.** Resultados de resistencia a la compresión para a) muestras al agua y b) al aire.



**Figura 4.** Puzolanicidad por vía química a la edad de 28 días.

Del análisis de los resultados de pérdida por calcinación se puede observar que, independientemente del tiempo de calcinación, para temperaturas superiores a los 460 °C el contenido de carbono se reduce significativamente, permitiendo a las muestras cumplir con la exigencia de la normativa vigente. Para los resultados de puzolanicidad por vía mecánica se evidencia que las muestras enfriadas al aire que cumplan con la normativa, pueden calcinarse a temperaturas menores (del orden de 473°C) que para las muestras enfriadas al agua (aproximadamente 600°C). Todas las muestras evaluadas presentan actividad puzolánica por vía química a 28 días; esto se correlaciona en la ubicación de todos los puntos en la Figura 4 por debajo de la curva de solubilidad.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se puede observar que:

- La aplicación de diseños de experimentos permite reducir la cantidad de trabajo experimental necesario para evaluar las condiciones óptimas de producción de estas adiciones minerales y determinarlas en forma analítica.
- Exceptuando 2 de las 18 muestras ensayadas, ambas enfriadas al agua, todas las puzolanas estudiadas cumplen con el requisito de pérdida por calcinación (máx. 10 %) establecido en la norma IRAM 1668:1968.
- Los ensayos de puzolanicidad por vía química indican que todas las muestras evaluadas, presentan actividad puzolánica a los 28 días, mientras que, los ensayos de puzolanicidad por vía mecánica, determinan que la temperatura de calcinación ejerce mayor influencia sobre la reactividad de la puzolana en comparación con el tiempo de permanencia en horno.

## REFERENCIAS

- [1] Gutt, W., Nixon P.J., (1979), "Use of waste materials in the construction industry" en Analysis of RILEM Symposium by Correspondence, Matériaux et Constructions, Vol. 12, Nro. 70, pp. 265-306.
- [2] Sabir, B.B., Wild S., Bai J., (2001), "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review", Cement and Concrete Composites, 23, pp. 441-454.
- [3] Montgomery C., Runger G.C., (1996), "Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería", México, Mc Graw Hill.