

COMPORTAMIENTO REFRACTARIO DE PROBETAS DE MORTEROS CONFORMADAS CON DIATOMITAS COMO AGREGADO MINERAL

REFRACTARIC BEHAVIOR OF MORTAR PROBES CONFORMED WITH DIATOMITE AS MINERALS AGGREGATE

Ana M. Rodríguez*, Jorge W. Romero* y Eleodoro Castro Olivares*

Recibido: 24/05/05 – Aceptado: 05/12/05

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio de las propiedades puzolánicas de algunos minerales, como las diatomitas, que potencialmente pueden reaccionar con la portlandita contenida en las pastas y morteros de cemento Portland. También se estudia si estas adiciones minerales pueden incrementar la resistencia térmica y la refractariedad de los morteros. En el comportamiento de estos agregados se sigue midiendo como parámetro el comportamiento puzolánico de las diatomitas en las pastas de cemento Portland, y las variaciones de la resistencia mecánica de probetas estandarizadas construidas con y sin agregado de diatomitas. El desarrollo experimental programado consta de tratamientos térmicos a las diatomitas, reducción de tamaño hasta compatibilidad con la granulometría del cemento Portland, ensayos de DRX, análisis de puzolanidad, construcción de probetas de morteros con y sin agregado, y finalmente la medición de sus propiedades mecánicas residuales después de haber sido sometidas a elevadas tempe-

raturas. Del análisis de los resultados experimentales se puede informar que las diatomitas estudiadas si le confieren propiedades puzolánicas al cemento Portland, y como consecuencia mejoran la resistencia mecánica residual de las probetas de mortero cuando son sometidas a altas temperaturas.

Palabras clave: Agregados de cemento Portland, refractariedades diatomitas calcinadas, mejoramiento de propiedades.

ABSTRACT

On the search of new applications for regional mining resources the aim of this work is to study the pozzolanic properties of some minerals which may potentially react with the portlandite contained in Portland cement pastes and mortars. The possibility that these mineral additions may also increase thermal resistance and refractarity is also studied by measuring, as a parameter, the mechanical strength variations of standardized probe. In this

* Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería Química, República Argentina. Av. Libertador San Martín 1109 (Oeste), (5400) San Juan, Argentina. Correo electrónico: jromero@unsj.edu.ar

search, natural silico-aluminates minerals resources (diatomites) are selected and chemical compositions of which are very similar to the natural pozzolanes, referred to as "active" in the literature. The programmed experimental development consists in thermal treatment of the mineral and size reduction so that it became compatible with cement grain size, pozzolanicity analysis, construction of mortar probes. Mechanical residual properties of the probes are measured after exposure to high temperature. By analyzing the experimental results it may be concluded that the aggregate under study certainly shows pozzolanic properties and in addition, it improves the residual mechanical resistance of the probes.

Key words: Portland cement aggregates, calcinated diatomites, refractarities, improvement properties.

INTRODUCCIÓN

El objetivo general de este trabajo es el aprovechamiento de los recursos mineros regionales y el aumento de su valor agregado. Considerando que los desarrollos tecnológicos actuales demandan nuevos productos, entre los cuales se encuentran numerosas sustancias no-metálicas de origen mineral, nuestra búsqueda se orienta a materiales que le confieran propiedades puzolánicas a los cementos Portland, y también le aumenten su refractariedad o resistencia térmica. Según la norma ASTM 618-78 (1992) (1), las puzolanas se definen como material esencialmente silicoso finamente dividido que no posee ninguna propiedad hidráulica, pero que posee constituyentes como sílice y alúmina capaces, a temperatura ordinaria, de fijar el hidróxido de cal para dar

compuestos estables con propiedades hidráulicas.

Las diatomitas se seleccionaron por su composición química, teniendo siempre presente que técnicamente entre ellas se engloban diferentes materiales mineralógicos. En la provincia de San Juan, Argentina, existen importantes yacencias mineralógicas, cuyas composiciones porcentuales en SiO_2 ; Al_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; Fe_2O_3 , etc., son muy próximas a las composiciones que poseen los compuestos puzolánicos naturales, como se puede apreciar en la bibliografía especializada (2). Mediante la comparación de las composiciones químicas se reflexiona sobre las posibles aplicaciones de las diatomitas como promotores puzolánicos. Por ello se estudian los tratamientos térmicos y /o químicos necesarios para conferirles estas propiedades con el fin de que puedan reaccionar con la portlandita, disminuyendo su contenido en las pastas cementíceas (3).

La vigencia y pertinencia de nuestros estudios se ve aún más motivada por la publicación de numerosos artículos científicos en revistas de primer nivel, que promueven y hacen uso de recursos mineros puros o transformados como aditivos o agregados para los cementos Portland y otros materiales de construcción (4, 5).

MARCO TEÓRICO

El hidróxido de calcio (portlandita) en la pasta de cemento Portland proviene en parte de la hidratación del óxido de calcio presente en el cemento (cal libre) y, en mayor medida, como subproducto de las reacciones de fraguado de los compuestos del cemento. Cuando se produce la hidratación del cemento Portland, después de

algunas horas comienza el endurecimiento de la pasta con la formación progresiva de compuestos cristalinos, hidrosilicatos e hidroaluminatos cálcicos, cuyas principales reacciones de formación producen como subproducto hidróxido de calcio. El efecto negativo de la portlandita sobre el comportamiento a elevada temperatura de las pastas y morteros de cemento se debe a que aquella se descompone alrededor de los 400 °C en óxido de calcio y agua. El agua formada, a elevada temperatura, se encuentra en estado de vapor; la sobrepresión del vapor de agua y la del aire ocluido son las fuerzas que producen la rotura de las paredes internas de los microporos, y por lo tanto son causantes de la disminución de la resistencia global de la pasta de cemento, por la aparición de microfisuras (6). El óxido de calcio formado es un compuesto muy higroscópico, y cuando se rehidrata aumenta su volumen y produce grandes presiones que provocan una disminución adicional de la resistencia a la compresión.

Ante la problemática expuesta es necesario buscar un agregado que a temperatura ambiente reaccione con el hidróxido de calcio para dar compuestos estables no extraños a la matriz del hormigón, como silicatos y aluminatos de calcio. Las diatomitas calcinadas cumplen la premisa de ser agregados minerales que poseen sílice y alúmina, y son potencialmente activas al fin perseguido. Por ello el objetivo de este trabajo es comprobar en probetas de

mortero si la adición de diatomitas calcinadas al cemento Portland disminuye efectivamente el contenido de hidróxido de calcio en las pastas de cemento, y analizar si se mantiene o aumenta la resistencia residual de las probetas cuando son sometidas a altas temperaturas.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Materiales

Los ensayos experimentales se realizan utilizando cemento Portland comercial, tipo normal, marca Loma Negra, que cumple con las especificaciones de las normas IRAM N° 50000 (2000) (7). Como agregado se utilizan diatomitas del departamento Iglesia, provincia de San Juan, Argentina. Estas diatomitas se secan primeramente durante tres días en estufa a 100 °C, se muelen en molino de disco, se tamizan a menos 250 mallas, y por último se calcinan en horno eléctrico a 1.000 °C durante 180 minutos para promover las transformaciones cristalográficas de los compuestos mineralógicos contenidos. Paralelamente se realizan los análisis químicos para determinar las composiciones porcentuales que se detallan en la Tabla 1.

Con los fines comparativos que se describieron anteriormente en la Tabla 2 se presentan los valores promediados de las composiciones químicas de materiales puzolánicos naturales de Italia y de Estados Unidos (2).

Tabla 1. Composición de las diatomitas sin calcinar utilizadas para los ensayos

Compuesto	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
Porcentajes	9,79	59,60	2,80	0,89	2,48	2,70	5,46

Tabla 2. Composición de puzolanas naturales de Italia y diatomitas de Estados Unidos

Compuestos (%)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
Puzolanas italianas	18,07	48,61	8,98	2,80	8,67	3,81	1,65
Diatomitas Estados Unidos	16,30	60,04	5,80	2,29	1,92	-	-

Para la preparación de las probetas se utiliza arena silíceo cuya composición química porcentual y granulometría se detallan en las Tablas 3 y 4.

Ensayos físico-químicos

Ensayos cristalográficos por difracción de rayos X (DRX) de las diatomitas

Se hicieron los DRX a las diatomitas calcinadas a 1.000 °C y sin calcinar para detectar los posibles cambios cristalográficos, y analizar qué otra información se podría obtener de los mismos cuando se encuentren involucrados en formulaciones de pastas de cemento Portland. En las

Figuras 1 y 2 se muestran los resultados de los difractogramas se ven claramente las transformaciones cristalinas de las diatomitas, que pasan de un estado cristalino cuando no están calcinadas a uno amorfo después de la calcinación (8). Según la información bibliográfica (2), la estructura cristalina de los agregados tiene gran influencia en las propiedades puzolánicas, y son más reactivos los agregados que poseen estructuras amorfas.

Ensayos de puzolanidad

A efectos de comprobar la reactividad de las diatomitas calcinadas y determinar el porcentaje mínimo en que se deben agre-

Tabla 3. Composición química de la arena estandarizada

Compuesto	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
Porcentajes	6,82	86,00	0,78	0,05	1,35	2,05	0,40

Tabla 4. Fracciones granulométricas para la preparación de probetas

Material retenido sobre el tamiz	Retenidos acumulados %	Fracción de arena
-10, + 12	5,00	I
-12, + 18	33,33	I
-18, + 35	66,66	II
-35, + 100	88,33	III
-100, + 170	100,00	III

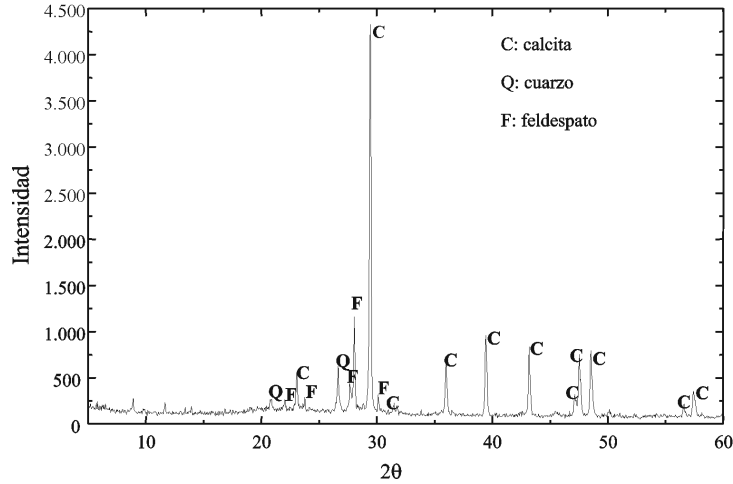


Figura 1. DRX de diatomitas sin calcinar.

gar para disminuir la mayor parte del hidróxido de calcio, se efectúan los ensayos de puzolanidad según norma IRAM N° 1651 (2003) (7). En la Figura 3 se muestran los resultados de los ensayos de puzolanidad utilizando diatomitas calcinadas. Estos datos se presentan como I (alcalinidad total en [mmol/l]) e Ip (índice puzolánico en [mmol/l]), donde con fines

comparativos se muestra la curva de equilibrio de solubilidad del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en presencia de álcalis a 40 °C.

Según la norma IRAM N° 1651 (2003)(7), todo punto que se encuentre por debajo de la curva se considera puzolánico. De los resultados se deduce que las diatomitas calcinadas que se estudia-

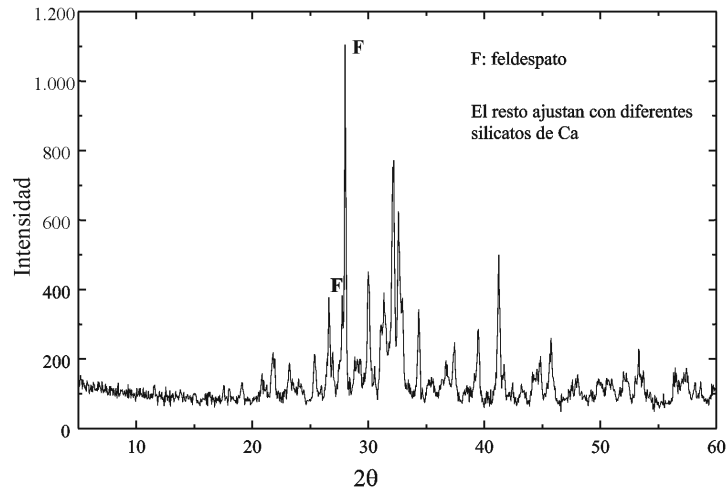


Figura 2. DRX de diatomitas calcinadas a 1000 °C.

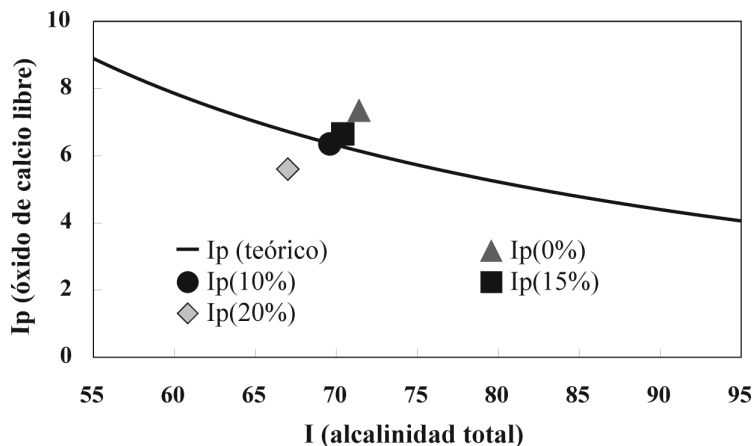


Figura 3. Ensayos de puzolanidad de diatomita calcinada.

ron presentan propiedades puzolánicas cuando se agregan al cemento Portland a partir del 20%.

Construcción de probetas

Para realizar los ensayos térmicos y determinar la resistencia a la compresión a distintas temperaturas, se confeccionan probetas según normas IRAM N° 1622 (2002) (7), de forma cúbica de 50 mm de arista, utilizando como agregado diatomitas calcinadas al 20%. Una vez que el molde se llena con la pasta, se deja por espacio de 24 horas en un lugar a temperatura y humedad constantes, y luego se desmoldan. Las probetas confeccionadas sin agregado se sumergen en agua durante 28 días. Las que contienen 20% de diatomitas como agregado se ponen en un recipiente herméticamente cerrado a 38 ± 2 °C durante 28 días. Finalmente comienza el periodo de secado, donde se colocan las probetas en estufa eléctrica a 40 °C durante 30 días, hasta lograr peso constante. El proceso de secado es imprescindible para eliminar todo resto de humedad, y de

este modo evitar interferencias en los ensayos térmicos.

Ensayos térmicos

Se realizan utilizando un horno eléctrico, y sometiendo las probetas a distintas temperaturas. Se ensayan para cada temperatura cinco probetas, cuatro para determinar la resistencia residual y la restante para medir la temperatura de ensayo con una termocupla tipo K, ubicada en el centro de la probeta. Posteriormente se dejan enfriar y se dejan en una atmósfera húmeda para provocar la rehidratación del óxido de calcio que pueda haber quedado sin reaccionar con el agregado mineral. Por último se realizan los ensayos de compresión.

Ensayos de compresión

A efectos del análisis estadístico se ensayan a la compresión cuatro probetas de mortero para cada temperatura. Para realizar estos ensayos se utiliza una máquina universal donde las probetas se colocan entre dos placas de acero pulido que se

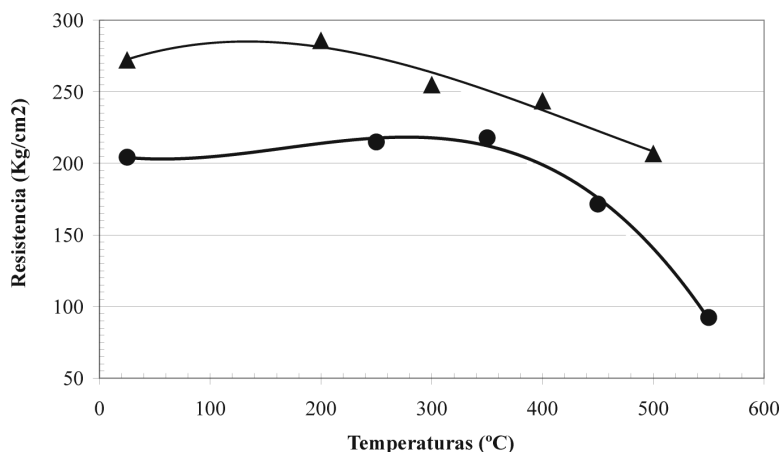


Figura 4. Resistencia residual vs. temperatura.

comprimen con un incremento de carga de 180 kg/seg hasta colapsar. Los resultados promediados de la resistencia residual a la compresión se representan en la Figura 4.

CONCLUSIÓN

En los ensayos de DRX realizados sobre las diatomitas se observan claramente las transformaciones cristalinas de éstas, pasando de un estado cristalino bien definido cuando no están calcinadas, a uno amorfo o no cristalino después de la calcinación. Esta transformación cristalográfica convierte a las diatomitas en agregados reactivos. Los resultados concuerdan con la información bibliográfica consultada.

De los ensayos de puzolanidad realizados a las pastas de cemento Portland con distintos porcentajes de diatomitas, se deduce que presentan propiedades puzolánicas cuando los agregados al cemento Portland son del orden del 20% o mayores.

En la Figura 4 se muestra claramente que cuando las probetas confeccionadas sin agregado son sometidas a altas tempe-

raturas su resistencia a la compresión disminuye abruptamente a partir de los 350 °C, mientras que las probetas confeccionadas con pastas de cemento Portland y con un 20% de diatomitas calcinadas como agregado exhiben, dentro del rango de temperaturas estudiado, un aumento de la resistencia residual, que disminuye levemente a temperaturas más altas, pero mantiene una resistencia residual mayor de que la que poseen las probetas sin agregados que no han sido sometidas a temperatura.

Con base en esto, se puede informar como conclusión final que con las diatomitas ensayadas se logró el objetivo propuesto a través de las evidencias experimentales expuestas en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma ASTM 618-78, año 1992.
2. Hewlett, P. (1998). *Lea's chemistry of cement concrete*. John Wiley and Sons.

3. Barragán, B. (1997). Efectos de las altas temperaturas sobre las propiedades físico-mecánicas del hormigón. *Ciencia y Tecnología del Hormigón. Lemit - CIC*, 5, 51-64.
4. Yasai, Y. (1994). Comparative study of natural zeolites and other inorganic admixtures in terms of characterization and properties of mortars. *Advances in concrete technology*, 2^a ed. CANMET - Ed. V. M. Malhotra Canadá.
5. Castría, N. (1995). Hormigones de alto desempeño con adiciones minerales activas del NOA. XXVII Jornadas Sudamericana de Ingeniería Estructural. S. M. de Tucumán.
6. Consolazio, G. R. (1997). Measurement and prediction of pressure in cement mortar subjected to elevated temperature". *Proc. Inter. Workshop on fire performance of HSC*.
7. Normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales): Norma N° 50000, año 2000 (Antecedente ENV 197-1 y 2, UNE 80301). Norma N° 1651, año 2003 (Antecedente UNE EN 196-5). Norma N° 1622, año 2002 (Antecedente UNE EN 196-1 e ISO 1302).
8. Romagnoli, R. (1998). Análisis de la interfase acero-mortero en probetas polarizadas catódicamente. Presentado en el 1er Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, Bs. As.