



MR. V. M. MALHOTRA

B I O G R A F I A

El Sr. V. M. Malhotra es graduado de la Universidad de Delhi y de la Universidad de Western Australia. Desde 1967 trabaja en el Departamento de Energía, Minas y Recursos donde actualmente es jefe de la Sección de Materiales de Construcción del Centro Canadiense para Tecnología de Minerales y Energía (CANMET) localizada a la ribera del río. En 1966 fue el Presidente Fundador del Canadian Capital Chapter del A.C.I. Es miembro activo en varios comités del A.C.I., es presidente del Comité 214 y fue presidente del IIR. Fue elegido Fellow del A.C.I. en 1973. Además, es miembro activo en comités técnicos de otras organizaciones relacionadas con la tecnología del concreto, incluyendo A.S.T.M., CSA, RILEM y es el delegado canadiense ante la Organización Internacional de Normas (ISO). Por sus contribuciones a la tecnología del concreto recibió el honor de ser presidente de recibir la medalla Watson y la medalla Henry R. Kennedy del A.C.I. en 1978.

Kavvouni, M.; Peyronnet, J.P., "Etudes expérimentales de comportement en milieu marin des structures en béton", Colloque IIR, sur les structures en mer, Rio de Janeiro, 1979.

AFPC-ARBEM, International Symposium on the behavior of offshore concrete structures, CNECQ/COB, BP 337 - 29 273 Brest Cedex - Proceedings : price 300 F.

RESISTENCIA A LA CONGELACION Y DESHIELO DEL CONCRETO CON ESCORIA GRANULADA DE ESCORIA DE ALTO HORNO.

V. M. Malhotra

V. M. Malhotra\*

RESUMEN

El cemento Portland es un material de gran energía que requiere de 570 Mj por tonelada de producto, representando el 42% del costo total de producción. Se pretende aquí buscar un material que requiera menos energía para reemplazar parcialmente al cemento en el concreto. La escoria ha mostrado un considerable potencial, producto no metálico normalmente descartado cuando se obtiene el acero en los altos hornos. Este reporte da o proporciona resultados de investigaciones de laboratorio para determinar la durabilidad y la resistencia a la congelación y deshielo del concreto al que se le incorpora escoria granulada de alto horno.

Se hizo una serie de 32 mezclas de concreto de 0.062 m<sup>3</sup> con relaciones agua/cemento más escoria de 0.3 a 0.65, y el porcentaje de escoria usada como un sustituto parcial del cemento Portland normal fue de 25 a 65% en peso. Todas las mezclas fueron con aire incluido y a algunas se les incorporó un superplastificante además de un agente inclusor de aire. Un grupo de cilindros de 100 x 200 mm se colaron para ensayarse a compresión y a tensión por compresión diametral a edades mayores de un año. También se colaron prismas de 90 x 100 x 405 mm, para determinar la resistencia a la flexión y la durabilidad por congelación y deshielo.

Los datos mostraron que la dosificación requerida por el agente para incluir una cantidad de aire dada se incrementaba notablemente aumentando el contenido de escoria mientras que había indicaciones de que el porcentaje de superplastificante necesario para obtener 200 mm de revenimiento fue para menor concreto con escoria que para el concreto normal.

Un examen visual del concreto fresco y los ensayos de revenimiento no mostraron ninguna mejora en la trabajabilidad del concreto añadiéndole escoria; por el contrario, había evidencia de una mayor demanda de agua para mezclas de concreto que tenían una menor relación agua/cemento más escoria.

\* Jefe de la Sección de Materiales de Construcción del Centro Canadiense para Tecnología de Minerales y Energía (CANMET), Ottawa, Canadá.

Sin tomar en cuenta la relación agua/cemento más escoria, había generalmente un amplio margen entre la resistencia del concreto de control y el concreto al que se le añadió escoria, siendo mayor la resistencia en el concreto de control. La diferencia en resistencia disminuye los 7 y 91 días, dependiendo de la relación agua/cemento más escoria; después de 91 días la diferencia se amplía de nuevo siguiendo el patrón de desarrollo de resistencia anterior es más marcado para relaciones agua/cemento más escoria de 0.3 y 0.38.

La resistencia a la flexión del concreto con relaciones agua/cemento más escoria de 0.46 y 0.56 es comparable o mayor que la correspondiente al concreto de control. Lo contrario es cierto para concreto con una relación agua/cemento más escoria de 0.38, para concretos con aire incluido y concretos con aire incluido y superplastificante para un 65% de escoria como reemplazo, hay una disminución de resistencia del orden del 20% con respecto al concreto de control. La resistencia a la flexión de 14 días tiene un rango de 4.2 a 6.0 mpa. para una relación agua/cemento más escoria de 0.56.

Los estudios de durabilidad indican que, sin tomar en cuenta la relación agua/cemento más escoria y si el concreto fuera con aire incluido o con aire incluido y superplastificante, los prismas ensayados cumplen satisfactoriamente las pruebas de congelación y deshielo (ASTM C-666 Procedimiento B), excepto para mezclas con una alta relación agua/cemento más escoria y con 65% de contenido de escoria.

## INTRODUCCION

El CANMET recientemente ha incrementado la investigación sobre materiales cementantes orientado a la conservación de los recursos y la energía. En particular los esfuerzos se han dirigido a la conservación de la energía usando materiales de una menor energía intensiva como las cenizas, escorias y puzolana. De los materiales para fabricar concreto, el cemento es el componente que requiere de mayor energía, 6750 m<sup>3</sup>/TON de producto y el costo de la energía para producir una tonelada de cemento Portland se aproxima al 42% del costo de producción total de la planta (1-5). De este modo, cualquier intento para reducir la cantidad de cemento en el concreto, pudiera resultar un ahorro considerable de energía. Uno de los materiales de menor energía más prometedores para reemplazar al cemento, parece ser la escoria granulada, un subproducto de la fabricación del acero de alto horno. Se estima que la energía requerida para producir escoria granulada es de sólo 25 a 33% de la que requiere el cemento Portland (2, 3, 4, 6). Hay considerables datos europeos disponibles sobre el comportamiento de cements de escoria en concreto cuando la escoria granulada de alto horno y clinker de cemento han sido triturados y mezclados en una planta de cemento (7). Sin embargo, sólo recientemente, la información ha llegado a estar disponible sobre el comportamiento del concreto cuando la escoria granulada de alto horno es añadida como un ingrediente separado junto con otros componentes de mezclado en una planta de concreto (8-11).

Este informe describe brevemente las propiedades de las escorias y da resultados de investigaciones de laboratorio llevadas a cabo para determinar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto a la congelación y deshielo al incorporársele este material.

## ESCORIA DE ALTO HORNO

### ANTECEDENTES HISTORICOS.

La escoria es un subproducto resultante de la reducción del mineral de hierro en la fabricación del acero de lingote. Los residuos sobrantes Silíceos y Aluminosos, después que el mineral de hierro ha sido reducido a acero metálico por el coque, se combinan con los carbonatos y magnesio del medio fundente para formar escoria. La escoria se colecta de la parte superior del acero fundido y puede ser colado en el estado de fusión a una temperatura de entre 1400 y 1500° C. El valor de la escoria depende de un proceso subsecuente, por ejemplo, si es enfriado al aire o enfriado rápidamente por inmersión en agua o sometido a chorros de agua o chorros de agua y aire. El producto vídrioso granuloso formado cuando la escoria fundida es repentinamente enfriada por inmersión en agua se conoce como escoria granulada.

Los primeros estudios documentados de las propiedades hidráulicas de

la escoria de alto horno han sido atribuidos a LORIENT en Francia en 1774 (12). Esto fue seguido por el descubrimiento de LANGENS en 1863 en Alemania, de una ligazón cementante comprendida de una mezcla de escoria natural y cal. De acuerdo con LEA un cemento de escoria-Cal fue usado primero comercialmente en Alemania en 1865, mientras que en 1833 la escoria se usó como materia prima para la fabricación del cemento Portland. Un tipo de cemento Portland de escoria fue fabricado primeramente en Alemania en 1892 mezclando clinker de cemento Portland y escoria granulada. En esto yace la base para la época moderna de los cementos Portland de escoria de alto horno.

#### ACTIVIDAD HIDRAULICA DE LAS ESCORIAS\*

Las propiedades hidráulicas de las escorias generalmente dependen de lo siguiente:

- i).- Grado de vitrificación alcanzado durante el enfriado rápido.
- ii).- Composición química.
- iii).- Fineza.

#### Grado de Vitrificación:

El grado de vitrificación logrado en el rápido enfriamiento de las escorias, primeramente determina su hidraulicidad latente. Un incremento en el contenido de vidrio resulta en una gran reactividad y un alto valor cementante. Un mínimo contenido de vidrio de 90% es a menudo especificado aunque no hay métodos estándar para la determinación de este valor y valores tan altos como 95% que se han mencionado en la literatura.

#### Composición Química:

El contenido de vidrio y la reactividad de las escorias está fuertemente ligado a la química de las escorias. Varias fórmulas empíricas se han desarrollado relacionando la composición química de las escorias con su reactividad. La especificación Alemana DIN 1164-1942 requiere que la proporción  $M_1$  del contenido en porcentaje de los óxidos debe ser:

$$M_1 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1$$

\* De aquí en adelante el término escoria, cuando se usado, se referirá al producto granulado del acero fundido de escoria de alto horno.

La relación anterior también ha sido adaptada por el estándar preliminar Canadiense A 363-M1977 (14); en Japón el valor correspondiente es 1.4 (7). El valor de la fórmula anterior ha estado en controversia (13).

La tabla 1 da la composición química de las escorias de varios países. Según LEA, los cementos Portland de escoria de alto horno, que contienen escoria con un contenido de magnesio por arriba de 18% no han mostrado fallas en la sanidad en el ensayo de autoclave ASTM mientras que los concretos hechos con cemento de escoria, han obtenido resistencia de manera normal después de 3 años y no han mostrado indicación alguna de inestabilidad dimensional (13, 15).

La química de las escorias es compleja y las relaciones entre sus propiedades hidráulicas y la composición química son de valor dudoso debido a que las escorias con una composición similar pueden mostrar diferentes propiedades hidráulicas después de la vitrificación (7, 13).

#### Fineza.-

La tercera propiedad importante después del grado de vitrificación y la composición química es la fineza de la escoria la cual es de importancia para el desarrollo de la resistencia del concreto. Las escorias son generalmente granuladas hasta una fineza de 4000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  medido por el método de Blaine, la cual es ligeramente mayor que el de los cementos Portland normales. Como la energía requerida para la pulverización de la escoria es de 10 a 15% más alta que la del clinker de cemento Portland normal debido a su naturaleza muy dura de su estructura vidriosa, una fineza mayor que 4000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  puede ser o puede no ser económico.

#### Producción de Escoria en los E. U. y Canadá.

La producción anual de escoria de alto horno en los E. U. en 1977 fue de cerca de 35 millones de toneladas, pero sólo un pequeño porcentaje de ésta fue vitrificada finamente dividida para usarse en concreto. En Canadá, 100,000 ton. están siendo vitrificadas y molidas finamente para este propósito en el área de Hamilton.

El producto vitrificado es obtenido extendiendo la escoria fundida bajo agua en aspersión y luego se pasa a través de un molino de bolas. Las aleas montadas en el molino rompen el material y lo expulsa en el aire por un tiempo suficiente para granularse. Un proceso de granulación similar se ha usado en la URSS (7).

El National Slag Limited, en Hamilton, Ontario, tiene ahora licencia para el proceso en muchos países incluyendo los E.U.; Inglaterra, Francia, Finlandia, Suecia, Japón, Australia, además de su propia producción en Hamilton (6).