

Fig. 2



Simbología  
 Símbolos  
 Supersaturado  
 Saturado  
 No saturado  
 Unsaturated



Prof. R. Hoffmann  
 Cement content kg/m<sup>3</sup>

El Gran Ducado de Luxemburgo es más bien pobre en agregados de buena calidad. Pero la producción de agregados artificiales procedentes de las Plantas de Acero es muy importante. La escoria triturada de alto horno ha sido utilizada en grandes cantidades en la construcción de pavimentos desde los años veinte. El presente estudio analiza sus propiedades como un aditivo al concreto, especialmente ensayos de corrosión, de carbonatación, de resistencias al hielo y deshielo y el comportamiento de las sales para el deshielo en la adherencia del acero de refuerzo y otras propiedades mecánicas y físicas comunes también han sido examinadas.

El concreto de escoria, comparado con el de agregado natural de río, muestra algunas ventajas, por eso muchas construcciones importantes han sido llevadas a cabo desde hace 6 años por las industrias de acero de Luxemburgo.

CONCRETO DE ESCORIA TOTAL

R. Hoffmann\*, C. Kirpach\*\*,  
 G. Diderich\*\*\* y Ch. Reinard\*\*\*\*

RESUMEN

El Gran Ducado de Luxemburgo es más bien pobre en agregados de buena calidad. Pero la producción de agregados artificiales procedentes de las Plantas de Acero es muy importante. La escoria triturada de alto horno ha sido utilizada en grandes cantidades en la construcción de pavimentos desde los años veinte. El presente estudio analiza sus propiedades como un aditivo al concreto, especialmente ensayos de corrosión, de carbonatación, de resistencias al hielo y deshielo y el comportamiento de las sales para el deshielo en la adherencia del acero de refuerzo y otras propiedades mecánicas y físicas comunes también han sido examinadas.

El concreto de escoria, comparado con el de agregado natural de río, muestra algunas ventajas, por eso muchas construcciones importantes han sido llevadas a cabo desde hace 6 años por las industrias de acero de Luxemburgo.

- \* Ingeniero en Jefe de la División del Departamento de Puentes y Carreteras en Luxemburgo.
- \*\* Ingeniero Químico, Luxembourg Cement Co.
- \*\*\* Ingeniero, ARBED Esch-Belval Works.
- \*\*\*\* Ingeniero, ARBED Esch-Belval Works.

CONTENIDO1.- Introducción2.- Los ensayos

- 2.1 Los Componentes del Concreto
  - 2.1.1 Generalidades de la Escoria de Alto Horno
    - 2.1.1.1 Escoria cristalina triturada.
    - 2.1.1.2 Escoria Granulada
  - 2.1.2 Escoria en el Concreto
  - 2.1.3 El Cemento
  - 2.1.4 Los Aditivos
- 2.2 El Acero
  - 2.2.1 Grados de acero usados en concreto reforzado
  - 2.2.2 El Proceso "Temcore"
  - 2.2.3 El uso de acero de alto punto de cedencia
  - 2.2.4 La corrosión del acero en el concreto
- 2.3 El concreto
  - 2.3.1 Generalidades y Objetivos
  - 2.3.2 Ensayes preliminares para determina la composición óptima
  - 2.3.3 Ensayes sobre el concreto
  - 2.3.4 Comentaríos sobre los resultados obtenidos

3.- Aplicaciones Prácticas

- 3.1 Sección de pavimento experimental en las instalaciones de ARBED Differdange.
  - 3.1.1 Características
  - 3.1.2 Resultados de los ensayos en el concreto
    - 3.1.2.1 Resultados sobre el concreto muestreado el día de su producción.
    - 3.1.2.2 Resultados sobre los núcleos tomados de la losa del pavimento.
- 3.2 Otros proyectos realizados.

INTRODUCCION

El Gran Ducado de Luxemburgo, un pequeño país con un área total de 1,000 millas cuadradas, es relativamente pobre en materia pétreo natural adecuada para usarse como aditivo de alta calidad.

Por otra parte, ARBED, que es una empresa de Luxemburgo dedicada a la fabricación de fierro y acero, y que ya tiene reconocimiento universal, recupera grandes cantidades de escoria de alto horno como producto adicional. A pesar de que la producción ha disminuido durante los años de recesión del acero, la producción anual de escoria de a.h. todavía es aproximadamente de 3,000,000 de Ton., la cual es totalmente procesada y convertida en materiales adecuados para el mercado.

La utilización comercial de toda la producción de escoria es un hecho reciente que se demuestra por los enormes tiraderos que hay en el país y que contienen más de diez mil millones de toneladas, de ganga solidificada, la cual siempre se consideró como desperdicio inútil en el pasado.

Y aún así, la escoria de a.h. ha estado estrechamente ligada con el desarrollo del sistema de carreteras de Luxemburgo. Puesto que originalmente la escoria sólo se usó en la construcción de bases de carreteras, ella fue crecientemente empleada en la carpeta de desgaste que consistía de concreto asfáltico, después de una investigación comparativa de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la escoria y del basalto, el cual fue realizado en los años de 1950.

En esa época los programas de construcción de carreteras eran muy modestos y el consumo de escoria estaba lejos de conservar el paso con la producción a pesar de que la escoria granulada fue crecientemente usada en la fabricación de cemento metalúrgico.

Otras posibilidades para la diversificación de las aplicaciones de la escoria, tuvieron por lo tanto que ser aplicadas, tales como la promoción del uso de la escoria como agregado del concreto, principalmente en el concreto reforzado, donde el consumo interno podía suponerse que provocaba un mercado adicional significativo.

El concreto que usa escoria triturada y arena de grano redondo procedente del Río Mosela ya se usaba en el distrito de las acérías. La "arena de escoria y la escoria granulada triturada" en el concreto, sin embargo no tuvo un uso amplio de gran significación, debido a que la pobre distribución del tamaño del grano y la estructura angulosa de la escoria granulada, hizo que el funcionamiento del concreto fuera muy difícil. Un impedimento adicional contra la propágación del uso del concreto total de escoria fueron los temores de la corrosión del acero de refuerzo en un medio de escoria total.

En 1971 y a petición de los contratistas de ingeniería, el Laboratorio del Departamento de Puentes y Carreteras realizó un estudio preliminar a fin de investigar las posibilidades para mejorar las propiedades rheológicas del concreto escoria.

Una mejor manejabilidad del concreto de escoria total fue obtenida mediante la molienda de la escoria granulada, haciendo así posible que el concreto pudiera ser bombeado.

A la luz de estos alentadores resultados, se practicó un estudio detallado sobre el comportamiento de los aceros de refuerzo en un medio de concreto de escoria total.

Los resultados obtenidos confirmaron la opinión de los expertos, a saber: la escoria de alto horno que contiene azufre tal como el sulfato de calcio no corroe el acero de refuerzo del concreto.

La siguiente etapa orientada hacia el uso más diversificado de la escoria se inició cuando el Gobierno de Luxemburgo desarrolló un programa para la construcción de carreteras, confiando en que la idea de que esos caminos podrían ser construidos por el método de pavimentación usando el concreto reforzado continuo, principalmente usando el concreto de escoria total.

En consecuencia, se organizó un grupo de trabajadores incluyendo ingenieros procedentes de la industria del fierro y acero, de los fabricantes de cemento y del Departamento de Puentes y Carreteras; su tarea era estudiar la materia prima y el concreto de escoria total apropiado para la construcción de carreteras con concreto continuo reforzado y estructuras de concreto destinadas a uso pesado.

Este informe sintetiza los resultados del estudio que fue realizado en colaboración con especialistas del Centro de Investigaciones de la Industria del Cemento de Bélgica (C.R.I.C.).

## 2.- LOS ENSAYES

### 2.1.- Los Componentes del Concreto

#### 2.1.1.- Generalidades de la Escoria de Alto Horno

La escoria de alto horno, uno de los productos residuales a la producción de metal caliente, consiste esencialmente de silicatos de cal y alúmina así como de magnesia, azufre, fósforo y hierro. En su estado cristalino, el principal integrante mineralógico es la gehlenita, que es un doble silicato de cal y alúmina muy estable ( $2 \text{CaO Al}_2 \text{O}_3 \text{SiO}_2$ ).

Actualmente los altos hornos de ARBED producen 3,000,000 de toneladas al año de escoria (0.7 toneladas de escoria por cada tonelada de metal caliente) con el siguiente promedio de composición química:

CaO : 43 - 45%      SiO<sub>2</sub> : 32 - 34%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 14 - 15%      MgO : 0.4%  
Fe : 0.5%      S : 0.8%

La escoria de alto horno es comercializada como tres tipos diferentes de productos:

- Escoria cristalina triturada.
- Escoria vítrea granulada.
- Escoria vítrea peletizada.

La industria del fierro y el acero de Luxemburgo produce alrededor de 1,000,000 de toneladas de escoria granulada, siendo el resto escoria triturada y una pequeña cantidad de escoria peletizada. ARBED tiene proyectado emprender la producción en gran escala de escoria peletizada en un futuro cercano.

#### 2.1.1.1.- Escoria Cristalina Triturada.

La escoria se solidifica cuando se le deja enfriar lentamente a la intemperie en el pozo de escoria o el tiradero y se vuelve una roca cristalina estable químicamente, la cual después de una trituración y cribado es usada principalmente en la construcción de carreteras y en la tecnología del concreto:

- Como agregado para base y sub-base de pavimentos.
- Como agregado grueso.
- Como agregado para carpetas bituminosas
- Como agregado para el concreto.
- Como balasto bajo las vías del ferrocarril.

Las normas de calidad que se han impuesto en los materiales que se usan en estos campos de la construcción son satisfechas por la escoria triturada de estructura compacta. Cuando se compara con el agregado natural, la escoria lo mejora por una sobresaliente estabilidad química. La Tabla Núm. 1 señala las características de la escoria comparada con varios agregados naturales.

#### 2.1.1.2.- Escoria Granulada.

La escoria granulada parecida a la arena es obtenida directamente del alto horno mediante un enfriamiento de la escoria líquida en un depósito de agua.

El producto tiene una estructura vítrea que produce una propiedad importante, que no tiene la escoria cristalina, a saber: la fuerza hidráulica latente. De esta misma propiedad, de solidificarse bajo la acción del agua y de su efecto catalizador básico, de donde se han originado los cementos metalúrgicos, con todas sus propiedades características.

El mismo poder hidráulico es el que hace posible el endurecimiento len