

## consultas técnicas

PABLO GARCIA DE PAREDES Y GAIBROIS

I.E.T.c.c.

### **Acción de los aceites minerales sobre el hormigón**

Los aceites y las grasas *minerales*, cuando no contienen adiciones de productos vegetales, compuestos ácidos aromáticos o compuestos de azufre, no ejercen *acciones de carácter químico* sobre los morteros y hormigones, preparados con conglomerantes hidráulicos, ya endurecidos.

Experimentalmente, muchos investigadores han podido comprobar que al penetrar los aceites minerales a través de la masa del hormigón o del mortero, éstos últimos acusan unas pérdidas en sus resistencias mecánicas, de tal consideración que I. Biczok, en su obra "Concrete corrosion, concrete protection", al tratar de cimientos para máquinas, paredes y suelos de salas de máquinas, se expresa así: "El aceite puede causar severos daños; esta circunstancia es poco conocida y muy frecuentemente omitida por los constructores".

También la experiencia ha puesto de manifiesto que el efecto depresor de las resistencias causado por los aceites minerales desaparece y las resistencias mecánicas se recuperan, a medida que se extrae o elimina el aceite que empapa al hormigón o al mortero. Algunos suponen que este fenómeno de pérdida y recuperación de las resistencias tiene un paralelo en las variaciones conocidas de las resistencias en las probetas de ensayo según se encuentren secas o empapadas de agua. Incluso se llega a citar el efecto lubricante del aceite con relación a las partículas sólidas de hormigones y morteros.

### **MEDIDAS DE PROTECCION**

Todos los autores coinciden en la necesidad de impedir el contacto entre el aceite y el hormigón. Para ello se aconsejan los más variados medios; desde forrar con placas metálicas hasta adicionar al hormigón o al mortero, compuestos que impidan la penetración de los aceites.

La protección más eficaz, aunque costosa, la proporcionan los materiales de recubrimiento compuestos por resinas artificiales del grupo "epoxi"; tanto adicionados al agua de amasado, como bajo la forma de pinturas aplicadas sobre la superficie de los hormigones o morteros.

En la presente consulta el hormigón ya ha sufrido la penetración del aceite; es de suponer que tal aceite, por su misión de engrase, es totalmente neutro, y por otra parte, la cimentación ha sido realizada con todo género de cuidados y posee un amplio coeficiente de seguridad, lo que le ha permitido no dejar sentir la pérdida de resistencias que, seguramente, puede haber experimentado.

Se pregunta si habrá penetrado el aceite y si producirá posteriores efectos destructivos. La forma más segura de obtener información sería obtener unos tochos mediante perforación y, además de su examen, investigar su resistencia a compresión, tal como se extrajeron y después de haberlos desengrasado. También se puede obtener alguna información de la posible evolución de las resistencias, mediante una aplicación del esclerómetro de Schmidt a intervalos regulares de tiempo. Es cierto que los valores del rebote no siempre son fiel imagen de la cohesión del material, pero un examen estadístico de los números con suficiente número de impactos (quizás 20 cada vez) permite informarse, a través de la dispersión de valores, acerca de las variaciones mecánicas del material.

Dada la naturaleza de la obra, es imposible pensar en extraer el aceite que haya penetrado; cabe esperar que al dificultar el acceso a nuevas cantidades no se incremente el efecto dañino y la misma fluidez del aceite, unida a la trepidación que seguramente recibe el cimiento, colaboren con la gravedad a escurrir el fluido introducido.

## **Ventajas del empleo de un PUZ-350 en ambiente marino**

El agua del mar actúa sobre los hormigones destruyéndolos según los tres tipos de corrosión citados por A. Steopoe (1). Extrae el calcio por lixiviación, forma compuestos de aluminio y calcio del conglomerante. Las sales magnésicas del agua marina atacan a los silicatos y extraen el calcio del conglomerante cambiándole por magnesio que se deposita como una masa incoherente de hidróxido.

Junto a la corrosión que ejerce, el agua del mar también actúa beneficiosamente, pues el carbónico que contiene y al que se suma el producido en la actividad biológica de los organismos marinos origina un depósito superficial de carbonato cálcico que dificulta y retrasa los efectos destructivos antes citados.

Además de estos efectos de origen químico, las estructuras de hormigón situadas en contacto con agua de mar están expuestas al efecto destructor del oleaje y, en la zona alternativamente emergida y sumergida por efecto de las mareas, a las fuerzas expansivas originadas por la cristalización de las sales marinas ayudada por la evaporación que el viento favorece. En los mares no tropicales ni templados hay que añadir el efecto destructor de las temperaturas bajas y productoras de hielo.

Por ambiente marino se designa, generalmente, el terreno y el aire de la zona costera hasta una distancia de 300 a 500 m medidos desde la orilla, variable según la orografía y la geología locales.

Aunque se podría suponer que, fuera del contacto con agua, la alteración del hormigón sería menor, no ocurre así en la práctica, pues los efectos retardadores antes citados no actúan en el "ambiente marino".

La defensa del hormigón situado en el agua del mar o en ambiente marino se consigue o incrementa con las siguientes condiciones:

Máxima compacidad del hormigón, áridos compactos y conglomerante adecuado.

Los conglomerantes más apropiados para las estructuras marítimas según I. Biczok (2), en mares muy salinos, con poco carbónico agresivo y valores algo altos de pH son, en orden descendente de eficacia: siderúrgicos (clases PHA y SC) y puzolánicos. En cambio en mares menos salinos y con pH menos altos, como por ejemplo el Mar Báltico, son más eficaces los puzolánicos que los siderúrgicos. La eficacia de los puzolánicos estriba en dos cualidades: el poder fijador del calcio, característico de las puzolanas, y una cantidad grande de geles silícicos y alumínicos que estos cementos forman al hidratarse y por la hidrólisis de los compuestos formados por el efecto puzolánico.

Los cementos puzolánicos tienen una larga y brillante historia en obras marítimas y de ambiente marítimo en países de climas templados.

(1) A. Steopoe. «Durabilité du béton», pág. 151. Ed. Eyrolles. París 1970.

(2) I. Biczok. «Concrete corrosion Concrete protection», pág. 217. Akademiai Kaidó. Budapest. 1972.

## **Informe acerca de la «composición química mas conveniente para las escorias destinadas a la preparación de conglomerantes siderúrgicos»**

Las escorias que en España pueden aplicarse a la preparación de conglomerantes siderúrgicos, deben de ajustarse a la definición contenida en el "Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en las Obras de Carácter Oficial", 109 y 222 de 1964.

Según la definición citada, se entiende por escorias el producto granulado obtenido por enfriamiento brusco de la ganga, modificada y fundida, procedente de procesos siderúrgicos. En otro párrafo del mismo "Pliego" se añade la condición de "básica".

Quedan así establecidas dos cualidades de la escoria, sin límites cuantitativos: una, relativa a la composición química: el carácter de "básica". Otra que se refiere a la textura químico-física: la granulación, o mejor aún, estado vítreo. Ambas cualidades no son totalmente independientes.

No existe actualmente un conocimiento exacto de la forma cómo dependen las propiedades hidráulicas, latentes en las escorias, de su composición química. La necesidad de fijar algún criterio que permita juzgar químicamente la calidad de estos materiales ha originado una pléyade de expresiones empíricas, más o menos sancionadas por la experiencia; merecen citarse las siguientes:

$$\text{Índice de basicidad: } \frac{\text{CaO } \%}{\text{SiO}_2 \%} > 1$$

$$\text{Valor óptimo: } 1,45 < \frac{\text{CaO } \%}{\text{SiO}_2 \%} < 1,54$$

$$\text{Número de basicidad: } \frac{\text{CaO } \% + \text{MgO } \%}{\text{SiO}_2 \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \%} > 1$$

$$\text{Número de actividad: } \frac{\text{SiO}_2 \%}{\text{Al}_2\text{O}_3 \%} \quad 1,8 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,9$$

Módulo silíceo

$$\text{Índice de Langavent: } i = 20 - \text{CaO } \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \% + 0,5 \text{ MgO} - 2\text{SiO}_2$$

$$\text{Valor óptimo: } i > 12$$

Módulos alemanes:

$$F_1 = \frac{\text{CaO } \% + \text{MgO } \% + 1/3\text{Al}_2\text{O}_3 \%}{\text{SiO}_2 \% + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 \%} \geq 1$$

$$F_2 = \frac{\text{CaO } \% + \text{MgO } \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \%}{\text{SiO}_2 \%} \geq 1$$

$$F_3 = \frac{\text{CaO } \% + \text{CaS } \% + \text{MgO } \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \%}{\text{SiO}_2 \% + \text{MnO } \%} > 1,5$$

El carácter empírico, más o menos atenuado, de estas expresiones, impone un conocimiento estadístico de los valores que en diferentes países ofrecen al ser aplicados a las escorias siderúrgicas utilizadas en la industria del cemento. Para ello se utilizan los valores que en el “Manual sobre Conglomerantes Siderúrgicos” publicó el I.E.T.c.c., páginas 113 y 114:

	Máximo	Mínimo	Más frecuente
CaO/SiO <sub>2</sub>	1,8 Inglaterra	0,91 Inglaterra	1,4
CaO + MgO/SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4 España	0,6 Inglaterra	1,0
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0 Alemania	1,2 Bélgica	2,2 (1,5 y 2,7)
F <sub>1</sub>	1,6 España	0,9 Inglaterra	1,3
F <sub>2</sub>	2,3 Bélgica	1,5 Francia y Alemania	2,0
F <sub>3</sub>	2,2 Bélgica y U.S.A.	1,1 España	1,9

El investigador rumano S. Solacolu (Zement-Kalk-Gips, 1958, n.º 4, págs. 125-136) ha realizado una serie de experiencias que le han conducido a las siguientes conclusiones:

Los índices habitualmente aplicados a las escorias (por ejemplo los anteriores) se deben a la idea de que las propiedades hidráulicas (latentes) de las escorias varían en forma lineal y continua según la composición química de las mismas; esta interdependencia no existe en muchos casos ni tampoco en la forma supuesta.

Se ha atribuido al estado vítreo de las escorias un mayor contenido de energía en comparación con el estado cristalino (a igualdad de composición), el cual daba lugar a una mayor labilidad en los constituyentes y que se traducía en una mayor reaccionabilidad. Si se recuerda la constitución cristalina del clínker de portland, tan hidráulico, y además se tiene presente que no es muy grande la diferencia experimentalmente encontrada en el valor energético de las escorias vítreas y cristalinas, se puede aceptar que el estado vítreo tiene sólo un papel coadyuvante en el desarrollo de las propiedades hidráulicas.

Las observaciones de Zachariasen (Journal American Chem. Soc. 1932, 54, 3841) aplicadas por Parker y Nurse (Building Research Tech. Pap. n.º 3, 1949) permiten suponer la existencia de una heterogeneidad en la fase considerada como vítrea; por ello Solacolu la denomina “cuasi cristalina” pues, como ya había sugerido C. de Langavant (Rev. Mat. 1949, págs. 401 a 411) existe en ella una orientación de los iones en grupos diferenciados y discretos que poseen determinado grado de coordinación entre sí.

Esta heterogeneidad de la fase “cuasi cristalina” explica las variaciones en las propiedades hidráulicas encontradas al aplicar los índices tradicionales. Para Solacolu las propiedades hidráulicas dependen de la relación existente entre la composición química de la escoria y la que tendría el sólido que de ellas se separaría en primer término al cristalizar por una lenta disminución de temperatura. A la fase cristalina así separada aplica Solacolu el término, usual en Petrografía, de “paragénesis” y a la relación antes mencionada “grado de saturación”.

Los resultados experimentales obtenidos por Solacolu (Resistencias mecánicas de cementos 30/70) indican que una escoria será tanto más “hidráulica” cuanto más se aproxime su composición centesimal o mejor estequiométrica, expresadas en óxidos, a la que posee la “paragénesis” correspondiente a la zona del diagrama de fases en que se deban situar la escoria que se examina.

Las escorias básicas generalmente usadas en la industria de los conglomerantes pertenecen al grupo de las paragénesis Melílicas, es decir de aquéllas que al cristalizar contiene, de los 20 compuestos posibles, los siguientes:

- Melilita (serie de compuestos  $C_2NS_2$  —  $C_2AS$ )
- Silicato bicálcico  $C_2S$
- Silicato tricálcico  $C_3S$
- Gehelenita  $C_2AS$
- Anortita  $CAS_2$
- Espinela MA
- Akermanita  $C_2MS_2$

Las mejores resistencias mecánicas se obtienen con escorias situadas en las zonas de las paragénesis M I a M VIII.

Los “grados de saturación” o índices se fijan así:

$$\text{Paragénesis I: } \frac{\text{CaO}}{0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3} \times 100 < 100$$

$$\text{MgO} < 14,7 - 0,4\text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\text{Paragénesis II: } \frac{\text{CaO}}{0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3} \times 100 > 100$$

$$\text{MgO} < 14,7 - 0,4\text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\text{Paragénesis III: } \frac{\text{CaO} + 0,93\text{MgO}}{1,26\text{SiO}_2 + 0,4\text{Al}_2\text{O}_3} \times 100 < 100$$

$$\text{MgO} > 14,7 - 0,4\text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\text{Paragénesis VII: } \frac{\text{CaO} + 1,4\text{MgO}}{1,4\text{SiO}_2 + 0,27\text{Al}_2\text{O}_3} \times 100 < 100$$