

Situación actual y perspectivas del uso de fibras de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios

M^a I. NIETO

Instituto de Cerámica y Vidrio. Ctra. de Valencia, km 24,300. 28500 Arganda del Rey. Madrid (España)

E. A. MARI

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Casilla de Correos 157. 1650 San Martín (Argentina)

RESUMEN.—Situación actual y perspectivas del uso de fibras de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios.

La utilización de fibras de vidrio para el reforzamiento de cementos y hormigones es considerado con creciente interés. Sin embargo, la extensión de su uso ha sido limitada ya que la resistencia mecánica inicial va decreciendo con el tiempo, y después de algunos años se presentan problemas de fractura. Esto es debido a que el medio fuertemente alcalino del cemento Portland ataca lentamente las fibras hasta degradarlas por completo.

En este trabajo se presenta un panorama actualizado del conocimiento y la aplicación de las fibras de vidrio para el reforzamiento de cementos, así como de las tendencias en la búsqueda de soluciones que podrían cambiar sustancialmente las perspectivas de uso de estos materiales.

ABSTRACT.—State of the art and future trends on the applications of glass fibers for the reinforcement of cement materials.

Nowadays, the applications of glass fibers for the reinforcement of cements and concrete is being considered of growing interest. However, their starting mechanical resistance decreases with the time, giving rise to fracture problems after years. Therefore, their application has been limited in the last years due to this problem. This is due to the low durability of fibers in the strong alkali media of Portland cement. This paper shows a present panorama of the state of the art on the application of glass fibers for the cement reinforcement. A discussion of research trends for finding solutions to the above mentioned problem is also presented.

1. INTRODUCCION

El reforzamiento de los materiales cementicios (cementos, morteros, hormigones) con fibras para mejorar su resistencia a la tracción, es conocido desde hace tiempo (1). Actualmente, y dependiendo del tipo de elemento constructivo, de la disponibilidad de los materiales y de los costos involucrados, se utilizan distintos tipos de fibras (tabla I). El material compuesto resultante presenta una elevada resistencia a la tracción a los 28 días, que luego va disminuyendo con el tiempo, con mayor o menor velocidad según el tipo y grado de la interacción entre la fibra y la matriz, y de las condiciones ambientales (principalmente humedad y temperatura).

Entre las fibras a base de polímeros orgánicos, las de origen natural han dado buenos resultados sólo para tiempos relativamente cortos, pues bloquean la fisuración temprana del material, y en períodos prolongados de servicio se degradan paulatinamente. Se han realizado experiencias de «mineralización» de las fibras por impregnación con silicatos (1), obteniéndose resultados aun no satisfactorios. De todas las fibras artificiales utilizadas, las de poliamida presentan buenos resultados, incluso a tiempos largos de uso. El mayor inconveniente de estas fibras es su baja resistencia al fuego, por lo que el hormigón reforzado pierde su característica de incombustibilidad.

En cuanto al reforzamiento por fibras de acero (general-

mente en forma de mallas), a pesar de las buenas propiedades mecánicas obtenidas, se presenta como inconveniente el ataque del acero normal por el medio cementicio, por lo que se está trabajando en el desarrollo de aceros especiales de mayor durabilidad, aunque son más costosos.

La utilización de fibras cerámicas (asbestos y vidrios), está proporcionando, hasta el momento, unos resultados satisfactorios, tanto en períodos cortos como relativamente prolongados, teniendo en cuenta el balance entre propiedades mecánicas obtenidas y costo de fabricación y, por tanto, los hormigones reforzados con este tipo de fibras son los que están experimentando un mayor desarrollo tecnológico en los últimos años. Sin embargo, el asbesto o amianto, popularizado en el «asbesto-cemento» o «fibrocemento» presenta problemas de salubridad por ser cancerígeno, y en algunos países ya ha sido prohibido. Por su parte, el uso de fibras de grafito está aún en una etapa experimental, y el elevado coste de las mismas no permite prever su utilización masiva, aunque las propiedades obtenidas son buenas.

En definitiva, el material que se revela con más posibilidades actualmente, en cuanto al comportamiento mecánico del compuesto, es el vidrio, y es hacia el uso de la fibra de vidrio como reforzante (en forma similar a lo ocurrido años atrás en el caso de los plásticos), hacia donde se está dirigiendo una creciente atención. El tema presenta una gran importancia para la industria de la construcción, pues permite contar con elementos livianos y altamente resistentes; los datos típicos muestran que, para idéntica resistencia a la flexión a los 28 días, un espesor de 10 mm de GRC («glass

Recibido el 18-1-90 y aceptado el 20-2-90.

reinforce concrete») es equivalente a un espesor de hormigón armado de 50 mm.

En el caso de matrices neutras o poco alcalinas, como el yeso o los cementos aluminosos, el vidrio E (de tipo borosilicato con bajo contenido de álcali), utilizado para el reforzamiento de plásticos, da buenos resultados; no siendo así con los cementos comunes (cemento Portland) de alcalinidad elevada, con los que las fibras resultan fuertemente atacadas. Por su parte, los vidrios comunes sodocálcicos (vidrio A y similares), tampoco dan buenos resultados, pues el medio fuertemente alcalino de la matriz lleva a su rápida desintegración y a la expansión del hormigón por un mecanismo similar al de la reacción «álcali-agregado».

Se plantearon en su momento dos alternativas: la primera, proteger a las fibras del ataque alcalino mediante la aplicación de tratamientos superficiales y recubrimientos protectores adecuados; la segunda, fabricar fibras con un vidrio de composición especial resistente a los álcalis (vidrios, AR, del inglés «alkali resistant»).

Las primeras fibras de vidrio AR, basadas en silicocirconatos, fueron desarrolladas en Gran Bretaña a fines de la década de los 60 (2), y fabricadas a partir de 1971 por la firma Pilkington bajo la denominación de CEM-FIL como marca registrada. El optimismo inicial no fue, sin embargo, confirmado en la práctica, dado que, si bien presentaban una alta resistencia al ataque alcalino en experimentos de laboratorio y en las primeras épocas de su puesta en servicio, los hormigones reforzados con dichas fibras mostraban una pérdida, lenta pero gradual, de su resistencia a la tracción, la cual después de 8 ó 10 años, según las condiciones de preparación y uso, descendía a valores muy bajos, produciéndose la destrucción del material.

En 1985, Pilkington puso en el mercado las fibras CEM-FIL 2 que, teniendo la misma composición que los anteriores, poseen un recubrimiento protector a base de polihidroxifenoles que retarda la reacción (3). En los últimos tiempos se registra una intensa actividad de investigación y desarrollo en institutos y empresas de diversos países y han aparecido en el mercado otros tipos de fibras, con diferentes composiciones y recubrimientos (ver tabla II), y cuyo comportamiento en servicio requerirá aún un largo período de evaluación.

2. INTERACCION ENTRE LAS FIBRAS DE VIDRIO Y LA MATRIZ CEMENTICIA

A partir del momento de la fabricación del material compuesto, en la interfase fibra/matriz se van produciendo una

TABLA I

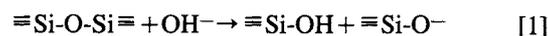
TIPOS DE FIBRAS DE REFORZAMIENTO UTILIZADAS CON MATRICES CEMENTICIAS

TIPO	EJEMPLOS	
Fibras cerámicas	Asbesto, vidrios, grafito	
Fibras metálicas	Aceros especiales	
Fibras a base de polímeros orgánicos	Naturales	Coco, sisal, bambú, bagazo, yute, palma
	Artificiales	Polietileno, poliamida, polipropileno

serie de reacciones químicas, consistentes básicamente en el ataque del vidrio por el medio fuertemente alcalino del cemento. Estas reacciones se desarrollan simultáneamente con las que se producen a causa de la hidratación del cemento y que van teniendo lugar lentamente a lo largo de la vida útil del material, esto es, la cristalización de hidróxido cálcico y silicatos de calcio. Los cristales así formados son responsables de la abrasión de las fibras, lo que se superpone a la propia corrosión producida por el medio alcalino, dando lugar a un proceso de degradación complejo.

Todas estas reacciones prosiguen lentamente con el tiempo y pueden llegar o bien a la destrucción de las fibras, o bien a la cementación de las mismas con la matriz, debido a la acumulación de los productos de reacción, lo que hace que el material compuesto ya no se comporte como tal, sino como un material monolítico frágil. El curso de las reacciones depende de la composición química de las fibras y de la matriz, de la forma de preparación del compuesto, del contenido de agua, de la temperatura y de la presencia de otros agregados. Se ha constatado que en los países de clima tropical, cálido y húmedo, la durabilidad del material disminuye con mayor rapidez.

El mecanismo general de ataque alcalino de los vidrios de silicato, a valores de pH > 9 consiste en la destrucción progresiva de la red, es decir, en la ruptura de los puentes de oxígeno, según la reacción:



A valores de pH mayores de 12, el proceso de corrosión se acelera enormemente, produciéndose la completa destrucción de la red, solubilizándose el ion SiO_3^- .

Por el contrario, el proceso de la circona es muy distinto. En medios fuertemente alcalinos el circonio se disuelve en forma de circonatos, pero su solubilidad es muy pequeña para los valores de alcalinidad típicos de un cemento, por lo que se produce una capa de hidróxido de circonio hidratado que aunque no frena totalmente la reacción de ataque, hace que la misma se desarrolle lentamente (4, 5).

En los vidrios de silicocirconato, por tanto, se forma una capa superficial de SiO_2 y ZrO_2 hidratadas, como consecuencia del ataque, a través de la cual se pueden difundir los iones Na^+ (6). Se ha comprobado que cuanto mayor es el contenido de circona del vidrio, mayor es su resistencia al ataque alcalino, aunque la cantidad posible de ZrO_2 en la composición vítrea viene limitada por la tendencia a la desvitrificación (cristalización de ZrO_2) que se produce y por el aumento de la viscosidad y temperatura de fusión que origina. En general, se ha comprobado que el máximo contenido de ZrO_2 posible se encuentra alrededor del 20% en peso de la misma.

Partiendo del vidrio básico de silicocirconato, se han investigado una gran variedad de composiciones por la adición de un número de óxidos, tales como: Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO , MnO , Fe_2O_3 , B_2O_3 , La_2O_3 , SnO_2 , TiO_2 , etc. Sin embargo, y a pesar de que actualmente existen 100 patentes sobre este tema (3), la complejidad que supone el empleo de muchos componentes no viene justificada, en general, por el incremento de durabilidad obtenido. Si bien casi todos los laboratorios siguen experimentando nuevas composiciones, actualmente sólo se comercializan seis fibras para el reforzamiento de cementos, cuyas composiciones se recogen en la tabla II.

Por otro lado, se trabaja intensamente en el desarrollo de

TABLA II

COMPOSICIONES DE FIBRAS UTILIZADAS EN EL REFORZAMIENTO DE CEMENTOS (3, 7, 8, 9, 10)

	AR-Pilkington CEM-FIL* (Gran Bretaña)	AR-Asahi Super-AR (Japón)	AR-Minelon L (Japón)	AR 2500 (Japón)	REZAL (Checoslovaquia)	VVUS-17F (Checoslovaquia)
SiO ₂	62,00	56,50	62,60	59,60	60,00	61,50
Al ₂ O ₃	0,80	—	1,60	0,40	5,00	0,89
ZrO ₂	16,70	17,00	14,10	18,50	5,00	12,80
CaO	5,60	—	6,90	0,50	10,00	4,10
Na ₂ O	14,80	16,20	12,10	17,20	10,00	12,90
K ₂ O	—	—	—	2,30	—	—
Tierras raras	—	10,30	—	—	—	—
BaO	—	—	—	—	10,00	5,60
MgO	—	—	—	—	—	1,84

* CEM-FIL 2 posee la misma composición con un recubrimiento orgánico de la familia de poli-hidroxi-fenol (3).

tratamientos y recubrimientos superficiales que protejan las fibras del ataque alcalino. La mayoría de estos recubrimientos son de naturaleza orgánica y se aplican por un método de pulverización inmediatamente después de efectuarse el fibrado a partir de la masa de vidrio fundida. De todos estos recubrimientos orgánicos estudiados, que se presentan en la tabla III, tan sólo se puede afirmar que está dando buenos resultados el de polihidroxifenol que recubre la fibra CEM-FIL 2 y que le confiere una mayor resistencia al ataque de la matriz cementicia, ya que en los otros casos se han comprobado que, al cabo de un cierto tiempo, el medio fuertemente alcalino del cemento acaba atacando parcialmente el recubrimiento, por lo que dicho medio entra en contacto con las fibras comenzando su degradación.

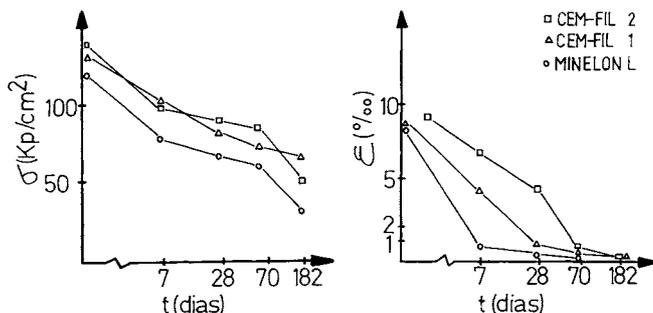


Fig. 1.—Variación de la tensión σ y de la deformación ξ con el tiempo, en la rotura por tracción de probetas de GRC sumergidas en agua a 50°C (9).

Además de estos recubrimientos, Gorshkov (15) ha propuesto uno a base de acetato de berilio que, según dicho autor, presenta muy buenos resultados.

Asimismo, Magdalena y col. (16) trabajan sobre el recubrimiento de fibras con películas de SiO₂-ZrO₂ mediante el método sol-gel. Si bien este recubrimiento parece idóneo para aumentar la durabilidad de las fibras y, además, la adherencia deber ser óptima, la metodología para su aplicación y sobre todo a escala industrial, parece costosa y compleja.

3. PROPIEDADES MECANICAS DE LOS HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS

Los hormigones reforzados con fibras, aun con poca cantidad de las mismas, experimentan una mejora espectacular de sus propiedades mecánicas, lo que permite reducir en gran medida la cantidad y el espesor del hormigón a utilizar y facilita la trabajabilidad del mismo.

En la tabla IV se presentan, a título de ejemplo, los valores de diferentes propiedades mecánicas del cemento Portland sin reforzar y reforzado con fibras de distinta naturaleza. En el caso concreto de GRC se consigue un material con una resistencia a la tracción muy superior al hormigón sin reforzar, incombustible y con buena resistencia a las heladas. Sin embargo, su característica fundamental, es su ductilidad, ya que rompe a deformaciones muy superiores a las del mortero sin fibra (8).

Los factores dependientes de las fibras que más influyen en las propiedades mecánicas de los hormigones reforzados son: la naturaleza de las fibras, su orientación en el material compuesto obtenido, así como el porcentaje y tamaño de las mismas. Del conjunto de fibras que se están utilizando, ya se ha comentado que las que mejores resultados aportan son las de aceros especiales, las de poliamida y, dentro de las cerámicas, las de vidrio con alto contenido de circonita, ya que son las únicas que mantienen las propiedades mecánicas a los largo del tiempo.

Los trabajos de Majumdar y col. (20) ponen de manifiesto que los valores obtenidos de las propiedades mecánicas son superiores en tanto en cuanto se aumenta la fracción de fibra incluida, si bien su evolución con el tiempo es distinta. Mientras que los valores obtenidos en los hormigones reforzados con mayor porcentaje de fibras se mantienen durante años, este efecto no es permanente en el caso de utilizar distintas longitudes de fibras.

3.1. Evolución de las propiedades mecánicas con el tiempo

En la figura 1 se presenta la evolución de algunas propiedades mecánicas de GRC con el tiempo en condiciones de ensayo acelerado (8). La degradación de los valores de las

TABLA III

RECUBRIMIENTO ORGANICOS DE FIBRAS PARA REFORZAMIENTO DE CEMENTOS

Naturaleza del recubrimiento	Cita bibliográfica
Epoxy	(11)
Clorosilano	(12)
Copolímero de butilacrilato y acetato de polivinilo	(13)
Copolímero de propionato de vinilo y cloruro de vinilo	(14)
Polihidroxifenol	(3)

propiedades mecánicas experimentada a lo largo del tiempo viene regida principalmente por tres factores:

- Tipo de fibra empleada y su resistencia al ataque del medio cementicio, como ya se ha expuesto anteriormente.
- Ambiente en que se encuentra el hormigón reforzado, siendo mucho más enérgica la degradación de propiedades en condiciones ambientales normales y en agua que cuando los hormigones reforzados se mantienen en aire seco (21).
- Tipo de cemento empleado y, por tanto, alcalinidad del mismo, siendo distinto el grado de ataque que experimentan las fibras inmersas en cemento Portland ($\text{pH}=12,9-13$), en cemento de alta alúmina ($\text{pH}=12,2-12,4$) o en cemento de supersulfato ($\text{pH}=11,9-12$) (fig. 2) (22). Es necesario, pues, emplear aditivos que reduzcan el pH del medio, disminuyan la cristalización de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y protejan las fibras.

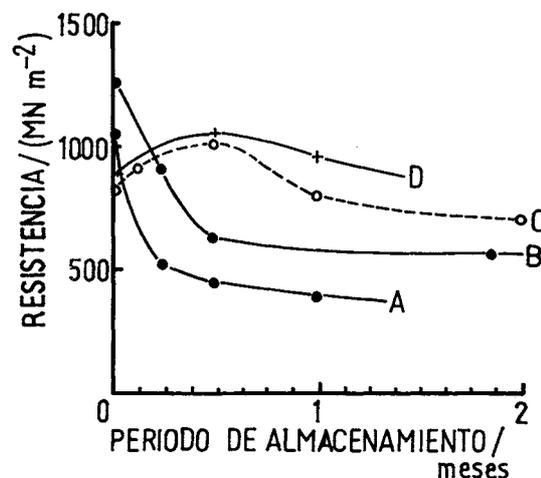


Fig. 2.—Variación de la resistencia a la tracción con el tiempo, test SIC, de probetas sumergidas en agua a 50°C (22). A: fibra E en cemento de supersulfato. B: fibra CEM-FIL en cemento Portland. C: fibra CEM-FIL en cemento de alta alúmina. D: fibra CEM-FIL en cemento de supersulfato.

nes alcalinas, no son directamente trasladables al comportamiento de las fibras en la matriz cementicia en las condiciones de uso del GRC.

Según la Norma ISO 695, se mide la pérdida de peso por unidad de superficie (en $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$) de un trozo de vidrio de forma geométrica determinada, sometido durante tres horas a la acción de una disolución acuosa en ebullición que contiene $0,25 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ de Na_2CO_3 y $0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ de NaOH . Esta norma establece una clasificación de los vidrios en tres clases, de las cuales la primera (pérdida menor a $75 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$), corresponde a los vidrios más resistentes a los álcalis.

Los vidrios AR utilizados en fibras para refuerzo de cementos muestran una pérdida del orden de los 10 a 15 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ como máximo, siendo deseable que dicho valor

TABLA IV

PROPIEDADES MECANICAS DE CEMENTO PORTLAND CON Y SIN REFORZAMIENTO(17, 18, 19)

Fibras reforzamiento	σ_f (MPa)	E (GPa)	K_{IC} (MPam ^{1/2})	Impact. (kJm ⁻²)	Fract. (kJm ⁻²)
Sin reforzamiento	5	20	0,15-1,28	—	0,02
Asbestos 10% peso	40	15	3,60	—	2,00
Asbestos 50% peso	55	25	1,60	4,50	1,15
Fibras vidrio 8% peso	40	30	2,00	8,00	2,00
Polipropileno 6-10% vol.	20	25	0,80-7,50	—	—
Carbón 8% vol.	100	20-30	—	—	—
Poliamida 1,9% vol.	40	20-30	—	17,00	—

3.2. Ensayos de resistencia al ataque alcalino. Metodología e interpretación

El tema de los métodos de ensayo y, en particular, de aquellos que permiten, de forma acelerada, predecir el comportamiento del material a largo plazo, está en permanente discusión. Los resultados de los ensayos de laboratorio, basados en el ataque de muestras de vidrio monolítico por solución

sea el mínimo posible. Utilizando este método, es posible seleccionar entre distintas composiciones de vidrio, aunque el error que se introduce al determinar tan pequeñas pérdidas de peso puede ser importante.

En cuanto a los métodos de ensayo aplicables a las fibras, hay distintas propuestas basadas generalmente en la medición de la disminución del diámetro de las fibras, o de la pérdida de peso tras un ataque alcalino en condiciones de-

terminadas. La evaluación se realiza mediante microscopía óptica, visual o fotográficamente, y debe medirse un número importante de fibras para obtener un resultado estadísticamente significativo.

Ninguno de los métodos anteriores sirve, sin embargo, para predecir el comportamiento de las fibras en la matriz cementicia. Se ha distinguido claramente entre «resistencia a los álcalis» y «resistencia al cemento» (21), en vista de la gran complejidad de los mecanismos de reacción en el segundo caso. Por esta razón ha sido necesario el desarrollo de métodos específicos, de los cuales el más utilizado es el denominado SIC (del inglés «strand in cement») (23).

El método SIC se basa en la preparación de una probeta de GRC de composición similar a la usada en la práctica, y después de un cierto tiempo a una temperatura dada, en un ambiente de humedad controlada, o sumergida en agua, se determina su módulo de rotura por flexión, comparándolo con el obtenido sobre probetas iguales sin tratar. Se puede observar también el estado de las fibras y de la interfase, a nivel microscópico, así como el tipo de fractura y su propagación.

El problema de este tipo de métodos es su difícil normalización para poder comparar resultados entre distintos laboratorios, por lo que se está trabajando intensamente en este tema. Los últimos trabajos de Proctor y col. (24) ponen de manifiesto una concordancia aceptable entre los resultados experimentales obtenidos con GRC durante 10 años en Gran Bretaña y los datos predichos por el test SIC acelerado a distintas temperaturas, 50, 60 y 80°C, durante diferentes tiempos (fig. 3).

4. PERSPECTIVA DE USO DE CEMENTOS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO

Pese a las dificultades apuntadas, los GRC tienen un uso creciente, principalmente en estructuras livianas, paneles y morteros para exteriores, presentando la importante ventaja de que es relativamente sencillo obtener las más variadas texturas superficiales y aplicar pinturas u otros recubrimientos.

Estas aplicaciones se han desarrollado fundamentalmente en los países de Europa occidental y Japón. Menores parecen ser estas aplicaciones en los EE.UU., aunque en este país es donde se trabaja más intensamente en la sustitución de las fibras de amianto. De los países del área socialista, en Checoslovaquia y en la Alemania se está comenzando con

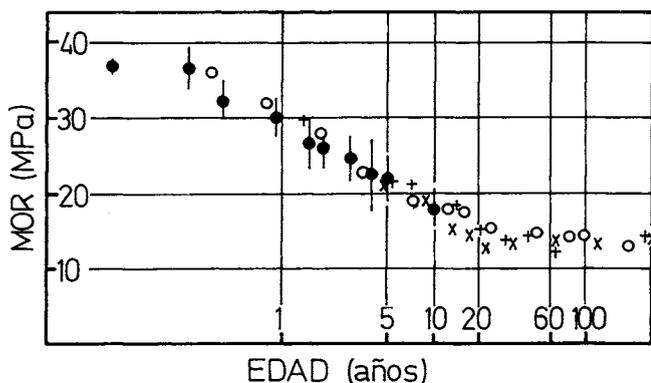


Fig. 3.—Evolución del módulo de rotura de probetas de GRC en el clima de Gran Bretaña (▲), comparado con las predicciones del test acelerado a 50°C (○), 60°C (+) y 80°C (x) (24).

la fabricación de las fibras, y en la URSS se encuentran a escala piloto. En cuanto a los países en desarrollo, se han realizado aplicaciones en edificios construidos en la India, en países árabes, del sudeste asiático y del norte de África, por cuenta de compañías constructoras contratistas europeas (25). De un único proveedor de fibras en Gran Bretaña, se ha pasado a varios (tres en Japón), y todo indica que podrá haber otros en el futuro.

Las líneas de I+D abarcan tres aspectos:

1) Búsqueda de nuevas composiciones del vidrio

Ya se han mencionado las acciones en este sentido, pero si bien hay muchos sistemas estudiados, falta un estudio sistemático. Por otra parte, se intensifica la investigación de composiciones sin circonio, dado el encarecimiento que ha sufrido en los últimos tiempos los minerales de circonio, escasos y destinados fundamentalmente a materiales refractarios especiales.

En cualquier caso, toda investigación en la línea de nuevas composiciones de vidrio, tiene que regirse por la búsqueda del equilibrio entre unas condiciones de viscosidad del fundido que permita que la temperatura de trabajo no sea superior a los 1.320-1.350°C y una buena resistencia alcalina. Ambas características son opuestas muchas veces, por eso, a pesar de todas las posibilidades aparentes y de todas las composiciones investigadas, muy pocas de ellas acaban en la fase de desarrollo y aplicación industrial.

2) Tratamientos de la superficie de las fibras y su recubrimiento

Conviene distinguir dos aspectos complementarios: la modificación de la superficie mediante tratamientos químicos, incorporando determinados grupos orgánicos y facilitando, así, la adherencia del recubrimiento, y la aplicación del recubrimiento mismo (sizing), necesario en todo caso para proteger las fibras del roce mutuo en el momento de enrollar los hilos y que, en este caso, tiene una función protectora del ataque alcalino o reguladora de las reacciones que se producen en la interfase vidrio-matriz. Ambas operaciones, tratamiento y recubrimiento, se llevan a cabo en el momento inmediatamente posterior al estirado de las fibras, cuyo esquema de obtención se presenta en la figura 4.

Posiblemente se trate aquí del área en que se registra mayor actividad de I+D y desarrollo de patentes, aunque se publica poco por razones de secreto industrial. El problema es bien complejo, pues, la interacción fibra/matriz es mucho más fuerte que en el caso de las resinas y las matrices orgánicas en general; por tanto, el estudio de las superficies de la fibra y sus modificaciones hace necesario poner en juego toda una serie de conocimientos y técnicas instrumentales (26).

También se ha propuesto el recubrimiento de fibras de vidrio de silicato sodiocálcico por una capa de ZrO₂-SiO₂ obtenida por el método sol-gel (16), aunque no se dispone de información sobre los resultados prácticos.

3) Modificación de los cementos y hormigones

En esta línea, se ha propuesto una variedad de agregados inorgánicos co. objeto de neutralizar el Ca(OH)₂: materiales puzolánicos, metacaolinita (27), cenizas volantes, sílice

coloidal, alúmina, etc., así como el uso de cementos mezcla con escorias de altos hornos, cementos carbonatados de baja alcalinidad, etc. (28). En cada caso hay que estudiar cómo influyen los productos de la reacción sobre el funcionamiento del material compuesto.

La adición de polímeros orgánicos produce un efecto múltiple de protección de las fibras, de barreras frente al agua, de regulación de las reacciones químicas en el seno del cemento y en la interfase, y de relleno de los poros del hormigón (29), por lo que es un campo de trabajo muy activo e interesante, donde también se encuentran muchas patentes y en el que se han obtenido resultados muy alentadores, incluso con fibras de vidrio E (30). Una limitación es el coste elevado de estos aditivos orgánicos y la pérdida de la incom bustibilidad del GRC (8).

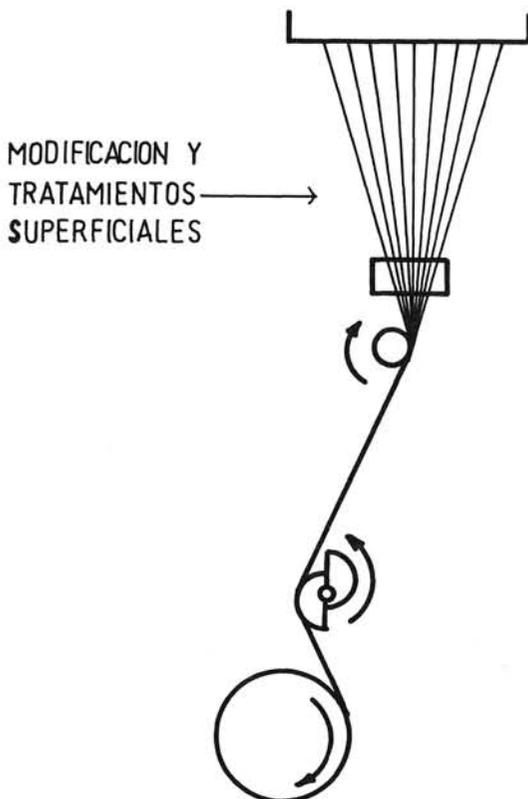


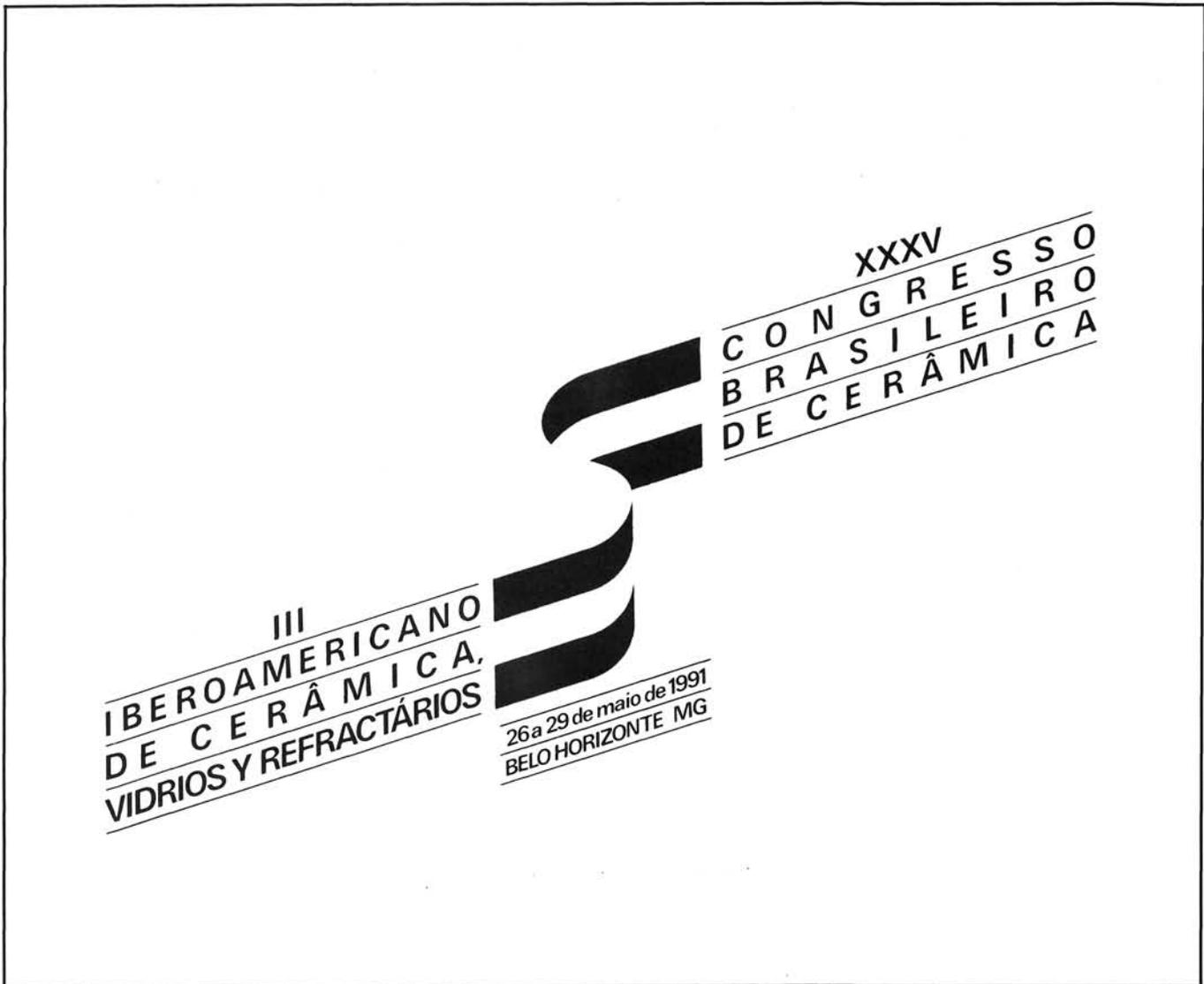
Fig. 4.—Esquema general de obtención de fibra de vidrio continua.

A diferencia de las dos líneas anteriores, en este caso la responsabilidad en la obtención de buenos resultados por modificación en la composición de la mezcla y por introducción de agregados y aditivos, corre por cuenta del usuario. A menudo este proceso implica cambios en la tecnología tradicional utilizada en la industria de la construcción y de cualquier forma, requiere un control muy estricto de las condiciones de preparación y de las etapas de «curado». Asimismo, la sustitución del asbesto por otro tipo de fibras requiere modificaciones profundas en la tecnología y en los sistemas de fabricación actuales.

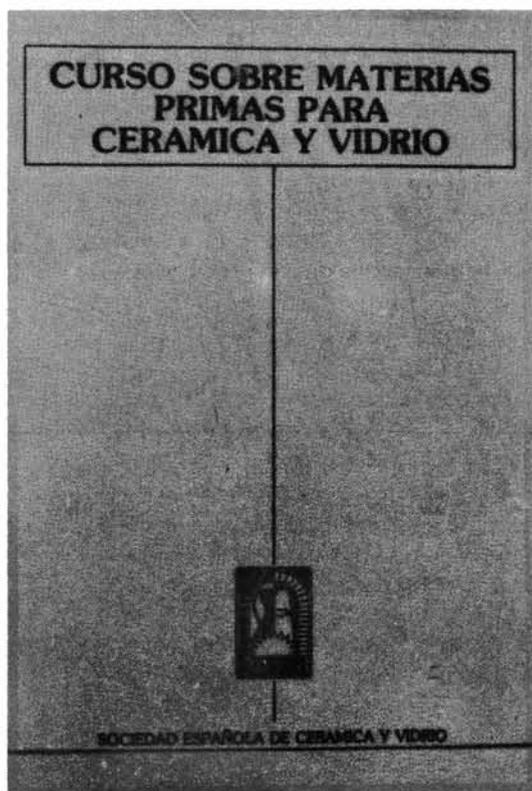
5. BIBLIOGRAFIA

1. SWAMY, R. N. (editor): *Concrete technology and design*. Surrey University Press, London (1983).
2. MAJUMBAR, A. J. y RYDER, J. F.: Glass fiber reinforcement of cement products. *Glass Technol.*, 3 (1968) 3, 78-84.
3. PROCTOR, B. A.: Alkali resistant glass fibers for reinforcement of cement; en WRIGHT, A. F. y DUPUY, J. (editor): *Glass Current Issues*. M. Nijhoff Publ. Dordrecht (1985).
4. MARI, E. A.: *Vidrios resistentes a los álcalis*. Actas II Congreso Iberoamericano de Cerámico, Vidrio y Refractarios, Buenos Aires (1988), 185-191.
5. CHAKRABORTY, M., DAS, D., BASU, S. y PAUL, A.: Corrosion behaviour of a ZrO₂ containing glass in aqueous acid and alkaline media in a hydrating cement paste. *Intern. J. Cement Composites*, 1 (1979) 3, 103-109.
6. FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M. y MARI, E. A.: Influencia de algunos óxidos formadores de red sobre el comportamiento químico de vidrios de silicato sodicocálcico. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.* (En prensa.)
7. OTHA, H., YANAGISAWA, O., MUKAIYAMA, T., OHGASHI, T. y TAKEDA, R.: New AR-Glass Fiber, ARFIBRE-SUPER. Proc. XIV Inter. Congress on Glass (1986), India, vol. II, 233-240.
8. RODRÍGUEZ, J.: Morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio. *Revista BIA*, n.º 103 (1987) 16-23.
9. VANIS, M., KOMLOS, K., BABAL, B. y KOZANKOVA, J.: Properties of low zirconium dioxide glass fibres resistant in alkaline media. *Proc. XV Intern. Congress on Glass. Leningrad* (1989), vol. 3b, 296.
10. PLSKO, A., SIMURKA, P., LICHVAR, P., MELISOVA, M., BITTOVA, H.: The research of glasses suitable for alkali-resistant fibers production. *Proc. XV Intern. Congress on Glass. Leningrad* (1989), vol. 2b, 117-119.
11. GOLOSOVA, L. V. y KOROBKOV, V. I.: Properties of a polymer coating on glass fibers for structural materials. *Inorg. Mater.*, 20 (1984) 4, 620-621.
12. GRASSI, G., STAFFERI, L. y BADINI, C.: E-Glass fibers with a surface coating: reaction to alkaline attack. *Silic. Ind.*, 11-12 (1985) 143-148.
13. SCHAEZT, S.: Long-term strength of GRC composites reinforced with alkali-resistant glass fibres. *Silicaty*, 29 (1985) 4, 301-307.
14. WEST, J. M., MAJUMBAR, A. J. y DEVEKEY, R. C.: Properties of GRC modified by vinyl emulsion polymers. *Composites*, 17 (1986) 1, 56-62.
15. KUZNETSOVA, L. G. y GORSHKOV, S. V.: Influence of the surface treatment of zirconium-containing glass fibers on their alkali resistance. *Inorg. Mater.*, 21 (1985) 1, 114-117.
16. MADDALENA, A., GUGLIEMI, M., GOTTARDI, V. y RACCANELLI, A.: Interactions with portland cement paste of glass fibres coated by the sol-gel method. *J. Non-Cryst. Solids*, 82 (1986) 356-365.
17. ALFORD, M. M. y BIRCHALL, J. D.: Fibre toughening of MDF cement. *J. Mater. Sci.*, 20 (1985) 37-45.
18. SWAMY, R. N.: Fracture Mechanics of concrete. Witt-

- mann, F. H. Ed. (1983). Elsevier Sc. Publ. B. V. Amsterdam, 411-461.
19. BIRCHALL, J. D.: Shells, Cements and Ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 83 (1984) 6, 158-165.
 20. SINGH, B. y MAJUMBAR, A. J.: The effect of fibre length and content on the durability of glass reinforced cement-ten year results. *J. Mat. Scien. Letters*, 4 (1985) 967-971.
 21. MASSOL, J. J., CHOPINET, M. H. y SABOURAUN, A.: L'alcali-résistance et la ciment-résistance des verres. *Glast. Ber.*, 56k (1983) I, 662-667.
 22. PROCTOR, B. A. y YALE, B.: Glass fibres for cement reinforcement. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A294 (1980) 427-436.
 23. LITHERLAND, K. L., OAKLEY, D. R. y PROCTOR, B. A.: The use of accelerated ageing procedures to predict the long term strength of GRC composites. *Cement and Concrete Res.*, 11 (1981) 455-466.
 24. AINDOW, A. J., OAKLEY, D. R. y PROCTOR, B. A.: Comparison of the weathering behaviour of GRC with predictions made from accelerated ageing test. *Cement and Concrete Res.*, 14 (1984) 271-174.
 25. RODRÍGUEZ, J. y JORDAN, M.: Aplicaciones del GRC en España y Argelia. *Inf. Construcción*, 38 (1986) 383, 65-72.
 26. NIETO, M^a I.: Transformaciones de la superficie del vidrio. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 26 (1987) 2, 83-92.
 27. AMBROISE, J., DEJEAN, J. y PERA, J.: Study of fiber matrix interfaces in metakaoline-OPC blended cement GRC composites. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 114 (1988) 175-180.
 28. BIJEN, J.: A survey of new developments in glass composition, coatings and matrices to extend service lifetime of GRC. *Int. Symp. on Durability of glass fibres reinforced concrete*, Chicago (1985).
 29. BIJEN, J. M.: Curing of GRC. *Proc. Intern. Congress on Glass fibre reinforced cement* (1987) 71-77.
 30. WEST, J. M., DE VEKET, R. C. y MAJUMBAR, A. J.: Acrylic-polymer modified GRC. *Composites*, 16 (1985) 1, 33-40.



Curso sobre materias primas para cerámica y vidrio



Temas sobre fisicoquímica, tecnología, geología, economía.

Edit. J. M.^a GONZALEZ PEÑA, M. A. DELGADO MENDEZ y J. J. GARCIA RODRIGUEZ.

Public.: Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 1987.
VII + 255 págs.; 40 figs.; 40 tablas.

La publicación recoge la labor realizada en un curso intensivo sobre el tema, celebrado en Madrid en 1986. Todos los trabajos que la componen están realizados por personas que poseen probada experiencia en sus respectivas especialidades lo que hace que, en muchos casos, sirvan al sector desde puestos de alta responsabilidad.

En ella se tratan los problemas relacionados con nuestras materias primas desde ángulos complementarios pero muy diversos, lo que ayuda al enriquecimiento de su contenido.

Es éste el siguiente:

- Generalidades sobre materias primas para cerámica y vidrio.
- Estructura cristalina de las arcillas.

- Propiedades físicas de las arcillas.
- Acción del calor sobre las materias primas y composiciones cerámicas.
- Materias primas cálcicas y magnésicas utilizadas fundamentalmente para pastas de cocción rápida.
- Materias primas de barnices y pigmentos para cerámica.
- Sílice y feldespatos. Su significación en cerámica y vidrio.
- Materias primas de síntesis de productos cerámicos y especiales.
- Investigación minera para cerámicas de construcción.
- Proyecto minero, estudio de viabilidad.
- Explotación, máquinas y métodos.
- Control de producción de caolín.
- Mercado del caolín.
- Las arenas de cuarzo.
- El sector de materiales de construcción ante la adhesión a la Comunidad Económica Europea.
- Ideas básicas sobre la fabricación del vidrio.
- Mercado de materias primas en Cerámica y Vidrio.

PRECIO:

Socios de la SECV: 5.800 ptas.

No Socios: 6.500 ptas.

Los pedidos pueden dirigirse a: **SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERAMICA Y VIDRIO**
Ctra. Valencia, Km. 24,300
28500 ARGANDA DEL REY (Madrid)