

C.3.19.1 – MATERIALES

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA APLICADA Y ESTRUCTURAS

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
U.N.R.**

MONOGRAFÍA “HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO”

Resumen: En la siguiente monografía se informa sobre las mejoras que sufre el Hormigón al ser reforzado con Fibras de Vidrio, adquiriendo resistencia contra las fisuras. Se analizan los pasos de fabricación, comenzando por la fusión de la materia prima, seguido por el fibrado, encimado, bobinado, secado y transformación final; además de los aspectos constructivos del mismo. Características físicas, químicas y mecánicas. Además se describe el proceso de construcción de un Hormigón reforzado con Fibra de Vidrio (GRC).

Alumnos:

FOLLIS, Maximiliano

LUBARI, Juan Pablo

NICOLAI, Mariana

PEPE, Osvaldo

Segundo Semestre

AÑO 2002

ÍNDICE:

1. - Introducción

1.1. - Un poco de historia

2. - Método de fabricación

2.1. - Composición y fusión

2.2. - Fibrado

2.3. - Ensimado

2.4. - Bobinado

2.5. - Secado

2.6. - Transformación final

2.6.1. - Roving ensamblado

2.6.2. - Hilos cortados

2.6.3. - MAT

2.6.4. - Malla

3. - Forma de comercio

4. - Fabricación de un GRC

4.1. - Elementos constituyentes

4.2. - Proporciones de los materiales constituyentes

4.3. - Proceso de fabricación de un GRC

4.3.1. - Procesos de proyección simultánea

4.3.2. - Proceso de premezcla

4.3.3. - Proceso de colado y vibrado

4.3.4. - Proyección de premezcla

4.4. - El curado

5. - Características mecánicas, físicas y químicas de un GRC

5.1. - Resistencias mecánicas (a los 28 días)

5.2. - Propiedades físicas y químicas del GRC

6. - Ventajas competitivas del GRC

7. - Aspectos constructivos

8. - Cualidades del GRC

9. - El Hormigón reforzado con Fibras de Vidrio

10. - Las Fibras de Vidrio en el Hormigón

10.1. - Fibras de Vidrio de alta integridad

10.2. - Fibras de Vidrio dispersables en agua

11. - Adiciones de las fibras a bajos porcentajes

11.1. - Disminución del agrietamiento por contracción plástica

11.2. - Aumento de la resistencia al impacto

12. - Conclusiones

13. - Bibliografía

1. - INTRODUCCIÓN:

Podríamos definir los Materiales Compuestos como aquellos que se obtienen mediante la unión de diferentes materiales, los cuales de forma individual presentan inferiores características mecánicas, físicas o químicas de las que presenta el conjunto del Material Compuesto que generan. Es pues el Material Compuesto un elemento fabricado expresamente para mejorar los valores de las propiedades que los materiales constituyentes presentan por separado.

Los materiales compuestos generados por las Fibras de Vidrio, son compósitos ampliamente conocidos en el mercado mundial con el nombre de GRC (Glass Fibre Reinforced Cement). Este es pues un material en el cual su matriz resistente es un mortero de cemento Portland armada con Fibras de Vidrio las cuales son resistentes a los álcalis liberados con la hidratación del cemento durante la vida del compósito.

1.1. - UN POCO DE HISTORIA:

El Hormigón presenta muy buenas características ante la compresión, como les ocurre a las piedras naturales, pero ofrece muy escasa resistencia a la tracción, por lo que resulta inadecuado para piezas que tengan que trabajar a flexión o tracción. Esta característica ha conducido a numerosas investigaciones y desarrollos para mejorar las resistencias ante estos sometimientos. Intentando lograr dentro del mundo de los materiales compuestos la solución a esta carencia.

Los primeros grandes desarrollos se lograron con la utilización de fibras de amianto. El material resultante, llamado "Fibro cemento", presentaba grandes ventajas de costo y trabajabilidad.

En búsqueda de un refuerzo que permitiera la consecución de un Material Compuesto robusto, con excelentes prestaciones, se han desarrollado numerosas experiencias con otras fibras de refuerzo tales como las de origen orgánico (aramidas, nylon, rayon, polipropileno,...), inorgánico (vidrio, boro, carbono,...) y metálicas (hierro, fundición dúctil, acero, aluminio,...). De entre todas ellas la mejor relación costo-propiedades mecánicas la ostentan las Fibras de Vidrio ofreciendo una gran facilidad de trabajo y manejabilidad, conjugada con un carácter inocuo y seguro, otorgando a los Materiales Compuestos, generados por ellas; grandes resistencias mecánicas. Los primeros ensayos y experiencias para el refuerzo de los cementos y sus morteros se realizaron con Fibras de Vidrio tipo "E", (usadas normalmente para el refuerzo de plásticos y poliésteres) dada la alta resistencia inherente de las mismas. Sin embargo, dichas tentativas fracasaron debido a que, este tipo de Fibra, al ser incorporada al mortero, estaba sujeto al ataque químico de los cristales alcalinos producidos en el proceso de hidratación del cemento, sin poderse remediar este problema.

En 1967 el Dr. A. J. Majumdar, del Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido, empezó a investigar los vidrios que contenían Circonio, logrando convertir en fibra alguno de ellos y demostrarle la resistencia que presentaban estas fibras ante el ataque alcalino en un medio agresivo como el que suponía el refuerzo de los cementos Portland. Tras 4 años de continuas investigaciones al refuerzo duradero para los cementos se logró y la patente de esta investigación fue solicitada por el National Research Development Corporation (NRDC).

Para la producción a escala comercial, el NRDC y BRE contactaron con la empresa inglesa Pilkington Brothers (PCL), quien con su Compañía subsidiaria Fibreglass Limited desarrollo la explotación, industrial y comercial, del producto. En 1989 la Actividad de la Fibra

de Vidrio Alkali-Resistente fue adquirida por el grupo Saint Gobain por medio de su delegación en España, Cristalería Española S. A. y fabricada y comercializada por la empresa Vetrotex España S.A. que forma parte de este gran grupo.

2. - MÉTODO DE FABRICACIÓN DE LAS FIBRAS DE VIDRIO:

Como principal materia prima en la fabricación de un GRC, se emplean las Fibras de Vidrios, mediante las cuales el GRC logra las características que se van a detallar en este estudio.

En el Vidrio el componente que otorga a la fibra de vidrio su poder de Alkali-Resistencia es el Circonio (Zr).

Los principales componentes de este vidrio son:

Oxido de Circonio	ZrO ₂	≥ 15%
Sílice	SiO ₂	
Alúmina	Al ₂ O ₃	
Oxido de Sodio	Na ₂ O	
Oxido de Titanio	TiO ₂	
Oxido de Calcio	CaO	

El proceso de fabricación de la fibra sigue las siguientes etapas:

2.1. - Composición y Fusión:

Las materia primas, finamente molidas, se dosifican con precisión y se mezclan de forma homogénea.

A continuación la mezcla, llamada vitrificable, es introducida en un horno de fusión directa y calentada a una temperatura determinada. Las temperaturas de fusión rondan los 1550°C y estas dependerán de los elementos constituyentes del vidrio (fundentes, formadores de red, etc...).

Estas condiciones imponen a la hora de la construcción del horno la utilización de refractarios de características específicas a base de óxidos de circonio y cromo, de costo muy elevado.

2.2. - Fibrado:

El vidrio en estado fundido, al salir del horno, es conducido por unos canales alimentando las Hileras de Fabricación de fibras. Estas hileras son elementos fabricados con aleaciones de Platino, de forma prismática y con una base trabajada con un número determinado de agujeros de dimensiones controladas. La distribución y diseño de los agujeros es tal que permiten y facilitan el fibrado del vidrio.

El vidrio fundido se mantiene en la hilera a unos 1250°C, temperatura que permite su colada por gravedad, dando origen a barras de vidrio de algunas décimas de milímetro de diámetro. El calentamiento de la hilera para este proceso se realiza por efecto Joule, con una corriente de seguridad (bajo voltaje y gran amperaje).

A la salida de la hilera, el vidrio se estira a gran velocidad, entre 10 y 60m/s según el diámetro a obtener.

El enfriamiento se realiza en una primera fase por radiación y en una segunda por pulverización de agua fría. De esta forma se logra la no orientación de las partículas en el espacio y por lo tanto la formación de este sólido amorfo que es el vidrio.

El vidrio obtenido tras este proceso tiene forma de filamento de varias micras de diámetro. Los diámetros normales de filamentos oscilan entre las 14 y las 20 μ según el producto y la aplicación a la que se dirija.

2.3. - Ensimado:

El conjunto de filamentos desnudos, tal y como salen de la hilera, son inutilizables directamente, ya que no hay cohesión entre ellos, no resisten la abrasión, carecen de flexibilidad y trabajabilidad, etc...

Para corregir estos efectos y dar nuevas propiedades a la fibra es necesario revestir los filamentos con una fina película (ensimaje) que está constituida en general por una dispersión acuosa de diversos compuestos químicos que presentan una función bien definida.

El ensimaje se deposita sobre los filamentos a la salida de la hilera cuando la temperatura del vidrio está todavía comprendida entre los 60 y 120°C, según las condiciones de fibrado.

La cantidad de ensimaje que se deposita sobre el vidrio es relativamente baja (entre el 0,5 y el 5 %).

Luego de la ensimación se procede a la unión de los filamentos para formar los hilos o conjunto de filamentos dispuestos en formato comercial. La unión de los filamentos se realiza mediante unos "peines" con gargantas especiales en los cuales se produce la unión facilitada por el ensimaje.

Es este proceso el que otorgará al filamento y al hilo las características especiales que:

- Le hará apto ante una aplicación específica.
- Dará cohesión entre filamentos.
- Dará resistencia frente a la abrasión que el filamento pueda sufrir consigo mismo, con otros filamentos o con otras superficies.
- Elimina cargas electrostáticas en los filamentos o unión de los mismos.
- Facilita la trabajabilidad del filamento y su transformación.
- Rigidiza en mayor o menor medida la unión de los filamentos ó hilos.

Existen ensimajes especiales para:

- Resistir la abrasión que supone el amasado de la fibra en un medio extremadamente agresivo como es el de la mezcla con arena, cemento, agua y aditivos químicos.
- Facilitar su corte y proyección en una pistola especialmente diseñada para estos procesos de transformación de la fibra.
- Facilitar la dispersión de los filamentos, esto es, facilitar la desunión entre filamentos.

2.4. - Bobinado: Los hilos obtenidos de la unión de los filamentos son bobinados para dar lugar a productos finales o productos intermedios, que se bobinan según diferentes formas y geometrías.

En este proceso se controlará la velocidad del estirado de las fibras.

2.5. - Secado: Los productos procedentes del bobinado se pasan por diferentes dispositivos de secado con objeto de eliminar el exceso de agua en el que había disuelto el ensimaje y otorgar al ensimaje un tratamiento térmico necesario para consolidar sus propiedades frente a las aplicaciones a las que será sometido.

2.6. - Transformación final: aquí se realizarán las operaciones necesarias para conferir al hilo el formato adecuado para la correcta utilización por parte de los fabricantes de GRC. De esta forma las presentaciones comerciales actuales del vidrio son :

2.6.1. - Roving Ensamblado: Este se obtiene de la unión de un número determinado de hilos, procedentes de ovillos, formando una “mecha”.

La medida física de un hilo, y por extensión de una mecha, viene reflejada por el llamado “título” con unidades denominadas TEX. Así $TEX = gr/km$ que presenta un hilo o una mecha.

Para los Rovings Ensamblados la unidad en TEX habitual de la mecha es de 2450 Tex. Estando formada, en algunos productos u a modo de ejemplo, por 32 hilos de 76,5 tex/hilo o por 64 hilos de 38 tex/hilo.

Todos los rovings tendrán en común el mismo vidrio y se diferencian por el ensimaje.

Los rovings van destinados a aplicaciones de proyección simultánea y a procesos de refuerzo con hilos continuos y/o cortados.

2.6.2. - Hilos cortados: Los hilos procedentes de los ovillos son, en este caso, cortados en longitudes determinadas, según lo exija la aplicación a la que vayan destinados. Estos se utilizan en procesos de amasado y aplicación por medio del colado-vibrado tradicional o por el de proyección de la mezcla realizada.

Dentro de la gama de los hilos cortados tenemos dos grandes familias:

- 1) Los hilos cortados íntegros: Hilos que son capaces de aguantar grandes abraciones durante el amasado con aglomerantes hidráulicos, arenas, gravas, agua y aditivos químicos, manteniéndose en forma íntegra durante y tras el amasado realizado.
- 2) Los hilos cortados dispersables en agua: Hilos que son capaces de dispersarse o dividirse en filamentos individuales que lo forman, durante el proceso de amasado o en contacto con agua o disolución acuosa.

Estos se utilizan en mercados de sustitución del amianto y en mercados en que por su gran resistencia frente al ataque químico, los emplean en la realización de diferentes elementos sin adición de aglomerantes hidráulicos.

2.6.3. - MAT: Es una presentación especial en forma de fieltro en la que los hilos cortados a una longitud determinada son aglomerados entre sí mediante un ligante químico.

Hay distintos tipos de MAT que se diferencian sobre todo por el tipo de hilo de base con el que están fabricados.

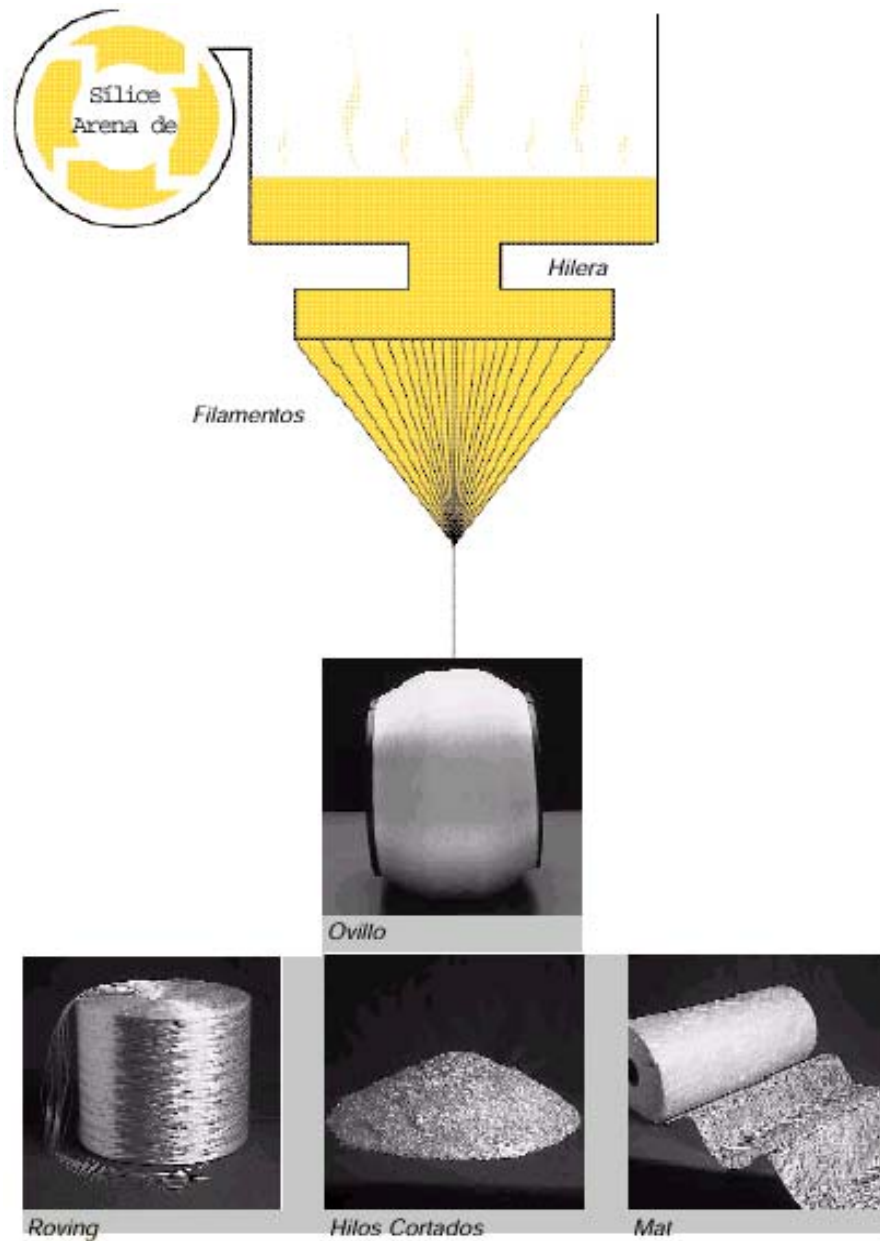
Los gramajes que presentan los MAT son bajos (entre 100 y 225 gr/m²) para favorecer la impregnación de los hilos en el mortero o lechada así como para favorecer su puesta en obra que se presenta de manera muy sencilla e intuitiva.

El refuerzo que ofrece este material es del tipo isótropo y en el plano, facilitando la dosificación controlada de fibras de refuerzo y la orientación de las mismas.

2.6.4. - Malla: Es un tipo de tejido fabricado a partir de mechas de roving directo de igual o diferentes títulos (tex) en trama y urdimbre, tejidos de manera simple o tejidos y tratados con ensimajes de diferentes características según se quieran conseguir unos tipos u otros de protecciones en la transformación de la malla o para la mejora de su trabajabilidad.

De esta forma podemos encontrarnos con distintas mallas, las que se diferencian por sus armaduras:

- 1) Mallas Unidireccionales: en las que el número de hilos es netamente más elevado en un sentido que en otro. En este apartado dispondríamos de mallas Unidireccionales en sentido trama y en sentido Urdimbre. Normalmente los hilos vendrán colocados en paralelo y unidos entre ellos.
- 2) Mallas Bidireccionales: equilibradas o compensadas en las que el refuerzo tanto en número de hilos como en disposición dentro de la malla está compensada y es idéntico en trama y en urdimbre.



3. - FORMA DE COMERCIALIZACIÓN:

Actualmente, las Fibras de Vidrio para la mezcla con el Hormigón se venden en los comercios en bolsas de 600gr, con un precio aproximado de 12U\$, o a granel. Tienen una longitud de 12mm y un diámetro de 14 o 20micrones.



4. - FABRICACION DE UN GRC:

4.1. - Elementos constituyentes:

La matriz del GRC es, normalmente mortero de Cemento Portland y arena silícica, amasado con una proporción controlada de agua y aditivos. La fibra de vidrio se agrega en proporciones controladas, determinadas por la aplicación y la resistencia a otorgar a las piezas de GRC.

A continuación tenemos una lista de los componentes más usuales de un GRC:

- Cemento

- Arena

- Agua

- Fibra de Vidrio A.R.

- Aditivos: Plastificantes, Fluidificantes, Superplastificantes, Pigmentos, Impermeabilizantes, Hidrófugos, Polímeros, elementos puzolánicos especiales, etc.

4.2. - Proporciones de los materiales constituyentes:

La dosificación estándar es la siguiente:

Relación Arena/Cemento → 1:1

Relación Agua/Cemento → entre 0.3 y 0.35

Superplastificante o fluidificante → Aprox. 1% del peso del cemento.

La cantidad de fibra de vidrio dependerá:

1) Del proceso de fabricación del GRC: Dependiendo del proceso de fabricación del GRC tendremos variaciones en la cantidad de fibra añadida. Esto es, si nuestro proceso es el de Proyección Simultánea (uso de la fibra en forma de roving) la cantidad de Fibra será del 5% en peso total de la mezcla realizada para la fabricación del GRC.

Por el contrario, si en nuestro proceso de fabricación hemos de incorporar la fibra de vidrio durante el proceso de amasado del mortero (premezcla o premix) la proporción será del 3% del total de la mezcla realizada.

2) De la aplicación: Las Fibras de Vidrio pueden ser incorporadas entre el 0.1% y el 5% en peso.

Cuando la proporción es baja, las fibras minimizan la segregación de materiales y evitan las microfisuraciones de las piezas fabricadas con cemento, aumentando la dureza y la resistencia a los choques.

Cuando las proporciones se presentan entre el 1% y el 2%, las fibras son ideales para mezclas armadas, reduciendo la densidad de productos de hormigón.

Cuando la proporción está entre el 2% y el 3,5% las fibras sirven de refuerzo primario en productos realizados por moldeo y vibración de bajo costo.

Cuando la proporción es de un 5% se utilizan las fibras para las aplicaciones que exigen una gran resistencia, tales como los paneles de fachada arquitectónicos.

3) La resistencia a otorgar al GRC: La cantidad de Vidrio en forma de fibras es muy importante desde el punto de vista de la resistencia que presenta el elemento compuesto GRC, pero también es importante tener en cuenta la longitud de las fibras para la consecución de unos adecuados niveles de resistencia.

La longitud de la fibra dependerá en gran medida del proceso de fabricación, ya que por ejemplo en procesos de premezcla una fibra muy larga puede darnos problemas de amasado y de destrucción de la fibra por abrasión en su superficie, para estos procesos las longitudes ideales oscilan entre los 6 y 24mm, presentando sus mayores prestaciones a los 12 mm. Para procesos de proyección simultánea (utilización de roving) las longitudes ideales oscilan entre los 30 y los 45 mm. Veamos en una tabla las dosificaciones más comunes para la realización de un GRC:

Tabla de proporciones en KG

	Proyección	Premezcla
ELEMENTO	GRC	GRC
Cemento Portland	100	100
Arena	100	100
Agua	35	35
Superplastificante	1	1
Fibras	12.5	8.6

4.3. - Procesos de fabricación de un GRC:

4.3.1. - Procesos de proyección simultánea: Es un proceso de fabricación mediante el cual obtendremos piezas de GRC reforzadas de forma bidireccional (en el plano). La fabricación consistirá en la proyección de capas que posteriormente se irán compactando entre sí hasta formar el espesor total de la lámina o panel de GRC (normalmente entre 10 y 15mm).

Dentro de este proceso de fabricación del GRC incluiremos los siguientes apartados:

- Proyección simultánea manual
- Proyección simultánea automática
- Proyección simultánea robotizada

4.3.2. - Procesos de premezcla: En este proceso el refuerzo de la fibra de vidrio actúa de forma tridimensional, pues las fibras se orientan en las tres direcciones.

Todos los procesos de premezcla tienen en común el acto del mezclado, que normalmente se efectúa en una hormigonera o en un amasador simple de paletas. Las fibras de vidrio presentan una perfecta incorporación y se pueden mezclar hasta un % elevado dentro de un mortero de cemento/arena sin que se produzcan apelotonamiento o problemas de homogeneización.

El proceso de premezcla consta, normalmente, de dos etapas. En la primera se mezclan y amasan los componentes del mortero y se adicionan los de vidrio y en la segunda se aplica la mezcla al molde (o en su caso a la realización de la obra in-situ, como por ejemplo en la realización de morteros monocapa, revoques, soleras, etc.).

Por lo general las resistencias obtenidas con los procesos de premezcla son inferiores a las obtenidas por proceso de proyección simultánea. Por otra parte, dada la extremada simplicidad, la fácil trabajabilidad y la sencilla puesta en obra, el proceso de colado-vibrado se convierte en la aplicación más rápida y sencilla de realización de todas las de fabricación de piezas en GRC. Dentro de este proceso de fabricación del GRC destacamos:

4.3.3. - Proceso de colado-vibrado: Es el proceso más difundido de aplicación de premezcla.

Las fases de realización de un colado vibrado son: Realización de la premezcla, colado en un molde, vibrado, fraguado, desmoldeo y curado. Este proceso se emplea para la fabricación de un gran número de piezas tanto ornamentales como arquitectónicas. Dentro de este proceso debemos destacar dos variantes:

- Colado-vibrado en molde abierto
- Colado-vibrado en molde y contramolde

4.3.4. - Proyección de premezcla: Esta aplicación ha tenido gran aceptación en los últimos años pues el nivel de resistencia que las piezas de GRC adquieren con él está entre las grandes resistencias del GRC procedente de proyección simultánea y las de un GRC procedente de un colado-vibrado.

4.4. - El curado: El proceso de curado es una de las partes más críticas en la realización de un GRC.

Se ha de prestar mucha atención a la consecución de las condiciones óptimas de curado del GRC para garantizar de esta forma los niveles de resistencia adecuados y diseñados en el proyecto.

Para la consecución de las resistencias diseñadas se aconseja disponer de un lugar en la factoría donde se pueda controlar la humedad y temperatura. Las condiciones de curado recomendadas para un GRC son :

- Temperatura → > 15°C
- Humedad → ≥ 95% HR
- Tiempo → 7 días

Estas condiciones de curado pueden verse modificadas con la adición de un polímero acrílico, reduciendo considerablemente los requisitos y tiempo de curado. Del mismo modo, las condiciones ambientales locales, durante el proceso de fabricación de un GRC, pueden modificar las condiciones expuestas.

Un curado deficiente producirá un límite elástico (LOP) bajo.

Otros tipos de curado pueden ser utilizados, pudiendo decir que, en general, la elección definitiva del tipo y control del curado dependerá en gran medida de los resultados del control de calidad del propio fabricante.

5. - CARACTERISTICAS MECANICAS, FISICAS Y QUIMICAS DE UN GRC:

En este punto veremos los niveles de resistencia adquiridos por un GRC a los 28 días. Todos los valores corresponden a placas de espesor normal (10mm).

5.1. - Resistencias Mecánicas (a los 28 días)

	Unidades	Proyección (Manual Automática)	Premezcla o (Colado-Vibrado- proyeccion)
Fibra (% en peso)	%	5	3
Flexión			
Modulo de rotura	Mpa	20 - 30	10 - 14
Limite elástico	MPa	7 - 20	5 - 8
Tracción			
Modulo de rotura	MPa	8 - 11	4 - 7
Limite elástico	MPa	5 - 7	4 - 6
Resistencia al esfuerzo Cortante			
Resistencia interlaminar	MPa	3 - 5	
Resistencia en el plano	MPa	8 - 11	4 - 7
Resistencia a la Compresión	MPa	50 - 80	40 - 60
Resistencia al Choque	Kj/m ²	10 - 25	10 - 15
Modulo de elasticidad	Gpa	10 - 20	10 - 20
Deformación a la rotura	%	0,6 - 1,2	0,1 - 0,2
Densidad del material	T/m ³	1,9 -2,1	1,8 - 2,0

Tanto la resistencia como la durabilidad del GRC pueden verse mejoradas muy notablemente gracias a la adición de un tipo de metacaolín específico. Las propiedades del GRC pueden verse mejoradas con la adición de polímeros acrílicos. Los datos expuestos se aplican a formulaciones de GRC con una relación arena/cemento entre el 0.5 y 1.

5.2. - Propiedades Físicas y Químicas del GRC

Densidad del Material	T/m ³	1'7 - 2'3
Pesos aproximados		
Lamina simple 8mm de espesor	kg/m ²	16
Lamina simple 12mm de espesor	kg/m ²	24
Panel Sandwich (*)	kg/m ²	44
Retracción irreversible	%	0.05
Retracción final	%	0.2
Coefficiente de Dilatación Térmica	mm °C	10-20 x10 ⁻⁶ / °C
Coefficiente de Conductividad Térmica	W/m °C	0.5 - 1
Resistencia química		Buena
Resistencia a los sulfatos		Se usan cementos especiales
Ambiente marino		No afecta propiedad. Mecánicas
Hielo - Deshielo		Ningún cambio
Permeabilidad al vapor de agua		
BS3177 para 10mm de GRC	Perms.metrico	< 1.3
	s	
Luz ultravioleta		No lo degrada
Acústica - Reducción de dB		
Lamina de GRC de 10mm espesor	dB	30
Lamina de GRC de 20mm espesor	dB	35
Sandwich de 10cm (nucleo P.Exp)	dB	47
Aislamiento Térmico		
Lamina simple 8mm de espesor	W/m °C	5.3
Lamina simple 12mm de espesor	W/m °C	5.2
Panel Sandwich (*)	W/m °C	0.4

(*) El panel sandwich en este caso se compone de una lamina de GRC de 10mm de espesor, una capa de poliestireno expandido de 110mm, y otra capa de GRC de 10mm de espesor.

6. - VENTAJAS COMPETITIVAS DEL GRC:

La mayor de las ventajas que presenta el GRC es su reducido peso (del orden de entre 1/3 y 1/10 del peso de elementos equivalentes en Hormigón Convencional) guardando las mismas o superiores prestaciones.

Esta ventaja de ligereza va a repercutir, positivamente, sobre diferentes factores de diseño e instalación de las piezas y/o estructuras que soporten el GRC y de las mismas instalaciones (puesta e obra) de las piezas realizadas en este material.

Veamos una pequeña lista de factores que pueden verse modificados frente a la utilización del GRC, teniendo siempre en cuenta que estas modificaciones repercutirán de forma directa, en beneficio, sobre el coste de materiales, estructuras y servicios de instalación. Los principales factores que pueden verse modificados son:

***Transporte** de piezas a obra. Por su característica de ligereza se pueden transportar del orden de 3 a 5 veces mas piezas de GRC que de Hormigón convencional, lo cual abarata una partida importante como es la del transporte de los elementos prefabricados a obra.

***Estructura y Cimentaciones** del edificio que sustentan las piezas del GRC. Se ha de tener en cuenta el ligero peso que presentan las piezas de GRC a la hora del diseño de la estructura y sus cimentaciones, lográndose grandes ahorros de material. El poco peso lo hace ideal para su uso en edificios de gran altura.

***Maquinarias de instalación** y puesta en obra. Ya que las piezas de GRC son muy poco pesadas, la maquinaria necesaria para su instalación en obra es mucho mas ligera (de menor capacidad).

***Cuadrillas de montaje.** Debido a la ligereza y características del GRC el montaje se simplifica, reduciéndose el numero total de montadores necesarios.

***Anclajes** y herrajes de unión a los entramados de la estructura son mucho mas ligeros, lo cual repercute sobre el ahorro de materiales.

***El montaje** Es mucho más rápido. Debido al poco peso de las piezas de GRC las grúas emplean menos tiempo de montaje y por lo tanto de construcción. El reducir el tiempo de construcción, permitirá anticipar la entrada en el edificio de otros oficios y un ahorro en los costos de financiación.

Todos estos factores de ahorro, estudiados en su conjunto, suponen una grandísima ventaja competitiva del GRC y lo convierten en líder frente a otros materiales alternativos.

7. - ASPECTOS CONSTRUCTIVOS:

Utilizando una lamina simple de GRC de 10mm, como panel homogéneo, se precisara un trasdosado interior en obra para mejorar el aislamiento térmico.

De uso frecuente son los paneles sandwich que se componen por dos capas exteriores de GRC con un núcleo de material aislante (lana de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido, hormigón aligerado, etc...). Este panel presenta muy buenas características de aislamiento tanto térmico como acústico.

La falta de rigidez en las placas o laminas de GRC, debida a los pequeños espesores utilizados, pueden ser ampliamente solucionadas con el empleo de:

- Rigidizadores en GRC, o lo que es lo mismo nervaduras perimetrales e interiores en los paneles de GRC, normalmente de unos 20mm de espesor.

- Estructuras metálicas de apoyo a la lamina o panel cascara de GRC que, unidas por conexiones especificas y de carácter flexible al GRC, son capaces de absorber y transmitir a la estructura principal del edificio los esfuerzos que actúan sobre el panel de GRC.

8. - CUALIDADES DEL GRC:

Las fibras de vidrio tienen excelentes propiedades, que hacen de ellas el refuerzo ideal para los materiales compuestos de matriz inorgánica.

Las principales cualidades que las fibras confieren al GRC son:

- ***Total perdurabilidad**, ya que la fibra utilizada es inmune a la acción de los álcalis del cemento.
- ***Alta resistencia a la tracción y flexión**, como consecuencia de las propiedades de la fibra.
- ***Gran resistencia al impacto**, debido a la absorción de energía por los haces de fibra.
- ***Impermeabilidad**, aun en pequeños espesores.
- ***Resistencia a los agentes atmosféricos.**
- ***El GRC no se corroe ni se rompe**
- ***Incombustibilidad**, derivada de las características de sus componentes.
- ***Aptitud de reproducción de detalles de superficie.** (Ideal para imitar piedra o pizarra)
- ***Ligero**, lo que reduce los costos de transporte, puesta en obra e instalación.
- ***Aptitud a ser moldeado en formas complejas.** (Especialmente útil para la renovación y restauración de inmuebles)
- ***Gran resistencia contra la propagación de fisuras.**
- ***Reduce la carga en los edificios**, lo que conduce a una reducción de los costos de estructuras y cimentación.
- ***Reduce los cuidados de mantenimiento.**
- ***Excelente resistencia frente al vandalismo.**
- ***Enorme catalogo de texturas y acabados**
- ***Ilimitadas posibilidades de diseños arquitectónicos.**

9 - EL HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO:

Frente a todas las aplicaciones de transformación de las fibras de vidrio, es el refuerzo del hormigón convencional la que mayores posibilidades y perspectivas de futuro presenta.

Las aplicaciones de las fibras encuentran en el refuerzo del hormigón un extenso campo de posibilidades, algunas de las cuales todavía sin estudiar o en proceso de estudio por las Universidades y Laboratorios en todo el mundo, dada la actual necesidad de materiales alternativos a los tradicionales y ante la gran familia de productos de fibra.

10. - LAS FIBRAS DE VIDRIO EN EL HORMIGÓN:

El empleo de las fibras, resistentes a los álcalis, en morteros de cemento ha aumentado firme y progresivamente desde hace ya mas de 30 años pero, por el contrario, se ha presentado relativamente poca atención a su uso en mezclas de hormigón convencionales y a los grandes beneficios que a estas pueden aportar.

Las fibras de vidrio presentan un modulo elástico muy superior al de la mayoría de las fibras orgánicas, como las de polipropileno, pero menor que el del acero. Todas estas fibras (inorgánicas, orgánicas y metálicas) han sido estudiadas con profundidad, pero en el caso de las fibras de vidrio las publicaciones editadas han sido muy escasas lo que ha conllevado un menor conocimiento de su empleo, hasta de su existencia, entre los diseñadores, prescriptores, especificadores y fabricantes tanto de hormigón preparado como de hormigón para piezas prefabricadas en general.

Una de las propiedades fundamentales de las fibras utilizadas para reforzarlos cementos, morteros y hormigones es el modulo elástico. A 72 GN/m², el modulo del vidrio se encuentra entre el del acero y el del polipropileno, productos ambos utilizados en el hormigón.

Dada la extensa gama de productos de fibra de vidrio aplicadas en el refuerzo del hormigón se eligen 2 tipos de la misma:

10.1. - Fibras de Vidrio de Alta Integridad

Fibras de vidrio en forma de hilos cortados de alta integridad.

Hilos cortados de 150 filamentos aprox. De 14 micras de diámetro.

Longitud mas eficiente de este hilo:12mm

Dosificación mínima de 0´9 a 10 kg/m³ (según diseño del hormigón)

10.2. - Fibras de Vidrio Dispersables en Agua

Fibras de vidrio en forma de hilos cortados dispersables en agua.

Filamentos de 14 micras de diámetro.

Longitud mas eficiente de este hilo: 12mm

Dosificación mínima de 0´6 kg/m³

Cada una de las fibras de vidrio se presentan comercialmente en forma de hilo cortado.

Estos hilos están compuestos por un numero determinado de filamentos unidos entre si por un ligante (ensimaje) que conforma un haz llamado comercialmente hilo cortado. Tanto el numero de filamentos del que se compone cada hilo así como el diámetro de los mismos y el ligante utilizado van a otorgar diferentes propiedades al producto y, por lo tanto, al hormigón al que sean incorporadas. Además de estas características propias o intrínsecas de las fibras de vidrio, otros parámetros como son la dosificación (cant. de fibras por m²) y la longitud de los hilos cortados van a intervenir de forma notable en el refuerzo del hormigón y en las prestaciones del mismo.

11. - ADICIONES DE LAS FIBRAS A BAJOS PORCENTAJES:

Una buena lista de ventajas en la propiedades del hormigón hacen pensar en que el refuerzo con la adición de fibras de vidrio a baja dosificación es mas que aconsejable. Entre los beneficios destacamos:

- Las fibras de vidrio suponen el refuerzo real del Hormigón cuando este tiene muy poca o ninguna resistencia (primeros días de vida del hormigón). A medida que el hormigón aumenta la resistencia en las primeras horas después de su colada, disminuirá la contribución de las fibras de vidrio a la resistencia del hormigón, cuando estas han sido dosificadas en bajas cantidades.
- Las fibras de vidrio distribuyen a toda la masa del hormigón fuertes sollicitaciones locales.
- La presencia física de las fibras de vidrio inhibe el movimiento de la humedad en el hormigón, durante y después de su colada, obteniendo un hormigón más homogéneo y, en consecuencia, con una mayor resistencia media global.
- Las fibras de vidrio mejoran la resistencia a los daños, particularmente durante la manipulación de componentes "jóvenes".
- Mejora la resistencia a la tracción / flexión, consiguiendo eliminar los refuerzos de acero en algunos elementos no estructurales.
- Las fibras de vidrio disminuyen el agrietamiento del hormigón por contracciones plásticas.

Los resultados de ensayos realizados muestran que las fibras de vidrio consiguen suprimir las grietas y fisuras por contracción plástica. Es lógico que las fibras de vidrio que tienen un modulo elástico aproximadamente 10 veces superior al polipropileno, sean mas efectivas durante un mayor periodo de tiempo.

11.1. - Disminución del agrietamiento por contracción plástica

Las grietas por contracción plástica se presentan generalmente en superficies horizontales de soleras, debido a la evaporación excesivamente rápida del agua de la superficie del hormigón. También pueden crearse grietas bajo la superficie del agua exudada antes de que se consiga el secado. Las grietas pueden formarse durante las primeras horas después del moldeo, cuando la resistencia a la tracción del hormigón es superada por las fuerzas de retracción. Dado que, inmediatamente después de su moldeo, la resistencia a la tracción del hormigón es casi de cero, la adición de cantidades incluso muy pequeñas de fibras de vidrio hace que el hormigón pueda resistir las fuerzas de agrietamiento, consiguiendo el mismo tiempo una ligazón adecuada. Los ensayos realizados empleando el método de Kraai para determinar el agrietamiento por contracción plástica, donde unas soleras de hormigón recién moldeadas son secadas con aire forzado, muestran que las fibras son efectivas para eliminar la formación

de grietas. Las fibras de 12mm se comportaron mejor que las de 6mm. Esto indica que ocurre en realidad un cierto refuerzo, al mismo tiempo que la reducción de las grietas, debido a una disminución de la exudación como resultado de la presencia de las fibras.

Evidentemente, la dosificación al hormigón de cantidades muy pequeñas de fibras no refuerzan eficazmente el hormigón curado, pero algunos ensayos han demostrado ciertos avances en las resistencias tanto a la flexión como a la compresión en hormigones a los 28 días. Estos avances se deben más a mejoras en la homogeneidad del hormigón que al mero efecto de refuerzo propio de las fibras de vidrio. En otras palabras, las fibras refuerzan el hormigón cuando este carece de resistencia y, gracias a su presencia, se mejora igualmente la uniformidad global y, en consecuencia, se consiguen avances pequeños, pero reales, en la resistencia.

Los ensayos realizados con el uso de la fibra de 14 micras dispersable en agua demuestran claramente que la fibra es efectiva incluso al reducido porcentaje de adición de 0,6kg/cm³. La superficie de las grietas, medida por el ensayo de Kraas, se reduce de forma muy notable.

Las resistencias a la flexión muestran una mejora realmente significativa de más del 100% en el día 1. Como era de esperar, esta mejora proporcional se redujo a los 28 días, pero seguía siendo de un 15% superior a la probeta de control (sin fibras). Las mejoras de la resistencia se deben a la disminución en un 25% de la exudación, tal como se expuso anteriormente.

No obstante, los efectos son reales y, en los ensayos prácticos, se ha tenido éxito, incluso en condiciones adversas *in situ*. Esto ha podido demostrarse en ensayos de laboratorio, y ha sido igualmente confirmado en pruebas reales utilizando las fibras para suprimir el agrietamiento de revoques y soleras.

11.2. - Aumento de la resistencia al impacto

Aunque la dureza a la fractura se está haciendo cada vez más fuerte como medida de la resistencia al impacto, los procedimientos de ensayo empleados varían y hacen difícil verdaderas comparaciones, excepto entre resultados pertenecientes a la misma serie de ensayos. Todos los ensayos de impacto son comparativos y no está del todo claro como pueden utilizarse los valores obtenidos en las pruebas dentro del diseño de un producto. El trabajo realizado con fibras de vidrio en hormigón se ha realizado con procedimientos simples de caída de bola. En esto se observa que la adición de fibras aumenta la resistencia al impacto en un hormigón curado de 28 días.

Otros ensayos comparativos que utilizan polipropileno demuestran que las fibras de vidrio son mucho más eficaces para proporcionar resistencia al impacto.

12. - CONCLUSIONES:

Las propiedades del hormigón fresco mejoran cuando se añaden pequeñas cantidades de fibras de vidrio. En particular, se minimiza el agrietamiento por contracción plástica, y se consiguen mejoras en las propiedades del hormigón curado, como resultado de la presencia física de las fibras, en lugar de por su efecto normal y contrastado de refuerzo.

Las fibras de vidrio de alta integridad, pueden aditivarse en cantidades elevadas y proporcionar una mejor resistencia al impacto. La cantidad de fibra que puede añadirse depende básicamente del diseño de la mezcla.

13. - BIBLIOGRAFÍA:

- Folletos de la firma Vetrotex España S.A.
- Datos obtenidos de las siguientes páginas de internet:
 - www.fortius.be/SP
 - www.dyd/fibras/fibras.html
- Folletos de la empresa Gavatex.
- Folletos de la empresa Aparell S.A.
- Measurement of properties of Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.2R-78)