UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA

MASTER EN INGENIERIA EN EDIFICACION

TRABAJO FINAL DE MASTER

ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA EDIFICACIÓN

HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

ELABORADO POR: ALEXANDRA NARANJO PAREDES

DEDICATORIA 3
AGRADECIMIENTOS 4
RESUMEN 5
PROLOGO 6
1. INTRODUCCION 8
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION 9
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO 9
1.2.1 Objetivo general 9
1.2.2 Objetivos específicos 9
1.3 DESCRIPCION DEL TRABAJO 10
1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER 10
2. ESTADO DEL ARTE 12
2.1 PREFABRICADOS EN LA CONSTRUCCION 12
2.1.1 La prefabricación 12
2.1.2 Principios de la prefabricación 15
2.1.3 Fases y procesos de la prefabricación 15
2.1.4 Clasificación de los elementos y sistemas constructivos prefabricados 16
2.1.5 Ventajas e inconvenientes de los prefabricados 18
2.1.6 Prefabricados como alternativa en construcción actual 19
2.1.7 Prefabricación en Ecuador 19
2.2 HORMIGONES, MORTEROS Y SU HISTORIA 20
2.2.1 Los prefabricados de hormigón 22
2.3 MATERIALES COMPUESTOS 22
2.3.1 Características y propiedades de los materiales compuestos 23
2.3.2 Clasificación de los materiales compuestos 24
2.3.3 Materias primas que componen un material compuesto 24
2.3.4 Aplicaciones de los materiales compuestos 28
2.3.5 Hormigones y morteros reforzados con fibras 29
3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRC) 33
3.1 CUALIDADES DEL MATERIAL Y VENTAJAS CONSTRUCTIVAS 33
3.2 ELEMENTOS CONSTITUYENTES DEL MATERIAL 35
3.3 PROPORCIONES DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES 36
3.4 PROPIEDADES DEL MATERIAL 37
3.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MATERIAL 38
3.5.1 Proceso de Premezcla 38
3.5.2 Proceso de Proyección Simultánea 39
3.5.3 Moldes 39
3.5.4 Curado 40
3.6 PRINCIPALES APLICACIONES DEL GRC 41
3.6.1 Paneles de GRC 43
3.6.2 Acabados, fijaciones y juntas de sellado 48
3.7 COMERCIALIZACIÓN DEL MATERIAL 53
3.8 NORMATIVA Y CONTROL DE CALIDAD 54
4. ESTUDIO DE REFERENTES EN PROYECTOS REALIZADOS 57
4.1 VIVIENDAS PARA RESIDENCIA OLÍMPICA DE PRENSA EN BARCELONA, ESPAÑA 57
4.2 LABORATORIOS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE INVESTIGACIÓN MÉDICA, EDIFICIO EN EL HOSPITAL DEL MAR. BARCELONA, ESPAÑA. 60
4.3 CENTRO DE CONVENCIONES EN LIMA, PERÚ 61

4.4 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE REFERENTES 62
5. DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL 64
5.1 INTRODUCCIÓN 64
5.2 ENSAYOS 64
5.2.1 Objetivos del ensayo 64
5.2.2 Programación de probetas y ensayos a realizar 64
5.2.3 Descripción de los Ensayos 65
5.3 METODOLOGÍA 66
5.3.1 Caracterización de materiales 66
5.3.2 Equipos y herramientas 69
5.3.3 Dosificación y confección del hormigón 70
5.4 DESARROLLO DE LOS ENSAYOS 73
5.4.1 Ensayo de Flexión 73
5.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 75
5.5.1 Ensayo de Flexión 75
5.6 CONCLUSIONES DE LA ETAPA EXPERIMENTAL 76
6. DESARROLLO DE LA ETAPA DE PROPUESTA 78
6.1 SISTEMAS DE PREFABRICADOS 78
6.1.1 Método de modelos 78
6.1.2 Método de elementos 78
6.2 SISTEMAS DE MODULACION 79
6.3 DEFINICION DEL PANEL TIPO 80
6.3.1 Criterios de diseño 80
6.3.2 Definición geométrica y constructiva de los paneles 83
6.3.3 Comportamiento estructural 86
6.4 DEFINICIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO 86
6.4.1 Cimentación 87
6.4.2 Forjado planta baja 87
6.4.3 Estructura de soporte vertical - Columnas 87
6.4.4 Forjado superior y cubierta 87
6.4.5 Paneles verticales 88
6.4.6 Anclajes y fijaciones 89
6.4.7 Juntas entre paneles 90
6.4.8 Carpinterías 90
6.4.9 Instalaciones 91
6.4.10 Fases de montaje de estructura y paneles 91
6.4.11 Detalles constructivos y de montaje de los paneles 92
6.5 PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO 96
6.5.1 Posibles aplicaciones en la Edificación 96
6.5.2 Programa y superficies 96
6.5.3 Ampliación de espacios y variante de diseños 98
7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE TRABAJO . 103
7.1 Conclusiones 103
7.2 Propuesta de posibles líneas de trabajo: Paneles de GRC estructurales 104
7.3 Recomendaciones 104
BIBLIOGRAFIA 105

DEDICATORIA

A mi familia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y en mis logros, por su incondicional apoyo y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, todo sucede a su tiempo.

A la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, de la Universidad Politécnica de Catalunya.

A mi tutor, PhD Joaquín Montón, por su aporte y dedicación docente.

A mis familiares y amigos, por su granito de arena.

RESUMEN

El mundo de la Arquitectura y Construcción envuelve un gran número de componentes, elementos y materiales que se encuentran en constante evolución. A pesar de que muchos de estos materiales son conocidos y utilizados desde hace décadas, el interés por obtener mayores prestaciones y resultados en la aplicación de los mismos, hace que su estudio y la búsqueda por la mejora del material se realice de manera constante.

Dicha búsqueda de mejoras ocasiona que se analice no solo el material de manera individual sino también su combinación con otros elementos que pueden añadir propiedades al material, lo cual requiere de investigaciones y estudios más profundos.

Dentro de estos estudios, existe una amplia gama de conocimientos que intervienen en el proceso y que permiten entender el funcionamiento del material y poder realizar un planteamiento de su aplicación de diferentes maneras.

Es así, como se busca un material que junto con otro elemento permita obtener más ventajas y mejores características, y que pueda ser aplicado en la Construcción, surgiendo así el planteamiento del Hormigón Reforzado con Fibra de vidrio; sin embargo, hay que considerar que no es un hormigón en sí, pero si un Concreto reforzado con fibras.

En este trabajo se realiza el estudio del material: Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio (GRC), con los paneles como su elemento principal dentro de un sistema prefabricado. El GRC (del inglés Glassfibre Reinforced Cement) es un material compuesto por una matriz de mortero de cemento Portland armada con Fibras de Vidrio Álcali-Resistentes.

Se analizan las características representativas del material, sus propiedades físicas y mecánicas, las ventajas y desventajas, el proceso de fabricación, comenzando desde la fusión de la materia prima hasta obtener el elemento final; además de los aspectos constructivos del mismo y sus aplicaciones en el área de la Arquitectura y Edificación.

El apartado del estudio de propiedades se complementa con una etapa experimental, en la cual, se realizan ensayos en laboratorio que nos permiten obtener información de propiedades puntuales de interés acerca de los Paneles de GRC.

Finalmente, se realiza una propuesta de aplicación del elemento prefabricado como parte de un sistema constructivo como alternativa para la construcción social, provisional o incluso como respuesta a situaciones emergentes específicas.

PROLOGO

A lo largo de la experiencia laboral, un profesional experimenta una búsqueda constante por ampliar sus conocimientos. Si bien en el entorno se han desarrollado y probado muchas teorías y elemento, es importante que a diario se adquieran nuevas ideas y se profundicen en cosas que incluso ya conocemos.

Los medios documentales e informáticos permiten que se adquiera de manera más eficiente los conocimientos de interés del profesional.

Si bien existe una diversidad de materiales a estudiarse, se consideró que el estudio dentro del área de hormigones y morteros, siendo los materiales más utilizados en el mundo, nos permite entender mejor su papel dentro de la construcción.

Es por ello que, a pesar de que estos materiales se han venido utilizando desde hace décadas, se presente un interés por estudiar los complementos que se han presentado a estos materiales bases, encontrando una mejora del objeto de estudio.

En este trabajo se proporciona la información necesaria sobre el GRC como material prefabricado.

Se han distribuido los diferentes capítulos de manera que, partiendo de una información global se pueda entender el proceso hasta llegar al estudio del material específicamente.

La parte final se ha dedicado a la elaboración de una propuesta en la que se pueda utilizar el material como aporte a un sistema constructivo prefabricado y liviano.

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

La industrialización ha permitido tener una gran evolución en la fabricación de materiales y componentes utilizados en la arquitectura y construcción.

El interés por la investigación de componentes o elementos que mejoren las propiedades de los materiales constructivos, ha ocasionado una búsqueda de la funcionalidad y aplicación de materiales innovadores. Muchos de estos materiales provienen de la investigación aeroespacial y militar que luego se aplicaron en la industria y que actualmente se aplican en la edificación.

Es así, como se han desarrollado materiales compuestos cuyo comportamiento es interesante conocer dado el elevado número de aplicaciones que se pueden llevar a cabo.

El principal interés con respecto a los materiales compuestos para la industria de la edificación y la construcción comenzó en los 60. Los principales procesos utilizados para fabricar sistemas de paneles grandes y placas son las técnicas de mayor proyección del sector.

En un entorno tecnológico, donde se pueden automatizar casi todos los procesos de rutina, se busca encontrar el mejor sistema de producción en serie que proporcione una mejora de la calidad de los productos finales.

En vista de que la construcción de edificios de manera tradicional va quedando desfasada en relación al avance de otras industrias y sectores, es importante ampliar el campo de conocimiento de nuevas técnicas y usos de materiales constructivos. Ya que el hormigón también ha evolucionado teniendo como aspecto importante la posibilidad de prefabricar piezas, tenemos también los elementos de composición mixta en el que intervienen las fibras como posibilidades de refuerzos para el hormigón. Dentro de los prefabricados, la investigación en el campo de hormigones y morteros reforzados con fibras se desarrolla con fuerza debido a las ventajas que ofrecen respecto al hormigón tradicional.

En este trabajo nos centraremos en el Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio. (GRC). Es un material que facilita el diseño de objetos y elementos, con posibilidades formales que permiten utilizarlo como paneles de cerramientos de fachada, antepechos de ventanas, forros de pilares, paneles decorativos interiores, etc.
Permite flexibilidad en diseño de texturas, moldeos y acabados superficiales pudiendo combinarse con otros materiales como el ladrillo, piedra, aluminio y otros.

Se puede realizar también la réplica de elementos ornamentales de edificios históricos (columnas, capiteles, cornisas, frisos). Siendo un material ligero, no transmite cargas importantes sobre la estructura existente. Su facilidad de ejecución, transporte y montaje, produce reducciones en los plazos de ejecución de obras.

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

Los materiales compuestos tienen varios antecedentes, ya que a lo largo de la historia se han observado referencias constructivas como por ejemplo, las chozas de adobe y paja que utilizaban las antiguas civilizaciones donde el adobe es el material continuo y la paja el material de refuerzo, ambos en conjunto constituían un material compuesto de gran aplicación desde épocas antiguas hasta nuestros días.

Actualmente, ya que el concreto es el material más utilizado como componente estructural en la construcción, es importante estudiar los diferentes refuerzos con los cuales se podría combinarlo para obtener un material compuesto con mejores propiedades.

La intención de este trabajo es ampliar los conocimientos sobre la intervención de los materiales compuestos en el sector de la edificación. Siendo actualmente un tema de investigación de mucho interés, se puede desarrollar cada vez más los elementos y técnicas para su posterior aplicación y mayor duración. Para lo cual inicialmente se debe realizar un estudio del estado actual del material y del sistema, sus características, aplicación y aportes en el área de la construcción.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general es realizar un estudio del material compuesto de interés, sus componentes, características, propiedades, ventajas, desventajas y campos de aplicación, para posteriormente poder idear una propuesta de aplicabilidad del material como prefabricado en el área de la edificación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudiar las características y propiedades del material compuesto, y el aporte que otorga la fibra de vidrio como refuerzo.

- Estudiar los diferentes sistemas constructivos donde interviene el material compuesto, la metodología y el proceso de fabricación y montaje del sistema.

- Realizar un análisis comparativo del material sin fibra y el material con diferentes porcentajes de fibras incorporadas, mediante ensayos de propiedades específicas del material, lo cual nos proporcionará información sobre la influencia del material con y sin fibras.

- Realizar un estudio de los referentes constructivos donde se ha aplicado el material compuesto y extraer las consideraciones constructivas más óptimas.

- Diseñar con el material estudiado elementos prefabricados modulares que con sus respectivos anclajes, juntas y elementos, puedan constituir un sistema constructivo para aplicar en la edificación.

1.3 DESCRIPCION DEL TRABAJO

Este trabajo tiene un carácter multidisciplinario. Para su desarrollo se intervinieron en varias áreas de estudio. Primero una búsqueda inicial de la información desde la globalidad de los elementos y sistemas prefabricados pasando por los prefabricados de hormigón, luego el estudio de forma general de los materiales compuestos con fibras y posteriormente de forma específica los hormigones y morteros reforzados con fibras de vidrio. Pero no solo se estudia la documentación teórica, ya que al realizar un estudio de los referentes de proyectos realizados se puede conocer la etapa de aplicabilidad constructiva. Posteriormente, con el planteamiento de realizar un estudio experimental mediante ensayos con el material, se pretende tener una relación directa con los componentes, manipularlos, percibir la materialidad de los elementos, lo cual nos proporcionará información sobre las propiedades del material con y sin fibras, y conociendo el proceso de fabricación más cercano y se puede obtener unas conclusiones que nos permitan ampliar los conocimientos teóricos. En base a todo el estudio anterior, se va a proponer un elemento prefabricado modular que junto con sus respectivos anclajes, juntas y elementos adicionales puedan constituir un sistema constructivo para su aplicación en la construcción.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER

Este Trabajo de Fin de Master se organiza en 7 capítulos. En el Capítulo 1, se realiza una introducción general sobre el tema del trabajo. Se plantean los objetivos generales y específicos y la metodología que se aplicará durante la ejecución del Trabajo Final. En el Capítulo 2, se describe la prefabricación en la construcción, su historia, los principios, procesos, elementos y sistemas constructivos prefabricados, ventajas e inconvenientes y su aplicación en la construcción actual, así como los prefabricados de hormigón, los materiales compuestos con sus características, clasificación y aplicaciones y los hormigones y morteros reforzados con fibras. En el Capítulo 3, se estudia específicamente el material compuesto: Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio, las propiedades, el proceso de elaboración del material, los sistemas de paneles, los acabados, juntas y elementos adicionales, su comercialización y normativa de uso. En el Capítulo 4, se estudia varios referentes en proyectos realizados con el material, su aplicación en cada caso, obteniendo pautas de diseño y uso real del material, ya sea por si solo o del material dentro de un sistema constructivo. En el Capítulo 5, se realiza una etapa práctica a través de un análisis comparativo del material sin fibra y el material con diferentes porcentajes de fibras incorporadas, Se analizarán los resultados y las conclusiones respectivas. En el Capítulo 6, se plantea una propuesta con el material estudiado como elemento prefabricado modular como parte de un sistema constructivo que pueda aplicarse en la edificación. Y finalmente, en el Capítulo 7 se desarrollarán las conclusiones obtenidas durante todo el proceso de estudio y se presentarán unas recomendaciones para las líneas de investigación o aplicación futuras.

CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 PREFABRICADOS EN LA CONSTRUCCION

La prefabricación es un sistema de construcción industrializado basado en el diseño y producción de subsistemas y componentes elaborados en serie, que se trasladan al destino definitivo donde mediante un montaje conformarán una parte o toda una construcción.

El término prefabricación sigue teniendo en ciertas circunstancias una connotación despectiva, ya que en muchos lugares se piensa que un prefabricado es un edificio provisional. No obstante, se requiere un cambio de mentalidad aplicada a la construcción, ya que la prefabricación en la mayoría de los casos, debe relacionarse con un aumento de calidad, reducción de desechos, reducción de tiempos de ejecución, facilidad de montaje, perfeccionamiento y seguridad.

2.1.1 La prefabricación

A lo largo de la historia hay varios precedentes de prefabricación debido al interés de la sociedad por lograr una eficiencia en los procesos productivos.

FINAL DEL SIGLO XVIII

1840: Con la llegada de la primera revolución industrial, se empezó a concebir la posibilidad de sistemas industrializados aplicables a la construcción. En Europa, mediante la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios; y al mismo tiempo, en Estados Unidos, mediante la construcción de edificios de tipología Balloon Frame (figura 2.1), constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

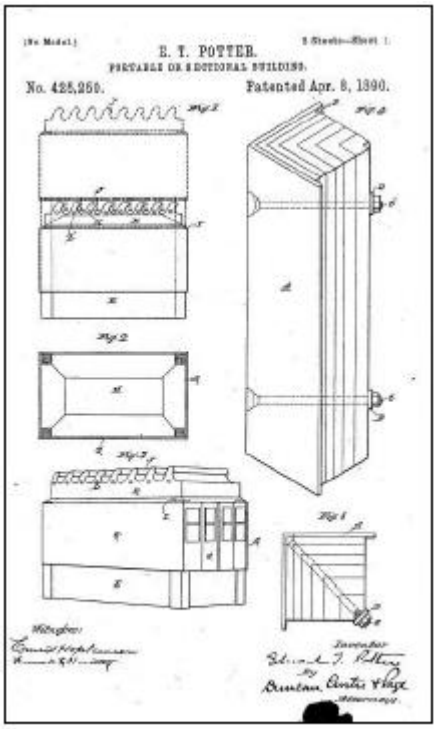
Figura 2.1.1: Edificios de tipología Balloon Frame.
Fuente:https://www.1stdibs.com/furniture/more-furniture-collectibles/architectural-models/great-balloon-framing-scale-model-home

FINAL DEL SIGLO XIX

En 1889: Aparece en EEUU la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de "cajón" apilable, ideada por Edward T. Potter (figura 2.2).
En 1891 se prefabrican las primeras vigas de hormigón armado para la construcción del Casino de Biarritz realizadas por la empresa constructora Ed. Coignet.

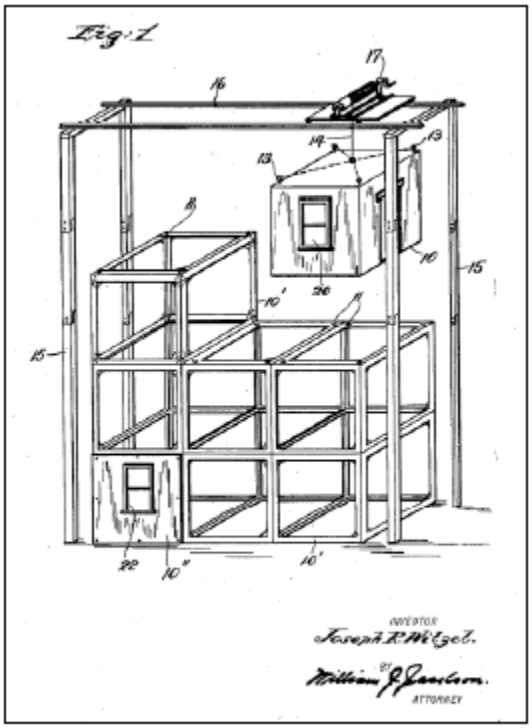
INICIOS DEL SIGLO XX

En 1919, Joseph R. Witzel patentaba otro sistema de edificios modulares en el que módulos de forma cúbica se ensamblaban entre sí para formar bloques de viviendas u otro tipo de edificios (figura 2.3). En este caso, el montaje se realizaba mediante grandes grúas pórticos y los materiales posibles estaban comprendidos desde el hormigón hasta la madera, pasando por el metal o la arcilla cocida.



Patente 1889 Edward T. Potter.

Figura 2.1.2: Sistema de módulos apilables



Patente 1919 Joseph R. Witzel.

Figura 2.1.3: Sistema de módulos de forma cúbica

Fuente: http://eadic.com/viviendas-modulares-prefabricadas

La aparición masiva de este sistema recibe su gran impulso debido a la gran necesidad de construir de una forma numerosa, económica y rápida; necesidades originadas a partir de las guerras, migraciones, la explotación demográfica y la industrialización.

A lo largo de dos décadas

La construcción basada en sistemas prefabricados con elementos como paneles de hormigón se fue desarrollando en Europa, especialmente en los países del este y los países escandinavos, debido a la gran demanda de edificación residencial y pocos recursos económicos como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial.

1953 y 1954

Se establecieron requerimientos para la construcción de ciudades de urgencia con edificios industrializados y provisionales. Estas medidas fueron sucedidas por el intento de proponer viviendas industrializadas más durables, como las LEN: Logements Economiques Normalisés (Viviendas Económicas Normalizadas) y LOPOFA: Logements Populaires et Familiaux (Viviendas Populares y Familiares) para las clases menos favorecidas.

A PARTIR DE 1970

En los países de la Unión Europea, la demanda de viviendas en edificios en altura fue sustituida por la edificación de viviendas unifamiliares. La prefabricación para viviendas buscaba una mayor flexibilidad, variación y diversificación de los sistemas y elementos en la fase de producción.

Construcción a base de grandes elementos prefabricados de hormigón. Los avances tecnológicos aplicados a este material permitieron prefabricar elementos estructurales y constructivos de variedad de formas y calidades no conseguidas hasta el momento.

<FINALES DEL SIGLO XX

Se avanzó en la prefabricación para edificios públicos (escuelas, hospitales, oficinas, etc.) y edificios industriales.

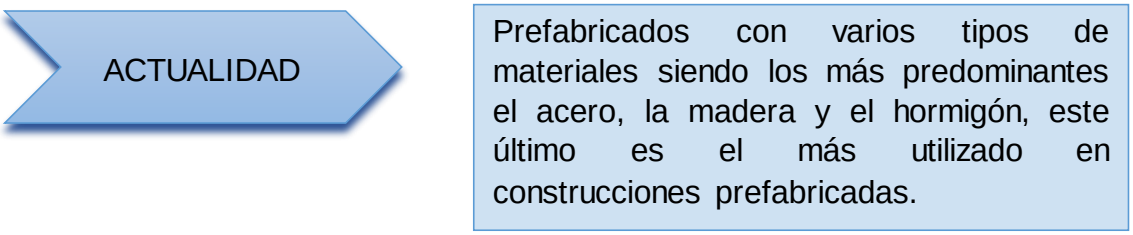


Figura 2.1.4: La prefabricación
Elaboración propia

La sistematización y la industrialización de elementos junto con la incorporación de técnicas a la edificación convencional, han facilitado la puesta en obra de los prefabricados, especialmente los de hormigón por lo que realizaremos un estudio más profundo a este material y sus prefabricados.

2.1.2 Principios de la prefabricación

La prefabricación se compone de dos etapas, la primera se basa en la producción en serie de los diferentes elementos, la cual se realiza en una fábrica o taller; y la segunda etapa es el montaje de los elementos en la obra. En las dos etapas de la prefabricación se requiere de un control de calidad, dimensiones, proceso constructivo y demás, de manera que se garantice el adecuado funcionamiento de las piezas y de la edificación.

Esto permite intervenir en construcciones pequeñas hasta construcciones de gran proporción.

2.1.3 Fases y procesos de la prefabricación

Al proceso de producción y ejecución de estos materiales se lo denomina construcción industrializada, prefabricada o premoldeada y se realiza en dos fases:

1. Fabricación: La producción se lleva a cabo en fábricas o talleres (fijos o móviles) o en ciertas ocasiones a pie de obra. El método de fabricación y el equipo empleado dependerá del elemento final.

La mecanización es fundamental para elaborar los elementos, disminuyendo irregularidades y errores, es por ello la importancia de invertir en maquinaria e instalaciones de producción. La elaboración de piezas prefabricadas deberá conseguirse mediante una planificación de los siguientes puntos: Preparación de los materiales, transporte de materiales, fabricación y almacenamiento de los elementos obtenidos como resultado final.

2. Transporte y Montaje: En base a las dimensiones, peso y ubicación de los elementos finales se analizan las actividades necesarias para que posteriormente sean trasladados desde la fábrica al lugar definitivo de obra para su posterior montaje. La sujeción de los elementos al transporte adecuado es importante para evitar daños a los prefabricados durante su traslado. El montaje puede realizarse mediante grúas o en forma manual según las

dimensiones y características de los elementos prefabricados. Una vez que se tienen en obra los elementos prefabricados se debe seguir la secuencia planificada para incorporar en la correcta ubicación cada uno de los elementos de la edificación.

Dentro de los procesos de la prefabricación se debe tomar en cuenta muchos factores como los detallados a continuación:

- *Las condiciones para la industrialización: Los sistemas fabricados en serie deben poder ser utilizados en obras de diferente finalidad, bajo diferentes solicitaciones y con estructuras de diferentes dimensiones. Su transporte y manejo no debe ser demasiado complejo y los elementos deben poder almacenarse de manera ordenada. Adicional, debe existir un sistema de ordenación de medidas o modulación que este coordinado con los elementos entre fábrica y obra.*

- *El material de construcción para la prefabricación:* Su elección estará basada en requerimientos como: la posibilidad de que se puedan fabricar por medios mecánicos y que posean cualidades técnicas, que sean compatibles entre sí para que la combinación entre ellos sea resistente, de la durabilidad y el mantenimiento desde el punto de vista técnico y económico. Existen materiales de características especiales que se pueden utilizar pero se debe considerar también el costo y la accesibilidad a los mismos.

La selección del material dependerá de las condiciones y requerimientos de cada proyecto, la disponibilidad del material en el medio edificatorio, de las solicitaciones técnicas requeridas, la capacidad financiera del proyecto y de la disposición de tecnología y equipos necesarios para su fabricación y montaje.

- *El equipo y la mano de obra*: Ya que existen industrias de prefabricación donde utilizan tecnologías y maquinarias avanzadas y de alto rendimiento, se requiere personal calificado que pueda manejar los equipos y pueda manipular y montar los elementos en obra. Por lo general tendrán conocimiento de las actividades a realizarse, por lo que es necesario entrenar al personal que se requiera de forma continua y progresiva manteniendo una fuerza laboral capacitada.

2.1.4 Clasificación de los elementos y sistemas constructivos prefabricados

ELEMENTOS

Según su peso y dimensión:

Prefabricados livianos: Pequeños elementos o ligeros, de peso inferior a 30 kg, destinados a ser colocados de forma manual por los operarios.

Prefabricados semipesados: Su peso es inferior a 500 kg, su puesta en obra se puede realizar con medios mecánicos simples a base de poleas, palancas u otros.

Prefabricados Pesados: Con peso superior a 500 kg, donde se requiere maquinaria pesada como grúas para su puesta en obra.

Según su forma:

Bloques: Elementos generalmente para la construcción de muros. Autoestables sin necesidad de apoyos para su colocación como bloques de hormigón u otros.

Paneles: Son elementos tipo placas donde el grosor y la superficie es importante.

Elementos lineales Son piezas esbeltas, de sección transversal reducida en relación a su longitud como vigas, columnas y otras.

Elementos varios: Dentro de los prefabricados podemos también encontrar elementos curvos o de distintas formas dependiendo el proyecto para el cual hayan sido diseñados.

Según materiales:

Los más utilizados son el hormigón, acero, madera, plástico y aluminio, sin embargo el desarrollo de nuevos materiales ha abierto la gama de posibilidades incluyendo materiales como fibras de refuerzos y combinaciones entre los materiales anteriormente nombrados.

SISTEMAS

Dentro de los diferentes sistemas de producción de elementos prefabricados podemos encontrar los siguientes:

Sistemas cerrados: Los elementos son fabricados con especificaciones y medidas de un proyecto determinado. No son compatibles con otros sistemas o piezas de otro proyecto y varios de los subsistemas se limitan a condiciones únicas.

Empleo parcial de componentes: La producción de elementos es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones. Pueden utilizarse en obras y proyectos tradicionales.

Sistemas tipo mecano: Los elementos están preparados para combinarse con múltiples soluciones de distintos productores.

Sistemas abiertos: Los elementos pueden ser de distinta procedencia pero son aptos para colocarse en diferentes tipos de obras según combinaciones variables y de cierto modo intercambiables. Se compone de elementos y juntas universales lo que dan mayor flexibilidad a los proyectos.

2.1.5 Ventajas e inconvenientes de los prefabricados

VENTAJAS

Existen varias ventajas que ofrecen los productos prefabricados frente a los materiales y los acabados:

- Reducción de plazos de construcción, donde el tiempo de trabajo en obra es más corto, pues la construcción en bruto se limita a los trabajos de cimentación y al montaje de las piezas prefabricadas.

- Reducción en plazos de entrega, ya que al tener pocos elementos construidos tradicionalmente los niveles de humedad de la construcción son bajos, y la edificación puede ser habitada en menores plazos.

- Disminución de materiales y equipos utilizados. Los encofrados y andamios que se utilizan en la construcción tradicional se reducen. Al escoger las secciones adecuadas, se puede reducir el uso de hormigón y acero en obra, reduciendo así el peso total de la edificación.

- Reducción de mano de Obra y mecanización: El valor relacionado con gastos y rendimiento de los operarios en obra, es uno de los costos más importantes dentro de un presupuesto. Ya que el trabajo en prefabricados permite el uso de maquinarias, la mano de obra disminuye, reduciendo el costo de mano de obra.

- Mayor facilidad para un adecuado control de calidad, gracias a la producción en fábrica o taller bajo condiciones con estrictos controles.

- Los problemas relacionados con las condiciones climáticas se reducen mayormente, ya que una gran parte de la producción se realiza en lugares cubiertos independiente de las inclemencias del tiempo dejando únicamente el proceso de montaje como actividad a realizar a la intemperie, la misma que puede ejecutarse de manera más rápida y eficaz.

- Optimización de espacio en obra, ya que el espacio necesario para acopio de materiales y producción de piezas en obra se reduce considerando que los elementos se trasladaran a obra para las etapas de montaje.

- La gestión de residuos generados es más eficaz, siendo la producción de residuos y el consumo energético menor, lo que hace a la construcción industrializada menos perjudicial para el medio ambiente.

- Todos estos factores representan una considerable reducción de costos, además de mejoras de las condiciones de trabajo.

INCONVENIENTES

Como todo sistema y proceso constructivo, los prefabricados presentan también ciertas desventajas:

- El transporte y montaje de las piezas prefabricadas puede estar limitado por las dimensiones de las mismas, considerando que los medios de transporte y maquinarias están estandarizados. Al momento del diseño se debe proyectar la elaboración de piezas teniendo en cuenta la capacidad de carga de vehículos, maquinarias y equipos que intervendrán en el proceso de transporte y montaje.

-Existen cuestiones técnicas no resueltas satisfactoriamente en el campo estructural, ya que los elementos deben resistir en conjunto a las acciones a las que está sometido un edificio; sin embargo, varios de los elementos prefabricados no resultan eficaces en zonas sísmicas.

- Finalmente la realidad cultural en muchos países es reacia a aceptar la construcción prefabricada como una opción edificatoria, ya sea por desconocimiento o rechazo a los cambios que plantean estos elementos y sistemas en la edificación.

En todos los casos, se requiere un estudio particular para cada proyecto, ya que dependerá del diseño y los factores costo-beneficio junto con el análisis de alternativas y resultados que garanticen un proyecto prefabricado viable.

2.1.6 Prefabricados como alternativa en construcción actual

Existen muchos factores en una sociedad que ocasionan que el planteamiento de los sistemas constructivos de un sector no sea limitado. Contemplar siempre nuevas opciones que mejoren las características y la eficacia en proveer espacios construidos para el ser humano es una aportación necesaria.
Los métodos constructivos deben avanzar de manera rápida para adaptarse a los requerimientos de las edificaciones.
Factores como los daños que ocasionan los desastres naturales que se convierten en pérdidas en bienes, seres humanos y recursos que no solo afectan en el momento que ocurren sino que dejan secuelas a largo plazo en las zonas donde se presentan.
El crecimiento poblacional y urbano, demanda cada vez la solución de sistemas constructivos que puedan ejecutarse en tiempos cortos y que tengan ventajas económicas y sociales.

2.1.7 Prefabricación en Ecuador

En Ecuador, así como en varios países vecinos en desarrollo, muchas de las edificaciones se construyen mediante procesos tradicionales, arraigados al pensamiento de que la mano de obra no representa mayor inversión en una obra. Este concepto es erróneo, puesto que un gran porcentaje de los presupuestos de obras tradicionales se gasta en mano de obra. Considerando que es un egreso constante independiente de rendimientos y condiciones imprevistas en obra, son representativas las pérdidas que repercuten en un proyecto en este aspecto.

En Norte América y Europa, donde el costo de mano de obra es más elevada se plantean desde hace décadas los prefabricados como soluciones ya que requieren poco personal y por lo tanto poca inversión en este rubro. La

tecnología en estos lugares permite mejorar los procesos y cada vez son mayores las empresas dedicadas a la venta y distribución de prefabricados para la construcción.

Sin embargo, en Ecuador hasta hace unos años eran muy pocas las empresas dedicadas a la prefabricación para edificaciones. Actualmente podemos encontrar una mayor oferta de prefabricados tanto en obra civil como en edificaciones. Varias empresas están desarrollando diversas soluciones para la elaboración de elementos prefabricados y su uso en la vivienda como respuesta al déficit habitacional. Se busca cada vez alcanzar sistemas de construcción prácticos, seguros, con un costo justificado y de buena calidad.

2.2 HORMIGONES, MORTEROS Y SU HISTORIA

El hormigón se define como un material constituido por rocas, de tamaño limitado unido por una pasta aglomerante formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material se le puede añadir en su etapa de amasado otros materiales para mejorar sus características de manera que cumpla con los requerimientos mecánicos, químicos y granulométricos.
La historia del hormigón constituye un capítulo importante en la historia de la construcción. Al realizar métodos constructivos utilizando materiales arcillosos o pétreos para levantar edificaciones, surge la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos materiales para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las condiciones climáticas.

En forma general, el mortero es una mezcla de cemento y arena. Las dosificaciones de morteros y de hormigones son variables en función de las resistencias y condiciones de trabajabilidad que se requieran. El mortero es un material de uso constructivo para el agarre de elementos de fábricas (paredes) de ladrillo o de bloque; o para el enlucido de paredes techos y suelos. Podría considerarse como material estructural en los muros de carga pero en conjunto con la mampostería. Los cementos actualmente presentan mayores avances en sus características de composición y granulometría.

A continuación se presenta un cronológico de la historia del hormigón y sus diferentes aplicaciones:

Figura 2.2: Hormigones, morteros y su historia
Fuente: [1] Fernández Casanovas, Manuel. (1991), *Hormigón*. 2° edición. Madrid.

El cemento es un conglomerante formado por una mezcla de caliza o arcilla calcinadas y posteriormente molidas y que al agregarle agua, le da la propiedad a la mezcla para que pueda fraguarse y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, denominada hormigón.

El hormigón ha evolucionado constantemente presentando mejoras debido al avance de la tecnología aplicada y los materiales que lo componen.

El hormigón, por sus características, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de solicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); es un elemento de uso estructural en masa (elementos estructurales de hormigón en masa) o armado (cuando en su interior disponemos armaduras), por lo cual es un material bastante empleado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

El hormigón reforzado con fibras incorporadas en su masa es una técnica prácticamente moderna. Estos hormigones abren un campo de aplicación versátil dependiendo el tipo de fibra utilizado, mejorando varias características del material.

La combinación del hormigón con diferentes componentes ha abierto un interés por conformar materiales compuestos, donde cada material aporte sus características y en conjunto formen un material idóneo.

2.2.1 Los prefabricados de hormigón

Un prefabricado de hormigón es una pieza fabricada en una planta de producción, empleando hormigón como material fundamental. Dicho elemento es el resultado de un proceso industrial realizado bajo un sistema de control de producción. Una vez fabricada y con los controles realizados, esta pieza se puede almacenar hasta el momento de su entrega en obra donde, junto con otras piezas, conformarán el proyecto constructivo final.

Existen diferentes tipos de prefabricados de hormigón para aplicaciones en la construcción que difieren en tamaño, función y coste. Paneles prefabricados arquitectónicos, revestimientos de la totalidad o parte de una fachada de un edificio, muros autoportantes, muros de seguridad, tubos de drenaje de aguas pluviales, agua y desagüe, estructuras de utilidad, túneles, modulares para pavimentación, componentes estructurales (vigas, pisos, paredes) y otros, son algunos de los elementos prefabricados de hormigón.

2.3 MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto está formado por la unión de dos o más materiales para conseguir una combinación de propiedades que no se puede obtener en los materiales de manera individual.

Todo material compuesto tiene dos componentes:

- MATRIZ, Es el volumen donde se encuentra alojado el refuerzo, que se presenta en fase continúa y actúa como ligante.

- REFUERZO, en fase discontinua y es el elemento resistente.

Los materiales compuestos deben cumplir con lo siguiente:

- Formados por dos o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interfase.
- No pertenecen a los materiales compuestos, aquellos materiales polifásicos en las que mediante un tratamiento térmico se cambian la composición de las fases presentes.

2.3.1 Características y propiedades de los materiales compuestos

En un material compuesto se busca una combinación óptima de las propiedades, más que de una propiedad en particular.

Las propiedades se determinan dependiendo de los materiales usados como componentes, la forma geométrica de los mismos, la estructura resultante del sistema compuesto y la manera como las fases interactúan entre sí. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones que aportan mejores características a los materiales.

Los materiales compuestos se caracterizan por algunas de las siguientes propiedades:

- Por su alta resistencia mecánica, tanto a tracción como a compresión, flexión, corte y resistencia al impacto.

- Por su ligereza, lo cual significa un aporte económico en transporte, montaje y puesta en obra de las piezas, incluyendo la reducción de cargas muertas en la edificación.

- Por su comportamiento ante la corrosión, y ataque de agentes medioambientales, lo cual supone un menor mantenimiento.

- Por su flexibilidad, lo que permite adoptar formas y diseños creativos junto con el moldeo de grandes piezas y una variedad de acabados, colores y ciertos grados de luminosidad.

- Son resistentes al fuego, presentando baja inflamabilidad, mediante la selección adecuada de resinas y aditivos.

- Con las configuraciones adecuadas, los materiales consiguen altos índices de aislamiento acústico y térmico.

- No conducen la electricidad, por lo que se utilizan en instalaciones con alta rentabilidad.

2.3.2 Clasificación de los materiales compuestos

La clasificación en función del *tipo de matriz*, viene dada de la siguiente manera:

- Compuestos de matriz metálica o MMC (Metal Matrix Composites)

-Compuestos de matriz cerámica o CMC (Ceramic Matrix Composites)

- Compuestos de matriz polimérica o CMP, PMC (Polymer Matrix Composites)

De acuerdo al *tipo de refuerzo,* la clasificación puede ser:

- Fibras continuas o discontinuas: Tienen altas prestaciones mecánicas y dan un valor añadido al material final. La fase dispersa consta de fibras, hilos o cilindros. Las propiedades varían según el ordenamiento de las fibras en el interior del material.

- Partículas: Pueden ser reforzados por partículas grandes o consolidados por dispersión. Las partículas pueden tener varias geometrías, pero suelen tener aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones a diferencia de las fibras. El reforzamiento es más efectivo cuanto menor es el tamaño de las partículas y más homogénea es su distribución en la matriz. Las propiedades mecánicas mejoran con el contenido en partículas o con el incremento de la relación partículas/matriz.

2.3.3 Materias primas que componen un material compuesto

Un material compuesto presenta dos elementos principales: MATRIZ Y REFUERZO. La combinación adecuada de estos componentes mejora las propiedades de los materiales. Además existen otros tipos de componentes como aditivos que otorgan a los materiales compuestos diferentes características dependiendo el modo de fabricación y su aplicación.

MATRIZ	Matriz inorgánica: Cemento, Geopolímeros, Yeso
	Matriz Orgánica: Termoestables, termoplásticas, Elastómeros.
REFUERZO	Fibras Cerámicas, Fibras Metálicas, Fibras Orgánicas, Fibras Inorgánicas.
NUCLEOS	Nidos de Abeja: Aluminio, Nomex, Polipropileno.
	Espumas: Poliuretano, Poliestireno, PVC
	Sandwich, Tejido 3D, Madera de Balsa
ADHESIVOS	Epoxi, Poliuretano, Acrílicos
RECUBRIMIENTOS	Cerámicos, Fenólicos, Epoxi + Arena, Intumescentes.

Tabla 2.3.3.1: Materias primas

MATRIZ

Los materiales compuestos más utilizados son los de matriz orgánica y refuerzos en forma de fibras. A continuación se procede a detallar los componentes:

MATRIZ ORGANICA: Las matrices orgánicas más conocidas como plásticos pueden ser:

- *Termoplásticos*: usadas en aplicaciones de bajos requisitos: ABS, Polipropileno, Policarbonato, Acetato, Polieterimida, Nilon, Poliamida y otras.

- *Elastómeros*: utilizadas en neumáticos y cintas transportadoras.

- *Termoestables o duroplásticos*: las más empleadas en materiales compuestos de altas prestaciones, también conocidos como Resinas.

    - *Epoxis*, de uso general en altas prestaciones.
    - *Bismaleimidas*, para altas temperaturas.
    - *Poliesteres*
    - *Cianoesteres*, utilizadas en aplicaciones radioeléctricas.

FIBRAS:

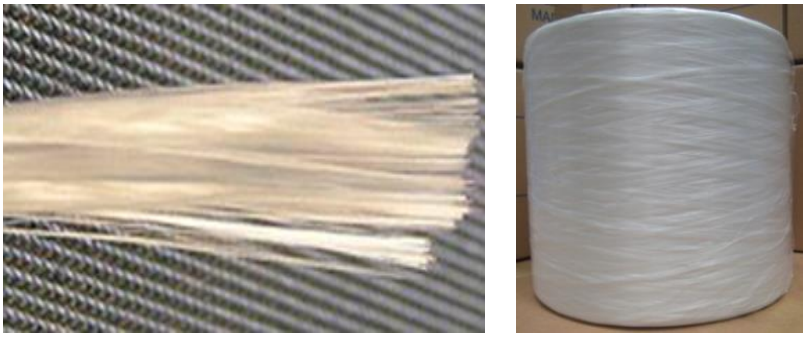
Los tipos de fibras utilizados como refuerzos, de acuerdo al material que los compone, son:

FIBRAS DE ORIGEN MINERAL	
Fibras de vidrio	Vidrio E: para aplicaciones generales Vidrio S: para mayor resistencia y rigidez Vidrio C: para estabilidad química Vidrio M: para muy alta rigidez Vidrio D: para muy baja constante dieléctrica
Fibras de carbono	De muy alta resistencia y rigidez. Tipos: - De muy alto modulo (que requieran rigidez de 500GPa de módulo elástico) - De alto modulo (400GPa) - De modulo intermedio (300GPa) - De alta resistencia (200GPa)
Fibras de boro	
Fibras cerámicas	De cuarzo o sílice, alumina. Se utilizan en estructuras radio transparentes.
Fibras Metálicas	De aluminio, acero y titanio, más densas y de mayor coste.
FIBRAS DE ORIGEN ORGANICO	
Fibras orgánicas	Aramida, Polietileno. Obtenidas a partir de polímeros.

Tabla 2.3.3.2: Tipos de fibras
Fuente: [5] Miravete, Antonio. *Los nuevos materiales en la Construcción*

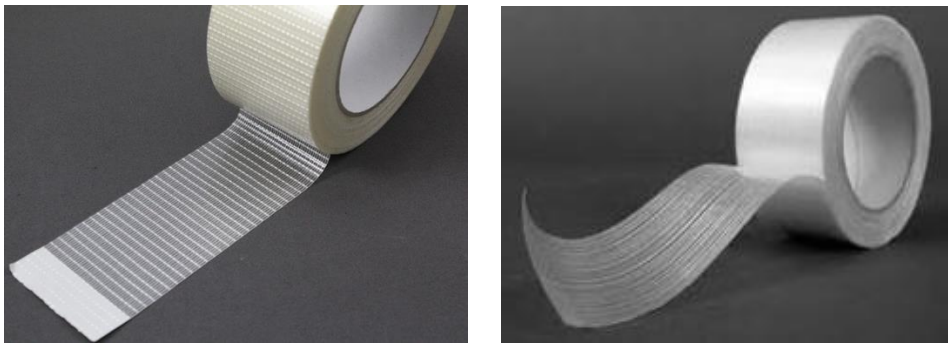
PRESENTACION DE LAS FIBRAS

HILOS: conjunto de fibras asociadas en un cilindro de diámetro uniforme y longitud indefinida.



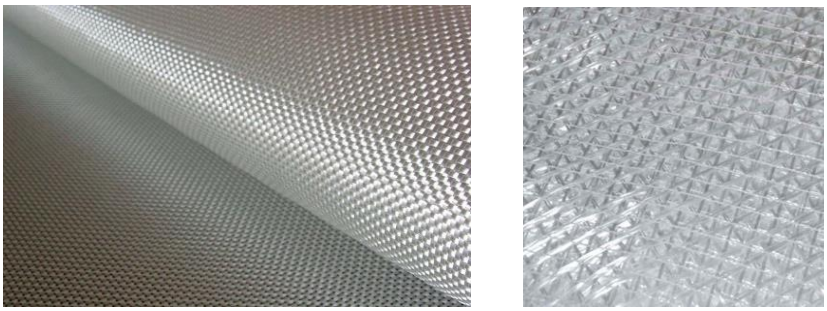
Fotografia 2.3.1. Fibras en hilos
Fuente:http://www.serraciments.com/fibras-para-mortero-y-hormigon/fibras-de-vidrio_26.html

CINTAS: son hilos dispuestos paralelos en forma unidireccional.



Fotografia 2.3.2. Fibras en cintas
Fuente: http://www.precygrap.com/cinta-reforzada.htm

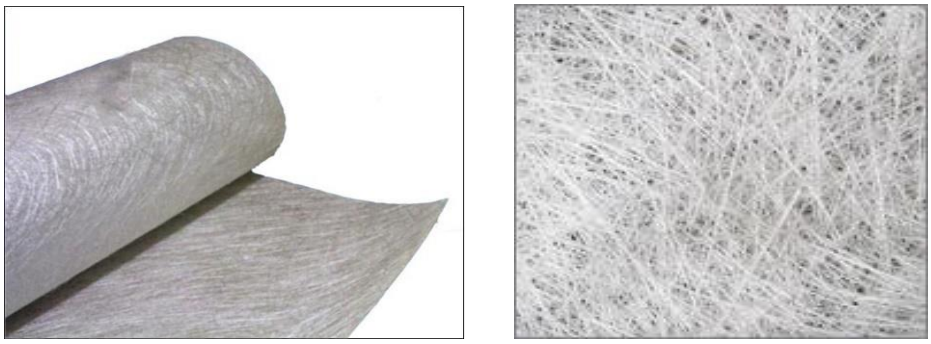
TEJIDOS: Productos en los que los hilos se entrelazan perpendicularmente.



Fotografia 2.3.3. Fibras en tejidos
Fuente: http://tienda.resineco.com/es/AC0076

MAT: Producido cortando mechas de fibras que luego son dispersas al azar en forma de manto y unidas por medio de un aglomerante de alta solubilidad.

Pueden ser de superficie, de hilos continuos o cortados.

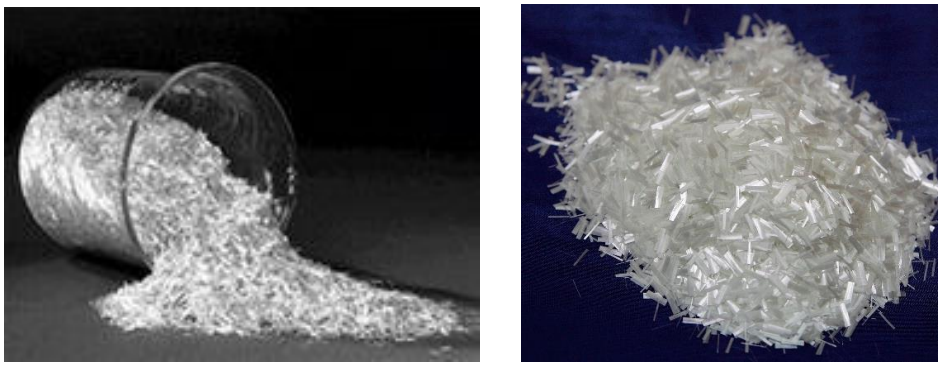


Fotografia 2.3.4. Fibras en MAT
Fuente: http://tienda.resineco.com/es/VI00009

FIBRAS CORTAS: La sección puede ser circular, cuadrada o hexagonal.

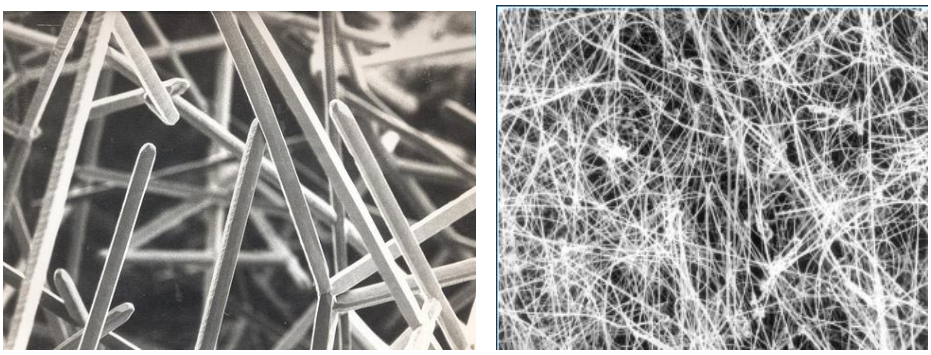
Fotografia 2.3.5. Fibras cortas
Fuente:http://www.serraciments.com/fibras-para-mortero-y-hormigon/fibras-de-vidrio_26.html

FIBRAS MOLIDAS: La fibra al ser molida obtiene una longitud promedio, determinándose ésta por el tipo de hilo base y las condiciones del proceso. Se puede mezclar tanto con sistemas de resinas en seco o húmedas, usando mezcladores convencionales.



Fotografia 2.3.6. Fibras molidas
Fuente:http://www.serraciments.com/fibras-para-mortero-y-hormigon/fibras-de-vidrio_26.html

WHISKERS: Son fibras cortas monocristalinas, virtualmente sin defectos, en forma de filamentos diminutos.



Fotografia 2.3.7. Fibras whiskers
Fuente: http://tienda.resineco.com/es

2.3.4 Aplicaciones de los materiales compuestos

La historia de materiales compuestos para la construcción se inició durante la Segunda Guerra Mundial con la fabricación de casetas para equipos y algunos elementos de aviones. A finales de la década de los cuarenta se empezó a reconocer a los materiales compuestos por la facilidad para tomar formas complejas en su moldeado, y a inicios de los cincuenta ya se utilizaban para fabricar laminas y elementos para la construcción. A partir de los años sesenta se dio principal interés a paneles y sistemas de placas elaboradas con fibras de vidrio, y desde entonces se ha observado una constante evolución e investigación respecto a su aplicación en la edificación.

En base a estudios realizados sobre la distribución sectorial de materiales compuestos en el mercado mundial, podemos observar (figura 2.3.4) el crecimiento que estos materiales tienen en los diferentes campos de aplicación.

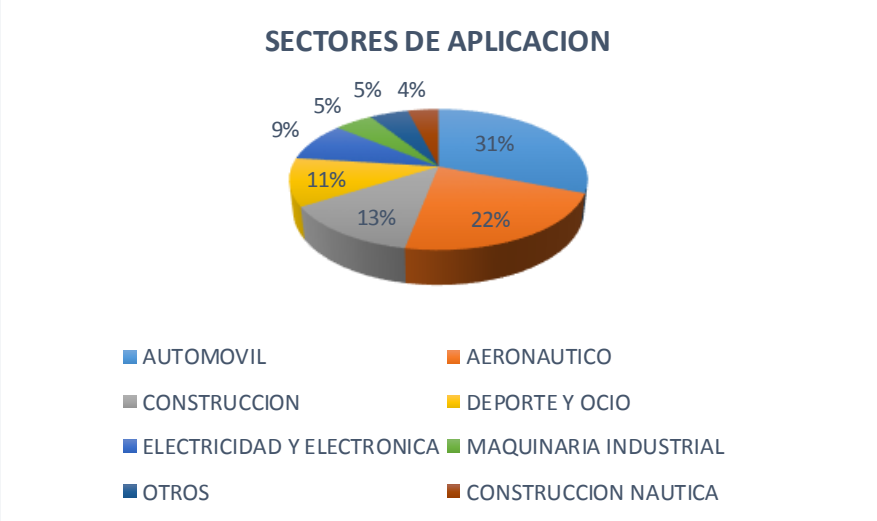


Figura 2.3.4. Distribución sectorial de la aplicación de materiales compuestos.
Fuente: [2] Composites Research Network: Key Findings from 2012 Outreach Activity

En este trabajo, sin embargo, nos centraremos en el estudio de los materiales compuestos que se utilizan para la fabricación de elementos en el área de la construcción.

2.3.5 Hormigones y morteros reforzados con fibras

El hormigón presenta buenas características ante la compresión, pero ofrece muy escasa resistencia a la tracción, por lo que se busca mejorar las resistencias a estos esfuerzos mediante la aplicación de materiales compuestos con fibras.

Si bien el hormigón tradicional es un material que se utiliza actualmente en grandes cantidades y en numerosas aplicaciones, es un material que está en constante evolución; por lo cual la idea de reforzar el hormigón con fibras para mejorar algunas de sus propiedades es un tema que se investiga con mayor interés debido a las ventajas que presenta.

La idea se basa en incorporar a la masa de hormigón fibras que se dispersen con una distribución homogénea para otorgar al material mayor resistencia y mejores prestaciones, que darán como resultado el crecimiento en su uso y mayores oportunidades de diseño y ejecución.

COMPONENTE	CARACTERISTICA
MATRIZ: Hormigón o mortero	- Mantiene el material unido. - Da resistencia a compresión y rigidez - Distribuye los esfuerzos - Protege la fibra
REFUERZO: Fibras	- Soportan esfuerzos a tracción - Controlan la fisuración y reducen su intensidad - Mejoran la tenacidad

Tabla 2.3.5: Componentes y características
Fuente: [5] Miravete, Antonio. *Los nuevos materiales en la Construcción*

2.3.5.1 Tipos de fibras empleadas, características y aplicaciones

Actualmente se emplean fibras minerales, orgánicas y metálicas. Las fibras más utilizadas son las de acero para morteros y hormigones, las de vidrio para morteros, y también se utilizan las fibras plásticas como las de polipropileno para hormigones y morteros.

La elección de las fibras dependerá del tipo de aplicación y de las propiedades que se quiera otorgar al material compuesto reforzado y se deben estudiar en cada caso:

Fibras metálicas: Las que se utilizan normalmente en el hormigón son las de acero que presentan una buena adherencia a la pasta, presentan una mejora respecto a la rotura y son fáciles de mezclar.

Las fibras se presentan en diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Se pueden obtener por trefilado continuo con sección circular, por corte de láminas de acero con sección cuadrada y por arrancamiento de una pieza giratoria de acero a alta temperatura de sección irregular.
El diámetro más común es entre 0,25 y 1,00 mm, la longitud de las fibras entre 25 y 75 mm y su esbeltez entre 30 y 150. La forma de las fibras puede ser variable: rectas, onduladas, con aplastamientos y con extremos conformados en forma de grapas.

La incorporación de fibras presenta: Aumento de la resistencia a flexotracción, a tracción, a compresión, impacto, fatiga, fisuración controlada, disminución de deformaciones bajo carga mantenida.

Aplicaciones: Se utilizan en prefabricados (tubos, canales, pavimentos industriales, vías urbanas, carreteras, revestimientos de tuneles, estructuras de seguridad, campo militar y los de fibra de acero inoxidable se emplean en el revestimiento refractario de hornos, conductos de humos, intercambiadores de calor y otros.

Fibras de polipropileno: Se obtienen en forma de filamentos o de redes plegadas. La longitud esta entre 25 y 75 mm. Mejora características de resistencia a impacto. Poseen ventajas al no ser atacados por los álcalis y no se corroen. Se mezclan fácilmente evitando formación de erizos o bolas.
Su inconveniente principal es su bajo módulo de elasticidad lo que las hace deformables y cuando se emplea en forma de filamentos presenta poca adherencia con el hormigón.

Aplicaciones: Se emplean en hormigones bombeados o gunitados.

Fibras de vidrio: Los vidrios empleados son los de tipo A, tipo E, y vidrio resistente a los álcalis. Se emplean preferentemente en pastas y morteros de cemento que da lugar al material conocido como GRC (Glass Reinforcement Concrete).

Las fibras se emplean formando conjuntos de filamentos o cordones de secciones comprendidas entre 0.016 y 0.027 mm2 y perímetros de 1.42 a 2.65 mm. Los cordones se alimentan en rollos que alimentan una cortadora que lanza los tramos cortados de una longitud determinada.
Las fibras pueden tener una longitud variable de 25 a 50 mm y el porcentaje a emplear varía entre el 2 y 5 por 100 en peso de los materiales secos. Mejora la resistencia a tracción, flexión e impacto y rotura.

Aplicaciones: Se emplean en construcción de elementos prefabricados de revestimiento de fachada, en paneles sándwich de cerramientos de edificios y piezas especiales con un aporte amplio en opciones de diseño y construcción.

Finalmente, como resumen tenemos el siguiente cuadro:

REFUERZO	CARACTERISTICA
Fibra de acero al carbono	- Mejora la resistencia a tracción, flexión, fatiga, impacto, rotura y controlan la fisuración.
Fibra de acero inoxidable	- Mejoran propiedades en hormigones refractarios.
Fibra de vidrio	- Se emplean en morteros y placas delgadas para mejorar la resistencia a tracción, flexión e impacto.
Fibras plásticas	- Se emplean en hormigones resistentes a choques o impactos.

Tabla 2.3.5.1: Fibras y sus características
Fuente: [5] Miravete, Antonio. *Los nuevos materiales en la Construcción*

En el siguiente trabajo se estudiará las mejoras que presenta el Concreto al ser reforzado con Fibras de Vidrio. Se estudian las características físicas, químicas y mecánicas del material, los procesos de fabricación, comenzando por la fusión de la materia prima, seguido por el fibrado, encimado, bobinado, secado y transformación final, los aspectos constructivos del mismo, y la descripción del proceso de construcción y sus diferentes aplicaciones.

CAPITULO 3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRC)

3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (GRC)

Dentro de la investigación de refuerzos que ofrezcan mejores prestaciones a una matriz de cemento, se han experimentado con varios tipos de fibra, escogiendo las fibras de vidrio como la que presenta mejor relación costo-propiedades mecánicas, ya que ofrecen mayor facilidad de trabajo y manejabilidad y una mejora notable en resistencias mecánicas.

El Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio se basa en la idea de sustituir la armadura metálica por la fibra de vidrio, que será la que absorbe los esfuerzos a tracción. Es así, como se consigue un elemento ligero, de poco espesor y que se puede utilizar en series de fabricación. Es posible crear una variedad de formas y presenta una gran flexibilidad en el diseño con diferentes texturas, colores y acabados superficiales.

Los primeros ensayos para el refuerzo de cementos y morteros se los realizó con fibras de vidrio tipo E, sin embargo este tipo de fibra presentaba problemas al ser incorporado al mortero, pues estaba sujeta al ataque químico de álcalis del cemento. Posteriormente se investigó la aplicación de vidrios que contengan circonio y la continua investigación y mejora de las fibras permitieron lograr un refuerzo duradero para el cemento denominada Fibra de Vidrio Alcali-Resistente (AR).

Si bien el objetivo principal es sustituir la armadura de acero por las fibras de vidrio como refuerzo al hormigón, es importante aclarar que su aplicación se utiliza preferentemente con pastas y morteros de cemento, lo cual da lugar a un material conocido en el mercado mundial como GRC (Glass Reinforced Concrete), con una matriz de cemento Portland reforzada con Fibras de Vidrio AR.

El GRC se utiliza principalmente en la producción de piezas prefabricadas como paneles arquitectónicos, sistemas de construcción, placas de recubrimiento en fachadas mediante paneles sándwich con un núcleo central de poliestireno expandido y recubrimiento de edificios existentes.

3.1 CUALIDADES DEL MATERIAL Y VENTAJAS CONSTRUCTIVAS

Dentro de los materiales compuestos, el GRC presenta propiedades y cualidades como:

- Resistencia a tracción, flexión, resistencia al impacto y contra la propagación de fisuras e impermeabilidad
- Perdurabilidad: con la utilización de la fibra adecuada resistente a los álcalis del cemento y resistencia a los agentes atmosféricos.
- Material inorgánico que al arder no produce gases
- Eliminación de puentes térmicos, al colocar los paneles por delante de la estructura.
- Reduce la carga en los edificios, reduciendo costos en estructuras y cimentación y reduciendo el mantenimiento.

- Gran variedad de texturas y acabados (liso, rayado, relieves y otros), incluso puede imitar acabados pétreos y metálicos. Por su diseño flexible en texturas puede combinarse con otros materiales como el ladrillo, piedra, aluminio, etc.).

- Amplias posibilidades de diseños arquitectónicos con formas creativas, simples o complejas geometrías curvas, rectas o con arcos. Se adapta al moldeado de formas complejas, óptimo para la restauración ya que se puede realizar réplicas de elementos ornamentales de edificios históricos (columnas, capiteles, cornisas, frisos y otros). La complejidad en el diseño tiene un efecto mínimo en el coste del panel siempre que se optimice los recursos y se pueda producirlo de forma repetitiva.

- Por su sistema móvil de anclaje, los paneles son adaptables a cualquier tipo de estructura.

- Sus posibilidades de aplicación pueden ir desde la creación de retranqueos en huecos de ventanas y celosías, su uso como paneles, antepechos de ventanas, forros de pilares, decoración de interiores y demás.

Existen varios factores que pueden verse modificados con la utilización del GRC en comparación con el hormigón convencional, estos factores repercuten sobre el coste de materiales, estructuras e instalaciones.

- Peso: La mayor de las ventajas es su reducido peso con parecidas o mejores prestaciones que los elementos prefabricados de hormigón convencional.

- Transporte: Por su peso ligero se pueden transportar de 3 a 5 veces más piezas de GRC que de hormigón convencional, lo cual reduce los costes de transporte de elementos prefabricados a obra.

- Cimentaciones y estructura: Durante la etapa de diseño de estructuras se debe tener en cuenta que con el peso de GRC se requiere menor uso de material de soporte estructural, ideal para edificios de altura.

- Instalación en obra: La maquinaria requerida es de menor capacidad de tonelaje y el número de personal operario es menor, ya que la ligereza del material simplifica estos trabajos.

- Anclajes y juntas: La unión a los entramados de estructuras son más simples ahorrando material y tiempo.

- Montaje: Se lo realiza de manera más rápida y eficaz, ya que se emplea menos tiempo de montaje y de construcción, permitiendo la pronta entrada en obra de otras actividades constructivas.

3.2 ELEMENTOS CONSTITUYENTES DEL MATERIAL

El GRC está compuesto por Cemento Portland con una relación 1:1 y arena de sílice de 1 a 1,2mm de tamaño máximo, amasado con agua aproximadamente un 20% del peso total. La fibra de vidrio se agrega en proporciones controladas, dependiendo de la aplicación y la resistencia que se quiera otorgar a las piezas de GRC.

Cemento: Elemento principal que actúa como aglomerante y representa el 40-50% del peso del material. Normalmente se utiliza el cemento Portland P-350 o P-450 en color gris o el PB-450 para obtener un producto blanco. Las partículas tienen un tamaño medio de 20 micras lo cual no permite su ingreso en las fibras.

Arena: Se utiliza arena de sílice puesto que es un árido reductor de la retracción, lo cual evita grietas sin disminuir la resistencia. En caso de no poder utilizar arena de sílice se puede utilizar polvo de piedra caliza u otras rocas inertes.

Fibra de vidrio: El porcentaje de fibra dependerá de la forma de fabricación del material, de la aplicación y de la resistencia a otorgar al GRC. La fibra influye en la carga máxima de la pieza, la respuesta a impacto, la durabilidad, ayuda a controlar las grietas de retracción y los movimientos térmicos.

Se utiliza normalmente fibra de vidrio en bobina de filamentos de un diámetro de 13 micras, cortadas con la máquina respectiva a una longitud entre 10 a 40mm.
Se utiliza vidrio AR (alcalino resistente), con nombre comercial Cemfil en dos generaciones Cemfil-1 y Cemfil-2 y su composición química se observa en la tabla 3.2.

COMPOSICION	CEMFIL-1	CEMFIL-2
SiO	59,4	60,6
FeO	0,0	0,0
TiO	0,1	0,1
AlO	0,7	0,7
CaO	5,1	4,7
MgO	0,0	0,0
NaO	14,9	14,2
KO	0,3	0,3
LiO	0,0	0,0
BO	0,0	0,0
ZrO	18,0	14,1

Tabla 3.2. Composición química del vidrio AR
Fuente: [3] Comino Almenara, Pablo, *El G. R. C. Material Compuesto de Matriz de Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio A. R.*

Aditivos: Son elementos que se aportan a la matriz para mejorar sus propiedades, dependiendo de las aplicaciones o procesos de fabricación deseados.

Se utilizan en pequeñas cantidades para modificar el comportamiento del cemento:

- Plastificantes, Superplastificantes, Pigmentos, Impermiabilzantes, Polimeros, Elementos puzolánicos especiales, y otros.
- Fluidificantes: a base de melaninas que aumentan la trabajabilidad
- Acelerantes: sustancias que aceleran el tiempo de fraguado
- Inclusores de aire: resinas de madera o compuestos sintéticos que proporcionan una baja densidad.
- Polioxido de polietileno: aumenta la viscosidad y facilita la adherencia en moldes verticales.

3.3 PROPORCIONES DE LOS ELEMENTOS 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 a incorporar dependerá:

a) Del proceso de fabricación del GRC: Si el proceso es el de Proyección simultánea (uso de la fibra en forma de roving) la cantidad será de 5% en peso total de la mezcla realizada. Si se hace por premezcla (incorporando fibra durante el masado del mortero) la proporción será del 3 o 3,5% del total de la mezcla realizada.

b) De la aplicación: Las fibras de vidrio pueden ser incorporadas entre el 0.1% y el 5% en peso.

- 1-2% de fibras, reducen la densidad del hormigón.
- 2-3,5% de fibras: para refuerzos primario de productos de bajo coste realizados por moldeo o vibración.
- 5% de fibras para paneles de fachada y demás aplicaciones que exigen mayor resistencia.

c) La resistencia del GRC: La cantidad de fibras de vidrio y la longitud de las fibras influye en los niveles de resistencia del material.

La longitud dependerá del proceso de fabricación:

- Proyección simultánea: longitudes entre 30 y 45mm.
- Premezcla: longitudes entre los 6 y 24mm, presentando sus mayores prestaciones a los 12mm.

3.4 PROPIEDADES DEL MATERIAL

En este apartado podremos observar las propiedades que presenta un GRC a los 28 días. Valores que corresponden a placas de espesor regular de 10mm.

Resistencias mecánicas

	Unidades	Proyección	Premezcla	Mortero común
Fibra (% en peso)	%	5	3	0
Flexión				
Módulo de rotura	MPa	20 - 30	10 - 14	5-12
Limite elástico	MPa	7 - 20	5 - 8	3-6
Tracción				
Módulo de rotura	MPa	8 -11	4 - 7	3-5
Limite elástico	MPa	5 - 7	4 - 6	3-5
Resistencia a la compresión	MPa	50 - 80	40 - 60	20-50
Resistencia al choque	Kj/m2	10 - 25	10 -15	5-10
Módulo de elasticidad	GPa	10 - 20	10 - 20	9-15
Deformación a la rotura	%	0,6 - 1,2	0,1 - 0,2	0.1-0.2
Densidad del material	T/m3	1,9 – 2,1	1,8 – 2,0	1.7-2.1

Propiedades físicas y químicas

Densidad del material	T/m3	1,7 – 2,3
Pesos aproximados		
Lamina simple 8mm de espesor	kg/m2	16
Lamina simple 12mm de espesor	kg/m2	24
Panel sandwich	kg/m2	44
Retracción irreversible	%	0,05
Retracción final	%	0,2
Coeficiente de dilatación térmica	mm °C	10–20 x 10-6/°C
Coeficiente de conductividad térmica	W/m °C	0,5 - 1
Resistencia química		Buena
Ambiente marino		No afecta las propiedades mecánicas
Hielo - deshielo		Ningún cambio
Permeabilidad al vapor de agua BS3177 para 10mm de GRC	Perms. métricos	1,3
Luz ultravioleta		No lo degrada
Acustica – Reduccion de dB		
Lamina de GRC de 10mm espesor	dB	30

Lamina de GRC de 20mm espesor	dB	35
Sandwich de 10cm (nucleo Poliestireno. Exp)	dB	47
Aislamiento térmico		
Lamina simple 8mm espesor	W/m °C	5,3
Lamina simple 12mm espesor	W/m °C	5,2
Panel sándwich (*)	W/m °C	0,4

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

Tabla 3.4: Propiedades del material
Fuente: [3] Comino Almenara, Pablo, *El G. R. C. Material Compuesto de Matriz de Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio A. R.*

3.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MATERIAL

Los procesos de fabricación para los productos de GRC están relacionados con las tecnologías de la industria del hormigón y los elementos reforzados, de lo cual derivan dos principales procesos de fabricación presentados a continuación:

3.5.1 Proceso de Premezcla

Es un proceso mediante el cual los hilos de fibra de vidrio previamente cortados a una longitud requerida, se añaden durante la etapa de amasado, elaborando una pasta que se funde, prensa o extruye.
El refuerzo de la fibra de vidrio actúa de forma tridimensional, ya que las fibras se orientan en las tres direcciones y presentan a diferencia de otras fibras una buena incorporación, permitiendo mezclarlas dentro de un mortero sin que se produzcan apelotonamientos de las fibras. Se añaden superplastificantes o fluidificadores que facilitan la adición de fibras y el llenado de los moldes mientras se mantiene la relación de agua cemento al mínimo. El acto de mezclado se realiza en una hormigonera o en un amasador simple de paletas.

El proceso de premezcla consta de dos etapas: En la primera se mezclan y amasan los componentes del mortero y se adicionan las fibras de vidrio, y en la segunda, se aplica la mezcla al molde o al elemento en obra (en caso de ser aplicado in situ).

En general, las propiedades obtenidas mediante proceso de premezcla son inferiores a las obtenidas mediante proceso de proyección simultánea.

Por otra parte, por la fácil trabajabilidad y sencilla puesta en obra, el proceso de colado-vibrado se ha convertido en la aplicación más rápida y sencilla, dentro de lo cual tenemos:

a) Proceso de Colado-Vibrado: Este proceso se realiza mediante la realización de la premezcla, colado en un molde, vibrado, fraguado, desmoldeo y curado. Tiene dos variantes:

- Colado-Vibrado en molde abierto
- Colado-Vibrado en Molde y Contramolde.

Este proceso se emplea para la fabricación de piezas arquitectónicas y ornamentales.

b) Proyección de Premezcla: Las piezas elaboradas de esta manera adquieren una mayor resistencia.

3.5.2 Proceso de Proyección Simultánea

Es un proceso mediante el cual se obtienen piezas de forma bidireccional (en el plano). La fabricación se realiza mediante la proyección de capas que se van compactando entre si dentro de un molde hasta formar el espesor total de la lámina (entre 10 y 15mm). Dentro de este proceso tenemos:

a) Proyección Simultánea Manual: Este método es estándar para la producción comercial de varios componentes que tengan perfil sobre superficies verticales u horizontales. Un operario es el encargado de proyectar las capas mediante una pistola de proyección. Se pueden fabricar paneles de gran tamaño y elementos que requieran una elevada resistencia, incluyendo paneles de revestimiento, elementos de fachada, encofrados y otros.

b) Proyección Simultánea Automática: La pistola de proyección realiza un movimiento de vaivén transversal sobre unos moldes ubicados por debajo a una distancia específica. Este método sirve para la elaboración de elementos planos.

c) Proyección Simultánea Robotizada: Las máquinas son controladas por computador, con un sistema de proyección concéntrica proporcionando hormigón y vidrio cortado a partir de un único punto de salida, siendo capaces de proyectar a intensidades de hasta 35kg/min. El computador controla la velocidad de la cinta transportadora, del bombeo de mortero y los dispositivos de control de circulación de agua.

3.5.3 Moldes

Uno de los puntos importantes para la fabricación de un GRC es el diseño y uso de moldes, que permiten optimizar recursos y costos.

Existen varios puntos a considerar para el diseño de moldes:

1.- Unidades a utilizar: La cantidad de unidades requeridas determinará el material del molde, que puede ser: madera tratada, contrachapado, Plásticos reforzado con vidrio, acero y hasta un mismo GRC. El más utilizado para

cantidades pequeñas o perfiles simples son los moldes de madera. El máximo uso recomendado para un molde es de 30 a 40 piezas fundidas, pero en series de mayor calidad se reduce a 20 piezas.
Si se requiere series largas de acabado suave es mejor el uso de los moldes de GRC, pero si se quiere fabricar paneles sándwich lisos mediante procesos de producción mecanizadas será mejor usar los moldes de acero

2. Dimensiones: Los elementos fabricados mediante proyección manual no deben superar los 2m de ancho, evitando que el operario necesite plataformas o andamios extras de acceso para la proyección; sin embargo, la longitud puede ser ilimitada. Cuando la producción es mecanizada no existen estas limitaciones.

3. Variantes: El costo de una producción dependerá del número de moldes diferentes que haya en la misma. Es importante diseñar la mayor cantidad de piezas evitando mayores variantes en los moldes, o diseñar moldes que puedan ser adaptables a las variantes que se requieran.

4. Calidad del acabado: Relacionada directamente con la calidad del molde, por ello se debe tener cuidado con el desgaste del barniz de los moldes de madera y se debe considerar que para un acabado de superficie critico será mejor utilizar los moldes plásticos reforzados. La limpieza entre cada pieza fundida es importante y cuando se trata de paneles sándwich se debe tener en cuenta cual será la cara vista de cada elemento.

6. Capacidad de producción: Considerando el tiempo de fraguado y curado se deberá prever el número suficiente de moldes de acuerdo a la cantidad de producción que se requiera.

7. Complejidad: Si se requiere fabricar piezas especiales se debe tener en cuenta que los moldes deben permitir el acceso del material en todo el molde, una buena compactación y el desmolde sin dañar la pieza.

4. Tolerancia: Los moldes se construyen usualmente con una tolerancia de +/- 1,5mm, dando la mayor tolerancia de fabricación en paneles sándwich, ya que las dimensiones entre capas puede variar hasta +/-5mm.

3.5.4 Curado

El proceso de curado es una parte crítica en la realización de un GRC, sus condiciones son importantes para garantizar los niveles de resistencia adecuados y diseñados para el proyecto.

Es aconsejable tener un lugar donde se pueda controlar la humedad y temperatura, recomendándose las siguientes:

Temperatura: 15°C, en el local de producción o alrededor del compuesto
Humedad: ≥ 95% HR
Tiempo: 7 días

Las condiciones de curado pueden verse modificadas con el uso de aditivos, reduciendo el tiempo de curado.

El endurecimiento antes del desmoldeo debe hacerse sin perder agua por evaporización, por lo que los moldes abiertos deben cubrirse con una lámina impermeable, mientras que los moldes cerrados presentan menores problemas aunque no deben descuidarse del todo.

Posteriormente, se debe tener en cuenta las condiciones de post-curado para mantener un producto estable antes de su entrega, recomendándose las siguientes:

Temperatura: 15°C
Humedad: ≥ 65% HR (regularmente un almacén resguardado y cerrado)
Tiempo: 7 días

Durante esta etapa se debe evitar temperaturas extremas mayores a 30°C o inferiores a 0°C.

Existen también parámetros específicos del producto que deberán considerarse para la etapa de curado y post-curado, y son:

- Uso: Si el producto final será utilizado para el interior de las edificaciones, el post-curado podrá reducirse a 1 día como mínimo, pero si el producto será utilizado para exteriores se debe respetar las condiciones de curado y post-curado.

- Función: Si el producto tiene una función estética y mecánica el tiempo de post-curado debe ser respetado, pero si solo tienen una función mecánica sin importar el aspecto, el post-curado puede reducirse a 1 día.

- Espesor del producto: Las condiciones generales de curado y post-curado aplican para productos con espesores cercanos a 10mm. Para productos de menor espesor (de 5 a 8mm) que son más sensibles a las variables de temperatura y humedad, se debe tener mayor consideración en el curado y post-curado, evitando cambios bruscos de ambientes.

- Situación en obra: Los productos que se utilizan en el exterior y están expuestos a agentes climatológicos deben respetar las condiciones de curado y post-curado.

La elección del tipo y control de curado y post-curado dependerá de la calidad de producto que se quiere obtener y del fabricante.

3.6 PRINCIPALES APLICACIONES DEL GRC

Las características anteriormente presentadas hacen del GRC un material versátil con una gran trabajabilidad y posibilidad de uso en varios campos.

- En industria marítima: Canales, boyas, tanques.

- En agricultura: Elementos de drenajes, suelo de granjas, comederos y bebederos.

- En control de ruido y protección contra el fuego: Barreras antirruido, protección de máquinas ruidosas, puertas, pantallas y conductos antifuego.

- En diseño: Mobiliario urbano, adornos, moldes, elementos decorativos, imitaciones de elementos artificiales.

Sin embargo, nos centraremos en las aplicaciones del material en el campo de la Arquitectura e Ingeniería.

Figura 3.1. Aplicaciones del GRC
Fuente: http://grc-barcelona.es

- En la construcción:

  Paneles de fachada y cerramientos
  Elementos de fachadas
  Sistemas modulares de vivienda
  Elementos para cubiertas
  Decoración de interiores
  Piscinas
  Pavimentos
  Revestimiento de túneles
  Paneles para aislamiento térmico de edificios.
  Celosías y domos
  Restauración de elementos arquitectónicos
  Decoración de interiores: cielos rasos, falsos techos, columnas.

3.6.1 Paneles de GRC

El desarrollo de los materiales ha ocasionado que los elementos prefabricados como recubrimientos de fachadas o divisiones sean una solución técnica, económica y estética, basada en principios como la modulación y la repetitividad de las piezas.
A estas piezas incluso se les puede añadir grabados, acabados especiales y formas volumétricas.
Los paneles prefabricados se caracterizan por su ligereza lo cual permite fabricar piezas de varias formas y de gran volumen y su puesta en obra se puede realizar sin necesidad de grúas especiales o grandes inversiones en fábricas.
Como el panel forma parte de un sistema constructivo es necesario también definir el tipo de anclaje de los paneles a la estructura principal y el tipo de juntas a utilizar para cada proyecto.

Tipos de paneles:

- **Panel homogéneo o panel cáscara:** Formado por una sola capa de GRC de 8 o 12mm de espesor, con o sin aislamiento. Con este tipo de panel es necesario un trasdosado interior para mejorar el aislamiento térmico y acústico.

- **Placa simple rebordeada:** Es un panel autoportante que se compone solo de GRC, sin estructura adicional. Es una lámina de espesor de 15 mm que se rigidiza perimetralmente mediante retornos (mínimo de 5 cm) y su superficie máxima recomendada es de 2 metros cuadrados. Su peso es de 40 kg/m2.

- **Panel sándwich:** Este tipo de panel se utiliza cuando se quiere tener sus dos caras a la vista o cuando se desea incluir en el panel material para aislamiento térmico y/o acústico.

  Los paneles sándwich generalmente tienen un espesor de 100 mm, formados por dos capas exteriores de GRC y un núcleo de aislante de

80mm de espesor como por ejemplo: poliestireno expandido, poliuretano expandido, y otros. La rigidez del panel se realiza con nervios perimetrales e intermedios de 10 a 25 mm macizos con GRC, ubicados de borde a borde para que el panel funcione como una placa maciza

Se pueden realizar piezas de hasta 6 m2 de superficie. El peso del conjunto no sobrepasan los 50 Kg /m2.

- **Panel nervado:** Es un panel compuesto por una placa simple rigidizada mediante nervios formados por un material ligero y cubierto por GRC proyectado. Se pueden realizar piezas de hasta 3 m2, con un peso de hasta 36 Kg/m2. La estructura resistente lo componen los nervios perimetrales centrales si se requieren, formados mediante núcleos de poliestireno expandido con la forma y dimensiones deseados.

- **Skin + Stud frame (Panel de GRC + bastidor tubular):** Es un conjunto formado por un panel solo de GRC unido mediante anclajes de acero galvanizado a una estructura tubular de acero galvanizado (bastidor), que será la que se ancla a la estructura principal del edificio. Esta estructura y los anclajes atornillados absorben el movimiento que pueda producirse sin dañar al panel.

  El bastidor se debe diseñar según las solicitaciones del panel, manteniendo una separación máxima de 60 cm entre ejes de cada tubular. Se pueden realizar elementos de hasta 30 m2 con un peso de 1.500 Kg (peso entre 50 y 60 Kg/m2).

  Lo importante de este panel es que contiene conectores flexibles que evitan que el panel pueda romperse por los movimientos generados por la estructura.

- **Celosía:** Se puede moldear celosías usando el método de premezcla y vibrado, aplicando recubrimientos a base de silicatos para dejar un buen aspecto en la superficie. Este tipo de elementos, generalmente se diseña para encajar dentro de alguno de los otros tipos de panel de GRC, dejando una tolerancia de 5 mm aproximadamente entre los bordes de encaje del panel y la celosía, lo cual ayuda a asumir cualquier diferencia dimensional

Figura 3.6.1.1: Tipos de paneles
Fuente: http://grc-barcelona.es

Diseño de paneles

Para el diseño de paneles se debe prever las siguientes consideraciones arquitectónicas y técnicas:

- De uso: Si el panel requiere protección solar, de viento, de humo y de lluvia, además de aislamiento térmico y acústico.

- De forma y aspecto: La forma, la textura y el color del elemento serán resultado del diseño arquitectónico.

- Dimensiones y peso: Las dimensiones vendrán dadas por el diseño arquitectónico de los elementos y el peso dependerá de las dimensiones y composición del panel. Se pueden moldear soluciones de hasta 30m2 en un solo panel, considerando que cuando una placa debe tener más de 20m2 de superficie o 6m de longitud, se unirá dos cascaras con un solo bastidor. A pesar de ello se recomienda que el panel no sobrepase los 3mw para evitar generar costes de transporte y montaje mayores.

- Modulación: Relacionada con la etapa arquitectónica y la constructiva, podrá formar parte de una serie que pueda ser industrializada.

- Molde: Suelen ser de materiales metálicos, madera o plásticos. La construcción y repetición del mismo serán importantes para la rentabilidad del proyecto.

- Número de piezas: Mediante un proceso industrial se puede lograr obtener un mayor número de piezas con un ahorro de tiempo.

- Vanos: Cuando un GRC debe contener vanos como puertas o ventanas, se recomienda que no sean demasiado grandes para que no comprometan la estabilidad del panel. Si esto no es posible es mejor definir las ventanas entre paneles. Si se contempla las ventanas con dos o más paneles, se debe evitar franjas delgadas en extremos y otras muy anchas.

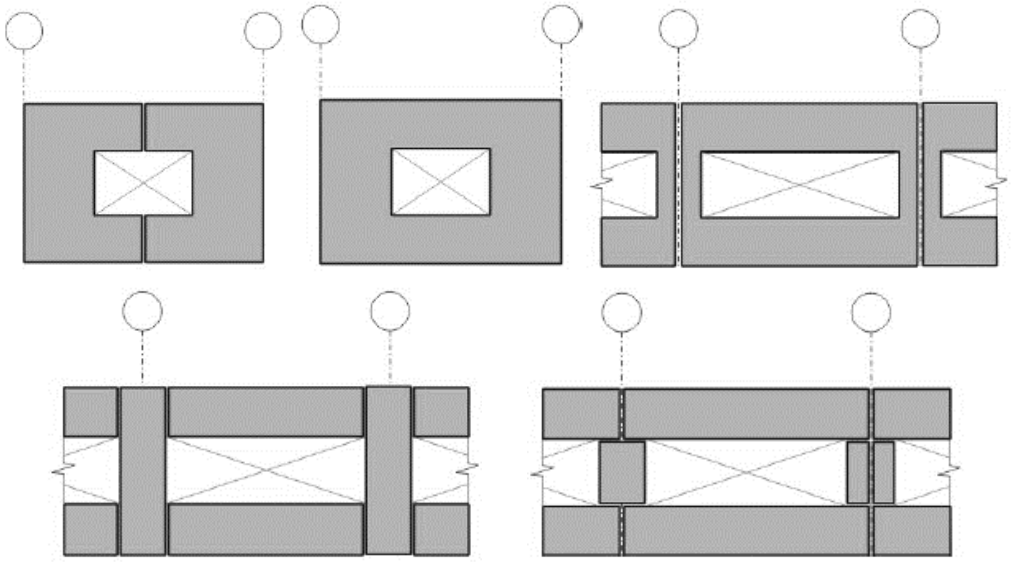


Figura 3.6.1.2: Diseño de vanos
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

- Aristas: Las aristas del panel deben quedar en bisel o redondeadas, evitando dejar aristas que puedan sufrir daños o pueden poner en evidencia variaciones de dimensiones de la cascara de GRC.

- Esquinas: Para las uniones en esquina se debe diseñar esquinas formadas por un solo panel en L o con un retorno que simule el grueso de una pieza mayor que la real.

- Transporte: Los paneles y elementos deben tener unas dimensiones que permitan su movilización en los medios de transporte óptimos para este tipo de trabajos. La facilidad de transporte estará relacionada con la forma, dimensiones y pesos de los paneles.

- Montaje: A pesar de ser un material liviano, se debe considerar las formas, dimensiones y pesos para el momento de la elevación de las piezas desde los camiones con el equipo y personal de montaje adecuado. Es necesario tener un registro claro de la ubicación de las piezas en obra para evitar errores en su instalación. Las piezas pueden necesitar adicionalmente armaduras o anclajes para su sujeción.

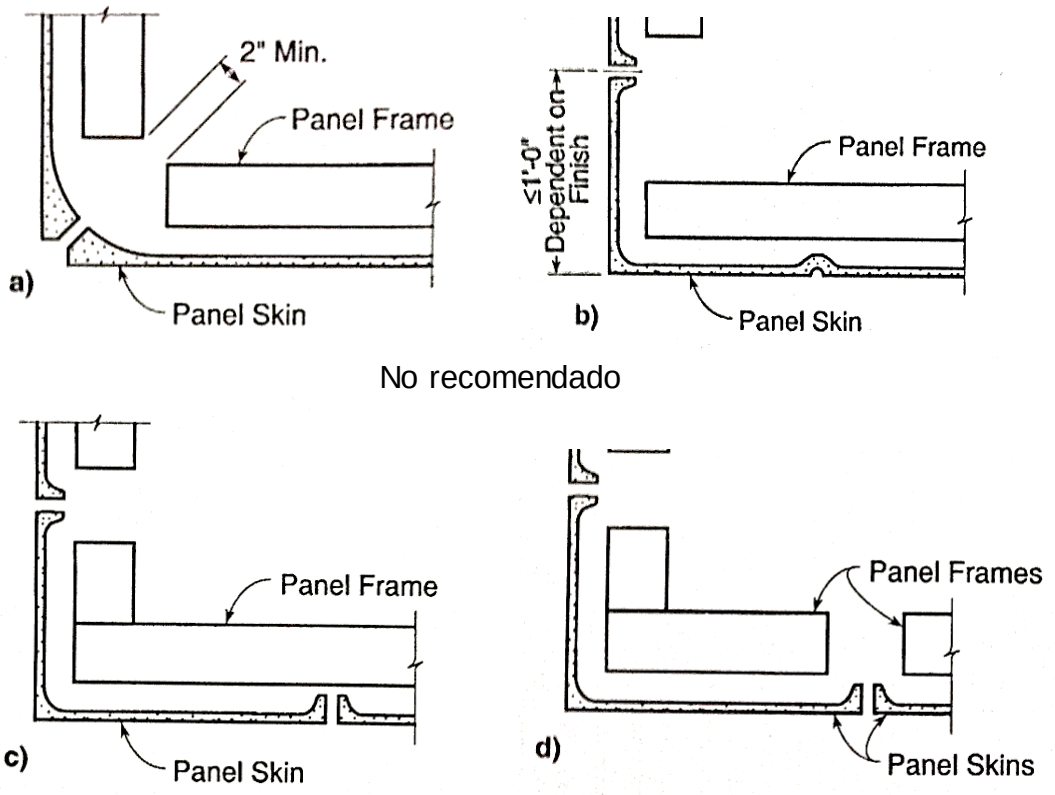


Figura 3.6.1.2: Diseño de vanos
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

- Aletas aleros y retornos: Se pueden moldear paneles que lleven aletas y retornos resolviendo en una sola pieza elementos de fachada como remates de cubierta o antepechos. La dimensión adecuada del retorno es de 15 a 20cm, no obstante si el proyecto lo requiere se pueden moldear retornos de hasta 1m siempre que la pieza no sobrepase esta

medida para permitir su fabricación en molde posición en V, pero si la pieza se moldea en posición horizontal el retorno máximo será de 50 cm.

3.6.2 Acabados, fijaciones y juntas de sellado

ACABADOS SUPERFICIALES

Los acabados superficiales de los paneles están relacionados con los materiales y moldes que se usan para su elaboración y van ligados al diseño del proyecto.

Por lo tanto, los acabados se agruparán de la siguiente manera:

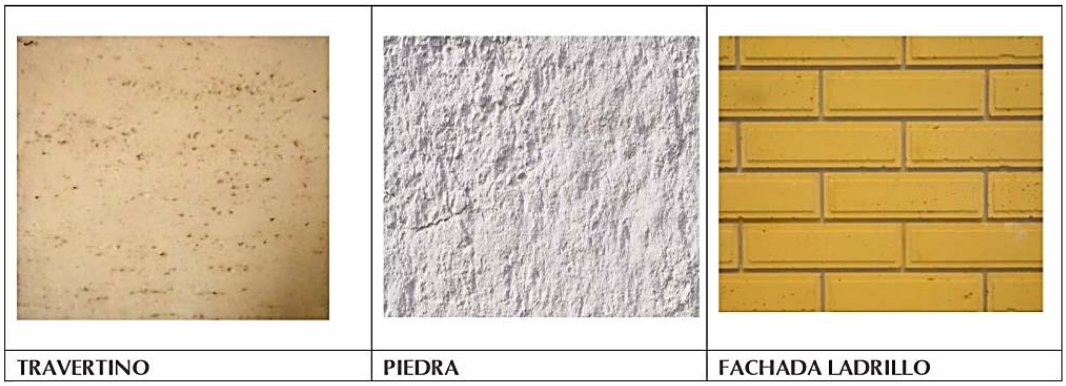
Color: Generalmente con tonos blancos o grises por el empleo de cementos de este color, sin embargo, se puede también obtener acabados de colores diferentes durante el proceso de elaboración del panel mediante el uso de áridos de color o la adición de pigmentos certificados o pinturas a base de silicatos. Ya que por lo general se reproduce en el panel la textura del molde, la aplicación de color resulta mejor en paneles texturados que en paneles lisos.

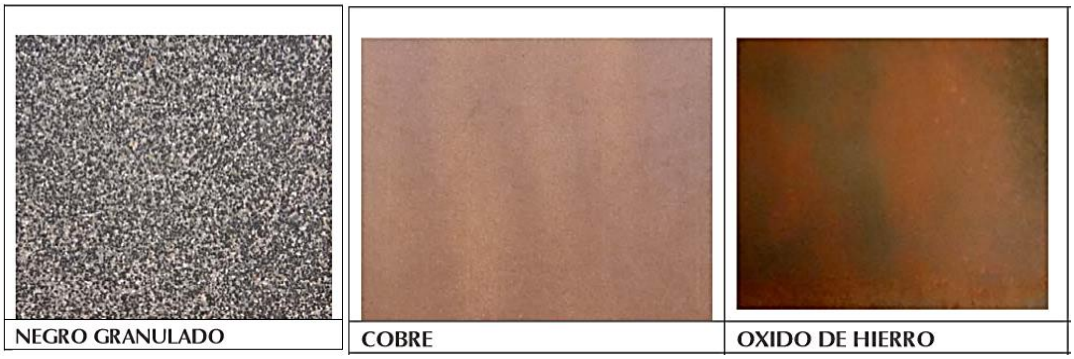
Textura: Las texturas generalmente vienen dadas por el molde, por lo que se recomienda colocar del lado visto del panel una capa de mortero sin fibra para obtener un acabado liso y mate. Esta capa no debe estar incluida en el espesor total del panel para fines de diseño.
Si se requiere paneles con mayor textura debe realizarse con moldes preparados, de manera que pueden obtenerse las siguientes texturas:

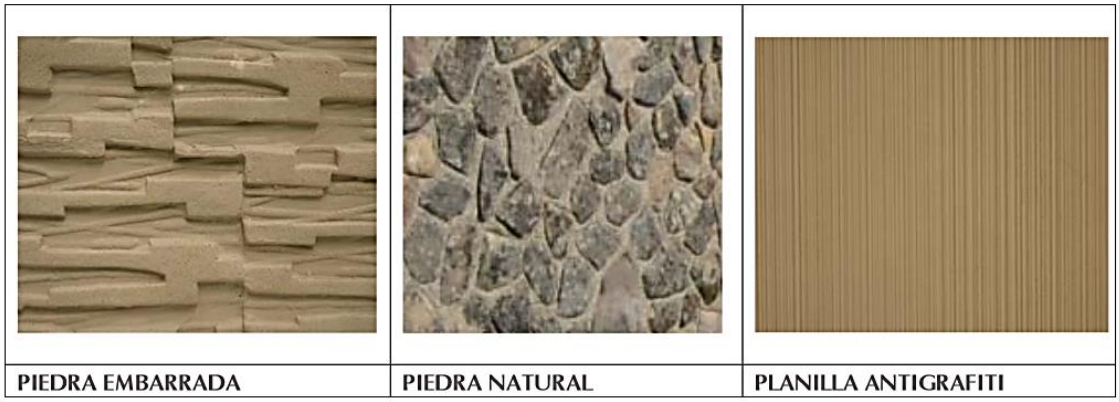
- *Árido lavado:* Chorreándola con arena o lavándola con ácido, parecido a los tratamientos que se le da al hormigón. Se puede utilizar para formar la primera capa áridos de granulometría ≤ 5mm dando protagonismo a los mismos. El espesor de la capa vista debe tener al menos 6mm.
- *Estriado o acanalado:* Emplazando en el molde tiras que pueden ser de madera plástico o acero y que dibujan en negativo el trazado deseado.
- *Abujardado:* Utilizando un martillo neumático para texturizar la superficie, retirando la lechada de cemento y exponiendo los áridos que por el impacto se blanquean generando un efecto de aclaramiento.
- *Afinado:* Usando paletas o llanas metálicas o de madera que dan al panel un acabado más liso. Generalmente usado en la cara no moldeada de los paneles sándwich.
- *Enchapado:* Esto permite combinar el panel de GRC con otros materiales como piedra, mármol, granito o gres, los cuales se emplazan en el molde con los anclajes respectivos para que al moldear el panel queden unidos al mismo.
- *Acabado mixto:* Se puede especificar paneles que tengan más de una textura y un color, anticipando la correcta separación de las texturas.

Recubrimientos: Si los paneles se utilizarán como recubrimiento final se debe tener en cuenta que la cara exterior deberá ser tratada con aditivos o sellados adecuados para equilibrar cualquier variación de humedad que pueda ocasionar curvaturas o grietas en el panel.

Otros acabados: Se pueden aplicar pinturas o barnices, que garanticen la permeabilidad para que no se produzcan condensaciones intersticiales.
Las siliconas se utilizan para proteger la superficie de paneles de color blanco contra la suciedad y manchas.
Los paneles deberán tener una capa de imprimación y dos de acabados. La de imprimación y acabado se da en fábrica y la ultima de acabado una vez colocado el panel.
No se recomienda recubrir el panel con sustancias epoxis, caucho clorado o uretano. Se puede utilizar pinturas acrílicas, de mampostería basadas en cemento, resinas basadas en agua y recubrimientos basados en minerales.







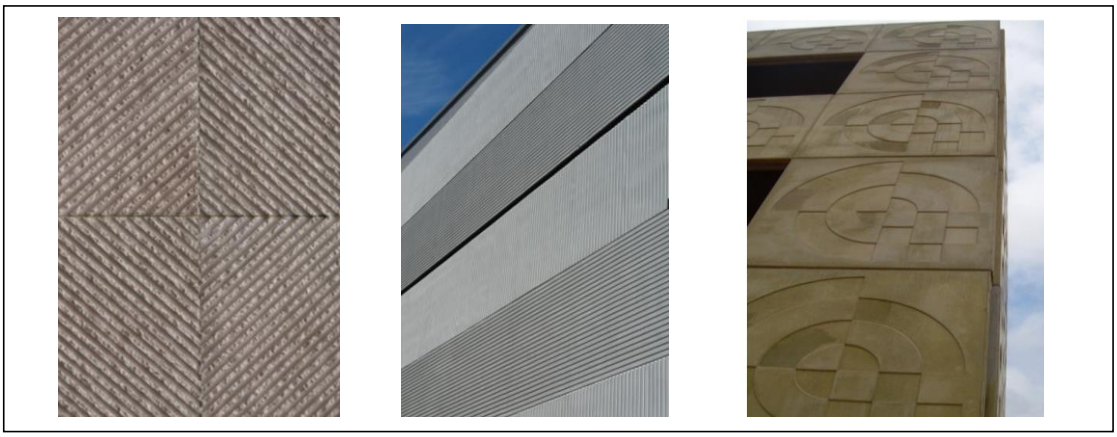


Imagen 3.6.2: Acabados superficiales
Fuente: http://tecnyconta.es; http://grc-barcelona.es

FIJACIONES Y ANCLAJES

En un sistema compuesto por prefabricados son importantes los elementos de fijación y anclaje. Varios tipos de fijaciones utilizadas con el hormigón, madera y acero se pueden utilizar o adaptar al GRC. Las fijaciones se deben funcionar de manera que la fuerza transmitida a través de la fijación, sea transferida a la mayor área posible del panel de GRC.

Los principales materiales utilizados para las fijaciones son el bronce, acero inoxidable y aceros cadmiados.

Anclajes incorporados a los paneles: Para su desmoldeo y manipulación: Se incorporan casquillos roscados con un pasador de acero en su extremo inferior anclados a la cara posterior del panel para su extracción del molde. Se pueden colocar otros adicionales para su elevación y transporte. Durante la fabricación del GRC el casquillo queda embutido en el material, de igual manera que las placas, angulares o carriles como piezas de anclaje.
Se debe considerar que la fijación quede embebida en un gran volumen del material del panel y se puede utilizar placas y arandelas para ampliar la superficie de aplicación de carga.
Los paneles se fijaran en su parte superior e inferior, y las ranuras en los casquillos de fijación deben tener una tolerancia mínima para el ajuste en caso de ser necesario.

Anclajes para paneles de revestimiento: Los paneles deberán estar apoyados y la fijación lo más cerca de la parte inferior. Las fijaciones principales pueden ser de bronce o acero inoxidable. Se debe evitar el uso de acero suave. La fijación superior se diseña para tolerar alargamientos térmicos o de retracción.

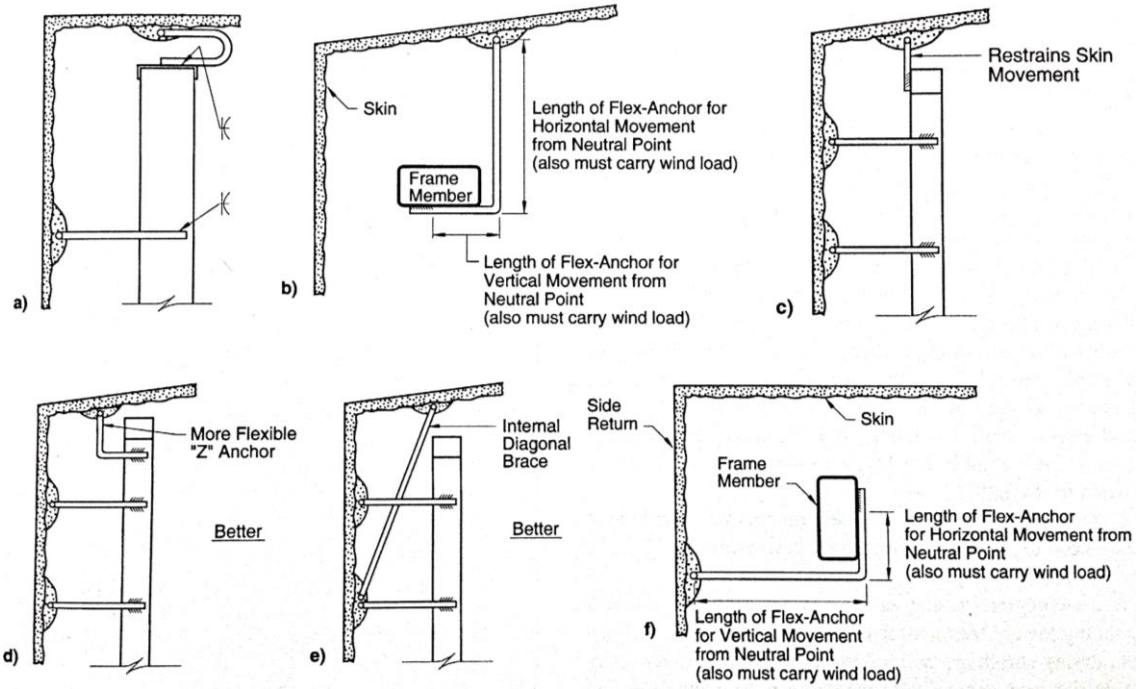


Figura 6.3.2.1: Fijaciones y anclajes
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Material de anclaje: Su elección dependerá:

- Del tamaño de la fijación
- Resistencia al fuego
- Tipo de trabajo del anclaje
- Compatibilidad de materiales
- Resistencia del material de fijación al ataque químico del cemento alcalino o el entorno

JUNTAS DE SELLADO

Las juntas de sellado que se utilizan entre los paneles de GRC tienen una similaridad a aquellas utilizadas en los prefabricados de hormigón.

Las juntas entre paneles deben ser mayores de 8mm y menores de 25mm, no solo para permitir la dilatación de los paneles sino también para permitir pequeñas diferencias de dimensiones y poder realizar un buen sellado.

El uso de juntas de dos escalones es adecuado para los paneles de revestimiento, ya que la configuración de los paneles con esta junta permite la evacuación de agua al exterior.

El sellado de las juntas deberá realizarse empleando fondos de espuma de polietileno insertos a presión entre los paneles y aplicar un cordon de espuma de poliuretano o silicona. Los sellado elásticos como la silicona o los elasto-plásticos como acrílicos absorben dilataciones, por lo que, considerando la dilatación térmica del GRC (7 a 12 x 10-6 M/Mc), en un panel de longitud 3m con un salto térmico de 30 grados siendo el movimiento de la junta de +/- 0.6 a +/- 1,1mm, se puede utilizar este tipo de juntas, teniendo en cuenta su correcta aplicación y limpieza.

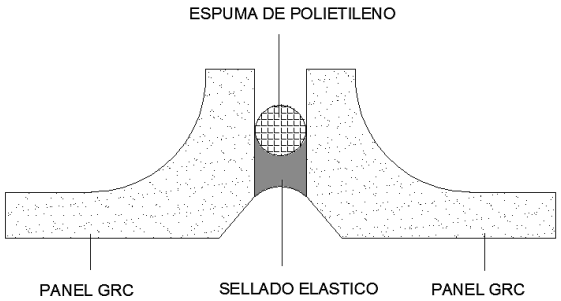


Figura 6.3.2.2: Juntas
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Formas de tratar las juntas:

- **Juntas obturadoras:** Efectivas solo cuando se dispone de presión para deformarlas o comprimirlas y esta presión deberá ser duradera.

- **Juntas de drenaje abierto:** Se compone de un elemento vertical suelto entre paneles y sellado por la cara interior. En horizontal lleva un perfil que enlaza con el sellado.

- **Junta con relleno interior:** El sellador debe ser compatible con las deformaciones o alargamientos del panel con una variación permitida entre 6mm y 40mm. Los bordes del panel necesitan un perfil simple pero se debe tener especial cuidado con la adecuada adherencia del material.

- **Perfil tapajuntas:** Su instalación es más sencilla al no necesitar detalles especiales, toleran variaciones de anchura y movimiento y el sellado se lo puede realizar después de montar los paneles.

Ancho de la junta	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm
Profundidad de la junta	8 mm	8 mm	10 mm	12 mm

Tabla 3.6.2: Relación ancho/profundidad de las juntas
Fuente: http://grc-barcelona.es

La superficie a sellar debe estar seca, limpia y libre de grasa o polvo para una mejor adherencia del sellado.

3.7 COMERCIALIZACIÓN DEL MATERIAL

Las múltiples posibilidades que ofrece el GRC hacen que sea un material idóneo para muchas aplicaciones. Sin embargo, la fabricación y comercialización de GRC en cada país estará limitada por los recursos y materias primas que se encuentran en ellos.

En gran parte de Europa, Japón y Estados Unidos se presenta la mayor producción del material; sin embargo, en los últimos años se ha incrementado su uso en países de Sudamérica y África.

Europa: Es el principal mercado de GRC, pero la mayor parte se desarrolla en Alemania con empresas como: Faserventonwerk Kolbermoor, Hasenfratz, Dyckerhoff y Widman, Schlck Beton Elemente, entre otros.

En Francia, la fabricación de paneles para fachadas de GRC y para productos arquitectónicos tiene una gran importancia, con empresas como SOGEA Y CMEG, entre otras.

En España, la mayor aplicación es de paneles para fachadas. Dragados, es la primera empresa y líder en su fabricación. Existen otras empresas dedicadas no solo a la producción de elementos sino también a su instalación como: GRC Barcelona, Panelco GRC S.A, Iberia GRC, Tecnyconta, Premaco S.A, Housing Formula S.L, entre otros.

Gran Bretaña, ha sido el país de origen del GRC, donde se han conocido las primeras automatizaciones de cadenas de producción, elaborando baldosas para pavimentos, tejas y paneles de fachadas. GRCA Internacional, Amber Precast y Glass Reinforced Concrete UK Ltd.

Italia, donde la mayor aplicación es para paneles de fachadas, cuenta con empresas como: OCM Valma, Edil Beton, entre otras.

En Estados Unidos se encuentran empresas como: Arc Limited, Concreit, Formglas Products Ltd., Ball Consulting Ltd., Willis Construction Co. Inc, entre otras.

En Latinoamérica en los últimos años se han presentado empresas que fabrican y proveen de GRC en varios países. Destacan empresas como: Sika S.A, Pretecsa, Cimbrados S.A, entre otros.

3.8 NORMATIVA Y CONTROL DE CALIDAD

La inspección visual de todo elemento en su proceso de fabricación e instalación, puede conllevar errores de apreciación que se pueden convertir en desaciertos apreciables. Es por ello, que es necesario llevar un adecuado control normativo de los elementos que componen un sistema. En el caso del GRC, el control se realiza desde la dosificación de la materia prima hasta la fabricación de los elementos y después, en su traslado e instalación un control de procesos para tener un resultado óptimo. La ejecución de ensayos le corresponde al fabricante de los elementos y el arquitecto deberá, en cada etapa, tener una idea clara de los procesos a cumplir.

En la siguiente tabla, están las características para diferentes paneles de GRC:

Espesor (mm)	**Luz máxima (m)**	**Resistencia al fuego (horas)**	**Conduct. Térmica (W/m°C)**	**Reducción sonido (dBA)**	**Peso (kg/m2)**
Panel cascara GRC 8 mm GRC 12 mm	 0,7 1,1	 N/A N/A	 5,3 5,2	 30 32	 16 24
Panel cascara con pestaña GRC 10 mm Aislamiento>75 mm	2,0	0 – 2 *	<0,6	30	27
Panel cascara perfilado GRC 10mm Aislamiento >75 mm	2,3	0 – 2 *	<0,6	30	27
Panel cascara con nervios GRC 12 mm Aislamiento>75 mm	3,0	0 – 2 *	<0,6	32	36
Panel cascara stoodframe GRC 10 mm Montante 600 mm Aislamiento>75 mm	6,0	0 – 2 *	<0,6	36	45
Panel sándwich GRC 10 mm Poliest exp. 10mm GRC 10 mm	3,6	N/A	0,4	32	44

* Depende del aislamiento y revestimiento

Tabla 3.3: Características de paneles de GRC
Fuente: [3] Comino Almenara, Pablo, *El G. R. C. Material Compuesto de Matriz de Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio A. R.*

Dentro de las normas ASTM podemos encontrar los métodos de control de los compuestos realizados con cemento reforzado con fibras de vidrio, contemplados en los números C-947-03, C-948-81 y C 1666/C 1666M. También deberán contemplarse las normas: UNE-EN 1169:2000, UNE-EN 14649:2006, UNE-EN 1170:1998. Para la realización de paneles de fachada es necesario considerar la normativa: NBE-CT-79, NBE-CA-81, NBE-CPI-82 y NTE-FPP-75. Esta última no es de uso obligatoria pero si es recomendable.

Existen también varios documentos de uso y certificaciones que cada profesional puede solicitar a entidades responsables de la revisión de procesos y estándares aplicables; sin embargo, no debe dejarse de lado la normativa vigente.

Tolerancias de fabricación y montaje

En cualquier material pueden existir variaciones dimensionales, es por eso que se establecen unas tolerancias, y las del GRC son las que se describen a continuación:

- Son admisibles variaciones de +/-3mm por cada 3m de longitud o ancho del panel.
- En vanos para ventanas dentro de un panel es admisible una diferencia de +/- 6mm. Cuando el vano esta entre dos o más paneles, la diferencia admisible será de +/- 6mm por cada panel.
- En el grueso del panel son admisibles diferencias en un rango de +10mm y – 6mm.
- En el alineamiento entre paneles se admite perdida de hasta 6mm.
- Los desplomes son admisibles hasta 6mm por cada 3m de altura de panel, hasta máximo 24mm para un edificio de 30 m de altura.
- En el ancho constante de juntas entre paneles se admiten variaciones hasta de 6mm por cada 3m de largo del panel.
- La flecha de la superficie de un panel es admisible hasta 1/240 de la longitud del mismo.

Estas tolerancias deben tomarse en cuenta para la instalación de los paneles y el correcto funcionamiento en obra.

CAPITULO 4. ESTUDIO DE REFERENTES EN PROYECTOS REALIZADOS

4. ESTUDIO DE REFERENTES EN PROYECTOS REALIZADOS

Durante el estudio de un material o sistema es importante conocer si existen referentes donde se haya empleado estos elementos para conocer un poco más sobre su funcionamiento y aplicación. También es importante conocer el tipo de sistema usado para montar los paneles, los elementos de conexión y ajustes de los mismos a la edificación.

4.1 VIVIENDAS PARA RESIDENCIA OLÍMPICA DE PRENSA EN BARCELONA, ESPAÑA

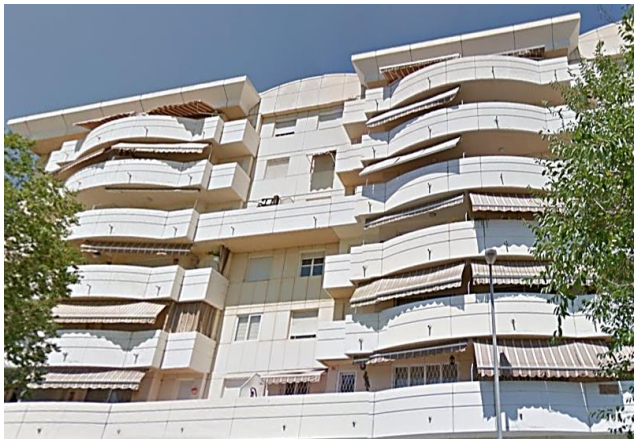
En los Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona, se requería construir un edificio oficial de viviendas como alojamiento para la Prensa durante la Olimpiada.

Fuente: Dragados y Construcciones.

Se había previsto en el proyecto original el uso de fachadas de ladrillo visto, pero estas no iban a permitir que se cumpliera con los tiempos para la ejecución de la obra, por lo que se estudió la posibilidad de emplear el GRC en las fachadas del edificio. La versatilidad de formas, la variedad de texturas superficiales que permitía el material y su reducido peso en comparación con los prefabricados de hormigón habituales, fueron algunas de las razones para que se decida el uso de paneles prefabricados de GRC para la construcción del edificio oficial.

El GRC se colocó en las fachadas de 844 viviendas distribuidas en 33 bloques, con alrededor de 80.000 m2 de paneles de revestimiento, fabricados por Dragados y Construcciones para la compañía Levitt en un tiempo de 11 meses.

Se fabricaron 21.000 paneles con 700 modelos diferentes. Los paneles tenían una superficie media de 8,3 m2, ya que los paneles más grandes median 2,4m x 3,0m.



Fuente: Dragados y Construcciones

Los paneles utilizados en el edificio eran de los siguientes tipos:

Panel sándwich: Utilizados para aislar los muros exteriores de los apartamentos, formado por cascaras de GRC de 1cm de espesor y un núcleo de poliestireno expandido de 8cm de espesor. Producidos alrededor de 75720 m2 entre paneles ciegos de cerramiento, paneles con hueco de ventana y paneles hueco de puerta, con un acabado de textura rugosa y tratamiento superficial con pintura acrílica e isocianurada en color crema y blanco. Los paneles se trasdosaron en obra con cartón-yeso conjuntamente con la tabiquería interior del mismo material.

Panel cascara simple: Utilizada en la decoración de pilares y remates de dinteles en zonas de locales comerciales, con 1cm de espesor, textura lisa y un tratamiento superficial en acrílico e isocianurada en color blanco; y otros 16.00 m2 de lámina sencilla utilizados en parapetos y zonas no aisladas.

Fabricación: Los paneles fueron fabricados en Torrejón, en las cercanías de Madrid. Los primeros moldes se fabricaron en Marzo de 1990, iniciando con 18 moldes maestros y que con modificaciones alcanzaron 90 moldes. Esto permitió una fabricación de 90 paneles por día que equivale a 360m2 al día con 45 obreros trabajando 8 horas al día en dos turnos diarios. La fabricación de paneles sándwich se culminó en el mes de Julio de 1991 con 21.164 paneles con 690 geometrías diferentes. Luego de desmoldar y curar los paneles fueron preparados y pintados en la fábrica con pintura acrílica e isocianurada.

Transporte: Realizado mediante semirremolques acondicionados para poder llevar los paneles, con un total de 268 viajes con una medida de 293m2 de superficie transportada por viaje.

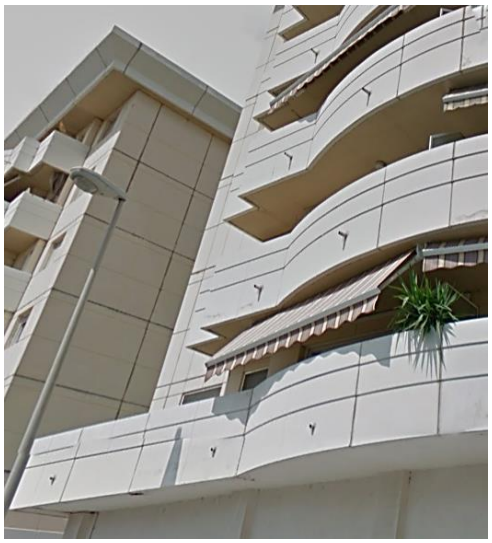
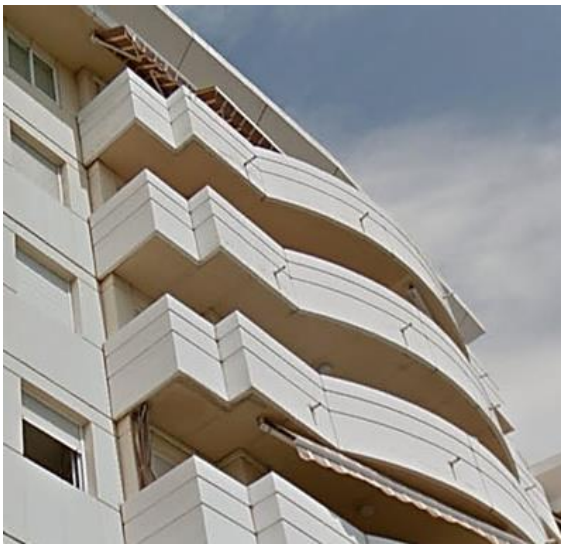
Acopio de paneles en obra: Se necesitó una zona de acopio en obra donde se almacenaron hasta 6.500 paneles con una superficie de ocupación de 28.000 m2 y su distribución se realizó mediante camiones grúa. Se mantuvo un stock de 14 días para minimizar cualquier retraso en producción o en transporte.

Montaje de paneles: Durante el montaje de paneles se contaba con la presencia de dos encargados de controlar los replanteos y equipos de montaje, ayudados cada equipo por una grúa-torre. El sistema de montaje se realizó mediante carriles colocados en la parte posterior del panel y pletinas que se soldaban a unas placas conectadas al forjado. El montaje se realizó con 10 equipos de 3 hombres, montando un total de 200 paneles diarios.

Acabado superficial en obra y sellado: Ya que los paneles en fábrica contaban con una capa de imprimación y una de pintura acrílica-isocianurada, la capa final se aplicó tras la colocación de los paneles en obra.

El recubrimiento de polímeros acrílicos-isocianicos se aplica con facilidad, es impermeable al agua lluvia y resistente a agentes atmosféricos.

En las juntas, su sellado se realizó mediante silicona de reticulación neutra y un obturador de fondo de la junta, a base de perfil conformado de espuma de polietileno de célula cerrada. El color que se utilizó para el sellado fue el mismo que el de la pintura de los paneles.

Fuente: Dragados y Construcciones

Fuente: Dragados y Construcciones

4.2 LABORATORIOS DEL INSTITUTO MUNICIPAL DE INVESTIGACIÓN MÉDICA, EDIFICIO EN EL HOSPITAL DEL MAR. BARCELONA, ESPAÑA.

El Hospital del Mar es una construcción ubicada en el frente marítimo de Barcelona, adosado al mismo se encuentran los Laboratorios del Instituto Municipal de Investigación Médica. Se trata de una edificación de ciento cincuenta metros de longitud, desarrollada en sótano, planta baja y dos pisos superiores, con la fachada frontal ligeramente curva. Cuenta con una superficie total de 7.700 m2 donde el 60% de la superficie de los dos pisos superiores se destina a laboratorios y el 40% a la sección administrativa que coincide con el voladizo de la fachada posterior.

La estructura del edificio está constituida por pilares y forjados de hormigón armado con una modulación de 6,05 m. Las fachadas son prefabricadas y disponen de aberturas de doble vidrio fijo y persiana veneciana mini lama de color gris.

Para las secciones de cerramiento ciego se construyeron fachadas prefabricadas de GRC, ya que tienen el aspecto visual de un prefabricado de hormigón pero es liviano y resistente. La cara exterior de los paneles de GRC tiene un acabado de color blanco piedra sin otro tipo de tratamiento adicional. El núcleo del panel está constituido por una plancha de poliestireno expandido excepto en la zona de la planta baja que se utilizó poliestireno extrusionado.

El cerramiento del edificio tiene un trasdosado con placas de tablero DMH.

Fuente: 2BMFG Arquitectes

4.3 CENTRO DE CONVENCIONES EN LIMA, PERÚ

En la ciudad de Lima, Perú, se construye el centro de convenciones más grande de Sudamérica, lo cual requiere construir una edificación que implemente tecnologías novedosas en el país, por ello, se utilizó por primera vez en el Perú planchas de cemento reforzado con fibra de vidrio GRC (Glass Reinforced Concrete), para revestimientos exteriores.

El estudio peruano de arquitectura Dessin Technisch fue contratado por IDOM-ACXT (consultoría de arquitectura e ingeniería española) para asesorarlos y compartir el expediente técnico de arquitectura en la implementación del Centro de Convenciones de Lima que albergó dicho evento con un valor de obra de 500 millones de soles con un cronograma ajustado.

El proyecto consta de 74,000.m2 con 16 salas de conferencia y uso múltiple. Siendo el primer edifico en el país revestido con 10,000m2 en GRC. (concreto reforzado de fibra de vidrio).

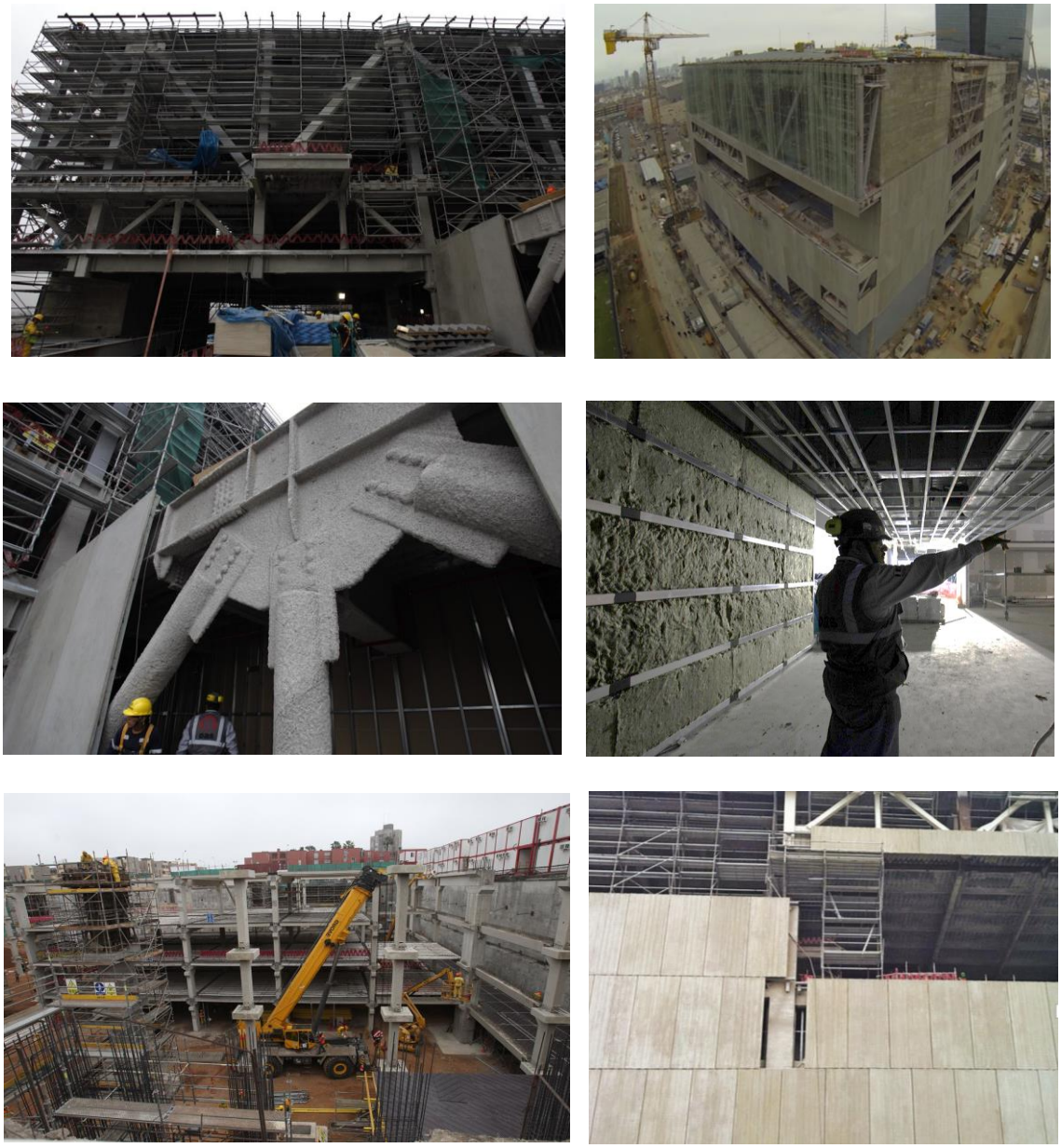
Fuente: David Huamaní / La República

El Centro de Convenciones licitó 10,000 m2 de paneles prefabricados. Las piezas de mayor tamaño son de 7.00 m x 2.00 m de color gris lisas y estrilladas, teniendo variedad de más de 1,000 piezas.

Se consideró para el proyecto las ventajas considerables como: menor peso: más fácil montaje, transporte; mayor número y densidad de perforaciones; resistencia a la corrosión; resistencia al agua e incombustible.

El cemento utilizado en la producción de los paneles es un tipo de cemento que cumple con las especificaciones de la norma NTP-334.009, NTP-334082 y/o NTP-334.090, la arena es de sílice con un contenido en cuarzo (SiO2) superior al 95% del peso de la arena, el agua es potable, el aditivo plastificante utilizado en la fabricación del mortero es un agente reductor de agua con polímeros de nueva generación y la fibra utilizada es un compuesto de fibras de vidrio álcalis resistentes, en forma de filamentos.

Se instaló una estructura metálica exterior para recibir los paneles de GRC.



Fuente: David Huamaní / La República

Por el interior tiene un trasdosado con recubrimiento acústico y térmico. Para el montaje de los paneles se utilizaron grúas de gran tamaño para poder alcanzar las alturas necesarias.

4.4 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE REFERENTES

El estudio de referentes nos permite conocer las aplicaciones y aciertos que ha tenido el material en su instalación. Nos permite también mejorar en métodos, ya sea de fabricación o montaje con los recursos actuales y proponer nuevas alternativas de construcción con este sistema.

CAPITULO 5. DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

5. DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

5.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, como refuerzo a la matriz de hormigón se utilizan fibras plásticas, metálicas y vegetales. Generalmente las fibras de vidrio se utilizan en la mezcla con cemento o morteros de granulometría muy fina como en el GRC (Glass Reinforced Concrete).
En este trabajo se estudia el comportamiento de las placas de cemento reforzados con fibra de vidrio, caracterizando su resistencia a la flexión en función del porcentaje de fibra de vidrio álcali-resistente adicionado.
Partiendo de que los elementos a analizar son placas de GRC de 10mm de espesor, se establece un plan de ensayos a realizar en los laboratorios de la sección de Hormigones de la EPSEB de la Universidad Politécnica de Catalunya.

5.2 ENSAYOS

5.2.1 Objetivos del ensayo

El objetivo general es determinar cómo varían las propiedades mecánicas del hormigón al adicionarle distintos porcentajes de fibra de vidrio.

Para el hormigón reforzado con fibra de vidrio en estado endurecido, se busca determinar la resistencia a flexión de los paneles elaborados.

La variable a estudiar será el porcentaje de fibra de vidrio AR adicionada al hormigón, y su incidencia en la resistencia a la flexión.

Dado lo anterior, se establecen dosificaciones óptimas para obtener las diferentes placas de cemento reforzado con fibra de vidrio.

5.2.2 Programación de probetas y ensayos a realizar

Para analizar el efecto del porcentaje de incorporación de fibras de vidrio AR a la mezcla, se realizan ensayos comparativos entre placas sin fibras y placas con distinto porcentaje de fibra adicionado.

El programa experimental se desarrollará con la ejecución de ensayos a flexión, empleando probetas de GRC fabricadas con cemento Portland como matriz y fibras de vidrio AR como refuerzo.

El programa de ensayos se realizará a partir de la elaboración de probetas en tres series:

Primera serie: Con probetas de dimensiones 350x190x10mm aproximadamente, que se obtuvieron a partir de placas de 350x380x10mm, dando como resultado dos probetas por placa. Esta serie se trata de una mezcla simple sin ningún porcentaje de fibras de vidrio.

Segunda serie: Con probetas de dimensiones 350x190x10mm aproximadamente, que se obtuvieron a partir de placas de 350x380x10mm, dando como resultado dos probetas por placa. Esta serie se trata de una mezcla reforzada con fibras de vidrio en un 2,5% del peso.

Tercera serie: Con probetas de dimensiones 350x190x10mm aproximadamente, que se obtuvieron a partir de placas de 350x380x10mm, dando como resultado dos probetas por placa. Esta serie se trata de una mezcla reforzada con fibras de vidrio en un 5% del peso.

Los porcentajes adicionados de fibra de vidrio estarán comprendidos entre el 2,5% y el 5% en peso del cemento. Dado lo anterior se tienen tres muestras a ensayar tal como se indica en la Tabla 5.2.2.

Identificador	% de Fibra de Vidrio AR adicionado
Muestra 1 (M1)	Sin fibra
Muestra 2 (M2)	2,5 % de fibra
Muestra 3 (M3)	5 % de fibra

Tabla 5.2.2: Tipos de probetas a ensayar
Fuente propia

En todos los casos las dimensiones de las probetas son las mismas, así como la fracción volumétrica empleada para poder realizar una comparativa de resultados más precisa.

5.2.3 Descripción de los Ensayos

El ensayo a realizar es de resistencia a la flexión. El ensayo se realizará con el concreto ya endurecido, cuando las probetas cuentan con 28 días de curado. Un resumen de los ensayos a realizar puede ser apreciado en la Tabla 5.2.3.

Ensayo	Estado del hormigón	Tipo de Probeta	Edad de la probeta
Resistencia a la flexión	Endurecido	M1, M2, M3	28 días

Tabla 5.2.3: Tipos de probetas a ensayar
Fuente propia

5.2.3.1 Flexión

Se ha considerado de interés el caracterizar las placas del presente estudio en cuanto a su resistencia a la flexión, ya que se propone que los paneles estudiados sean aplicados en fachadas y en este caso un aumento de la resistencia a flexión por efecto de las fibras sería muy beneficioso.

El procedimiento de ensayo se basa en la norma ASTM C947 y consiste en someter a una placa de GRC simplemente apoyada, a una solicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de la probeta a ensayar.

Este ensayo es útil para el control de calidad de placas de concreto reforzadas con fibra de vidrio, dando cumplimiento a las especificaciones y permitiendo generar datos para su uso en el diseño de productos. Con este método de ensayo se puede determinar la resistencia final a la flexión de los paneles de que tengan 25,4 mm o menos de profundidad.

Para determinar el esfuerzo de flexión, se utilizó la Formula 5.2.3.1, descrita en la norma, utilizando valores conocidos como lo son las dimensiones de la probeta y la carga aplicada la cual es suministrada por la maquina empleada.

9.1 Calculate flexural yield strength (F_y) as follows:

$$F_y = P_y L / bd^2 \quad (1)$$

where:

F_y = flexural yield strength psi (or MPa),
P_y = force at the point on the force-deflection curve where the curve deviates from linearity, lbf (or N),
L = major support span, in. (or mm),
b = width of specimen, in. (or mm), and
d = depth of specimen, in. (or mm).

Fórmula 5.2.3.1. Cálculo de esfuerzo de flexión
Fuente: Norma ASTM C947

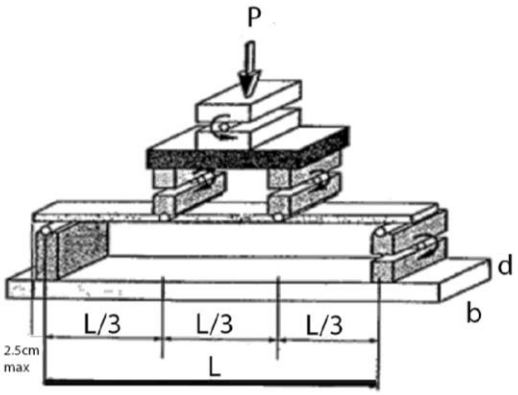


Figura 5.2.3.1. Cálculo de esfuerzo de flexión
Fuente: Norma ASTM C947

5.3 METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología desde la fabricación de las piezas, pasando por la ejecución de los ensayos hasta el análisis y la obtención de los resultados.

5.3.1 Caracterización de materiales

5.3.1.1 Áridos

El árido empleado es una arena fina de 2mm, cuya procedencia es la planta de Arids Catalunya Sorigué.

El tamaño máximo del árido grueso a utilizar en este tipo de compuesto está condicionado por el largo de la fibra a utilizar, de modo que para un refuerzo óptimo no debe sobrepasar los 2/3 de longitud de la fibra. [20]

Para asegurarnos de que utilizaríamos la granulometría adecuada se procedió a pasar por un tamiz de 2mm los áridos hasta obtener el árido de granulometría deseado y se constató que la arena estuviera seca antes de su uso en la mezcla.

5.3.1.2 Cemento

El cemento utilizado es un cemento Portland CEM II/B-L fabricado por Grupo Cementos Portland Valderrivas.

Cabe señalar que este cemento, cumple con todas las especificaciones establecidas por la norma UNE-EN 197-1.

5.3.1.3 Fibras de Vidrio Álcali-Resistentes

La fibra de vidrio utilizada, es un monofilamento resultante de la dispersión de haces de fibra al entrar en contacto con la humedad del hormigón. Su nombre comercial es Cem-FIL Anti-Crack HD (High Dispersión), de la casa OWENS CORNING mediante distribuidor Serraciments, con un diámetro del filamento de 14 micras y en un largo de 12 mm que es el largo estándar de la fibra de vidrio AR diseñada para paneles GRC.

La Tabla 5.3.1.3 muestra un resumen con las características físicas y mecánicas más importantes de este tipo de fibra.

Propiedad	Valor
Resistencia a la tracción	1,7 GPa
Módulo de elasticidad	72 GPa
Resistencia química	Muy alta
Conductividad eléctrica	Muy baja
Punto de ablandamiento	860°C – 1580°F
Peso especifico	2,68 g/cm3
Perdida al fuego	0,55% (ISO 1980:1980)
Diámetro de filamento	14 micras – 0,000546 pulgadas
Longitud de la fibra	12 mm

Tabla 5.3.1.3: Características y propiedades de la fibra de vidrio
Fuente: Owens Corning Composite Materials, LLC

Las fibras Anti-Crak® HD no sobresalen en la superficie y no requieren ningún proceso adicional de acabado. El refuerzo se incorpora en la masa de hormigón y es invisible en la superficie acabada.

5.3.1.4 Agua

Para la confección de las mezclas se utiliza agua potable tomada directamente desde la red de suministro. Esta agua cumple con la norma referida a los requisitos del agua potable para ser utilizada como agua de amasado para hormigones y concretos.

5.3.1.5 Aditivos

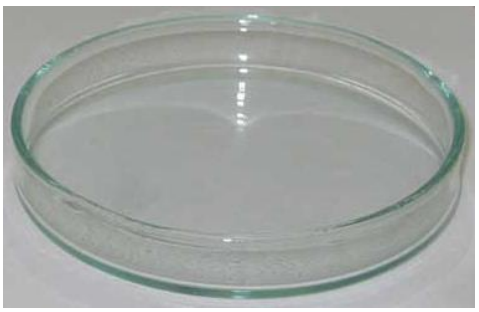
Al adicionar fibra de vidrio, disminuye la trabajabilidad del hormigón [4], por lo cual se utiliza un aditivo plastificante.
El aditivo usado es un superplastificante Melment F10 fabricado por BASF The Chemical Company.
La dosificación utilizada es la recomendada por el fabricante, que equivale al 1% en peso de cemento.

Arena

Cemento

Fibra de vidrio

Superplastificante


Agua

Fotografía 5.3.1.5: Materiales a utilizar para la elaboración de paneles
Fuente propia

5.3.2 Equipos y herramientas

5.3.2.1 Equipos

Los equipos a utilizar se encontraron en el laboratorio de la EPSEB de la UPC y son los siguientes:

- Balanza para pesar materiales
- Amasadora mecánica con un agitador de masa vertical
- Prensa de fuerza (Máquina de compresión)
- Hornos de secado de muestras
- Cortadora radial

Balanza

Amasadora mecánica

Prensa de fuerza

Cortadora radial

Fotografía 5.3.2.1 Equipos
Fuente propia

5.3.2.2 Herramientas

Las herramientas utilizadas para la elaboración de las placas fueron las herramientas comunes para la elaboración de concretos: palas, lianas, brochas, recipientes, espátulas y rodillo para compactar, así como otras herramientas de albañilería.

Fotografía 5.3.2.2 Herramientas
Fuente propia

5.3.2.3 Moldes

Los moldes utilizados para la elaboración de las probetas son moldes metálicos rectangulares. En los tres tipos de probetas se utilizaron moldes de las mismas dimensiones y características. Se ha verificado su buen estado y la limpieza antes de verter la mezcla en los mismos. Se prepararon los moldes con líquido desencofrante antes de verter la mezcla en los mismos.

Fotografía 5.3.2.3 Moldes para probetas
Fuente www.axxecol.com

5.3.3 Dosificación y confección del hormigón

5.3.3.1 Dosificación

Las dosificaciones se realizaron basados en la normativa referente a este tipo de compuestos.

La relación cementos/áridos utilizado corresponde a la proporción 1:1 y la relación agua/cemento fue de 0,35 en todos los casos con el fin de obtener una mezcla con consistencia seca para aportar mayor resistencia a cada placa.

Se utilizó arena de 2mm de grosor y se añadió el superplastificante durante el amasado del cemento, agua y arena, con el fin de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

La dosificación de la fibra se realizó tomando como límite inferior la cantidad mínima de fibra a adicionar recomendada por el fabricante equivalente a 0,03% en peso, y como límite superior el 5% señalado en la literatura [10]. La fibra de vidrio empleada fue la AR del tipo comercial Cem-FIL Anti-Crack HD, de 12mm de longitud, con fracción volumétrica de 2,5% en la segunda etapa de muestras y 5% en la tercera etapa de muestras.

PLACAS	**MATERIALES Y PROPORCIONES**			
	Cemento	Arena	Fibra	Relación agua/cemento
Muestra 1	1	1	Sin fibra	0,35
Muestra 2	1	1	2.5%	0,35
Muestra 3	1	1	5%	0,35

Tabla 5.3.3.1 Dosificaciones para la mezcla
Fuente propia

5.3.3.2 Confección de la mezcla:

Mezcla de prueba y elaboración de las muestras definitivas

Se desarrollaron 2 mezclas de prueba antes de iniciar con la elaboración de muestras definitivas para ensayos, esto permitió la familiarización con los materiales y determinar de mejor manera las cantidades a utilizar y las proporciones correctas.

Una vez realizadas las mezclas de prueba se procede a la elaboración de las mezclas definitivas y probetas para ensayos.

Con el objeto de establecer una comparación más efectiva entre el comportamiento de las placas sin fibra o con diferentes porcentajes de fibra, se planifica la preparación de los paneles en tres coladas diferentes para poder tener un mejor control de las proporciones de los materiales agregados en cada una de ellas.

Para lo anterior se procede a preparar una muestra de una placa patrón (sin fibra) y 2 placas con fibras (2,5% de fibra en la segunda y 5% de fibra en la tercera).

El procedimiento detallado de la elaboración de los paneles de muestra se describe a continuación:

1. Pesar los materiales, previa la mezcla para verificar las dosificaciones.

2. Mezclar los granulares y cementantes en seco, a velocidad 1 durante 2 minutos.
3. Añadir el 70% del agua y mezclar a velocidad 1 durante 2 minutos.
4. Adicionar el restante del agua 30% junto con el aditivo superplastificante y mezclar a velocidad 1 durante 10 minutos más.
5. Añadir la fibra a la mezcla y amasar.
6. Aplicar desencofrante en los moldes y tenerlos listos para recibir la mezcla.
7. Verter la mezcla en el molde asegurándose con la espátula que la mezcla ingresa en las esquinas y continuar vertiendo la mezcla por capas para poder ir compactando con el rodillo.
8. Alisar la cara superior de la placa con una llana.
9. Cubrir la muestra para evitar la evaporación del agua de la mezcla.

Peso de materiales en báscula

Mezcla de arena y cemento

Mezcla añadiendo agua y fibras

Mezcla lista para moldes

Fotografía 5.3.3.2.1: Confección de la mezcla
Fuente propia

Para la fabricación de placas se utilizó la técnica de premezclado, empleando una mezcladora de uso común para la fabricación de morteros; es importante señalar que estas mezclas son autocompactantes por lo cual no es necesario realizar el procedimiento del vibrado usual.
Las muestras se dejaron fraguar en el laboratorio durante 24 horas para luego ser desmoldadas y trasladadas a la cámara de humedad a 20°C y un 95% de humedad relativa, para un curado de 28 días.
Una vez finalizado el periodo de curado, se extrajeron de la cámara de humedad para cortar las placas en probetas de 350x190x10mm, mediante una cortadora radial. A continuación se numeraron las muestras y se dejaron secar al aire durante 24 horas para luego proceder con el programa de ensayos.

Medidas previo corte

Corte de muestras

Numeración de muestras Secado de muestras

Fotografía 5.3.3.2.2: Preparación de las muestras previa elaboración de ensayo
Fuente propia

5.4 DESARROLLO DE LOS ENSAYOS

5.4.1 Ensayo de Flexión

Se realizó una evaluación del desempeño a flexión de 3 muestras, una muestra sin refuerzo y dos compuestos reforzados con diferente porcentaje de fibras.
El ensayo de flexión se ejecuta basado en la norma ASTM C947 (método estándar para propiedades de flexión en secciones delgadas de concreto con fibra de vidrio, vigas simplemente apoyadas cargadas al tercio medio). Según la norma, para las dimensiones de este tipo de probetas se debe realizar el ensayo con dos cargas puntuales del mismo valor, aplicadas en los límites del tercio central de la luz del ensayo. Se ha escogido una luz de ensayo de 30 cm, de esta manera se respeta la distancia mínima de 2,5 cm que debe quedar entre las líneas de apoyo y los extremos de la probeta.

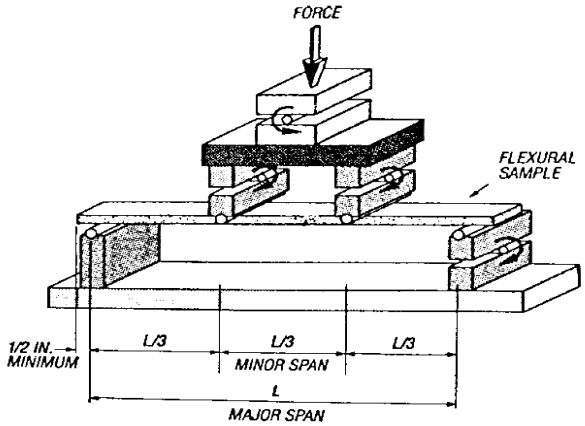


Figura 5.4.1: Montaje de ensayo
Fuente: Norma ASTM C947

Para realizar las pruebas se monta el equipo necesario para el ensayo, utilizando una máquina de compresión (Prensa de fuerza), ya que esta herramienta nos ofrece la posibilidad de obtener la carga aplicada (Kgf), que nos servirá como dato para aplicar la fórmula y obtener los resultados. Se puede observar una imagen del ensayo de flexión en la fotografía que muestra a continuación:

Fotografía 5.4.1.1: Montaje de ensayo
Fuente propia

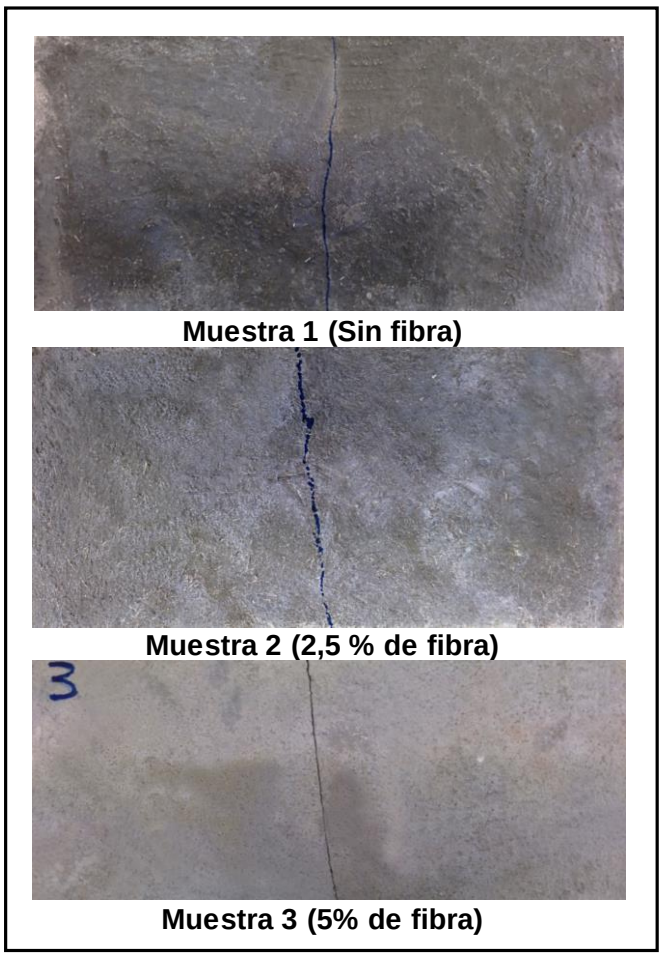
Los ensayos se realizaron a la edad de las placas de 28 días de curado. Para poder realizar una comparación de la influencia de las fibras de vidrio en la matriz cementicia se realizó el ensayo a flexión también en una probeta sin contenido de fibras de vidrio.

Procedimiento:

1. Calibrado de los elementos que componen el equipo de ensayos.
2. Toma de medidas para la correcta ubicación de la placa a ensayar
3. Ajuste de la prensa previo inicio del ensayo
4. Se verifica que la carga a aplicar comience en cero
5. Inicio de la aplicación de carga
6. Se detendrá la aplicación de carga cuando se registre la primera fisura. La prensa nos dará el valor de la fuerza máxima aplicada al producirse la primera fisura.
7. Registro de datos
8. Retiro de la probeta e inicio de la siguiente prueba en una nueva muestra

Este procedimiento fue el mismo para las tres probetas ensayadas a flexión.

A continuación se muestran las placas ensayadas y los efectos que tuvo el ensayo en las mismas:



Fotografía 5.4.1.2: Probetas tras el ensayo
Fuente propia

5.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.5.1 Ensayo de Flexión

En una matriz de cemento reforzada con fibras, la curva carga-deformación presenta un incremento en la capacidad de carga. Así mismo, se mejora el postagrietamiento permitiendo sostener cargas hasta valores altos de deformación. En un hormigón sin fibras inicialmente la curva es lineal, presentando un brusco descenso en la capacidad de carga luego de alcanzar su resistencia máxima, fallando súbitamente el material. (Ver figura 5.5.1.1)

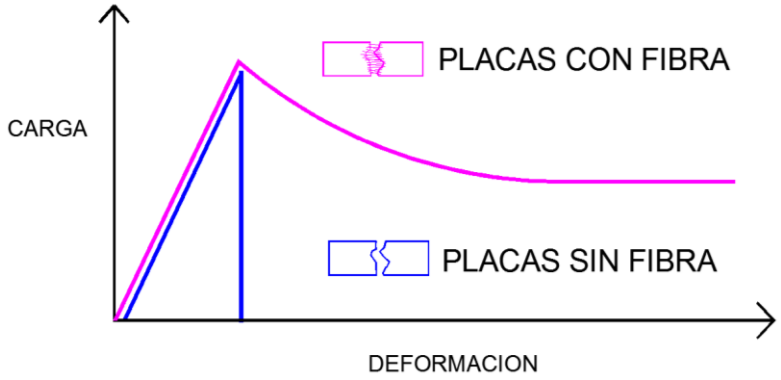


Figura 5.5.1: Esquema del comportamiento del hormigón reforzado con y sin fibra
Fuente: Influencia de fibra de vidrio en las propiedades físico mecánicas del hormigón.

La resistencia a la primera fractura caracteriza el comportamiento del Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio hasta el comienzo de la fracturamiento de la matriz, y se ve influenciadas por la cantidad y el tipo de fibra contenida en la matriz de la placa.

Los resultados del ensayo de flexión a los 28 días se consignan en la Tabla siguiente:

PROBETA	FIBRA ADICIONADA %	RESISTENCIA A FLEXION (Kgf/cm2)
Muestra 1 (M1)	0,00	58
Muestra 2 (M2)	2,50	77
Muestra 3 (M3)	5,00	86

Tabla 5.5.1: Tipos de muestras y resultados
Fuente propia

Al realizar el ensayo de flexión se observa un aumento de la resistencia de las placas con fibra, a medida que aumenta el porcentaje de fibra presente en la mezcla, tal como muestra el Gráfico siguiente:

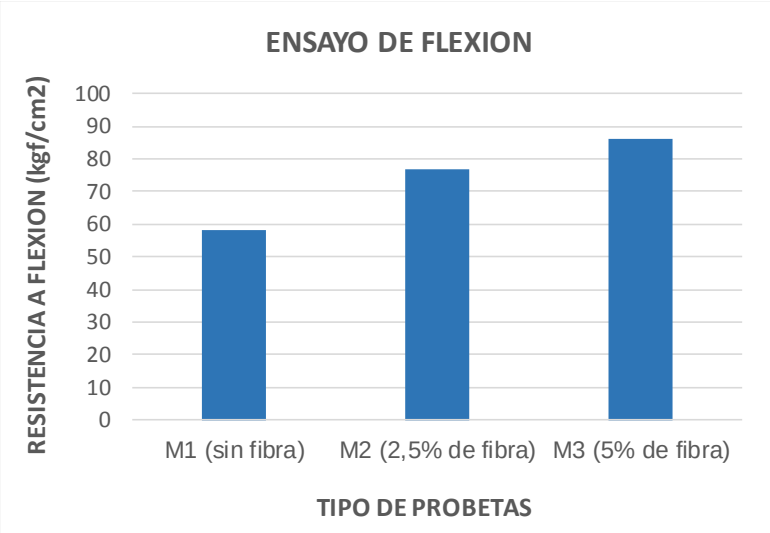


Gráfico 5.5.1: Resultados de ensayo a flexión a los 28 días
Fuente propia

5.6 CONCLUSIONES DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

Los resultados anteriormente expuestos nos indican que las placas reforzadas con fibras de vidrio resisten más los esfuerzos a flexión que un cemento sin reforzar, confirmando que al emplear diferentes combinaciones de fibra de vidrio se logran obtener resultados que optimizan el comportamiento a flexión de las muestras.

También podemos constatar que a mayor porcentaje de fibra adicionada mayor será la resistencia a flexión del elemento, sin embargo se debe considerar que no se recomienda añadir un porcentaje de fibra de vidrio mayor al 5% recomendado en la literatura y la práctica de los fabricantes.

6. DESARROLLO DE LA ETAPA DE PROPUESTA

6. DESARROLLO DE LA ETAPA DE PROPUESTA

En base a las propiedades estudiadas y a las aportaciones del material en los campos de arquitectura y construcción, se plantea una propuesta de aplicación en el sector de la edificación del material como elemento prefabricado modular.

6.1 SISTEMAS DE PREFABRICADOS

Actualmente en la edificación, dentro de los sistemas prefabricados existen dos métodos que son los más óptimos y por lo tanto los más utilizados en la construcción.

6.1.1 Método de modelos

En este método los componentes de un edificio son difícilmente intercambiables con elementos de otra procedencia o características, ya que constituyen un sistema de grandes elementos prefabricados que deberán emplazarse en un único lugar en obra.

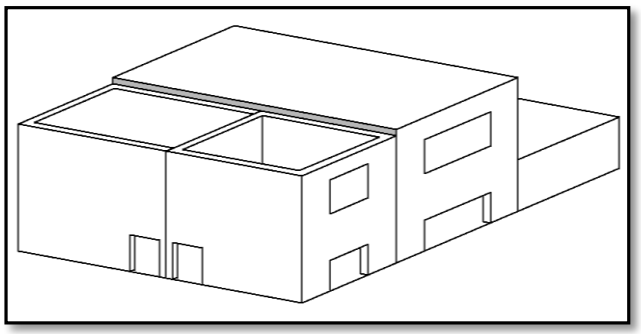


Figura 6.1.1: Método de modelos
Fuente propia

6.1.2 Método de elementos

En este método los elementos son intercambiables, teniendo dentro del mismo edificio componentes que pueden variar su ubicación y que se montan con uniones sencillas y universales. Este método se basa en la construcción mediante elementos tipo lámina (paneles).

Para que los elementos sean intercambiables se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Desde la etapa de diseño se definirá los módulos, dimensiones y tolerancias, retículas modulares, materiales, fabricación y montaje de los elementos.
- Los anclajes y juntas deben ser compatibles a pesar de que los elementos sean de distinta procedencia.

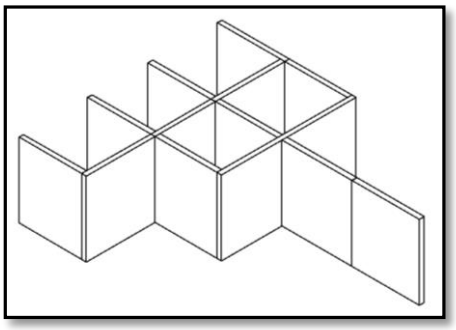


Figura 6.1.2: Método de elementos
Fuente propia

Los elementos laminares tienen las siguientes características:

- Son componentes con funciones resistentes a esfuerzos y divisorias (vertical u horizontal).
- Tienen terminaciones de sus paramentos, lo que facilita su puesta en obra sin realizar posteriormente trabajos adicionales, excepto en ciertos casos la pintura.
- Pueden contener aislamiento térmico o acústico si es necesario.
- Incorpora carpinterías.
- Puede incorporar elementos de soporte en su interior.

Y pueden clasificarse:

Por su función:

- Paneles portantes
- Paneles no portantes
- Paneles de forjados
- Elementos específicos

Por su composición:

- Homogéneos
- Multicapa

Depende si son homogéneos o multicapa, los paneles están constituidos por una o varias hojas.

6.2 SISTEMAS DE MODULACION

Este tipo de sistemas contemplan la fabricación de los distintos elementos que conforman una construcción en un medio controlado por medio de un proceso de producción en serie.
La base del sistema es uno o varios elementos modulares cuya combinación permite el desarrollo íntegro de edificaciones. La unión de estos elementos pueden conformar un módulo constructivo mayor, que puede repetirse varias veces para formar un conjunto de edificaciones que formen parte de un mismo proyecto, permitiendo la construcción de viviendas de varias alturas, oficinas, equipamientos como escuelas y hospitales y otro tipo de edificaciones.

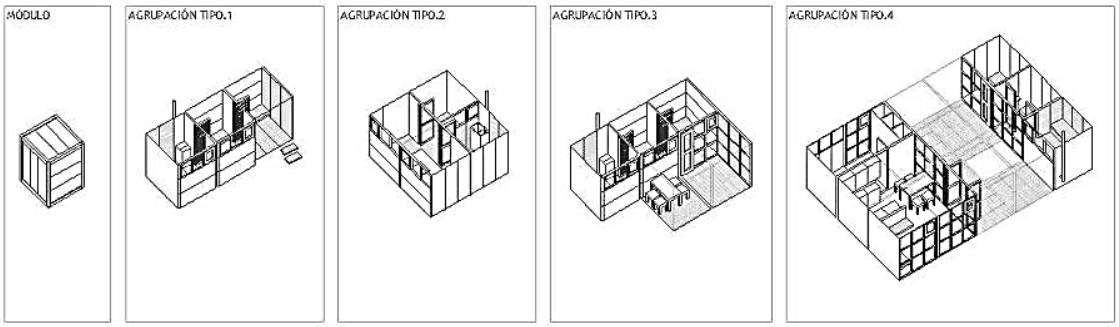


Figura 6.2: Sistema de modulación

Estos sistemas permiten una construcción más rápida, limpia y eficaz, ya que permite la integración de las distintas fases de ejecución, evitando las demoras que conlleva un sistema constructivo tradicional.

De los métodos anteriormente mencionados, se escoge el sistema de elementos como uno de los puntos para intervenir en esta propuesta, ya que permite la prefabricación de piezas y paneles que posteriormente serán puestos en obra mediante anclajes y fijaciones estandarizadas pudiendo armarse como un sistema mecano.

Es así, como se decide proponer un sistema constructivo basado en elementos tipo, desde la estructura de soporte hasta los recubrimientos, los cuales se dimensionan en su mayoría de forma estándar para poder acoplarse entre ellos y formar el conjunto edificatorio.

6.3 DEFINICION DEL PANEL TIPO

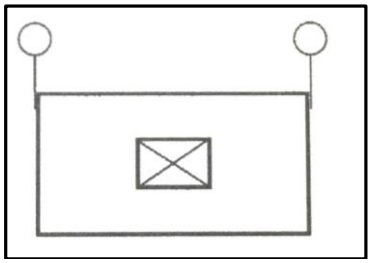
Dentro de las variantes de paneles que ofrece el material GRC estudiado en este trabajo, se ha definido que el Panel tipo Sándwich es el más idóneo para el proyecto a plantear, ya que su constitución permite tener un panel con un aislamiento interior y nervaduras del mismo material de la cascara de GRC, formando un elemento rígido.

El panel tipo Sandwich tiene la ventaja frente a los otros paneles, que lleva incorporado el aislante térmico y acústico que requieren los paneles de fachada, evitando tener que adicionar bastidores y trasdosados que representan más material de soporte y de recubrimiento aumentando presupuesto y disminuyendo espacios útiles libres.

6.3.1 Criterios de diseño

Dimensiones: Si bien es cierto que con GRC se pueden fabricar soluciones de hasta 30m2 en un solo panel, para el panel tipo sándwich se recomienda que el panel no exceda los 6m2 evitando incrementar los materiales y elementos a utilizar para conformar un panel rígido, por lo cual, lo ideal es que las dimensiones de un panel no sobrepasen los 3m2 para evitar generar costes adicionales de transporte y equipos de montaje mayores.

Vanos: La definición de vanos en los paneles GRC debe plantearse de modo que facilite la fabricación y el montaje, por lo cual dichas aperturas no deben ser muy grandes ya que puede comprometer la estabilidad del panel.
La ventaja de conferir los vanos dentro de un solo panel es que no tendremos que esperar hasta el final para poder fabricar las carpinterías, ya que las medidas se pueden tener desde el mismo momento de diseño y fabricación del panel, lo cual no sucedería si se tiene un vano formado por varios paneles que dificultan las uniones de los extremos, pudiendo presentar deformaciones en caso de movimientos.



Vano en un solo panel

Figura 6.3.1.1: Vanos en paneles
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Se debe procurar que la proporción lleno/vacío no ponga en riesgo la estabilidad del panel.

Esquinas del panel: En las esquinas de las edificaciones se debe procurar que no se evidencie las diferencias tolerables entre paneles, por lo que se recomienda diseñar los paneles de esquina en un solo panel, evitando crear juntas en la arista formada por dos paneles.

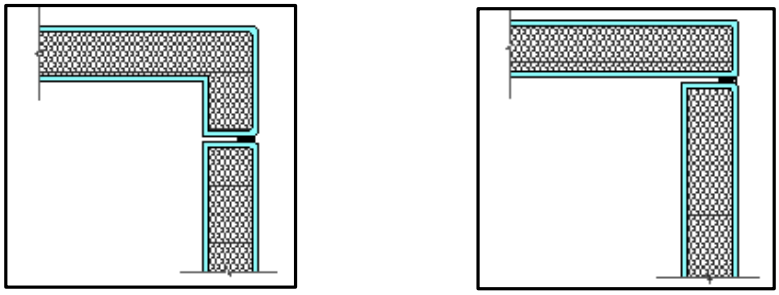


Figura 6.3.1.2: Esquinas en paneles
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Aletas, aleros y retornos: Cuando se prefabrica paneles que tienen retornos o aletas en una sola pieza como esquinas o remates de cubiertas. La dimensión adecuada del retorno es de 15 a 20cm; sin embargo, pueden moldearse retornos hasta de 1m, siempre que el resto de la pieza no sobrepase esta medida.

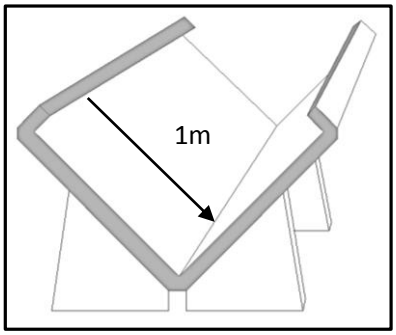


Figura 6.3.1.3: Aleros y retornos
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Panel sándwich: El panel sándwich por su espesor (10mm) puede funcionar como panel ligero de fachada, siempre que este rigidizado mediante nervaduras de GRC para evitar problemas de fisuras o doblamientos del panel. Estas nervaduras se realizan en el proceso de fabricación del panel, colocando después de la primera capa de GRC, planchas del material aislante a intervalos de 1m aproximadamente. Las nervaduras funcionan como rigidizadores y tendrán de 10 a 25mm de GRC entre cada bloque dependiendo de la dimensión del panel. Posteriormente se proyecta la capa final de GRC. Los anclajes se realizan en las zonas macizadas del GRC dentro del panel. Estos paneles no sobrepasan los 50kg/m2 de peso.

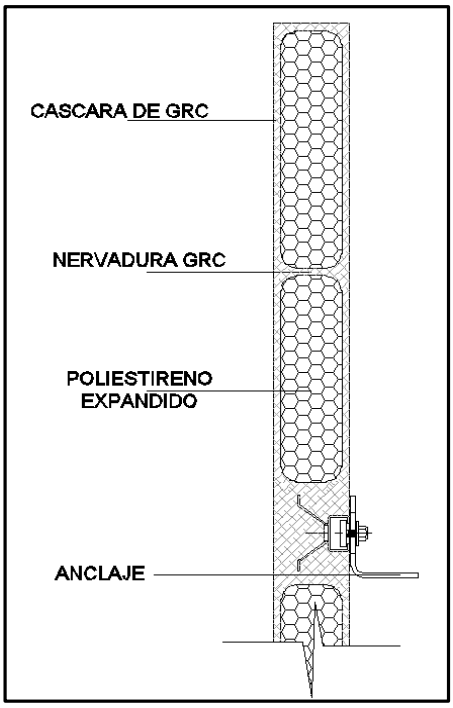


Figura 6.3.1.4: Panel sandwich
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

Este tipo de panel se utiliza cuando se requiere que sus dos caras sean vistas o cuando se quiere incluir en el panel material de aislamiento térmico o acústico como el poliestireno expandido.

Juntas: El tratamiento de las juntas en los paneles de GRC dependerá de:

- Si se desea una fachada trasventilada y el control de humedades y aislamientos se da en planos posteriores, entonces no es obligatoria una junta sellada.
- Si se trata de otro sistema constructivo, entonces es necesario sellar la junta, para esto deberá definirse desde el diseño el tipo de junta y material de sellado a utilizar. La separación de las juntas será de 5mm mínimo.

En caso de los paneles tipo sándwich podemos encontrar los siguientes tipos de juntas:

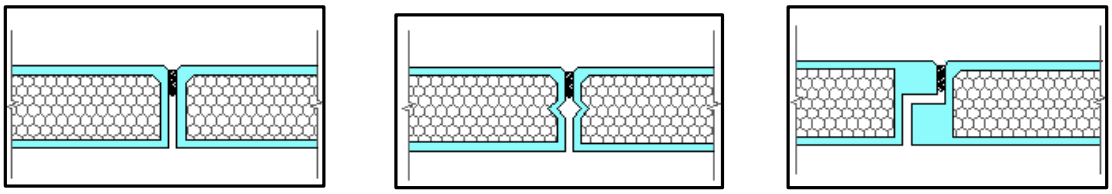


Figura 6.3.1.5: Juntas y sellado
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

6.3.2 Definición geométrica y constructiva de los paneles

El panel tipo está formado por dos capas de GRC (10mm), que rodean a un núcleo de espuma de poliuretano que funciona un aislamiento térmico y acústico al cerramiento del edificio y asegura una rigidez al panel.

Para el diseño se ha partido de una tipología básica de edificación, donde los elementos modulares estarán basados en una dimensión de 1m de largo, que responden a razones como:

- Paneles en esquina no deben exceder de 1m de longitud de sus lados en forma de L.
- Las nervaduras de los paneles estarán ubicadas cada 1m como máximo.
- Los accesos estándares a edificaciones se constituyen por una hoja de apertura, es decir que las puertas simples por lo general tienen 1m máximo de largo.
- Los pisos escogidos para esta propuesta en sus dimensiones no exceden de 1m de longitud.
- Se recomienda que los paneles de GRC no excedan los 3m2 para su óptima movilización y montaje. Por lo que las alturas de los paneles se mantienen entre 2,60 o 3,00m y su largo 1m.

Con una forma rectangular, las dimensiones del panel son de 1.00m de largo y 2.60m o 3.00m de altura, que varían dependiendo de la ubicación y la función, lo cual permite cubrir tramos de suelo a techo, manteniendo cada pieza con un peso dentro de los límites para facilitar su transporte y montaje. El espesor base es de 100mm. Cada capa de GRC tiene 10mm y el núcleo de espuma tiene 80mm, excepto en paneles especiales que esta medida puede variar.

Las aperturas como ventanas y puertas se realizan cada una por panel, de manera que, la ubicación de estos paneles es la que define el ingreso de luz y ventilación en los espacios.

Los paneles se resumen en los siguientes tipos:

A. Panel de fachada ciego
B. Panel de división interior ciego
C. Panel de puerta en fachada
D. Panel de ventana

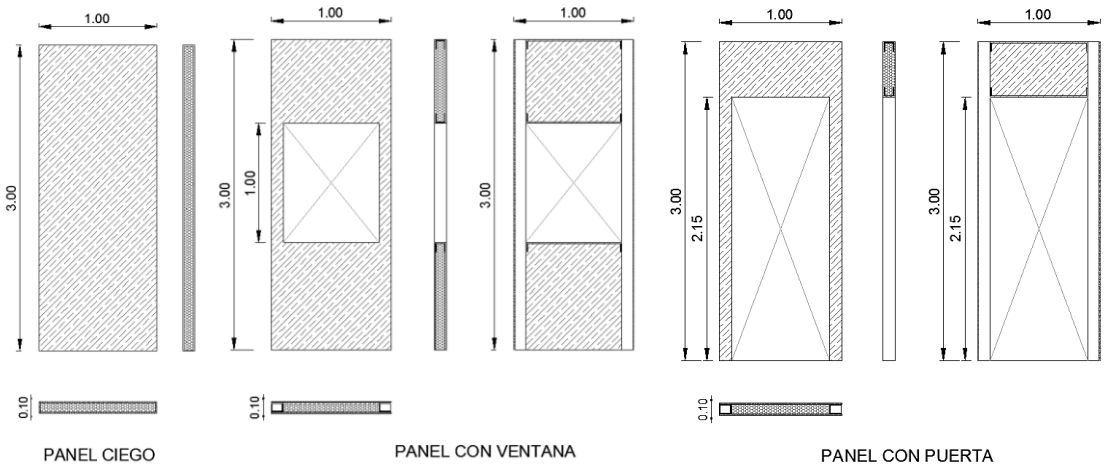


Figura 6.3.2: Tipos de paneles
Fuente propia

Los acabados superficiales serán del tipo liso al interior y liso rugoso en color al exterior.

Dentro de los tipos de paneles diferenciaremos el panel exterior de fachada del interior por el tipo de acabado superficial y la altura, ya que en su constitución interior material será idéntica.

Se proponen las siguientes aplicaciones de paneles:

a) Paneles exteriores: Este elemento se propone como solución prefabricada y de bajo peso para las unidades de obra gruesa como son las fachadas.

b) Paneles interiores: Similares a los paneles exteriores pero su diferencia radica en el acabado superficial de la cara exterior, siendo su constitución material idéntica.
Se proponen como particiones interiores adicionales los paneles formados por estructura de acero y paneles de cartón-yeso, que se instalan como divisiones de áreas secundarias y recubrimientos de instalaciones o ductos.

c) Paneles especiales: Paneles diseñados para los siguientes casos:

- *Paneles en esquina:* son los paneles en L que se fabrican en una sola pieza y que evitan que exista una junta en la esquina que es un punto delicado en paneles de fachada.

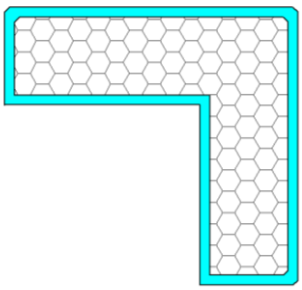


Figura 6.3.2.1: Panel en esquina
Fuente propia

- *Paneles de remate:* Para la cubierta o si se diseñan otros elementos diferentes a los paneles base.

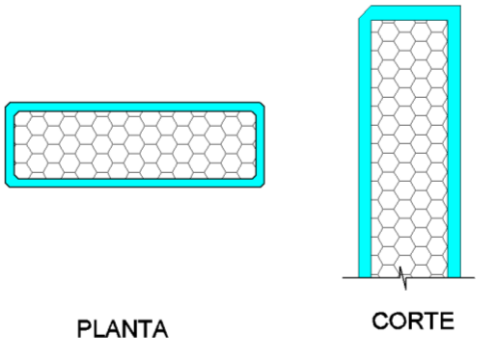


Figura 6.3.2.2: Panel de remate
Fuente propia

- *Paneles de recubrimiento de instalaciones:* La forma y dimensiones dependerá del objeto que va a recubrir. Los paneles tendrán en sus extremos menor espesor que en el resto de panel, lo cual permite esconder tras el panel las instalaciones. De igual manera si se desea recubrir un objeto ubicado en forma horizontal se podrá realizar el destaje en la parte superior del panel para poder esconder dicho objeto tras el panel.

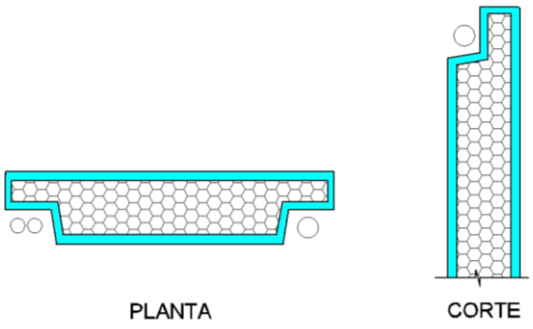


Figura 6.3.2.3: Panel de recubrimiento de instalaciones
Fuente propia

d) Trasdosados: A pesar de que los paneles propuestos permiten su aplicación en muchas de las áreas, se podrá incluir además un trasdosado compuesto por estructura de acero y paneles de cartón-yeso, cuando se desee obtener diferentes acabados o esconder instalaciones que no se puedan cubrir con el panel tipo de GRC.

Las ventajas de esta propuesta de paneles frente a otras, son:

- Bajo peso del elemento por m2
- Facilidad de transporte y montaje
- Montaje en seco, lo cual elimina tiempos de espera de fraguados y demás procesos húmedos.

6.3.3 Comportamiento estructural

Los paneles propuestos constituirán la fachada integral del edificio, la cual va anclada a la estructura principal de soporte de la edificación, ya que el panel por sí solo no es un elemento estructural, por lo cual debe cumplir las siguientes características:

- Los elementos de soporte deben permitir la deformación de la estructura horizontal absorbiendo cargas y transmitiendo a los pilares sin que esto afecte los paneles, ya que podrían sufrir deformaciones o fisuras.
- Es importante asegurar la colocación del panel y su estabilización sobre las losas mediante piezas de anclaje que permite diferir los movimientos de la estructura. Estas piezas de anclaje conectan al panel tanto en su parte superior como en su parte inferior y deben ser de tipo flexibles.
- Los paneles deben ir apoyados en su parte inferior de modo que su centro de gravedad caiga sobre la zona de apoyos, presentando una mayor resistencia a vientos.

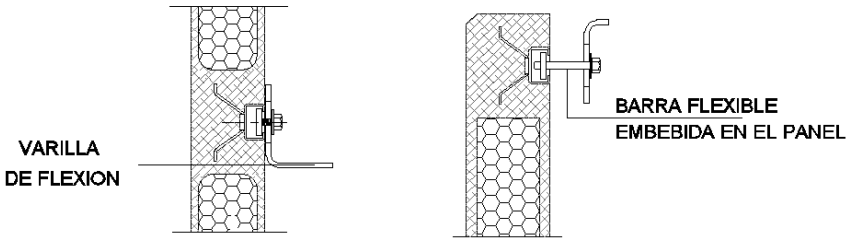


Figura 6.3.2.4: Anclajes
Fuente: [19] Recommended practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels

6.4 DEFINICIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Luego del estudio realizado y basada en las premisas de diseño y en el módulo escogido del panel GRC, se ha realizado una propuesta arquitectónica y constructiva en la que los paneles antes mencionados formen en gran parte el proyecto.

El módulo planteado tiene la característica de poder repetirse las veces que sea necesario pudiendo conformar un conjunto o varios y dando la posibilidad de ampliación de espacios al aumentar los módulos siempre y cuando estén anclados a una estructura de soporte.
Su ubicación estará definida en el diseño y su montaje en obra se realizará en el menor tiempo posible, puesto que los paneles vienen prefabricados y listos para montarse con los anclajes respectivos.

6.4.1 Cimentación

La cimentación base estará conformada por zapatas de hormigón donde se apoyan las placas metálicas de anclaje de las columnas que conforman la estructura.

Se propone como alternativa la creación de una cámara abierta bajo el edificio (suelo técnico), en el cual, en las zapatas de hormigón se apoyan los perfiles en los que se anclan las placas de unión con los elementos horizontales que constituyen el forjado donde se apoyan los paneles interiores.

(ver detalles D1, D2)

6.4.2 Forjado planta baja

A los tubos de acero perimetrales se atornillan las placas de unión para anclaje de los perfiles de forjado. A estos se unen los tubos de acero intermedios de menor canto colocados cada metro que servirán como soporte de los pavimentos modulares.

(ver detalles D3)

6.4.3 Estructura de soporte vertical - Columnas

La estructura vertical está compuesta por columnas tubulares de acero de 15cm x 15cm soldadas a la placa inferior de acero que va anclada a la cimentación de hormigón.
Las columnas cubren luces de 4 a 5 metros en el caso del módulo inicial, pero según el diseño podrán cubrir luces de otras dimensiones.

(ver detalles D4)

6.4.4 Forjado superior y cubierta

6.4.4.1 Forjado superior

El forjado superior es similar al del forjado inferior en el dimensionamiento de luces y la modulación. Las vigas perimetrales están unidas a las columnas

metálicas mediante placas y pernos que facilitan su montaje. Las correas intermedias están moduladas cada metro y la diferencia con el forjado inferior está en el recubrimiento superior del forjado.

6.4.4.2 Cubierta

En función de la climatología y la zona de implantación se propone dos tipos de sistema de cubiertas.

Cubierta plana

La cubierta está formada por paneles sándwich tapajuntas. El panel está compuesto por un relleno de poliuretano y un nervio central que le proporciona más rigidez, para que la distancia entre los puntos de apoyo sea más amplia. El panel se suministra con un remate que tapa la junta y la tornillería dejando escondida la junta del panel dando un aspecto homogéneo. Este panel está indicado para cubiertas con poca pendiente, ya que el remate tapajuntas evita la entrada del agua y del viento. Su recubrimiento exterior es de chapa metálica de acero de 0,4 mm pre lacado galvanizado con diferentes colores de acabado.

El ancho del panel es de 1,00 metro y el largo de fabricación desde 1,00 m hasta los 13,50 m. siendo posible más largos pero con transporte especial.
Se puede colocar los paneles especiales de GRC como continuidad de fachada y remate de cubierta.
Estos paneles tienen en su parte superior un elemento de chapa metálica que cubre la tapa superior del panel y que conduce el agua lluvia hacia los laterales de la cubierta, cuya evacuación se realizará a través de sumideros en el forjado.

Cubierta inclinada

Formada también por paneles sándwich colocados en pendiente sobre las correas de soporte ancladas al forjado, repartiendo así las cargas de la cubierta sobre el mismo.
La evacuación de agua lluvia se realizara a través de canales o directamente por el alero de la cubierta de chapa metálica.

(ver detalles D5)

6.4.5 Paneles verticales

Una vez colocado el forjado se procede al montaje de los paneles verticales cuya ubicación depende del tipo de panel y está definida en los planos de diseño.

6.4.5.1 Paneles verticales exteriores

Los paneles de fachada tipo sándwich modulados con dimensiones de 1.00m x 3.00m, van colocados por fuera de la estructura metálica y anclados a la misma mediantes las sujeciones flexibles embebidas en el panel.

Los paneles deben estar nivelados para evitar inconvenientes al momento de colocar la junta vertical entre paneles.
El acabado superficial se ha realizado con la aplicación la capa de imprimación y la primera mano de pintura en el momento de la fabricación del panel y la última mano de pintura se realizará en obra.

Los paneles exteriores en esquina están conformados por una sola pieza elaborada en fábrica y que llega a obra lista para su montaje.

6.4.5.2 Paneles verticales interiores

Dentro de los paneles verticales interiores tenemos dos tipos:

Paneles de GRC: Paneles tipo sándwich de la misma constitución de los paneles ciegos exteriores pero con diferente tipo de acabado superficial.
Estarán ubicados como divisiones de las áreas principales que deben aislarse una de otras, ya que el aislamiento interno de los paneles permite cubrir esta necesidad. Su longitud será la modular de 1m y su espesor 10cm.

Paneles de cartón-yeso: Usado como divisiones adicionales, trasdosados y como divisiones que deben llevar en su interior instalaciones, especialmente en zonas húmedas (cocinas, baterías sanitarias, etc.).
Estos paneles están constituidos por perfiles de acero sujetados en su parte superior e inferior y en ocasiones en sus laterales a una estructura principal de soporte y recubiertos por placas de cartón-yeso que se atornillan a los perfiles.

Una vez finalizada su instalación se puede masillar y pintar los paneles del color a elegir. Sus dimensiones (largo y altura) dependen de la ubicación en el diseño y los espesores definidos para este proyecto en particular son de 10cm y 15cm.

(ver detalles D6)

6.4.5.3 Paneles con carpintería

Los paneles que contienen la carpintería tienen en su interior un bastidor metálico conformado por perfiles donde se sujetan los marcos de las carpinterías, puesto que no se pueden atornillar directamente a las placas de GRC. Estos paneles también van anclados a la estructura principal de soporte de la edificación.

(ver detalles D7)

6.4.6 Anclajes y fijaciones

La placa de GRC no debe entrar en contacto directo, ni asumir ningún tipo de esfuerzo transmitido por la estructura principal, ya que al tener un espesor reducido puede romperse. Razón por la cual los paneles tienen unos anclajes flexibles embebidos en el GRC desde su fabricación, los cuales se ajustan a la estructura principal.

La sujeción del panel se realiza en su extremo superior e inferior a la estructura cada cierta distancia. No se anclará a los paneles ningún tipo de partición o elemento adicional que pudiera representar cargas sobre el mismo.

(ver detalles D8)

6.4.7 Juntas entre paneles

6.4.7.1 Junta vertical entre paneles

Entre paneles la junta vertical de 5mm, se cubrirá con una junta de estanqueidad formada por banda elástica auto adhesiva que queda fijada a los laterales y por los lados vistos del panel se aplicará un cordón de sellado.

6.4.7.2 Junta horizontal entre paneles

Las placas de GRC de los paneles tendrán una separación de 5mm, que será sellada para evitar posibles fisuraciones debidas a dilataciones térmicas o movimientos de la estructura. En las juntas horizontales se colocará una banda elástica autoadhesiva para asegurar la estanqueidad de la junta y su buen asentamiento. Por las caras vistas se aplicara un cordón de sellado elástico.

Para la aplicación del cordón de sellado se requiere que los laterales de los elementos este secos y limpios para una mejor adhesión. El sellador viene por lo general envasado en cartuchos y deberá ser aplicado de manera uniforme para un mejor acabado.

(ver detalles D9)

6.4.8 Carpinterías

Exteriores:

Las carpinterías exteriores de ventanas y puertas están formados por marcos de perfiles de PVC.

Se escoge el PVC para carpinterías, ya que es un material que cumple con las siguientes características:

- Material más liviano, lo cual es ideal para el tipo de paneles a usar.
- Es un buen aislante térmico.
- Los perfiles de PVC combinados con doble vidriado forman un buen aislante del ruido exterior.
- Las superficies son fáciles de limpiar, ya que no tienen porosidades donde la suciedad pueda adherirse.
- Es un material resistente a la abrasión y con bastante dureza superficial.
- Material auto extinguible y reciclable.
- Impide el desarrollo de bacterias y hongos por lo que se mantiene en buen estado de limpieza.

Estos elementos se anclan a los perfiles de soporte dentro del panel que están conectados a la estructura principal. El proceso de fijación se realiza con un nivelado inicial y se atornillan los perfiles perimetrales a 15 cm del vértice de la ventana y luego cada 30cm hasta la siguiente fijación, completando así los 4 lados.

Las carpinterías de puertas exteriores pueden ser también de madera, sin embargo, deberá considerarse que el soporte perimetral dentro del panel resista el peso y uso que representa una puerta de madera.

Interiores

Ya que las puertas interiores van ancladas a la estructura de los paneles de cartón-yeso donde se puede poner refuerzos laterales que soporten el peso, las puertas serán de madera lisa barnisada.

(ver detalles D10)

6.4.9 Instalaciones

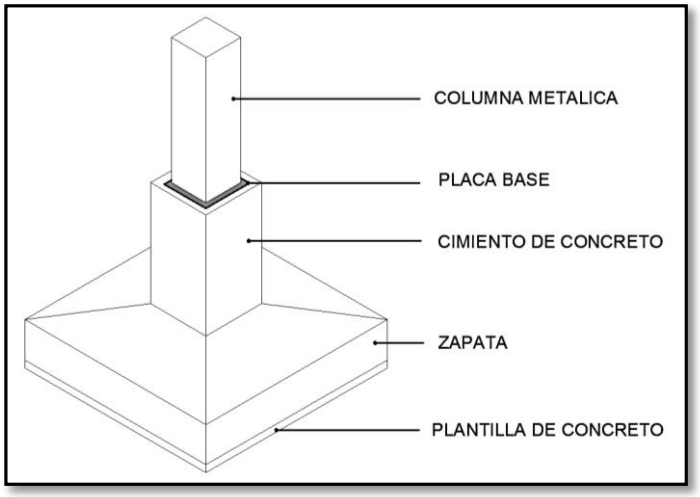
Las instalaciones se encuentran vistas por el techo y bajo el forjado inferior en tubos de protección que irán fijados a la estructura de forjado. En el techo si se requiere se puede instalar un cielo falso de cartón-yeso para cubrir las instalaciones.
Se intenta que la mayoría de las instalaciones queden dentro de los paneles de cartón-yeso interiores; sin embargo, si se debe pasar instalaciones en los perímetros de la edificación, estos quedarán instalados por fuera de los paneles y estarán cubiertos con canales del mismo color de los paneles.

6.4.10 Fases de montaje de estructura y paneles

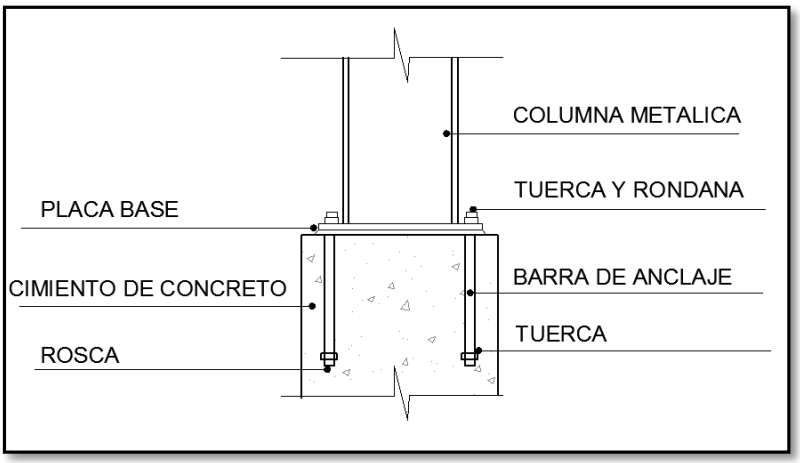
1) Sobre la cimentación se anclan las placas de soporte, las columnas metálicas y las vigas perimetrales y correas del forjado inferior.
2) Anclaje mediante sistema de pernos de vigas y correas de forjado superior.
3) Nivelación, aplomado y fijación de los paneles exteriores, sellando las juntas con material elástico.
4) Instalación de paneles de cubierta y remates.
5) Montaje de los módulos de pavimento interior.
6) Nivelación, aplomado y fijación de los paneles interiores, sellando las juntas de los paneles de GRC con material elástico, mientras que en las particiones de cartón-yeso se procede a masillar.
7) Instalación de carpinterías.
8) Instalación de acabados y pintura.
9) Limpieza final.

6.4.11 Detalles constructivos y de montaje de los paneles

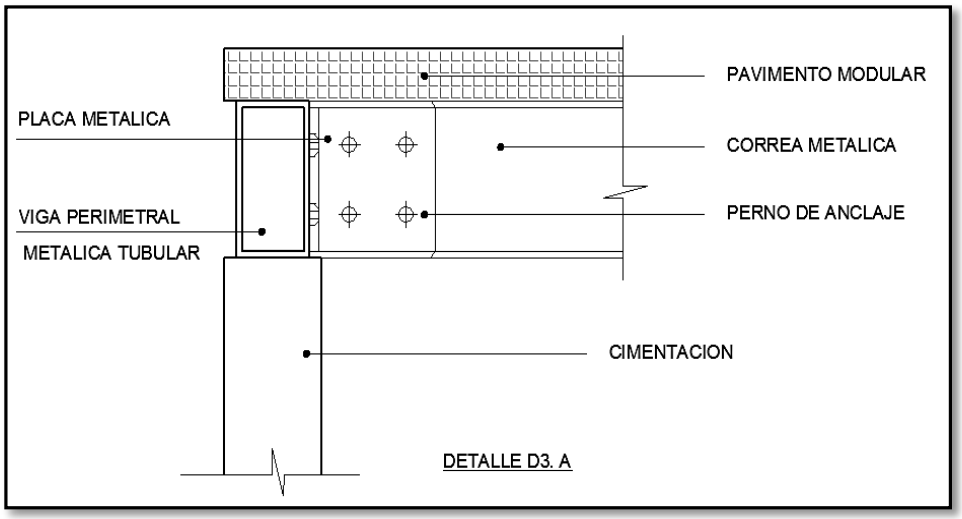
DETALLE D1: **Cimentación**



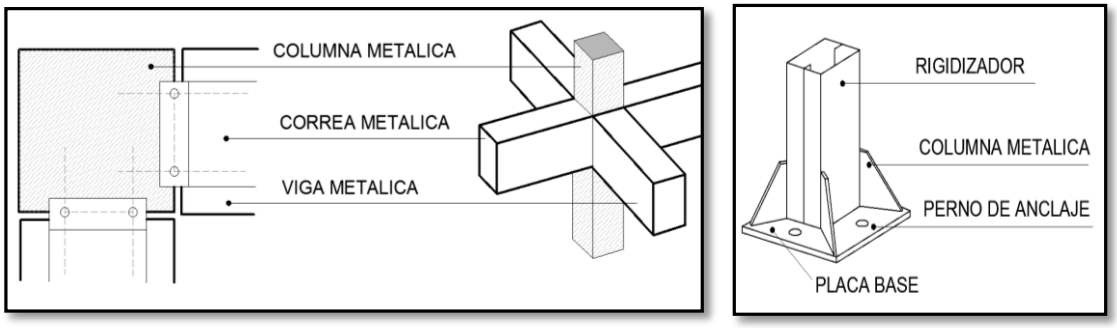
DETALLE D2: **Unión de cimiento con estructura de soporte vertical**



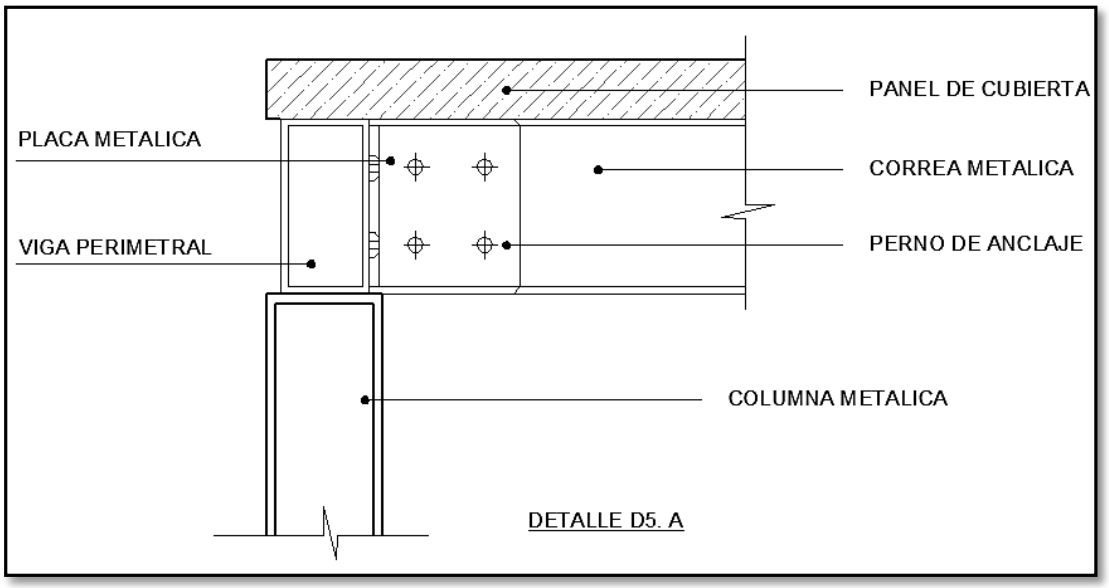
DETALLE D3: **Forjado planta baja**

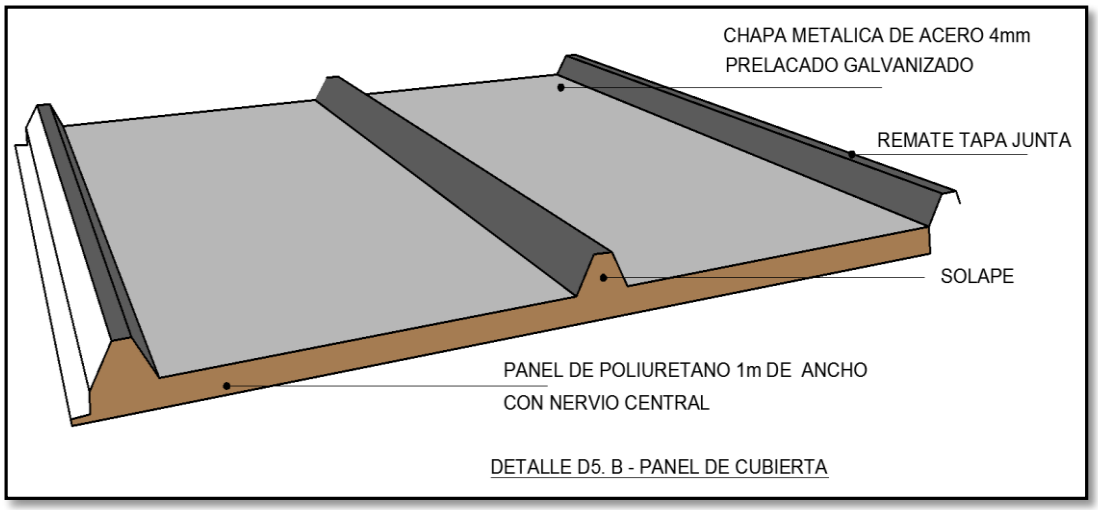


DETALLE D4: Estructura de soporte vertical - Columnas

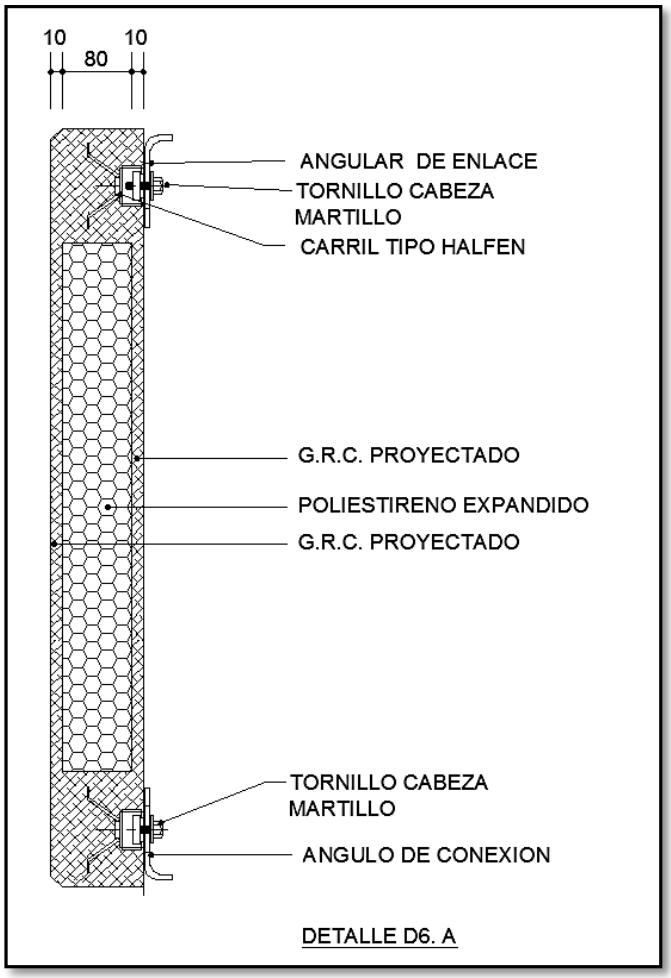


DETALLE D5: Forjado superior y cubierta

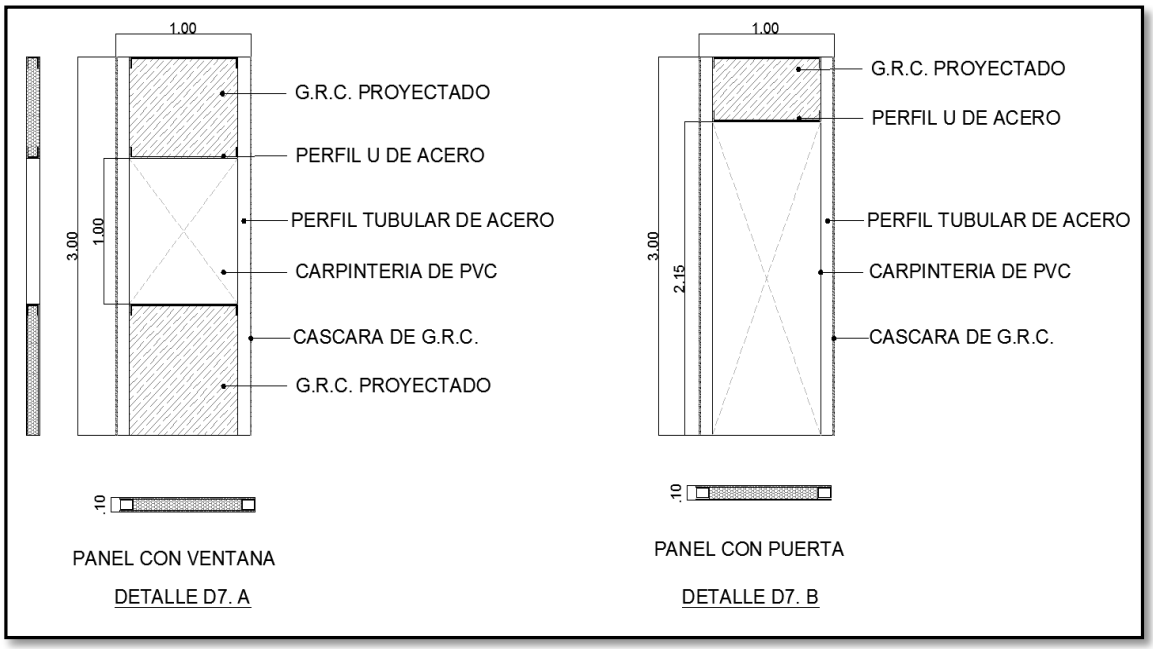




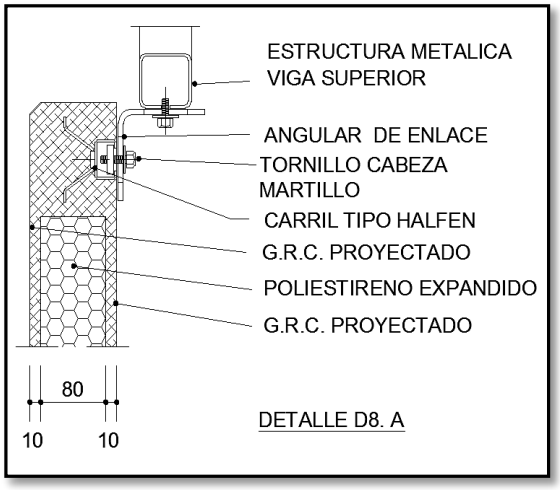
DETALLE D6: **Paneles verticales**

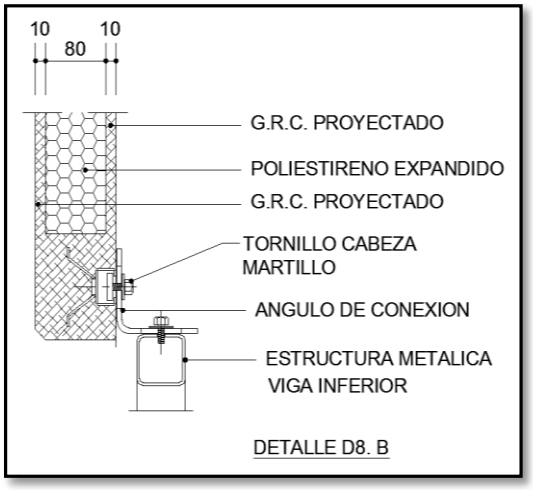


DETALLE D7: **Paneles con carpintería**

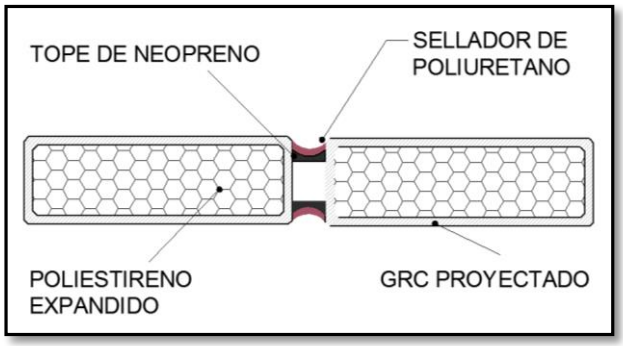


DETALLE D8: Anclajes y fijaciones

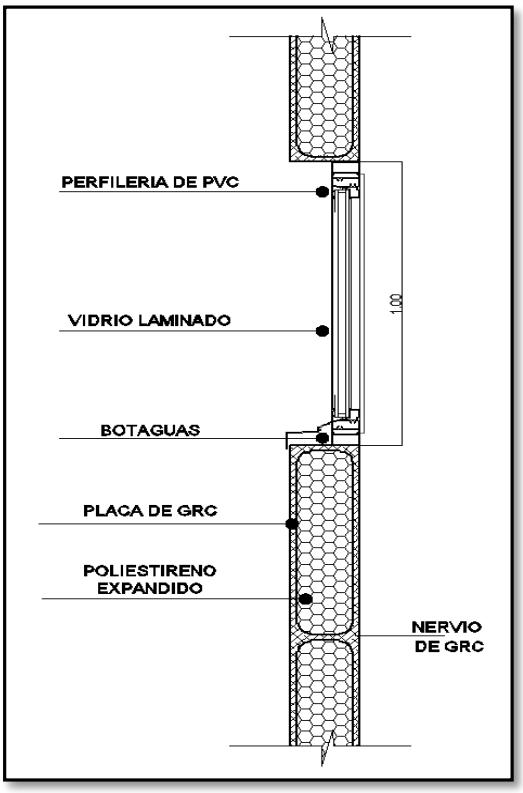




DETALLE D9: Juntas entre paneles



DETALLE D10: Carpinterías



6.5 PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

6.5.1 Posibles aplicaciones en la Edificación

En la rama de la construcción cada vez son mayores los requerimientos de lograr una construcción rápida y eficaz, que permita optimizar tiempos obteniendo un buen resultado.

Los elementos fabricados con GRC permiten realizar grandes construcciones como edificios de gran altura y equipamientos amplios; sin embargo, en este trabajo se ha querido plantear el uso de este material compuesto para edificaciones más compactas y de menor dimensión que requieren tiempos muy cortos de ejecución, alejados de los tiempos que toman la construcción de grandes edificaciones.

Es por eso, que se propone la aplicación del sistema anteriormente descrito en la construcción para viviendas o equipamientos sociales (oficinas, escuelas, centros comunitarios, etc.), como respuesta a las necesidades de un entorno en el que interesa cubrir la demanda edificatoria en el menor tiempo posible y que la movilización de las piezas se realice fácil y rápidamente, lo cual requiere que los elementos constructivos no tengan dimensiones y pesos muy grandes, y que las piezas de conformación de la construcción permitan un montaje rápido y en seco evitando tiempos muertos en obra.
También podrá utilizarse para aquellas edificaciones provisionales que requieren la construcción de espacios que cubrirán necesidades a corto plazo, como los campamentos laborales, donde los elementos modulares luego podrán desmontarse y trasladarse a otro lugar de implantación, aprovechando el material para varios usos.

Se podría considerar al material como una opción de respuesta frente la necesidad que generan las emergencias en una zona habitada, en cuyo caso inicialmente se instalarán sistemas constructivos emergentes y provisionales mientras se fabriquen las piezas de GRC, las cuales una vez listas pueden pasar a reemplazar el sistema emergente y constituir una edificación mas duradera.

A partir del módulo explicado, se logra diseñar un conjunto compuesto por la repetición de estos módulos, lo cual permite incluso la ampliación del conjunto propuesto si se requiere. Si bien el modelo planteado se basa en una construcción de una planta, se debe tener en cuenta que se puede conformar también edificaciones de dos plantas y de mayor superficie.

6.5.2 Programa y superficies

Una vez definido el sistema constructivo general, se realiza una propuesta de aplicación más detallada. A continuación se describen las características de la propuesta planteada:

El programa básico propuesto es el de una vivienda basada en las necesidades básicas de una familia que requiere dos o más habitaciones aparte de las áreas

comunes, dentro del contexto más usual. La distribución de espacios viene determinada por criterios funcionales y formales que se encuentran adaptados a la modulación del sistema constructivo propuesto.

Los espacios y superficies de una planta tipo se detallan en el siguiente cuadro:

Zona	Superficie útil (m2)
Zona común: Sala de estar, comedor, cocina integrada y distribuidor	26.80
Zonas húmedas: Baño y área lavado	5.01
Zonas privadas: Habitaciones	33.16
Total	**64.97**

Superficie construida	**72.00**

Cuadro 6.5.2.1: Programa y superficies
Fuente propia

El plano en planta de distribución de espacios es el que se muestra a continuación:

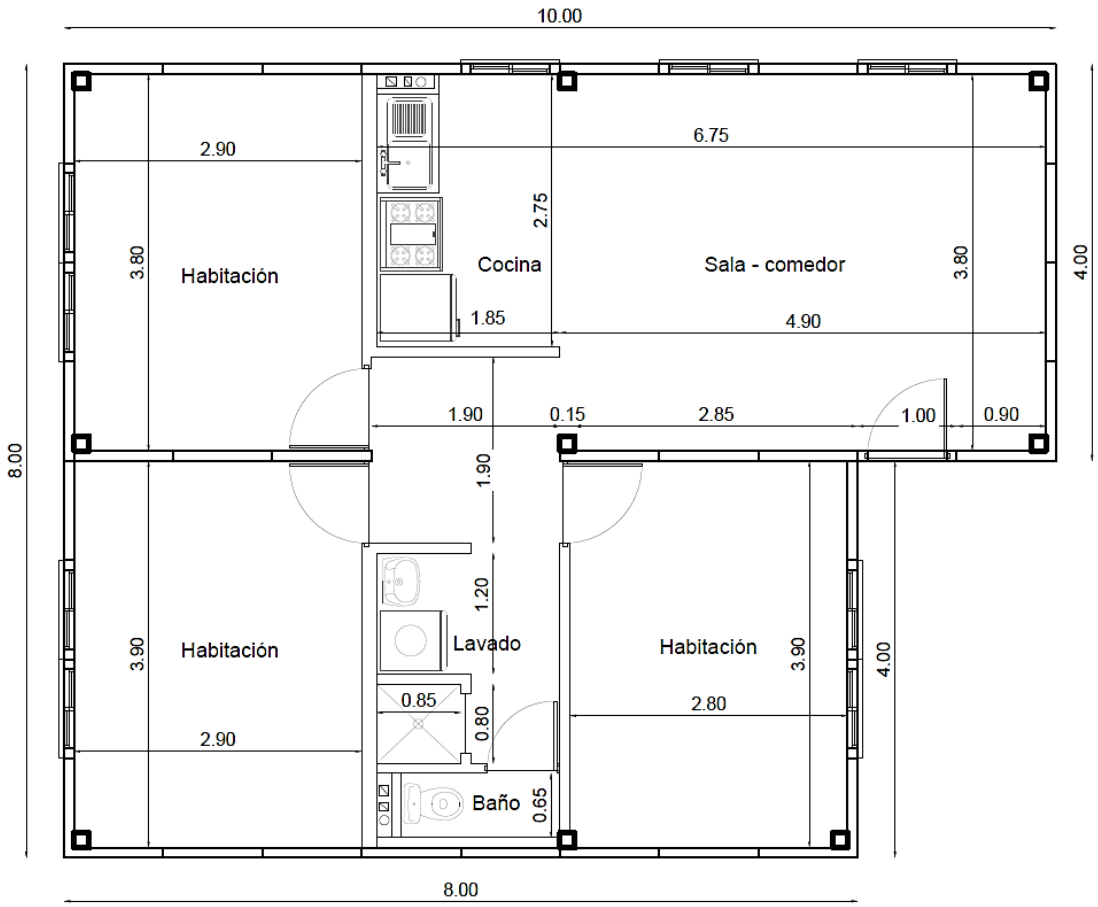
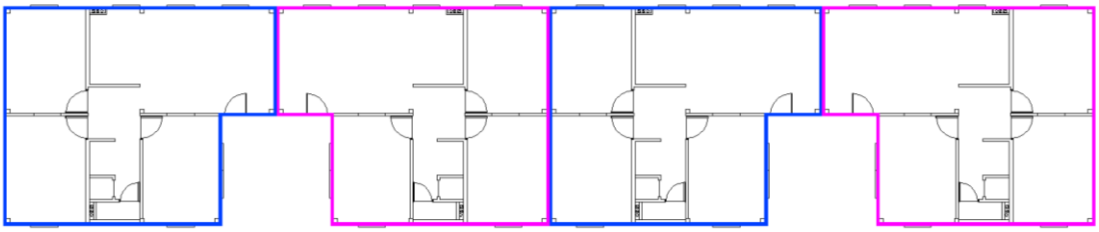


Figura 6.5.2.2: Plano de planta acotado
Fuente propia

6.5.3 Ampliación de espacios y variante de diseños

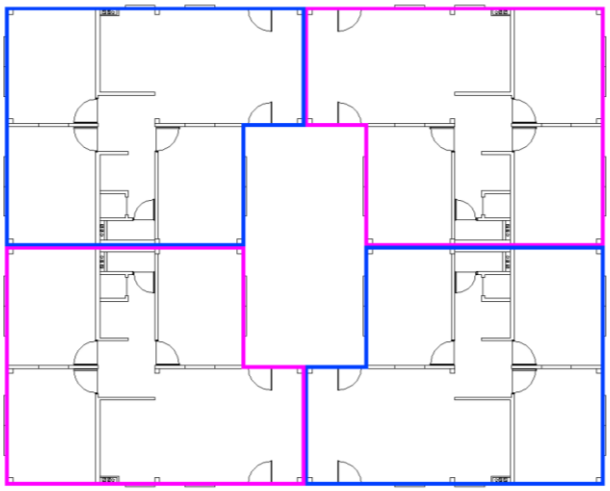
La propuesta se diseña para ser construida en gran número y en diferentes formas de implantación.

Partiendo de los módulos que forman un conjunto que lo denominaremos “unidad habitable”, se plantea juntar varias unidades habitables creando un conjunto que podrá implantarse en hilera o en bloques.

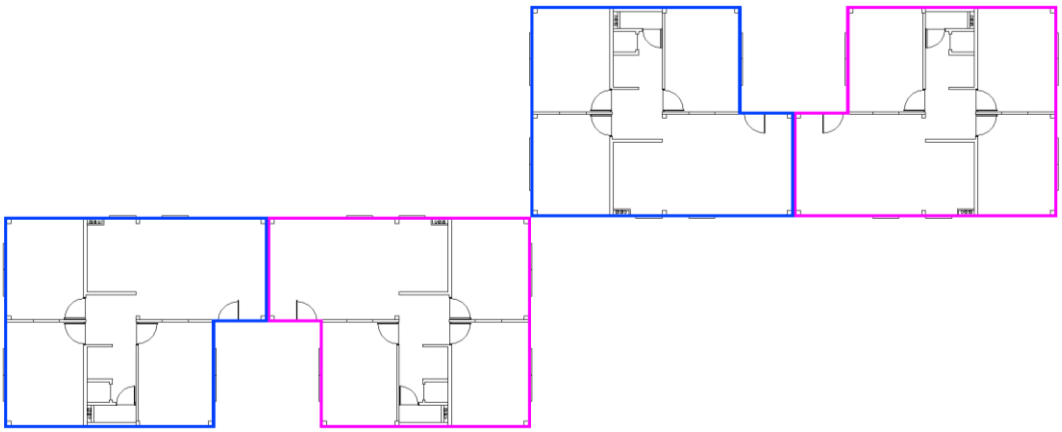


a) Implantación en hilera

Estas unidades pueden cambiar la rotación y ubicación para formar varios tipos de implantaciones adaptándose a diferentes terrenos.



b) Implantación en bloque



c) Implantación en pares

Figura 6.5.3.1: Propuesta de agrupamiento de viviendas
Fuente propia

Al poder duplicar las unidades habitacionales en sentido vertical se puede realizar una edificación de dos plantas, en cuyo caso se aumentará tanto la estructura metálica de soporte y como el número de paneles a utilizar.

También se plantea la posibilidad de ampliar los espacios interiores, aumentando el número de módulos de paneles que constituyen las nuevas áreas. Esto permite cambiar la forma o incrementar las áreas internas cuando se requiere un mayor espacio, como es el caso de los equipamientos u oficinas. Los paneles divisorios interiores también pueden variar su ubicación adaptándose al diseño arquitectónico.

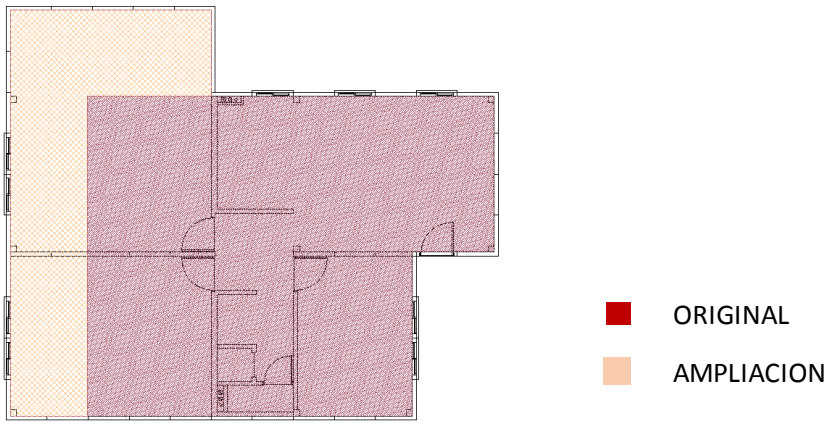
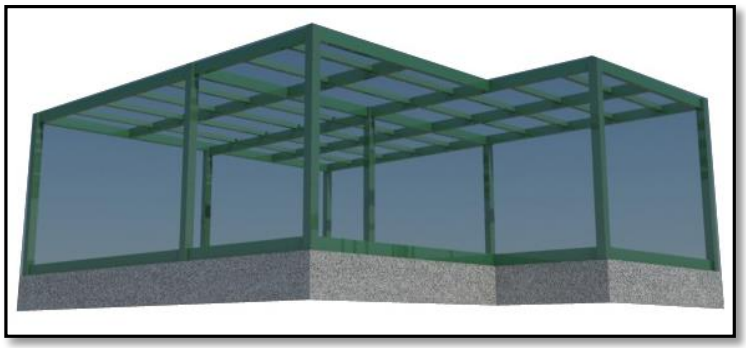


Figura 6.5.3.2: Ampliación de espacios
Fuente propia

Como podemos ver los elementos modulares de GRC permiten versatilidad no solo en el diseño del panel, sino también en el diseño de espacios conformados por varios paneles, lo cual permite que la propuesta arquitectónica no se limite a una sola tipología sino que permite propuestas más flexibles.

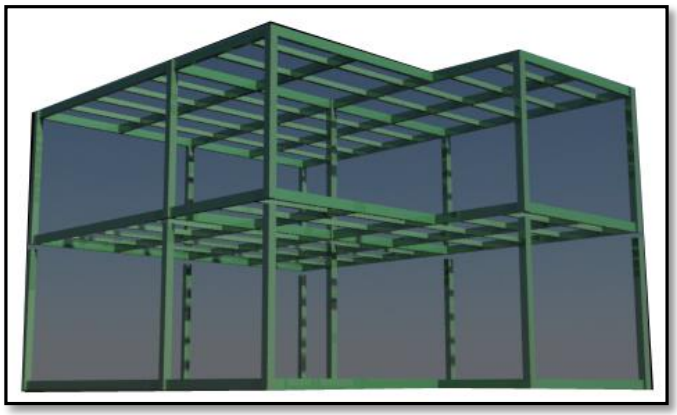
IMAGEN I1: **Propuesta base – Una planta**



I1A: Estructura

I1B: Paneles

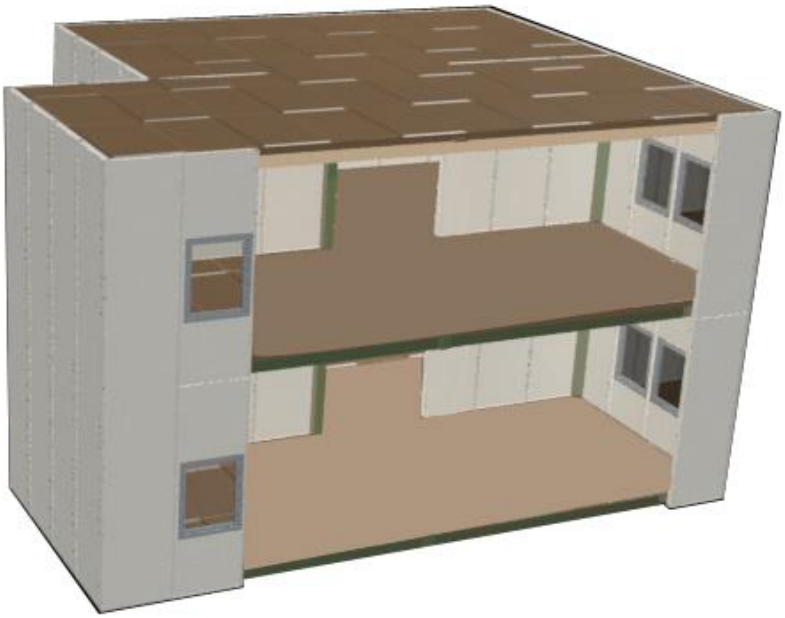
IMAGEN I2: **Propuesta de ampliación en altura – Dos plantas**



I1A: Estructura

I1B: Paneles

IMAGEN I3: **Vista interior de la edificación**



7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE TRABAJO

7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE TRABAJO

7.1 Conclusiones

Los materiales compuestos tienen la finalidad de complementar a materiales que por sí solos carecen de características que el tipo de refuerzo añadido puede otorgar a la mezcla de ambos materiales, dando como resultado un elemento más resistente como es el caso del GRC.

En la búsqueda de un material prefabricado y modular que pueda ser aplicado en construcción, que cumpla requerimientos como fabricación en serie, transporte y montaje eficientes y que logre tiempos cortos de ejecución de obra, se ha planteado el uso del Concreto Reforzado con Fibras de Vidrio. Teniendo en cuenta dentro de los refuerzos para el concreto, que la fibra de carbono tiene costes más altos y las fibras plásticas no presentan las mismas propiedades que las fibras de vidrio, se ha decidido que el material más adecuado para este estudio es el GRC. La fibra de vidrio trabaja de manera similar a la armadura de un prefabricado de hormigón, pero su peso es mucho menor siendo un material de altas prestaciones.

La mayor aplicación de placas de GRC ha sido en elementos de cerramiento, por la flexibilidad del material, que permite realizar varios diseños formales y varias texturas en el acabado de la pieza. El panel tiene los anclajes incorporados lo que permite su rápida instalación en obra.

Cuando se decide utilizar los paneles de GRC se piensa en las facilidades que proporciona el material y en las ventajas que tiene respecto a otros prefabricados, siendo un material más liviano que los prefabricados comunes, lo cual permite construir de manera más rápida y eficiente.
Pero así como se tiene en cuenta las ventajas, se debe considerar también las desventajas que presenta el material como el envejecimiento a largo plazo y otros temas cuyas mejoras se encuentran en estudio.

En cuanto a costos, puede presentarse el planteamiento de que el GRC es más caro que otros materiales prefabricados considerándolo como elemento aislado; sin embargo, se debe analizar la repercusión del mismo en el presupuesto final de obra. Entendiendo que los costos del proyecto pueden disminuir en temas como plazos de ejecución, mano de obra, uso de equipos, disminución de encofrados y estructuras auxiliares y otros, y el costo final puede ser similar o incluso menor a un presupuesto realizado con materiales tradicionales o prefabricados de hormigón armado.

Actualmente, la aplicación del GRC se está extendiendo en la edificación debido a la versatilidad y a un mayor conocimiento del material por parte de los profesionales involucrados en la construcción. Esta mayor aplicación del material, influye también en que exista mayor competencia de los fabricantes y proveedores de materiales primarios, lo cual colabora también a la disminución en costos especialmente de la fibra de vidrio.

Finalmente, su uso estará condicionado por el criterio del diseñador que entre la gama de los prefabricados decida escoger este material por sus ventajas, pudiendo solventar las desventajas con algún tipo de complemento.

7.2 Propuesta de posibles líneas de trabajo: Paneles de GRC estructurales

Hemos visto en este estudio que los paneles de GRC cubren varias necesidades como recubrimientos de fachadas y divisiones interiores, sin embargo, presenta la característica de que no es un material autoportante o estructural. Es por esto, que se hace importante el estudio de la fabricación y aplicación de paneles estructurales que contengan en su interior una estructura de acero incorporada tipo bastidor (piezas horizontales y verticales) y formados por un sándwich de placas de GRC y poliestireno expandido. Similar al panel utilizado en la propuesta antes descrita pero incorporando en su interior la estructura configurando un marco rígido solidario con las placas de GRC, y que será el soporte del panel. El conjunto permitiría asumir las funciones estructurales y mejorando el comportamiento mecánico de los paneles.

El ensamblaje de los paneles se realizaría mediante clips de presión entre perfiles y tornillería o mediante adhesivos.

La transmisión de los esfuerzos del forjado se realizaría mediante el perfil superior hacia los perfiles verticales y luego hacia el forjado inferior.

Incluso si se logra que la estructura interior del panel soporte cargas sin dañar el panel, se puede proponer la utilización de estos paneles para forjados también, siguiendo con el mismo sistema que serviría como tablero de piso.

Otra alternativa puede ser, que el panel sándwich contenga en su interior un material portante que envuelto con las placas de GRC, conformen un muro portante que no necesite estructura de soporte adicional. Estos elementos pueden constituir la estructura integral del edificio.

7.3 Recomendaciones

Si bien en este estudio se ha intentado abarcar la mayor información posible sobre el material GRC, se entiende que no se ha podido cubrir todos los ítems de análisis posibles del material. Por lo cual se recomienda en los trabajos futuros que se analicen más profundamente las características del material, mediante diferentes tipos de formulaciones de los componentes y ensayos que permitan comprobar la influencia de la fibra de vidrio con matriz de cemento en las propiedades físico-mecánicas de los paneles.

También se debe considerar que, mediante avances en los estudios y comprobaciones del funcionamiento del material GRC, se puede contribuir a la creación futura de componentes estructurales como muros portantes o forjados.

BIBLIOGRAFIA

[1]. Fernández Casanovas Manuel. *Hormigón*. Segunda edición. Madrid. Servicio de Publicaciones, E.T.S. Ingenieros de Caminos, 1991, Pag 17. ISBN: 84-7493-125-8.

[2]. Roughley, J. David. *Composites Research Network*. Key Findings from 2012 Outreach Activity, (2013). David J. Roughley. Strategic Technology Consulting. Pag 16.

[3] Comino Almenara, Pablo. *El G. R. C. Material Compuesto de Matriz de Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio A. R.* 1° Edición, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, 2003.

[4] Márquez Rivera, Clara. *Hormigón Proyectado Reforzado con Fibra de Vidrio para Reparación de Estructuras, Aplicación como Revestimiento Resistente en Tuneles.* Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Madrid, 2002.

[5] Miravete, Antonio. *Los nuevos materiales en la Construcción.* 2° edición. Zaragoza. Antonio Miravete, 1995.

[6] Melero, Francisco Javier. *Materiales y Procesos Avanzados*. Madrid. Innoliber XXI, S.L. 1993. ISBN: 84-00-06891-2

[7] Antequerra, Pablo., Jimenez, Lorenzo., Miravete, Antonio. *Los Materiales Compuestos de Fibra de Vidrio.* Zaragoza. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 1991. ISBN: 84-7733-264-9.

[8] Sanchez Paradela, M. Laura y Sanchez Galvez, Vicente. *Comportamiento a Traccion de Cementos Reforzados con Fibra de Vidrio.* Informes de la Construccion, España, Vol. 43 n°413, Pretensado, 1991, pag 77.

[9] Dimitris Kottas. *Materiales: Innovaciones y Diseño.* Barcelona. Links Books, 2010. ISBN: 978-84-92796-13-7.

[10] Sánchez Gálvez, Vicente. *Los Materiales Compuestos en el Sector de la Construcción. Materiales con Matriz de Cemento*, 1° Edición, Madrid, España, Editor Asociación Técnica Española del Pretensado, 1992, págs. 113 - 116.

[11] DIT 367. *Sistema DRACE para cerramientos de fachadas con paneles prefabricados de GRC*. IET.

[12] *"Guía para la Producción por Premix*", 1° Edición, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, s.f., págs. 5-10.

[13] *"Guía para la Producción por Proyección Simultánea",* 1° Edición, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, s.f., págs. 5-20.

[14] Meyer Bohe, Walter. *Manual de la Construcción con piezas prefabricadas.* Ed. Blume, 1969.

[15] Wang, C., Yang, C., Liu, F., Wan, C., & Pu, X. *Preparation of Ultra-High Performance Concrete with common technology and materials. Cement and Concrete Composites,* 2012.

[16] Pellegrino Carlo, Sena-Cruz José. *Design Procedures for the Use of Composites in Strengthening of Reinforced Concrete Structures: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 234-DUC*, Dordrecht: Springer, 2016. ISBN: 9789401773362

[17] Gay, Daniel. *Composites materials: design and applications*. Boca Raton, FL: Taylor, cop. 2015. ISBN: 9781466584877

[18] Comino Almenara. P. I. *Realizaciones en GRC en la construcción.* Arquimacon 96. Sevilla. Pags 419-427.

[19] PCI Committee on Glass Fiber Reinforced Concrete Panels. Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels. Fourth edition. USA. 2001. ISBN: 0-937040-67-3

[20] Ballán Ballán, Eduardo, et al., *Manual de Tecnología del Hormigón Reforzado con Fibras de Acero,* 1° Edición, Madrid, España, Editor ACHE (Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural), 2000, pág. 17.

[21] http://www.panelesgrc.com/index.php/es/grg

[22] http://www.grca.org.uk

[23] http://www.concretenetwork.com/glass-fiber-reinforced-concrete/

[24] http://www.pre-cast.org/gfrc_details.asp

[25] http://www.amberprecast.co.uk/products/glass-fibre-reinforced-concrete-grc

[26] http://2bmfg.com/es/proyectos/arquitectura/equipamientos-docentes-y-de-investigacion/instituto-municipal-de-investigaciones-medicas-imim

[27] http://www.mosaicosubasart.com/grc.asp

[28] NBE-CT 79. *Condiciones térmicas de los edificios*.

[29] NBE-CA 81. *Condiciones acústicas de los edificios.*

[30] NBE-CPI 96. *Condiciones de protección contra incendios en los edificios.*

[31] NTE-FPP 75. *Fachadas prefabricadas de paneles. M.O.P.T.*

[32] UNE-83-200-84. Aditivos para hormigones, morteros y pastas.

[33] ASTM C-947. *Método estándar para propiedades de flexión en secciones delgadas de concreto con fibra de vidrio.*

[34] ASTM C-948-81. *Dry and Wet Bulk Density, Water Absorption, and Apparent Porosity of Thin Sections of Glass-Fiber Reinforced Concrete.*

[35] ASTM C1666/C 1666M. *Especificación para fibras de vidrio resistentes al medio alcalino para GFRC.*

[36] UNE EN 1169: 2000. *Productos prefabricados de hormigón. Reglas generales para el control de producción en fábrica de hormigón armado de fibra de vidrio.*

[37] UNE EN 14649: 2006. *Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para la determinación de la resistencia remanente de las fibras de vidrio en el cemento y el hormigón (ensayo SIC).*

[38] UNE EN 1170:1998 (8 partes). *Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio.*

[39] Sumiglas S.A. *Fibra de Vidrio*. Medellin. (2013).Retrieved November 15, 2013, from http://www.sumiglas.com/