Guías técnicas ANDECE

FACHADAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

Versión 1 – octubre 2019

1. INTRODUCCIÓN 4

1.1. Características diferenciadoras 4
1.2. Campos de aplicación principales 5

2. CLASIFICACIONES 7

2.1. Distintas clasificaciones 7
2.2. Paneles pesados 11
2.3. Paneles ligeros (GRC) 12
Ciudad de la Justicia en Córdoba 18

3. DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE LA FACHADA 20

3.1. Modulación de la fachada 20
3.2. Estética de la fachada 21
Fachada del edificio del Parque de Ingenieros en Madrid 29
Paneles de GRC para el mejor proyecto en sostenibilidad y rehabilitación hotelera en España 2017 33

4. DISEÑO PRESTACIONAL DE LA FACHADA 34

4.1. Reglamentación aplicable 34
4.2. Seguridad estructural 38
4.3. Eficiencia energética 45
4.4. Seguridad frente al fuego 52
4.5. Impermeabilidad 54
4.6. Protección acústica 54
4.7. Durabilidad 56
4.8. Otras funciones 57
Paneles prefabricados de hormigón para urbanización en Boadilla del Monte (Madrid) 58

5. FABRICACIÓN 60

5.1. Paneles pesados 60
5.2. Paneles ligeros 63

6. MONTAJE 65

6.1. Paneles pesados 65
6.2. Paneles ligeros 72

7. MANTENIMIENTO 75

8. SOSTENIBILIDAD 76

8.1. Generalidades 76
8.2. Declaración ambiental de producto (DAP) de paneles prefabricados de hormigón 76
8.3. Otras ventajas sostenibles de los paneles prefabricados de hormigón 80

9. METODOLOGÍA BIM 85

9.1. Conceptos básicos 85
9.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados 86
9.3. Plataformas de objetos BIM 87
9.4. Entrada del prefabricador al proyecto 90

BIBLIOGRAFÍA 91

Publicaciones y artículos 91
Normativa 91

MULTIMEDIA 92

Vídeos 92
Presentaciones 92

EMPRESAS ASOCIADAS 93

SOCIOS ADHERIDOS 93

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Características diferenciadoras

Todo edificio necesita una envolvente que lo proteja y le aporte identidad propia y diferenciación frente a los demás.

Las fachadas de paneles de hormigón arquitectónico ofrecen la solución a estas necesidades además de reunir excelentes cualidades estéticas, por lo que estamos ante uno de los elementos prefabricados de hormigón que mayor pujanza ha ofrecido en los últimos años, quedando ya lejos los primeros tiempos de desarrollo de estas soluciones a mitad del Siglo XX en que se consideraba que eran fachadas monótonas compuestas por elementos pesados sin ninguna expresividad, y que no iban mucho más allá de servir de cerramiento a viviendas sociales donde se buscaba la máxima eficiencia al menor coste.

Figuras.- Dos imágenes comparativas que muestran la evolución de los paneles prefabricados de hormigón para fachadas en modulaciones, acabados, funcionalidad, etc. desde la época de su primer gran impulso (mitad del Siglo XX) hasta la actualidad

Actualmente, las fachadas de hormigón arquitectónico se realizan a partir de paneles de hormigón prefabricado, productos industrializados que ofrecen una amplia variedad de acabados y que garantizan un cumplimiento formal de las dimensiones y configuraciones geométricas previstas que reúnen todas las ventajas de la construcción industrializada, y que difícilmente son alcanzables por los hormigones vertidos en obra.

Los paneles de hormigón para fachadas en una de las soluciones prefabricadas de hormigón más industrializadas por lo que reúne todas las ventajas que se le atribuyen a esta metodología constructiva (rapidez de ejecución, seguridad, menores residuos, fiabilidad, menor mantenimiento, etc.), además del alto valor estético (variedad de acabados, formas geométricas, modulaciones de fachada, etc.) y el potencial del hormigón en cualquiera de sus vertientes prestacionales (mecánica, acústica, fuego, inercia térmica, durabilidad, etc.) ya que se tratará del elemento principal que asegurará una adecuada barrera entre el interior de los edificios y el ambiente externo.

Las fachadas de hormigón arquitectónico se realizan adaptándose al diseño del proyectista, aunque cada vez es más imprescindible contar con el apoyo y conocimiento del prefabricador, dada su experiencia y conocimiento de todo el proceso de desarrollo de la fachada, desde que concibe hasta que se finaliza.

Para cada obra se realiza un proyecto específico cuya modulación y acabados difícilmente se vuelvan a repetir de manera idéntica.

1.2. Campos de aplicación principales

- Bloques de viviendas
- Viviendas unifamiliares
- Edificación industrial
- Edificios públicos
- Edificios de oficinas
- Edificación comercial
- Hoteles
- Centros sanitarios
- Recintos deportivos

- Colegios
- Espacios religiosos
- Centros tecnológicos
- Correccionales
- Construcciones modulares (que serán objeto de otra guía técnica)
- Edificios singulares

Figura.- Edificio prefabricado a base de pilares alta resistencia HA-70, vigas de cubierta doble T y forjado de placa alveolar con voladizos de 4 metros, que se completan con una fachada de hormigón arquitectónico mediante paneles curvos y texturizados

2. CLASIFICACIONES

2.1. Distintas clasificaciones

Los paneles de hormigón arquitectónico son elementos de hormigón armado que puede clasificarse así:

- Según su composición:
  - Hormigón con armadura tradicional;
  - De hormigón armado con fibras: de vidrio (GRC), poliméricas, de acero, etc.

- Según su sección:
  - Homogéneos;
  - Multicapa (con incorporación de aislamiento térmico), en toda la sección o parcialmente;
  - Alveolados.

- Según su forma:
  - Totalmente planos;
  - Con configuraciones espaciales: curvos, relieves, ondulados, tridimensionales, discontinuos, piezas de celosía, piezas con vueltas incorporadas laterales, inferiores o superiores, hacia el interior o el exterior del edificio, nervados, etc.

- Según su posición:
  - Horizontal (la más habitual);
  - Vertical.

- Según su aplicación:
  - Parte “ciega” de la fachada (la más común);
  - Formatos especiales: huecos de puertas y ventanas, paneles de esquina.

Figura.- Panel con los huecos de ventanas ya preparados de fábrica

- Según su comportamiento:
  - Portantes: funciones de cerramiento y estructura simultáneamente (eliminación de pilares);
  - Autoportantes: sólo función de cerramiento (el caso más habitual).

- Según su ubicación:
  - Uso exterior (el más habitual; sometido a los agentes exteriores: viento, contaminación, etc.)
  - Uso interior: divisiones interiores, aplacados.

Figura.- Revestimiento interior línea de metro en Barcelona (España)

- Según el componente estético:
  - Paneles de hormigón arquitectónico: aquí se pueden agrupar todos aquellos paneles que aportan un valor añadido desde el punto de vista estético, en la medida de que se juegue con las posibilidades que ofrecen las texturas, colores u otras características superficiales;
  - Paneles sin aporte arquitectónico: aunque cada vez se emplean menos, son aquellos paneles que únicamente se limitan a cumplir las funciones técnicas previstas (por ejemplo, paneles con acabado natural gris de algunos edificios industriales).

Figura.- 148 viviendas sociales VPO en Carabanchel - Madrid ejecutadas con paneles de hormigón arquitectónico. Proyecto dirigido por Arata Isozaki, Premio Pritzker 2019

Dentro de las innumerables combinaciones posibles que se pueden obtener a partir de las clasificaciones anteriores, esta guía técnica se ha estructurado a los principales formatos de paneles prefabricados de hormigón según su composición: los paneles de hormigón con armadura tradicional (que aquí denominaremos paneles pesados) y los paneles de hormigón armado con fibras. Dado el variado abanico de fibras que se

pueden incorporar en los paneles (acero, poliméricas, vidrio, textiles, etc.) u otros tipos de inserciones (resinas de poliéster estable para la fabricación de paneles de hormigón polímero) vamos a centrarnos aquí únicamente a los paneles de hormigón armado con fibra de vidrio (comúnmente llamado GRC) por ser posiblemente los más ampliamente extendidos.

2.2. Paneles pesados

Las dimensiones máximas de los paneles son particulares de cada fabricante y vienen fundamentalmente limitadas por el transporte, siendo las máximas de 12 x 4 m aprox. una de las principales decisiones a tomar antes de comenzar el diseño de la fachada es si ésta será o no portante, algo que requerirá un estudio adicional basado en un comparativo económico entre ambas opciones.

2.2.1. Fachadas no estructurales

El espesor de los paneles es función de su superficie, siendo generalmente de 10 y 12 cm.

Nos podemos encontrar con mayores espesores en el caso de los paneles sándwich, en que el aislamiento térmico va incorporado entre las dos capas exteriores de hormigón.

Al ser un sistema de industrializado, pueden incorporarse desde el proyecto determinadas instalaciones (conductos en el interior de los paneles, etc.) En dicho caso, debe comprobarse que el panel no ve reducidas sus prestaciones mecánicas por la incorporación de dichos elementos complementarios.

2.2.2. Fachadas estructurales

Los elementos que componen el sistema estructural son:

- Paneles portantes interiores: son paneles de hormigón armado, destinados a elementos interiores, portantes, autoportantes o de arriostramiento. Estos paneles trabajan verticalmente, y están preparados para recibir forjados y prelosas prefabricadas del mismo taller o forjados realizados in situ;
- Paneles portantes de fachada: paneles de hormigón armado, destinados a fachadas portantes. Estos paneles trabajan verticalmente, y están preparados para recibir forjados al igual que los paneles portantes interiores.

Se fabrican de 14 a 20 cm de espesor, alturas usuales de 2,5 a 3,5 m y longitud variable hasta 10 m Se sitúan en separaciones de vivienda, cajas de ascensor y escalera.

Están pensados para trasdosar, aunque pueden utilizarse sin trasdosar (en edificaciones industriales, por ejemplo).

2.3. Paneles ligeros (GRC)

2.3.1. Descripción

Otra de las variantes que permiten dotar al edificio de un valor estético y arquitectónico apreciable, son las fachadas realizadas con paneles de GRC. El "*Glass Fibre Reinforced Concrete*", es un material compuesto cuya matriz es un microhormigón armado con fibra de vidrio dispersa en toda su masa (en torno a un 3-5% de la masa total). El empleo de las fibras permite la eliminación de las armaduras de acero lo que a efectos de durabilidad exime de la necesidad de recubrimientos (no hay fenómeno de corrosión) y con ello reducir el espesor al mínimo posible. De esta forma, el

compuesto resultante es un panel de 10-15 mm de espesor aprox. y se caracteriza por su extremada ligereza (entre 30 y 80 kg/m^2).

Gracias a la gran moldeabilidad del material, su aplicación más habitual es como elemento de cierre, siendo una solución recomendada en los casos en los que el panel deba ofrecer sus dos caras a la vista o en aquellos en los que se desea incluir dentro el panel, material para aislamiento térmico y/o acústico. Además, es posible reproducir todo tipo de elementos arquitectónicos como columnas, pilastras, capiteles, cornisas, impostas, recercados de ventana, y elementos de decoración y, en general, cualquier elemento constructivo de pequeñas dimensiones.

Se trata de un cerramiento de fachada, prefabricado para ser autoportante y soportar las cargas de empuje del viento.

El sistema permite incorporar la carpintería de puertas y ventanas directamente en factoría, fijándola a los moldes antes de proyectar el GRC. Igualmente permite la realización de los huecos de fachada para que una vez montados los paneles en obra se ensamblen las carpinterías de forma convencional.

2.3.2. Tipos

2.3.2.1. Panel lámina o cáscara

Es el más sencillo y ligero de todos. Se utiliza para piezas pequeñas que cuentan con una geometría que confiere inercia al elemento, tales como cornisas o molduras. Consiste en una cáscara de 10 mm de espesor reforzada por unos nervios del mismo material que funcionan como vigas huecas y que garantizan la rigidez del conjunto. Tiene un peso de entre 30 y 45 kg/m² en función del acabado superficial y de las dimensiones del panel y su tamaño máximo no supera los 6 m², con un lado de medida máxima de 3 m.

Figura.- Fundación Amancio Ortega. 4.500 m² de panel cáscara de GRC en blanco liso y texturizado con anclajes de aluminio para fachada ventilada

2.3.2.2. Panel sándwich

Compuesto por 2 láminas de al menos 10 mm de espesor cada una y un núcleo de aligeramiento de espesor según los requerimientos del proyecto. Ambas láminas están unidas perimetralmente conformando un paralelepípedo muy resistente; para mayor rigidez, también puede llevar nervios interiores.

El panel resultante tendrá un peso de entre 60 y 80 kg/m². La superficie recomendable para el panel no debe superar los 15 m^2, con un lado de altura aconsejable de 3,15 m (que viene determinado por el tipo de transporte) y el otro lado de 5 m como máximo.

2.3.2.3. Panel Stud-frame

Actualmente es la técnica más utilizada, ya que permite mayores dimensiones de paneles con menor consumo de materiales. Se compone de una lámina de al menos 10 mm de espesor que se conecta a una estructura auxiliar metálica (bastidor o *stud-frame*) que es la que se ancla a la estructura principal del edificio. El aislamiento térmico puede colocarse entre las propias barras de la estructura, o ser proyectado.

El espesor mínimo del panel es de 8 cm que aumenta en función de las dimensiones del panel hasta un máximo de 14 cm para las dimensiones máximas. Su peso teórico varía entre 45 y 60 kg/m^2, en función del espesor antes mencionado, de las dimensiones del bastidor y del tipo de acabado realizado.

Su superficie máxima es del orden de 25 m^2, con un lado de altura máxima recomendable de 3,15 m (limitación por transporte) y el otro lado de 8 m de longitud máxima.

2.3.3. Otras consideraciones de diseño

El sistema se complementa con el trasdosado interior, que podrá adoptar cualquiera de las soluciones existentes en el mercado (bloques de hormigón, etc.). El sistema no contribuye a la estabilidad de la construcción, siendo siempre un sistema autoportante.

La estructura auxiliar, que no suele suministrar el fabricante de GRC, se realiza mediante elementos adecuados metálicos o eventualmente de hormigón. Todos los accesorios de fijación deben ser de acero resistente a la corrosión, de forma que su durabilidad sea equivalente, al menos, a la del panel.

2.3.4. Ventajas

La mayor de las ventajas que presenta el panel GRC es su alta resistencia mecánica, sobre todo a la flexión y al impacto. Esto permite crear piezas de reducido peso con las mismas o superiores prestaciones.

La ligereza de los paneles repercute de manera positiva sobre diferentes factores de diseño e instalación de las piezas y/o estructuras que soporten el GRC y de las mismas instalaciones de las piezas realizadas en este material.

Con la utilización de paneles GRC podremos modificar de forma directa algunos factores en beneficio sobre el coste de materiales, estructuras y servicios de instalación. Los principales factores que pueden verse modificados son:

- Transporte de las piezas a obra: por su ligereza, se pueden transportar del orden de 3 a 5 veces más piezas de GRC que de hormigón convencional, lo cual abarata una partida importante como es la del transporte de los elementos prefabricados a obra;
- Estructura y cimentaciones: el peso ligero del sistema lo hace ideal para su uso en edificios de gran altura;
- Maquinaria de instalación y puesta en obra. Ya que las piezas del panel GRC son muy poco pesadas, la maquinaria necesaria para su instalación en obra es mucho más ligera (de menor capacidad);
- Mano de obra: debido a la ligereza y características del GRC el montaje se simplifica, reduciéndose el número total de montadores necesarios;
- Anclajes y herrajes de unión a los entramados de la estructura son mucho más ligeros, lo cual repercute sobre el ahorro de materiales;
- Aptitud para ser moldeado en formas complejas e ilimitadas posibilidades de diseños arquitectónicos, especialmente útil para la renovación y restauración de inmuebles;
- Gran resistencia contra la propagación de fisuras;
- Enorme catálogo de texturas y acabados de superficie realizables,
- Y del propio material:
    - Incombustible;
    - No emite gases tóxicos y vapores;

- Durabilidad (poco mantenimiento posterior);
- Baja absorción de agua.

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Ciudad de la Justicia en Córdoba

El estudio de arquitectura holandés Mecanoo ha sido el encargado de dirigir esta singular obra. Todas las fachadas se han resuelto mediante 1.200 paneles prefabricados de GRC tipo Sándwich con acabado exterior color blanco, que suman un total de 9.000 m2.

Otros datos de proyecto:

- Dirección de proyecto: AYESA
- Construcción: UTE Ciudad de la Justicia, formada por las empresas constructoras COPCISA e ISOLUX-CORSAN
- Periodo de ejecución: 2016-2017
- Certificación VERDE 2 hojas de GBCe

Este proyecto fue galardonado en el 6º Architizer A+Awards, prestigioso premio internacional de arquitectura, en la categoría de "*Government & Municipal Buildings*" en el año 2018.

+info: Vídeo sobre la construcción realizado por MECANOO [+]

3. DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE LA FACHADA

3.1. Modulación de la fachada

El procedimiento habitual para el diseño inicial de la fachada es el siguiente:

- En primer lugar, se establece la apariencia arquitectónica del alzado del edificio;
- Modulación y optimización: a continuación, la fachada se divide en piezas individuales para dar la orden de fabricación. La división depende de las posibles posiciones de juntas, cambios en el material de revestimiento, detalles arquitectónicos salientes, tamaño y peso de las unidades, la relación entre la estructura interna y la fachada con respecto a la planificación y fijación de paneles, los elementos de encuentro con las discontinuidades de la fachada como huecos de ventanas y puertas;

Figura.- Fachada compuesta por panel de cerramiento prefabricado curvo en los encuentros entre sí de esquina

Existen dos criterios básicos para lograr una optimización en el tamaño de los paneles:

- Repetitividad de los paneles: cuanto mayor número de paneles iguales se fabriquen, ya sea en las dos (ancho y largo) o en una de las dimensiones

(ancho), se obtendrá un mayor aprovechamiento de los moldes (mayor relación superficie fabricada / número de moldes);

- Superficie media elevada: cuanto mayor sea el tamaño medio de los paneles, menor número de moldes y tiempos se necesitan en su fabricación y mayor será el rendimiento de ejecución. Como recomendación, la superficie media de panel debe ser siempre que sea posible mayor a 10 m^2.

En la medida que estos criterios se cumplan, podrán reducirse los costes de fabricación y plazos de montaje.

Es aconsejable para lograr la racionalización de la fachada, proyectar un panel base de dimensiones máximas a partir del cual se obtengan el resto de los paneles, realizándose las modificaciones correspondientes en el molde.

Una vez aprobada la modulación y el anclaje de la fachada, la oficina técnica del prefabricador deberá preparar los planos de taller de los paneles (dimensiones, armados, elementos metálicos para su manejo, fijaciones para el anclaje en obra).

Este procedimiento es igualmente válido para las fachadas que no requieren el mismo componente arquitectónico, aunque eliminando en gran medida la etapa de concepción estética.

3.2. Estética de la fachada

Dentro de este proceso debe decidirse el acabado de los paneles, donde se podrán combinar tonalidades, colores y texturas.

Sin duda una decisión fundamental reside en la elección del acabado (o acabados) que se le pretende dar a la fachada final y en la que el hormigón arquitectónico ofrece una extensísima gama de soluciones que dan la libertad al proyectista para estimular al máximo su imaginación. Aquí la experiencia del fabricante es vital, ya que de ello dependerá que se consiga el acabado deseado, pues debe saber jugar con las dosificaciones (cementos, áridos y pigmentos, fundamentalmente).

La superficie del hormigón posee una gran capacidad para adquirir las más diversas soluciones expresivas. La pigmentación de la masa del hormigón y la inclusión de matrices de goma posibilitan una extensa variedad de colores, texturas y relieves.

En el hormigón in situ, estos acabados resultan difíciles de alcanzar de manera predecible por la dependencia del proceso de ejecución y la mano de obra, con unas incertidumbres muy superiores. Por ello, las soluciones más evolucionadas se dan en los paneles prefabricados.

Pero no toda búsqueda de perfección está orientada por objetivos estéticos. La lisura implica ausencia de poros y, por tanto, compacidad que otorga protección al propio hormigón y al acero que lo arma en su interior [1].

Figura.- Paneles prefabricados de GRC tipo sándwich para 1.800 m^2 de fachada en el HQ Best Medical Diet en Alcala de Guadaíra (Sevilla). Paneles de espesor 120 mm y fabricados con cemento blanco con colorantes gris y verde y acabado al silicato y terminación lisa

3.2.1. Paneles pesados

3.2.1.1. Paneles de hormigón arquitectónico

El hormigón es susceptible de ser sometido a tratamientos después de su endurecimiento y/o fraguado que eliminan en mayor o menor medida la lechada superficial y dejan el árido fino o incluso el grueso a la vista. El aspecto visual realza la tonalidad pétrea del hormigón, disminuyendo la importancia del color del cemento y resaltando la del árido.

Entre las texturas más habituales para mejorar la estética final de las fachadas de paneles de hormigón arquitectónico, destacamos las siguientes:

Liso o pulido: a base de textura lisa, obtenido por vertido directo del hormigón sobre el molde.

Texturizado: resultado del empleo de una lámina o matriz, generalmente de material elastomérico, que se adhiere al molde para que reproduzca la textura que se quiere crear. Pueden obtenerse una gran cantidad de texturas, incluso imitaciones de otros materiales (madera, ladrillo, etc.)

Lavado al ácido: aplicación de una solución de ácido sobre la cara exterior del panel, obteniendo superficies brillantes que dejan parcialmente los áridos a la vista.

Árido visto: se consigue utilizando un retardador químico que ralentiza el fraguado del hormigón, al que se aplica posteriormente un chorro de agua a presión sobre la cara exterior del panel, quedando a la vista el árido empleado.

Chorro de arena: se aplica un agente abrasivo como por ejemplo la arena de sílice sobre la superficie, mediante un sistema de proyectado a alta presión, dando como resultado la eliminación de la lechada superficial del prefabricado, y dejando ver los áridos que componen la masa de hormigón.

Otros: aplicación de tratamientos finales a base de veladuras, pinturas o productos de protección de la superficie contra actos vandálicos como los antigraffitis. También podemos incluir tratamientos mecánicos que retiran el mortero y rompen el árido grueso, consiguiendo una textura de árido visto.

También se pueden obtener otros tonos y colores, mediante la aplicación de pigmentos o colorantes, cementos blancos, incluso pintado posterior, para conseguir el efecto esperado.

Figuras.- Cemento gris frente a cemento blanco

Figura.- Antes *Figura.- Después del pintado*

Las posibilidades estéticas de este producto siguen ampliándose por lo que la innovación industrial juega en este campo un rol notable. Es el caso, por ejemplo, del hormigón translúcido cuyo resultado es un panel prefabricado que incluye inserciones de polímero transparentes de un tamaño apropiado con propiedades de transparencia a escala macroscópica y que posibilitan la capacidad de transmitir la luz natural y artificial hasta un 20%.

Figura.- Pabellón italiano en la World Expo 2010 en Shanghai (China)

O productos que mejoran las prestaciones de los elementos vistos (utilizados además de los paneles, en prefabricados para pavimentos) como son los cementos de acción fotocatalítica, que consiguen una autolimpieza de los mismos para preservar el acabado inicial de la fachada el máximo tiempo posible (efecto autolimpiante) e incluso, ayudando a descontaminar el ambiente exterior (efecto descontaminante).

Figura.- Iglesia Dives in Misericordia (Roma), primera obra de gran envergadura que se dotó de la tecnología descontaminante en paneles de hormigón

3.2.1.2. Paneles industriales

Aunque los paneles de hormigón arquitectónico pueden igualmente emplearse en edificios industriales (nave o planta donde se desarrolla una actividad industrial, logística, etc.), por la tipología edificatoria en la que no suele primarse tanto la vertiente estética, siendo su principal misión el cierre del edificio, deben detallarse sus particularidades:

- Por lo general, no se prima tanto el aspecto estético: podemos ir desde paneles macizos fabricados con cemento gris sin ningún tipo de tratamiento adicional (textura, color, etc.), hasta elementos con alguna variable añadida (pigmentos o aplicación de pinturas);
- Modulación de la fachada: elementos generalmente de dimensiones mayores (menor número de juntas, malla de juntas homogénea) y planos;

- Al ser edificios por lo general de una sola altura, más propicia la colocación de los paneles en sentido vertical para lograr un mayor rendimiento de ejecución;
- A diferencia de otros tipos de edificación, menor número de ventanas y puertas (menor necesidad de paneles de dimensiones especiales);
- Mayor utilización de paneles sándwich con el aislamiento incorporado, para que con un único elemento se resuelva íntegramente el cerramiento.

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Fachada del edificio del Parque de Ingenieros en Madrid

Uno de los proyectos más interesantes realizados recientemente es el edificio de 161 viviendas situado en el barrio de Villaverde de Madrid, proyecto dirigido por el prestigioso estudio TOUZA ARQUITECTOS

Figura.- Infografía del edificio, realizada por el estudio TOUZA ARQUITECTOS

La elección de la solución prefabricada de hormigón para la fachada del edificio del Parque de Ingenieros responde a todas estas premisas que se persiguen: un mayor control de todos los parámetros técnicos y funcionales, tanto en el diseño como en la ejecución, sin perder de vista las variadas posibilidades estéticas que permite la prefabricación, además de cumplir con las limitaciones económicas que en este caso fijaba el ser un conjunto de viviendas de protección oficial.

El edificio cuenta con 161 viviendas y se sitúa en el Parque de Ingenieros, en el barrio de Villaverde al sur de Madrid. La fachada se ha resuelto mediante paneles de color blanco y textura lisa, fijado a la estructura de hormigón armado realizada “in situ”. Algunas particularidades de los paneles son su reducción de espesor de 10 a 7 cm que le permiten generar alojamientos a paneles de aluminio lacado de fachada. Y los paneles de esquina de 1,16 m de dimensión perpendicular al plano de la pieza. Por último, también se han suministrado los petos de balcón con alojamiento para el cristal

incluido.

En obras de estas características es fundamental la comunicación y coordinación entre tres agentes: el arquitecto, la empresa constructora y el prefabricador, de forma que se logre materializar en la obra todos los objetivos funcionales y formales que se definieron en el proyecto. En este caso, existió una intensa colaboración a través de la cual TOUZA ARQUITECTOS explicó su visión del edificio, la EMPRESA PREFABRICADORA que despiezó la idea en paneles y, de forma coordinada por la CONSTRUCTORA AVINTIA, se pulieron detalles para poder garantizar el óptimo resultado final.

Figura.- Imagen de las fachadas del edificio recién finalizada su ejecución

Un aspecto que cabe destacar en este edificio fue el hecho de haber tratado en todo momento de localizar los anclajes metálicos que embebidos en los paneles prefabricados sirven de fijación posterior con la estructura, de forma que se minimice la superficie de puentes térmicos y contribuir a la mejora de la eficiencia energética global del edificio.

Datos generales de la obra:

- PROMOTOR: INMOGLACIAL
- CONSTRUCTORA: AVINTIA

- PLAZO DE OBRA: 14 meses
- PLAZO DE FACHADA: 4 meses
- SUPERFICIE/Nº PANELES: 4.200 m2 / 510 paneles

3.2.2. Paneles ligeros

El diseño arquitectónico de la fachada (estética y modulación) no difiere excesivamente de una fachada de paneles pesados, aunque teniendo en cuenta las limitaciones dimensionales indicadas anteriormente.

El GRC permite imitar cualquier forma, ya que se fabrica sobre molde al que se puede dar, no sólo la forma deseada, sino una gran variedad de texturas en función del fondo de molde empleado

Figura.- 900 m2 de paneles GRC Sandwich para el Hotel Legoland en Windsor (Inglaterra). Arquitecto: Manser Practice Arquitects + Designers

Asimismo, se puede dotar al panel de una amplia variedad de colores, siempre teniendo en cuenta que su color base se debe al tipo de cemento empleado (blanco o gris), que puede ser modificado mediante la adición de pigmentos inorgánicos:

- Textura lisa sobre molde de maderas barnizadas;
- Acabados rugosos suaves, recubriendo el molde con telas vinílicas;

- Rugosidades mayores, proyectando sobre láminas de elastómeros comerciales;
- Encofrado de tabla quemada, para resaltar el relieve de la veta de la madera;
- Pintado;
- Lavado al ácido;
- Árido visto;
- Chorro de arena;
- Etc.

Ladrillo

Madera

Piedra

Vegetal

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Paneles de GRC para el mejor proyecto en sostenibilidad y rehabilitación hotelera en España 2017

La EMPRESA PREFABRICADORA ha intervenido en el diseño de las fachadas de este hotel en el centro de Barcelona, en la Calle Córcega con Sicilia cerca de la Sagrada Familia, suministrando 1.300 m2 de paneles stud-frame de GRC con acabado liso con veladura blanca y ha ganado el concurso "Re Think Hotel 2017" al mejor proyecto en sostenibilidad y rehabilitación hotelera en España ejecutado. Despacho de Arquitectura: GCA Architects.

4. DISEÑO PRESTACIONAL DE LA FACHADA

4.1. Reglamentación aplicable

4.1.1. A nivel del sistema completo: fachada o partición interior

Los cerramientos de cualquier edificio tienen que garantizar el cumplimiento de una serie de prestaciones, que suelen quedar determinadas mediante unos valores límite que exige la reglamentación correspondiente, como es el Código Técnico de la Edificación y sus distintos Documentos Básicos, en el caso de España.

De esta forma, existe una gama de secciones típicas que nos podemos encontrar de manera general en el estado tecnológico actual. Además del panel de hormigón, que normalmente ocupa la parte exterior, el cerramiento puede componerse de otros elementos o materiales como el aislamiento térmico, la cámara de aire, la pared interior, láminas impermeabilizantes, etc., constituyendo las distintas capas del cerramiento.

Figura.- Secciones habituales de fachadas con paneles pesados expuestos con el aislamiento por el interior

PHA.....Panel de Hormigón Arquitectonico
AT.....Aislante
YL.....Placa de yeso laminada
LH.....Fabrica de ladrillo hueco
RI.....Revestimiento interior,puede ser enlucido,enfoscado o alicatado.
RE.....Revestimiento exterior.
BH.....Fabrica de bloque de hormigón
SP.....Separación de 10 mm.
CN.....Cámara de aire no ventilada.
CV.....Cámara de aire ventilada.

Figura.- Secciones habituales de fachadas con paneles pesados no expuestos con el aislamiento por el exterior

GRC paneles prefabricados de GRC
- GRC-L panel tipo lámina de 10 mm de espesor, rigidizada con nervios de GRC o reforzada con un bastidor metálico tubular
- GRC-PS panel sándwich aligerado con EPS

AT aislante
C cámara de aire no ventilada [3]
HI hoja interior
- T tablero o panel impermeable, por ejemplo, tablero con base de cemento
- LH fábrica de ladrillo cerámico hueco
- YL placa de yeso laminado

RI revestimiento interior formado por un enlucido, un enfoscado o un alicatado

Figura.- Algunas secciones habituales de fachadas con paneles de GRC

Es la solución completa de fachada la que debe cumplir las exigencias que se establecen en el Código Técnico de la Edificación (acústica, transmitancia térmica, resistencia y reacción al fuego, impermeabilidad, etc.), pudiendo hacerse bien por cálculo (lo más habitual, aunque recurriendo a métodos normalizados debidamente contrastados) o incluso por ensayos (más costoso, pero más preciso).

Sección (mm)	Datos entrada		HS	HE[1]	HR		
	GRC	HI	GI[2]	U (W/m^2K)	R_A (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	m (kg/m^2)
	R3´+C1´	–	3[4]	$1/(0,55+R_{AT})$	54	50	77
	R3´	C1´					

Figura.- Valores teóricos prestacionales de impermeabilidad (HS), transmitancia térmica (HE) y resistencia al ruido (HR) de un sistema de fachada con paneles de GRC sándwich, en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación

4.1.2. A nivel de paneles

La práctica totalidad de elementos prefabricados de hormigón destinados a conformar las estructuras, están sujetos a disponer de marcado CE obligatorio. ANDECE ostenta la secretaría del comité nacional de prefabricados de hormigón UNE-CTN 127 y es a su vez representante del Comité Europeo de normalización CEN/TC 229, que son los foros donde se desarrollan la mayoría de las normas de productos que afectan a los elementos prefabricados de hormigón. Para conocer más sobre el marcado CE, ANDECE ha desarrollado una serie de guías de aplicación donde se detallan los aspectos que debe tener en cuenta el fabricante, así como el resto de los agentes que gestionen elementos prefabricados de hormigón (proyecto, construcción, mantenimiento, etc.):

- UNE-EN 14992 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros

- UNE 127992-1 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros. Parte 1: Productos prefabricados de hormigón armados con fibra de vidrio. Complemento nacional a la Norma UNE-EN 14992

Uno de los aspectos que aún hoy suscita más dudas es el relativo a la documentación reglamentaria que debe acompañar a los productos con marcado CE:

ANTES DEL SUMINISTRO

(1) Documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente

Según el Art. 79.3. de la EHE-08, en caso de productos con marcado CE, podrá comprobarse su conformidad simplemente mediante la verificación documental del citado marcado CE y de los valores asociados, sin necesidad de realizar comprobaciones o ensayos adicionales en su recepción.

NORMA DE REFERENCIA (A) (B)	TÍTULO (B)	SISTEMA (C)
UNE-EN 14992:2008+A1:2012	Elementos para muros	2+
UNE 127992-1:2019	Paneles de GRC	-

☐ Etiquetado marcado CE (D)
☐ Declaración/es de prestaciones conforme al Reglamento de Productos de Construcción (E)
☐ Copia del certificado CE de conformidad del control de producción en fábrica expedido por el Organismo Notificado que interviene en la certificación de los productos *(entrega opcional, no incluido en productos bajo sistema 4)*.
☐ Instrucciones de uso y seguridad (F)
☐ Información técnica de acompañamiento (catálogo de producto): *para detalles constructivos, durabilidad, datos geométricos y otros parámetros (entrega opcional), véase en cada norma.* Información a presentar dependiendo del método de declaración de las propiedades elegido por el fabricante:

☐ Método 1 (declaración de los datos geométricos y propiedades de los materiales, según Apdo. ZA.3.2. de la Norma correspondiente)
☐ Método 2 (declaración de las propiedades del producto conforme a los Eurocódigos, según Apdo. ZA.3.3. de la Norma correspondiente)
☐ Método 3 (declaración de la conformidad con una especificación de proyecto dada, según Apdo. ZA.3.4. de la Norma correspondiente) (G)

☐ Certificado del control de producción en fábrica que demuestre que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en la EHE-08 (H)

(A) La relación de productos de construcción con marcado CE (normas europeas UNE-EN) se indica en el siguiente enlace [+] y en las Resoluciones que periódicamente publica el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [+].
(B) Se recomienda comprobar el alcance de las normas de productos prefabricados de hormigón en la web de la Asociación Española de Normalización UNE [+] ó en los enlaces disponibles de este documento.
(C) Sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones (según el texto del Reglamento Delegado Nº 568/2014): 1 y 2+ requieren intervención periódica de Organismo notificado; 4 proceso de autocertificación del fabricante.
(D) Debe llegar siempre al cliente. El fabricante debe elegir en al menos uno de los siguientes lugares, y por este orden de prioridad: a) En el producto; b) En una etiqueta adherida al mismo; c) En el embalaje; d) En una etiqueta adherida al embalaje ó e) En los documentos comerciales de acompañamiento.
(E) La declaración de prestaciones podrá agrupar todos los productos incluidos por cada norma armonizada o referirse a productos más específicos. Este documento sustituyó a la Declaración CE de conformidad, con la entrada en vigor del Reglamento de Productos de Construcción nº 305/2011 [+]
(F) Al comercializar un producto, los fabricantes verificarán que el producto vaya acompañado de sus instrucciones y de la información de seguridad. El Ministerio de Industria valida los Manuales de ANDECE como Documentación de Uso y Seguridad según el RPC [+]
(G) Dos casos: Diseño total del cliente: método 3a; ó Diseño del fabricante con una especificación de diseño dada por el fabricante de acuerdo a una orden del cliente: método 3b
(H) Certificado voluntario para productos con marcado CE. Elaborado por un organismo de control o una entidad de certificación, acreditados en el ámbito del Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, avala que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en la EHE-08 (para permitir la aplicación de un coeficiente de ponderación de 1,50 para el hormigón, en vez de 1,70) [+]

Además, en el caso de que los elementos sean portantes deberán tener en cuenta los requisitos establecidos en la Instrucción EHE-08, vigente en España (en 2020 se presupone que entrará en vigor el nuevo Código Estructural [+]).

4.2. Seguridad estructural

4.2.1. Paneles pesados

Las piezas suelen diseñarse y fabricarse en hormigón armado. La carga más crítica suele aparecer cuando se retiran las piezas de los moldes, aunque este efecto se ha corregido notablemente con la introducción de las mesas basculantes que permiten una retirada más suave y en vertical.

La resistencia característica del hormigón del panel suele estar comprendida entre 30 y 45 N/mm².

Una cuestión pertinente respecto a la elección del sistema de fachada es si usar las piezas como apoyo de cargas (resistente o portante) o no. Un criterio básico es que los paneles resistentes son aconsejables para una arquitectura de fachada predominantemente vertical, siempre que las zonas que funcionen como apoyos de las cargas verticales no estén muy alejadas (máximo 7 – 8 m).

Figura.- Fachada con una marcada arquitectura vertical

4.2.1.1. Fachadas no estructurales

Los elementos y la fachada en su conjunto deben ser capaces de soportar las acciones a que estarán expuestos: viento, sismo, peso de las carpinterías, etc.

Un aspecto crucial es el relativo a las uniones o fijaciones, habiendo una gran diversidad en el mercado. Durante el cálculo de la estructura se debe tener en cuenta que las cargas de los paneles se transmiten a través de sus fijaciones al forjado y/o a los pilares, siguiendo una serie de principios básicos:

- Cada panel debe sujetarse independientemente del resto y no se deben solidarizar paneles con los adyacentes para evitar que, en el caso de una deformación puntual en la estructura, se pueda trasladar a través de la fachada;

- Los paneles se deben anclar en un mínimo de cuatro puntos, dos de ellos deben transmitir el peso del panel y los otros dos deben transmitir el esfuerzo de vuelco y los esfuerzos de viento o cargas exteriores, que en la mayoría de los casos se trata de fuerzas horizontales, a la estructura.

La unión suele realizarse soldando y/o atornillando la placa metálica embebida en el trasdós de la pieza prefabricada durante la fabricación al elemento metálico previsto en la estructura portante.

Todos los elementos de sujeción de los paneles deben estar amparados por el cálculo estructural:

- El cálculo del anclaje se realizará para el panel más desfavorable de obra y con él se realizarán el resto de las uniones;
- Las uniones deben de ser simétricas en los paneles, estableciéndose como norma general que los puntos de anclaje se sitúen a 1/5 de la longitud del panel, zona de momento nulo, de forma y manera que los esfuerzos en los conectores se reduzcan a un esfuerzo cortante. En caso de no ser así, para el cálculo del conector se deberán tener en cuenta el resto de los esfuerzos que soporta.

Además, estos anclajes metálicos deben contar con algún tipo de protección adicional (acero galvanizado, zincado, incluso inoxidable) para garantizar su durabilidad frente a la corrosión y a la posible acción en caso de incendio.

Tipos de encuentros	Detalles de uniones
Paneles a forjado	Placa anclaje atornillada [+] Panel apoyado – placa anclaje atornillada [+] Forjado/cubierta – placa anclaje atornillada [+] Pletina doblada – placa anclaje atornillada [+] Placa anclaje embebida [+] Panel apoyado – placa anclaje embebida [+] Forjado/cubierta – placa anclaje embebida [+] Pletina doblada – placa anclaje embebida [+] Panel antepecho – apoyo y antivuelco [+] Panel antepecho – alineación de paneles [+] Panel ciego – placa anclaje atornillada [+]
Paneles a pilar	Pilar hormigón – placa anclaje atornillada [+] Pilar hormigón – placa anclaje embebida [+] Pilar metálico – unión soldada [+] Panel antepecho – pletina anclaje atornillada [+]
Entre paneles	Unión atornillada [+]
Paneles a estructura auxiliar	Panel ciego – apoyo y antivuelco [+]
Otros detalles	Remates [+] Juntas de sellado [+]

Fuente.- Detalles constructivos de ANfhARQ

Durante el diseño es fundamental definir cómo van a resolverse estas uniones durante el montaje, pues esto condicionará la elección correcta del tipo de anclaje (soldadura y/o atornillado), incluso de uniones que sean propias de las firmas comerciales (bajo patente) y su posición en el panel.

Además de la importancia desde el punto de vista de la seguridad estructural, los anclajes son el elemento clave que permite garantizar una estabilidad adecuada de la fachada ante los posibles movimientos que se produzcan por dilataciones y

contracciones térmicas, retracción y fluencia del hormigón, posibles desplazamientos de la estructura portante, etc.

4.2.1.2. Fachadas estructurales

Los edificios construidos con sistemas de paneles portantes de hormigón armado se conciben como estructuras que se constituyen al agruparse los paneles, transfiriendo normalmente las cargas verticales de los forjados y la estructura superior hacia la cimentación. Pueden combinarse o no junto a los núcleos o pantallas de arriostramiento interiores.

Se siguen los mismos criterios que en el caso de los paneles de hormigón autoportantes, pero con una serie de particularidades añadidas al configurarse como parte de la estructura y sobre la que descansarán otros elementos de la estructura como forjados o vigas.

El sistema es de junta seca, puesto que las uniones entre paneles se realizan con anclajes soldados, lo que confiere rigidez instantánea al edificio y proporciona gran rapidez de montaje y ejecución de obra. Se debe prever la correcta unión de los forjados a los paneles en las dos alineaciones o direcciones, para garantizar la transmisión de los empujes horizontales que se produzcan en el edificio.

La unión entre los elementos es articulada, de forma que la rigidez transversal de cada elemento vertical es despreciable.

Los apoyos de los forjados en los paneles se consideran isostáticos de forma que no se transmite ningún momento de empotramiento a los mismos.

Figura.- Apoyo forjado de placas alveolares en la cara interior de un panel sándwich

Para dar estabilidad a los edificios y resistir los empujes de viento, sismo, etc. es necesario disponer paneles en dos direcciones, de forma que además de recibir las cargas de los forjados, proporcionen la estabilidad transversal suficiente, junto con los posibles arriostramientos existentes en cada planta u otros sistemas de estabilización.

En zona sísmica, o ante cargas horizontales importantes, se verificará la transmisión de los esfuerzos horizontales a los paneles verticales en la dirección del esfuerzo. Se debe comprobar que la unión vertical entre paneles que se proyecte es capaz de transmitir el esfuerzo horizontal. También deben tenerse en cuenta los incrementos de estos empujes horizontales, por la consideración de la excentricidad adicional de la acción sísmica, poniendo atención a la baja ductilidad de estos tipos de edificios apantallados.

Cada panel se calcula independientemente para la carga horizontal que reciba en función de su rigidez. Para la obtención de los esfuerzos de diseño de los paneles se tienen en cuenta todas las posibles excentricidades de cálculo de la trasmisión de esfuerzos, efectos térmicos, imperfecciones, etc. También se tienen en cuenta las fases de izado de la mesa de fabricación, transporte y montaje.

La estructura se proyectará también de forma que no se vea dañada por hechos tales como explosiones, impactos, o errores humanos hasta un extremo desproporcionado con la causa original. Esto significa que debe evitarse el colapso progresivo de la estructura.

Figura.- Edificio de viviendas en Coslada (Madrid). El principal interés de este edificio consiste en haber alcanzado veinte plantas sobre rasante y cuatro más de sótano con el sistema constructivo de paneles prefabricados de hormigón portantes

4.2.1.3. Fachadas mixtas

Una opción de diseño intermedia es aquélla que se compone de dos “pieles”: la interior, portante a base de paneles que pueden desempeñar una función estética (si es vista desde el interior del edificio) o no; y la exterior, que puede componerse de paneles arquitectónicos prefabricados autoportantes u otra solución de cerramiento. Entre medias podrán disponerse de otras capas que ayuden a cumplir los requisitos reglamentarios (aislamiento térmico y/o acústico, cámara de aire, etc.)

4.2.2. Paneles ligeros

El soporte de los paneles debería cumplir con los requisitos esenciales de seguridad estructural que le sean propios, debiendo considerarse las acciones y solicitaciones que el sistema de fachada le transmite. La unión entre la subestructura del sistema y el

cerramiento posterior debería ser prevista para que, durante el período de uso, no se sobrepasen las tensiones límite extremas o los valores límite de durabilidad.

Para ello, en la fase de proyecto se determinará en cada caso el valor de cálculo de los efectos de las acciones sobre la fijación, realizando las diferentes combinaciones de carga y aplicando los correspondientes coeficientes de mayoración y coeficientes de combinación indicados en dicho reglamento para verificar que la carga de diseño obtenida es menor o igual al valor de resistencia de diseño de la fijación.

4.3. Eficiencia energética

La fachada representa un sistema crucial en garantizar una eficiencia energética adecuada del edificio, ya que aproximadamente el 50% de las pérdidas de energía se producen a través de ésta.

La envolvente del edificio se caracteriza a través de las propiedades higrotérmicas de los materiales que la conforman:

- Conductividad térmica λ (W/mK);
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ;
- Densidad ρ (kg/m^3);
- Calor específico cp (J/kg.K).

Hormigones para piezas prefabricadas				
Material	HE			
	ρ kg / m³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Hormigón convencional	2400	1,90	1000	120
	2300	1,72	1000	120
	2200	1,57	1000	120
	2100	1,44	1000	120
	2000	1,32	1000	120
	1900	1,20	1000	120
	1800	1,12	1000	120
	1700	1,03	1000	120
	1600	0,97	1000	120
Hormigón con arcilla expandida sin otros áridos	700	0,22	1000	4
	600	0,19	1000	4
	500	0,16	1000	4
	400	0,13	1000	4
Hormigón con arcilla expandida como árido principal	1700	0,76	1000	6
	1600	0,68	1000	6
	1500	0,61	1000	6
	1400	0,55	1000	6
	1300	0,50	1000	6
	1200	0,44	1000	6
	1100	0,39	1000	6
	1000	0,35	1000	6
	900	0,30	1000	6
	800	0,27	1000	6
Hormigón con otros áridos ligeros	2000	1,50	1000	10
	1800	1,22	1000	10
	1600	0,59	1000	10
	1500	0,52	1000	10
	1400	0,46	1000	10
	1300	0,42	1000	10
	1200	0,37	1000	10
	1100	0,34	1000	10
	1000	0,30	1000	10
	900	0,27	1000	10
	800	0,65	1000	10
	700	0,74	1000	10
	600	0,83	1000	10
	500	0,94	1000	10
Hormigón celular curado en autoclave	1000	0,29	1000	6
	900	0,27	1000	6
	800	0,23	1000	6
	700	0,20	1000	6
	600	0,18	1000	6
	500	0,14	1000	6
	400	0,12	1000	6
	300	0,09	1000	6

Tabla.- Valores de las características higrotérmicas de los elementos prefabricados según el tipo de hormigón empleado. Fuente: Catálogo de elementos constructivos de España

Los edificios cerrados en sus fachadas mediante paneles de hormigón aportan dos características fundamentales para lograr la máxima eficiencia energética: resistencia térmica e inercia térmica, aunque tampoco debe olvidarse la reflectancia solar.

4.3.1. Resistencia térmica

La demanda energética exigida a la envolvente del edificio se define a través de los valores límite de resistencia (ó transmitancia) térmica exigidos a la misma. Estos valores límite dependen fundamentalmente de dos valores: el clima de la localidad, que tiene en cuenta si se está en régimen de invierno o régimen de verano y la carga interna de los espacios, en función de su uso, es decir, si son habitables o no habitables.

Ejemplo práctico de cálculo

Sección de fachada compuesta por las siguientes capas (del exterior al interior del edificio):

PH-M Panel macizo industrializado de hormigón

C Cámara de aire no ventilada

AT Aislante térmico

LH Fábrica de ladrillo hueco

RI revestimiento interior formado por un enlucido de yeso

	e (m)	λ [W/m·K]	Ri
Rse	-	-	0,04
PH-M	0,12	1,60	0,08
C	0,03	-	0,18
AT	x	0,035	R_{AT}
LH	0,07	0,32	0,22
RI	0,02	0,57	0,03
Rsi	-	-	0,13

Resistencia térmica total fachada $\boxed{0{,}68 + R_{AT}}$

A continuación, debe comprobarse en la norma de edificación aplicable el valor de resistencia térmica que deben ofrecer las fachadas. Por ejemplo, aplicando el Código Técnico de la Edificación español, para una vivienda en Burgos (España) con zona climática E1, le correspondería una transmitancia térmica de 0,57 W/m^2·K, y por tanto, una resistencia térmica de 1,75 m^2·K/W (= 1 / 0,57).

Por tanto:

$$0{,}68 + R_{AT} \geq 1{,}75\ m^2 \cdot K/W \rightarrow R_{AT} \geq 1{,}07\ m2 \cdot K/W$$

Utilizando un aislamiento térmico de poliestireno extruido (XPS) de λ = 0,035 W/m·K:

$R_{AT} = e_{AT} / \lambda \rightarrow e_{AT} = R_{AT} \cdot \lambda = 1{,}07\ m^2 \cdot K/W \cdot 0{,}035\ W/m \cdot K = 0{,}0375\ m \rightarrow$ ~~3,75 cm~~ Se redondea al número entero siguiente, es decir, 4 cm de aislamiento térmico de XPS

Rehaciendo nuevamente la tabla:

	e (m)	λ [W/m·K]	Ri	% contribución R_T
Rse	-	-	0,04	2,20
PH-M	0,12	1,60	0,08	4,12
C	0,03	-	0,18	9,88
AT	0,04	0,035	1,14	62,74
LH	0,07	0,32	0,22	12,01
RI	0,02	0,57	0,03	1,93
Rsi	-	-	0,13	7,14
Resistencia térmica total fachada			1,82	≥ RT normativa (zona E1; 1,75)

Esta tabla demuestra que, para lograr la resistencia térmica necesaria, el aislamiento térmico es el valor clave (62,74%), más allá de la contribución que aporten el resto de los materiales. Asimismo, se observa que el hormigón macizo aporta un 4,12% del total de la resistencia térmica total para este caso.

Como solución constructiva para conformar esa envolvente térmica podría incorporarse la plancha del aislamiento térmico dentro de la pieza (paneles sándwich), potenciando las posibilidades de estos elementos como sistema de cerramiento en edificios.

Pared simple

1 - Hormigón armado 2300 < d < 2500: 7 cm
2 - XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]]: 8 cm
3 - Hormigón armado 2300 < d < 2500: 9 cm
4 - Separación: 2.5 cm
5 - Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900: 2 cm
Espesor total: 28.5 cm

HE 1: Limitación de demanda energética

Um: 0.35 W/m²K

HR: Protección frente al ruido

Masa superficial: 403.50 kg/m²
Masa superficial del elemento base: 384.00 kg/m²
Caracterización acústica, Rw(C; Ctr): 56.8(-1; -7) dB

Hay que añadir que, para solidarizar la capa externa con la interna de hormigón, se dispone de conectadores, generalmente metálicos, concentrados en lugares adecuados para transmitir el peso de la capa exterior a la capa portante o actuar como armadura de rasante.

4.3.2. Inercia térmica

Se define masa térmica como la capacidad de los materiales de acumular y liberar calor. En cuanto a la inercia térmica, se refiere a la propiedad que adquiere el edificio para para amortiguar la influencia de la temperatura exterior sobre las condiciones térmicas interiores.

Figura.- Comparativa entre la evolución interna de la temperatura en dos recintos cerrados con materiales de alta y baja masa térmica

La masa térmica es un efecto natural, pasivo e inherente que cobra especial importancia en materiales pesados como el hormigón, y que tradicionalmente ha estado vinculada a las casas y edificios cerrados con piedra natural.

Sin embargo, las estrategias de diseño de eficiencia energética de los edificios han estado históricamente enfocadas a que los cerramientos garantizasen una resistencia o transmitancia térmica suficiente. Por contra, la inercia térmica implica un cálculo dinámico complejo (flujo de calor por convección y radiación) del que no hay métodos de estimación suficientemente extendidos lo que deriva en que sea una propiedad que apenas se considera durante el proyecto.

Existen diversas referencias en cuanto a cuál es la contribución que se puede obtener a partir de un uso preciso de la masa térmica en construcciones basadas en hormigón, lo cual depende de la influencia de otras variables como el tipo de edificio (alturas, configuración espacial), la orientación, la localización (zona climática), el grado de ocupación, etc. De todos ellos, se puede deducir que la mayor contribución al ahorro energético en los edificios de alta inercia térmica se suele producir en los meses más cálidos pudiendo alcanzar unos ahorros estimados en refrigeración de hasta un 20% y un 5% en calefacción.

La inercia térmica no funciona como un sustituto del aislamiento, porque al igual que una parte del calor absorbido y almacenado en la capa exterior de hormigón es irradiado otra vez hacia el exterior, otra parte es irradiada al interior, por lo tanto necesitamos una capa de aislamiento que impida que ese calor pase. Por ello, los paneles sándwich de hormigón prefabricado se consideran una buena solución, ya que combinan la inercia térmica proporcionada por las hojas de hormigón y el aislamiento de la hoja intermedia. Si estas dos propiedades son usadas de manera adecuada, se puede mejorar el rendimiento térmico del edificio.

Por tanto, es fundamental que la disposición de elementos constructivos de hormigón en fachada se vea acompañada de otras medidas de diseño que aseguren un efecto multiplicador, como pueden ser sistemas de ventilación forzada con caudal variable, dispositivos de sombreamiento, distribución de las ventanas, galerías acristaladas en las zonas de máxima insolación, estructuras activadas térmicamente (ej. integración de PCM´s, materiales de cambio de fase), etc. y que en definitiva, son ya algunas técnicas implantadas dentro de la denominada arquitectura bioclimática.

Figura.- Carpintería y acristalamiento de ventanas incorporado directamente en el panel en obra, antes de su montaje

4.3.3. Reflectancia solar

El índice de reflectancia solar (SRI) es la relación entre la cantidad de radiación solar reflejada por la superficie de un material y la cantidad que brilla en la misma, estando relacionado con el llamado “efecto isla de calor”. Las superficies con alta reflectancia son importantes cuando las necesidades de refrigeración son las principales (climas o épocas del año cálidas).

El color de la superficie del elemento influye notablemente: a color más oscuro, menor reflectancia solar.

Tipo de hormigón	**Índice de reflectancia solar (0 a 1)**
Hormigón envejecido	0,2 a 0,3
Hormigón con cemento gris	0,4 a 0,5
Hormigón con cemento blanco	0,7 a 0,8

4.4. Seguridad frente al fuego

Los sistemas compartimentadores de los edificios (forjados, divisiones interiores y cerramientos perimetrales) juegan un papel vital en la no propagación del fuego entre distintos locales o recintos en caso de producirse. Por esta razón, las fachadas deben también dimensionarse desde el punto de vista de la seguridad frente a los incendios.

En el caso de los muros no portantes, se recomienda que dispongan de una esbeltez geométrica (relación entre la altura del muro y su espesor) inferior a 40 y cumplan con las dimensiones mínimas indicadas en la siguiente tabla:

Resistencia a fuego	Espesor mínimo del panel (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Tabla.- Valores tabulados de la Tabla A.6.5.3.1. Instrucción de Hormigón Estructural española EHE-08, que coincide con la Tabla 5.3. del Eurocódigo Estructural 2

Para los muros portantes expuestos por una o por ambas caras, pueden tomarse los siguientes valores, que dependerán fundamentalmente del recubrimiento referido a la distancia mínima equivalente al eje de las armaduras de las caras expuestas:

Resistencia a fuego	**Espesor mínimo b_{min} / distancia mínima equivalente al eje a_{min} (mm)**	
	Muro expuesto por una cara	**Muro expuesto por ambas caras**
REI 30	100/15	120/15
REI 60	120/15	140/15
REI 90	140/20	160/25
REI 120	160/25	180/35
REI 180	200/40	250/45
REI 240	250/50	300/50

Tabla.- Valores tabulados de la Tabla A.6.5.3.2. Instrucción de Hormigón Estructural española EHE-08, que coincide con la Tabla 5.4. del Eurocódigo Estructural 2

4.5. Impermeabilidad

Uno de los requisitos fundamentales exigidos en todo proyecto constructivo es evitar el riesgo de que los usuarios puedan padecer molestias o enfermedades a causa de un mal diseño del edificio y de que éstos se deterioren o alteren perjudicialmente su entorno inmediato. Esto se consigue fundamentalmente evitando la entrada de agua o humedad al interior del edificio, a través de sus cerramientos exteriores.

De esta forma, la fachada debe proporcionar un grado de mínimo de impermeabilidad, que dependerá de aspectos como la zona pluviométrica, el grado de exposición al viento, si el edificio está ubicado en zona urbana (más protegido) o rural, la altura de coronación del edificio, etc.

Por ejemplo, los edificios altos con alto grado de exposición al viento y un gran riesgo de precipitaciones, el grado de impermeabilidad requerido es elevado y se necesitará diseñar una fachada lo más estanca posible, utilizando diferentes técnicas como la inclusión de láminas impermeabilizantes, cámaras de aire ventiladas, aislantes no hidrófilos o revestimientos continuos de fachada.

Si bien el cálculo del grado de impermeabilidad suele trascender al prefabricador, el hecho de que el panelado represente el elemento más exterior de la fachada, supone en ocasiones que deba demostrar la capacidad de éstos para contener la entrada de agua, siendo una vez más las juntas las zonas más vulnerables. En caso de que el edificio se sitúe en una zona con un régimen de lluvias elevado, se puede considerar añadir aditivo hidrofugante en la mezcla del hormigón. Otros elementos o capas de la fachada que, aunque ajenas al propio panel prefabricado, deberán contribuir a alcanzar la impermeabilidad mínima exigida, pueden ser una cámara de aire ventilada, la inclusión de barreras de vapor, etc. También es posible que el proyectista recurra al prefabricador para un diseño eficaz de la fachada que habilite distintas vías de evacuación del agua hacia el exterior o las bajantes del edificio.

4.6. Protección acústica

Todo edificio debe cumplir con una serie de requisitos mínimos que garanticen un aislamiento acústico adecuado, con motivo de limitar el riesgo de que los usuarios padezcan molestias debido al ruido, o que incluso puedan desencadenar en futuras patologías.

El principal problema acústico en fachadas es el ruido aéreo, con lo cual deberán dimensionarse de tal forma que garanticen un adecuado aislamiento a la transmisión de este tipo de ruido.

Como ya se ha indicado con anterioridad, el hormigón es un material masivo que ofrece un buen comportamiento a la transmisión de las ondas sonoras por el aire. El indicador que se suele utilizar es el índice global de reducción acústica ponderado A (RA) que es función del espesor de los paneles (e); para un hormigón de densidad 2.400 kg/m3, se obtiene mediante aplicación de la "Ley de masas": $m \geq 150$ kg/m^2 → $RA = 36{,}5 \cdot \log(m) - 38{,}5$ dBA.

Espesor panel (m)	**Masa (kg/m^2)**	**R_A (dbA)**
0,08	192	44,7
0,10	240	48,4
0,12	288	51,3
0,15	360	54,9
0,18	432	57,7

Las normativas de protección acústica en edificios suelen clasificar los recintos interiores en función del uso, que condicionará que se requiera un mayor o menor grado de protección frente al ruido. Por norma general, los paneles prefabricados de hormigón alcanzan o están cerca de lograr por sí solos (sin contar al resto de capas de la fachada) los niveles mínimos requeridos (≈50 dBA), aunque aquí influye también la proporción de huecos (ventanas y puertas) o cualquier otra discontinuidad de la parte "ciega" que pueden reducir el valor de aislamiento global.

4.7. Durabilidad

Los materiales están sometidos a la acción de diversos factores que pueden dar lugar a una progresiva modificación de sus propiedades. Las fachadas son además un elemento crítico dentro de la construcción debido por un lado a que suponen la primera barrera que protege de los agentes externos a la actividad interna del edificio, estando por tanto sujetos a una mayor incidencia de los fenómenos meteorológicos; y por otro, debe ser capaz de preservar tanto como sea posible la “belleza” estética inicial.

Como ya indicamos en la guía técnica de estructuras de edificación, todos los materiales, elementos, unidades de obra, etc., no reemplazables fácilmente deben mantener estables sus características durante un período de cincuenta años por lo menos, a condición de someterlos a un programa de mantenimiento normal.

El tratamiento reglamentario de los paneles prefabricados de hormigón no difiere del correspondiente a los elementos estructurales, por lo que al menos, deberán garantizarse los recubrimientos mínimos de las armaduras, la adecuada protección de los elementos metálicos de conexión frente a la corrosión, y definir desde proyecto las tareas rutinarias de mantenimiento, especialmente en lo que se refiere al repaso del sellado de las juntas.

En ciertas situaciones (edificio próximo al mar, lugares industriales, etc.), no son aconsejables los tratamientos superficiales del hormigón (lavado, chorro de arena, etc.), que podrían facilitar la penetración de sales agresivas.

4.8. Otras funciones

Las reglamentaciones de algunos países como Estados Unidos, sometidos con cierta frecuencia a la acción de desastres naturales de máxima incidencia como tornados o huracanes, establecen que determinadas construcciones deban quedar protegidas adecuadamente. Por tanto, se exige que las fachadas y sus componentes aseguren un nivel mínimo de protección, garantizado a través de ensayos en laboratorio e incluso en entorno real.

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Paneles prefabricados de hormigón para urbanización en Boadilla del Monte (Madrid)

La EMPRESA PREFABRICADORA ha participado en la construcción de 21 viviendas unifamiliares en La Cárcava - Boadilla del Monte (Madrid), suministrando los paneles de cerramiento, completando 13.000 m2 de fachada realizadas íntegramente con elementos prefabricados de hormigón y demostrando que la industrialización se puede y debe aplicarse también a las viviendas con las ventajas que supone en términos de rapidez de ejecución, mayor control de plazos y costes, (casi) nula generación de residuos o mejora de la seguridad en obra:

- Panel Arquitectónico autoportante prefabricado de hormigón blanco HA35, con Marcado CE, armado y vibrado, elaborado en taller a base de cemento blanco y áridos calizos, acabado exterior liso, dimensiones según planos, de 10 cm. de espesor, biseles en sus cantos de 10 por 10 mm., suficientemente armado en base a doble mallazo, refuerzos perimetrales;
- La fijación a la estructura del edificio se realiza mediante anclajes de acero cincado, formados por ménsulas de carga, perchas de cuelgue de regulación en altura, apoyos inferiores y tacos mecánicos, con situación y número determinados por planos de montaje.

5. FABRICACIÓN

5.1. Paneles pesados

La fabricación deberá estar planificada en coordinación con los intervinientes en la ejecución de la fachada, si ésta se va a acometer a continuación que es lo habitual. El orden de montaje marcará en principio la fabricación y el acopio de los paneles en la obra. Es fundamental que estos criterios se mantengan durante toda la ejecución de la fachada.

La fabricación de los paneles se realizan en moldes fijos; los más utilizados son los de chapa metálica. El tipo de molde empleado podrá tener una mayor o menor influencia en el acabado visto final de los elementos.

Los moldes deben diseñarse para resistir adecuadamente las presiones producidas por el hormigón fresco, manteniendo intacta su geometría sin deformaciones fuera de las tolerancias establecidas en el proyecto o por la norma.

El proceso suele transcurrir por una serie de etapas, independientemente de si se trata de un molde utilizado por vez primera, o reutilizado:

- La primera de ellas es la limpieza superficial de los restos de materia que hayan podido quedar adheridos al molde de anteriores fabricaciones;
- A continuación, se suele aplicar un desencofrante que facilite la extracción posterior de la pieza en el desmoldeo;
- El siguiente paso es la colocación del acero de armar, según las normas específicas que demande;
- Se colocan los elementos de anclaje y manipulación;
- Se vierte el hormigón, normalmente autocompactante;
- Tras un período, que puede ser de entre uno y dos días por método de fraguado natural, o bien un período menor en función de la utilización de métodos de calentamiento del molde o vaporización del hormigón o empleo de hormigones de alta resistencia inicial, la pieza se cura, procediendo después a la retirada de la misma, que conllevará los pasos de abertura del molde y extracción de la pieza. La apertura del molde se puede realizar por medios mecánicos o hidráulicos.

La colocación de los moldes suele ser en horizontal y continuo. En el caso de elementos superficiales (por ejemplo, paneles) puede prefabricarse en horizontal y una vez curado el hormigón y alcanzado una resistencia mínima, girarse 90º hasta su posición vertical por medio de dispositivos basculantes o de volteo.

Figura.- Volteo de panel en fábrica, una vez ha alcanzado una resistencia mínima para poder ser manipulado

Otra opción es prefabricar directamente en vertical, en los llamados moldes en batería, concebidos para la producción de elementos de hormigón armado de elevada superficie de una sola capa, sin necesidad de pretensado de la armadura ni dimensiones variables. La compactación del hormigón fresco se produce mediante una serie de vibradores especiales. La aplicación de un agente desencofrante adecuado es clave para conseguir una correcta ejecución de las superficies vistas.

Si se quiere dotar de texturas superficiales a las superficies vistas en los paneles, se debe recurrir al empleo de planchas de elastómeros o neopreno que llevan el negativo de la textura que se pretende crear, y se adhieren al fondo de los moldes. Los dibujos en la cara superficial se consiguen situando en la base del molde papel retardante con el negativo del dibujo que se pretenda conseguir, sin que esto suponga que se forme un relieve, sino que quedan grabados en la superficie de la pieza.

Figuras.- Algunos relieves superficiales

En el caso de paneles autoportantes que deberán fijarse a la estructura principal del edificio, deberán dejarse embebidos los anclajes que posteriormente servirán para enlazar, mediante soldadura o atornillado, con dicha estructura.

Otro aspecto importante a considerar es que dentro del panel pueden dejarse embebidas las instalaciones necesarias a colocar en fachada, lo que evita la ejecución de estas unidades en la obra, logrando una mayor agilidad de la construcción de la fachada y una menor generación de residuos.

5.2. Paneles ligeros

Su fabricación es prácticamente artesanal, generalmente mediante el proyectado (*sprayed*) de la mezcla con pistola que corta la fibra de vidrio y la mezcla con el mortero, sobre un molde de las dimensiones del panel a fabricar. Como alternativa, aunque más bien orientada a paneles de GRC de menores dimensiones, se puede verter la mezcla directamente sobre el molde (*premix*).

Por ejemplo, el proceso de fabricación de los paneles de GRC tipo sándwich sería el siguiente:

- Ejecución del molde;
- Limpieza del molde;
- Preparación del molde;
- Aplicación del desencofrante;
- Proyección primera capa;
- Compactación con rodillo;
- Proyección segunda capa;
- Compactación;
- Colocación del poliestireno y preparación de los huecos para los anclajes (zona maciza);
- Proyección primera capa (capa no vista);
- Compactación con rodillo;
- Proyección segunda capa (capa no vista);
- Compactación;
- Colocación de anclajes;
- Curado;
- Desmoldeo e izado;
- Repaso;
- Almacenamiento.

La materia prima clave en este caso es la fibra de vidrio, que deberá ser resistente a los álcali, teniendo un contenido mínimo de óxido de zirconio del 16%.

6. MONTAJE

6.1. Paneles pesados

6.1.1. Paneles autoportantes

La puesta en obra de paneles prefabricados de hormigón con función de cerramiento (autoportantes) tiene como puntos clave garantizar el correcto ensamblaje con la estructura, el sellado de las juntas entre paneles para asegurar la impermeabilidad de la fachada y, en el caso de las fachadas con un valor estético (uso de hormigón arquitectónico) una cuidada ejecución para responder fielmente a las exigencias de proyecto.

En este caso, previo al montaje de los paneles, se habrá realizado la estructura que soportará las cargas transmitidas por éstos.

No entraremos en detalle de la colocación de otras posibles capas de la fachada, como aislamientos térmicos, barreras de vapor, etc.

1) Manipulación y acopio en obra: para la elevación se utilizan eslingas o cadenas adecuadas al peso que se anclan en elementos de izado embebidos en el trasdós de los paneles, y que pueden ser de varios tipos como bulones y casquillos roscados.

Figuras.- Tipos de anclajes embebidos en el panel prefabricado

Al tratarse de elementos que van a quedar vistos, hay que prestar una atención especial en la manipulación, sobre todo en la fase de ejecución, pues cualquier daño por pequeño que fuese obligaría a alguna reparación cosmética y en último caso a la restitución total del panel.

Si se realiza almacenamiento previo en obra, los paneles descansarán sobre peines metálicos o caballetes encima de una cama de arena o tablones de madera. Es muy

importante mantener la verticalidad de los paneles, así como el acuñado de los mismos, o en su defecto, un apoyo ligeramente inclinado. En este caso, hay que mantener especial cuidado en no acumular las cargas hacia un mismo extremo, ni en el mismo lado del peine. Los paneles deben ubicarse en una zona con accesibilidad a camiones y grúas. Hay que prestar especial atención al viento mientras se manipulan los paneles, utilizando siempre todos los puntos de izado existentes en dichas piezas;

2) Preparación: antes de comenzar con la puesta en obra, es necesario replantear los paneles sobre la estructura portante y establecer un correcto reparto de juntas que permita absorber pequeños errores de ejecución anteriores;

3) Puesta en obra: se iza el panel hasta la posición prevista. Desde el borde superior se nivela el panel hasta fijarlo correctamente en los tres ejes;

4) Uniones: el anclaje de los paneles es un aspecto crítico debido a la importancia estructural y a que influye de manera significativa en el tiempo final de ejecución. Cada fabricante suele contar con un sistema propio de uniones, pero en general, se pueden dividir en:

a. Uniones secas: se utilizan en la unión del panel con la estructura. Mediante tornillos de acero galvanizado o inoxidable, o soldadura, se ancla la pieza embebida en el panel con otra parte metálica de la estructura (generalmente una placa colocada a tal fin). Para no ralentizar el trabajo de manipulación de la grúa o medio elevador, se suelen realizar unos puntos de soldadura previos entre estos mecanismos de unión, con lo que se fija el panel provisionalmente, antes de repasar correctamente las soldaduras más adelante. No se precisan morteros ni hormigones para la ejecución.

Figura.- Esquema unión seca

b. Uniones húmedas: se aplican en las uniones entre paneles. Se calzan con cuñas para su nivelación y posteriormente se hormigona in situ la unión.

Figura.- Esquema unión húmeda

Las uniones deben ser simétricas en los paneles, dispuestas a 1/5 de la longitud del panel aproximadamente. Deben ser realizadas por personal cualificado que acceda mediante plataformas elevadoras.

5) Juntas: la dimensión de estas juntas viene determinada por el tamaño de los paneles, siendo 10 mm el espesor más habitual. El correcto sellado de las uniones entre paneles es de gran importancia ya que de esto dependerá la estanqueidad y la resistencia al viento de la fachada. Deben además adaptarse a los movimientos de dilatación y contracción ocasionados por la acción

térmica. El sellado se realiza por el exterior de los paneles con productos elásticos de la siguiente manera:

a. Limpieza: para garantizar la adherencia se limpia la junta y se aplica una imprimación en los bordes.

b. Obturación: en el interior de las juntas se puede disponer de un perfil que haga de fondo para el relleno del material sellante, o bien un cordón de neopreno (menos durable). Además de servir de guía para el propio montaje de los paneles, permite el control de profundidad del sellado optimizando el consumo del mismo y logrando un relleno eficaz y completo.

c. Sellado: en juntas horizontales se aplica un mortero de retracción controlada, mientras que en las verticales se utiliza una silicona o poliuretano.

Se recomienda cierto grado de especialización y experiencia por parte del aplicador del sellado, ya que en gran medida la durabilidad y conservación de las prestaciones de la fachada dependen de una ejecución adecuada.

Figuras.- Sellados de junta horizontal entre paneles (vista girada)

En el mercado se dispone de una amplia variedad de materiales sellantes como son la silicona neutra y el poliuretano, incluso pueden estar disponibles con determinadas tonalidades con las que el proyectista de la fachada pueda jugar en combinación con el acabado de los paneles y lograr el efecto formal deseado.

6) Una vez montada toda la planta, y admitiendo tener otra planta completa encima, se procede a la ejecución de todos los cordones de soldadura, limpieza e imprimación para protección de anclajes y mortero de cemento, cuando proceda.

Debido a las particularidades de este sistema constructivo, se pueden establecer una serie de recomendaciones de seguridad:

- Utilización de plataformas elevadoras para los trabajos en altura: fijación y anclaje de los paneles, sellado de juntas, así como para soltar las sujeciones de las grúas;
- Siempre que sea posible, estos trabajos se realizarán desde el interior de la estructura, aproximándose al borde con la protección del arnés de seguridad, para lo que se habrán previsto puntos de anclaje y líneas de vida;
- Las tareas de manipulación de los paneles deben hacerse mediante eslingas o cadenas ancladas a los elementos de sujeción con ayuda de cuerdas para dirigir el movimiento;
- La ejecución se realizará de manera ordenada: no se colocará un panel hasta que no se finalice por completo el inferior;
- Siempre que se tire de varios puntos de suspensión, se deberá asegurar antes del izado, que la carga se soporta por igual entre todos y cada uno de los puntos.
- No se debe soltar el panel de la grúa hasta que se haya asegurado su estabilidad.

Figura.- Secuencia de montaje de paneles de hormigón sobre estructura metálica

6.1.2. Paneles portantes

La puesta en obra se realiza de manera similar que en el caso anterior, aunque se deben tener en cuenta unas consideraciones propias como consecuencia de que los paneles actúan de cerramiento y estructura al mismo tiempo:

1) Preparación: el replanteo de los paneles se lleva a cabo marcando en el forjado sobre el que se va a colocar el panel la posición de la junta para detectar cualquier anomalía;

2) Puesta en obra: se iza el panel hasta la posición definida. Desde el borde superior se nivela y se aploman los cantos laterales. Se apuntalan desde el interior los paneles para mantener la nivelación. Al carecer de estructura de soporte, los paneles no quedan fijos hasta que se colocan los forjados superiores;

3) Uniones: se realizan las conexiones entre los paneles de la misma forma que se hace con los autoportantes, tanto por unión seca como húmeda. Antes de que el panel entre en carga, se rellena con mortero la superficie entre un cordón generalmente de caucho y la cara interna del panel. De este modo se consigue la unión entre el panel y el forjado;

4) Juntas de sellado: de forma similar a los paneles autoportantes.

6.2. Paneles ligeros

El sistema no contribuye a la estabilidad de la construcción, por lo que previo al proceso de montaje, la dirección de obra debe asegurarse de que la estructura del edificio cumple con las dimensiones descritas en el proyecto, de modo que el montaje de los paneles pueda llevarse a cabo dentro de las tolerancias definidas en proyecto.

La estructura auxiliar, que no suele suministrar el fabricante de GRC, se realiza mediante elementos adecuados metálicos o eventualmente de hormigón. Todos los accesorios metálicos de fijación deben ser resistentes a la corrosión, de forma que su durabilidad sea equivalente, al menos, a la del panel.

Este panel se va a caracterizar por ser autoportante, sin embargo, se debe tener en cuenta su gran ligereza:

1) Manipulación y acopio en obra: la manipulación de los paneles se puede realizar de varias maneras:

- Si se trata de un panel GRC ligero se puede manipular a mano;
- Los paneles tipo sándwich en función de su peso se pueden manipular a mano o con ayuda de maquinaria de elevación sujetándolo con cintas;
- En el caso de los paneles *stud-frame* se utiliza sistemas de izado anclados al bastidor metálico.

Figura.- Almacenamiento de paneles en peines metálicos

2) Replanteo: esta etapa, previa al montaje como tal, es esencial para la buena puesta en obra definitiva, y en la que se comprobarán los niveles y plomadas de los distintos forjados, las dimensiones de la estructura (tanto de los elementos horizontales como verticales), el reparto de las juntas entre paneles de forma que permita absorber las tolerancias de ejecución de la estructura y la posición de las placas de anclaje y de la estructura auxiliar;

3) Posicionamiento: con los mismos elementos que en la descarga se traslada el panel a la zona de montaje y se coloca el panel en planta;

4) Puesta en obra: se iza el panel hasta la posición final. Desde el borde superior se nivela y se aploman los cantos laterales;

5) Uniones: el anclaje de estos paneles entre sí se realiza mediante uniones húmedas. Pero el anclaje a la estructura se puede realizar de varias formas (mediante unión seca, en cualquier caso):

- En los paneles lámina de GRC, la unión se realiza mediante piezas elásticas auxiliares que permiten el movimiento por acciones térmicas;
- Los paneles sándwich se unen de manera similar, realizando las fijaciones en zonas macizadas con GRC;
- En los paneles *stud-frame* se realiza una unión mediante el bastidor del panel a la estructura.

6) Juntas: de igual importancia en este caso es el correcto sellado de las juntas;

7) Tratamientos posteriores de acabado, si los hubiere (anti-graffiti, pinturas, etc.)

Después de este proceso, en función del tipo de panel, se podrá realizar un aislamiento térmico en la parte interior del panel (excepto en los paneles sándwich, sí garantizan ya por sí solos la resistencia térmica mínima exigida para la fachada).

7. MANTENIMIENTO

En las fachadas, los trabajos de mantenimiento (o conservación) suelen conllevar cierto grado de molestia sobre los usuarios de los edificios (colocación de medios auxiliares como andamios, poco hábito a este tipo de obras que inhabilitan la fachada durante varios días o semanas, etc.)

Para mantener las prestaciones de los paneles de hormigón durante la vida de la fachada, además de los criterios que se han tenido en cuenta en el proyecto y las características propias del hormigón, se deben tener en cuenta unas sencillas recomendaciones:

- Inspección visual de la fachada en un periodo máximo de 5 años, observando si aparecen fisuras o humedades, roturas, deterioros, desprendimientos, daños en los sellantes o cualquier otro tipo de lesión en los paneles o en las juntas;

- Una limpieza de la fachada debida a la contaminación y al polvo, en un periodo entre 5 y 10 años, que tenderá a acortarse en aquellas fachadas con un valor añadido desde el punto de vista estético. Existen distintas técnicas, como agua a presión o productos químicos limpiadores que no alteran la tonalidad de la fachada;

- Inspecciones visuales del sellado de las juntas entre paneles para garantizar la impermeabilidad exigida a la fachada, cada 10 años aproximadamente. En caso de deterioro de la junta, se deberá retirar el sellado, se limpiarán los bordes y se aplicará el nuevo sellado.

8. SOSTENIBILIDAD

8.1. Generalidades

A medida que ha ido incrementándose la conciencia ambiental en la sociedad, las empresas se han dado cuenta de la enorme importancia de evaluar cómo afectan sus actividades al medio ambiente. Ante esta creciente demanda, las empresas deben responder ofreciendo productos más ecológicos, empleando procesos de producción “más limpios". Una de las herramientas que se pueden aplicar para mejorar los productos y los procesos es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siendo el soporte de las declaraciones ambientales de producto (DAP).

8.2. Declaración ambiental de producto (DAP) de paneles prefabricados de hormigón

8.2.1. ¿Qué es una DAP?

Una DAP plasma, en un documento verificado por una tercera parte independiente, los resultados de esa evaluación ambiental objetiva. El contenido de esa DAP y los detalles de lo que hay que considerar en el estudio de ACV correspondiente vendrá definido bien en una norma, en este caso en la UNE-EN 16757 “Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón”, que a su vez se referencia en la norma europea UNE-EN 15804, que establece unas reglas de categoría de producto (RCP) comunes para el sector de la construcción. De esta forma, la DAP proporcionará un perfil ambiental basado en datos cuantificados y verificables, empleando una serie de categorías de impacto normalizadas.

En la construcción, una declaración ambiental de producto es una importante herramienta para valorar las características de sostenibilidad de los diferentes materiales de construcción que van a utilizar en sus proyectos. Poco a poco comienza a ser una información demandada por promotores (como factor de diferenciación), administraciones (para implementar los compromisos en materia ambiental), usuarios (creciente sensibilización hacia el medio ambiente) u otros agentes. Especialmente están dirigidas a obras que se certifiquen conforme a sistemas de certificación de la sostenibilidad, siendo los más implantados las herramientas LEED y BREEAM, y estos estar orientados a edificios de titularidad privada. También comienza a observarse una mayor sensibilización en la obra pública, pudiendo el componente medioambiental y/o

social ser un criterio a puntuar en la contratación. Además, da respuesta a una de las novedades que introdujo el Reglamento Europeo de Productos de Construcción con el nuevo requisito “Uso sostenible de los recursos naturales”.

Las DAP sectoriales resultan útiles cuando diferentes empresas fabricantes del mismo tipo de producto se agrupan para recopilar en conjunto los datos del inventario de ciclo de vida del producto y mostrar la información “media” de los resultados como representativos.

Por esta razón, ANDECE ha realizado seis DAP sectoriales entre sus empresas asociadas, una de las cuales, relativa a los paneles prefabricados de hormigón, distinguiendo entre paneles de hormigón armado con acero (pesados y con fibras de acero) y paneles de hormigón armado con fibra de vidrio (GRC).

8.2.2. Declaración de los parámetros ambientales derivados del ACV

8.2.2.1. Paneles de hormigón armado con acero

CATEGORIA DE IMPACTO	PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
			ETAPA DE PRODUCTO			
			A1	A2	A3	A1-A3
Calentamiento global (kg CO2 eq)	Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	1,4E+02	3,4E+01	3,7E+00	1,8E+02
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC 11 eq)	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	1,3E-05	6,3E-06	1,1E-06	2,0E-05
Acidificación del suelo y el agua (kg SO2 eq)	Potencial de acificiación del suelo y de los recursos de agua	kg SO2 eq	3,8E-01	1,2E-01	2,5E-02	5,2E-01
Eutrofización (kg PO4 eq)	Potencial de eutrofización	kg (PO4)eq	9,3E-02	2,2E-02	1,8E-03	1,2E-01
Formación de ozono fotoquímico (kg Etileno eq)	Potencial de formación de ozono troposférico	kg Etileno eq	3,5E-02	4,3E-03	5,0E-04	4,0E-02
Agotamiento de recursos abióticos - elementos (kg Sb eq)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles	kg Sb eq	-6,2E-04	1,3E-07	4,2E-07	-6,1E-04
Agotamiento de recursos abióticos - comb. fósiles (MJ)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósicles	Mj valor calorífico neto	1,1E+03	4,9E+02	8,9E+01	1,7E+03

8.2.2.2. Paneles de hormigón armado con fibra de vidrio

CATEGORIA DE IMPACTO	PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
			ETAPA DE PRODUCTO			
			A1	A2	A3	A1-A3
Calentamiento global (kg CO2 eq)	Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	1,2E+02	8,0E+00	5,9E-01	1,3E+02
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC 11 eq)	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	1,1E-05	1,5E-06	5,2E-07	1,3E-05
Acidificación del suelo y el agua (kg SO2 eq)	Potencial de acificiación del suelo y de los recursos de agua	kg SO2 eq	3,2E-01	2,8E-02	3,9E-03	3,5E-01
Eutrofización (kg PO4 eq)	Potencial de eutrofización	kg (PO4)eq	7,7E-02	5,3E-03	3,8E-04	8,3E-02
Formación de ozono fotoquímico (kg Etileno eq)	Potencial de formación de ozono troposférico	kg Etileno eq	3,5E-02	1,0E-03	-5,1E-05	3,6E-02
Agotamiento de recursos abióticos - elementos (kg Sb eq)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles	kg Sb eq	-4,2E-04	3,0E-08	1,9E-07	-4,2E-04
Agotamiento de recursos abióticos - comb. fósiles (MJ)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósicles	Mj valor calorífico neto	1,0E+03	1,2E+02	3,7E+01	1,2E+03

8.2.3. Uso de recursos

8.2.3.1. Paneles de hormigón armado con acero

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,32E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,32E+01
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,80E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,80E+01
Uso total de la energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	7,12E+01	0,00E+00	0,00E+00	7,12E+01
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	8,78E+02	0,00E+00	0,00E+00	8,78E+02
Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,09E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,09E+02
Uso total de la energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	1,19E+03	0,00E+00	0,00E+00	1,19E+03
Uso de combustibles secundarios renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,24E+01	1,47E+00	7,91E+00	3,17E+01
Uso de combustibles secundarios no renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	4,18E+01	4,80E+02	9,21E+01	6,13E+02
Uso de materiales secundarios (kg)	KG	4,17E+01	7,76E-02	5,14E-01	4,23E+01
Uso neto de recursos de agua dulce (m3)	M3	6,10E+01	2,80E-02	2,19E-02	6,10E+01

8.2.3.2. Paneles de hormigón armado con fibra de vidrio

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,85E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,85E+01
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,62E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,62E+01
Uso total de la energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	5,47E+01	0,00E+00	0,00E+00	5,47E+01
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	7,52E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,52E+02
Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,13E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,13E+02
Uso total de la energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	9,65E+02	0,00E+00	0,00E+00	9,65E+02
Uso de combustibles secundarios renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,34E+01	3,49E-01	1,46E+00	2,52E+01
Uso de combustibles secundarios no renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	1,42E+02	1,14E+02	3,39E+01	2,90E+02
Uso de materiales secundarios (kg)	KG	3,08E+01	1,85E-02	1,80E-01	3,10E+01
Uso neto de recursos de agua dulce (m3)	M3	2,14E+01	6,65E-03	4,60E-03	2,14E+01

8.2.4. Categorías de residuos y flujos de salida

8.2.4.1. Paneles de hormigón armado con acero

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Residuos peligrosos eliminados (kg)	kg	3,33E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,33E-01
Residuos no peligrosos eliminados (kg)	kg	2,95E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,95E-01
Residuos radiactivos eliminados (kg)	kg	1,54E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-06

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Componentes para su reutilización (kg)	kg	5,55E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,55E+00
Materiales para el reciclaje (kg)	kg	3,04E-02	0,00E+00	0,00E+00	3,04E-02
Materiales para valorización energética (recuperación de energía) (kg)	kg	3,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,65E-01
Energía exportada (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

8.2.4.2. Paneles de hormigón armado con fibra de vidrio

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Residuos peligrosos eliminados (kg)	kg	2,30E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,30E-01
Residuos no peligrosos eliminados (kg)	kg	2,04E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,04E-01
Residuos radiactivos eliminados (kg)	kg	1,33E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-06

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Componentes para su reutilización	kg	3,82E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,82E+00
Materiales para el reciclaje	kg	2,40E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-02
Materiales para valorización energética (recuperación de energía)	kg	3,16E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,16E-01
Energía exportada	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

8.3. Otras ventajas sostenibles de los paneles prefabricados de hormigón

El hecho de que un producto disponga de una DAP no implica necesariamente que sea medioambientalmente mejor que otro que no lo tenga, pero sí la información que se obtenga como elemento imprescindible para mejorar el comportamiento ambiental (por ejemplo, identificar puntos de mejora para reducir el consumo eléctrico o de agua asociado, sin menoscabo de sus prestaciones).

Esta DAP considera el alcance “de la cuna a la puerta” incluyendo todas las etapas del ciclo de vida del producto hasta la puerta de la fábrica como producto terminado.

Figura.- Etapas y módulos de información para la evaluación de edificios. Ciclo de vida del edificio

El periodo de “cuna a puerta” sólo cubre la parte inicial del proceso, siendo el más habitual de los productos de construcción ya que en la mayoría de los casos son componentes que quedan integrados dentro de sistemas constructivos dentro del edificio o de la infraestructura, que es sobre la que es más razonable analizar todo el ciclo de vida. En el caso de los elementos prefabricados de hormigón, no se cuantifican así algunas de las características diferenciadoras como la mayor durabilidad, la inercia térmica, la carbonatación o su potencial de

reciclabilidad/reutilización al final de su vida útil, que se analizarían en el caso de abordar el ciclo de vida completo. Por tanto, cabe pensar que en próximos estudios sea recomendable hacer un análisis de ciclo de vida completo para poner en valor dichas ventajas atendiendo a su comportamiento medioambiental.

8.3.1. Durabilidad

De todas las características que debe tener un material o un sistema constructivo, probablemente la durabilidad suponga la más importante en un enfoque sostenible. Un material, por muy baja carga ambiental tenga en su origen, si no es durable no puede ser sostenible.

La durabilidad de los elementos prefabricados de hormigón, especialmente aquellos con fines estructurales, es una de sus características más reconocidas. El hecho de ser fabricado en un entorno protegido de las condiciones ambientales adversas y que sea resultado de un proceso industrial bajo un sistema de control de producción en fábrica, permite asegurar una vida útil superior a la establecida reglamentariamente (50 ó 100 años).

La producción de elementos prefabricados de hormigón con operaciones repetitivas bajo condiciones climáticas controladas permite un control preciso de los productos, como son por ejemplo las tolerancias de producción y la calidad del hormigón. Esto permite una mejor utilización de los materiales y, como consecuencia, un menor consumo de materiales. La capacidad de control del proceso de producción permite tolerancias estrictas, que en sí mismo serán favorables para la posibilidad de utilizar eficazmente los materiales.

En definitiva, la posible generación de residuos y/o necesidad de extraer nuevos recursos con que producir nuevos elementos destinados a nuevas construcciones se amortizan en un periodo de tiempo más largo.

8.3.2. Eficiencia energética [+]

Como ya se comprobó en el apartado anterior, los paneles prefabricados de hormigón, especialmente los pesados, aportan inercia térmica al edificio que adecuadamente aprovechada pueden incrementar significativamente la eficiencia energética de éste y reducir así las necesidades de climatización.

Por tanto, es fundamental que la disposición de elementos constructivos de hormigón se vea acompañada de otras medidas de diseño que aseguren un efecto multiplicador, como pueden ser sistemas de ventilación forzada con caudal variable, dispositivos de sombreamiento, distribución de las ventanas, galerías acristaladas en las zonas de máxima insolación, estructuras activadas térmicamente, etc. y que en definitiva, son ya algunas técnicas implantadas dentro de la denominada arquitectura bioclimática.

Figura.- Los paneles prefabricados de hormigón combinan de forma idónea con cualquier otro elemento de las fachadas

8.3.3. Carbonatación

La carbonatación es un proceso químico por el cual los elementos de hormigón pueden llegar a reabsorber una parte importante del CO2 que previamente ha sido emitido en fases anteriores, fundamentalmente en la producción del cemento, contribuyendo así positivamente a las cada vez más estrictas regulaciones en materia medioambiental y de emisiones.

Figura.- Estimación de porcentaje de carbonatación (absorción de CO_2 / emisiones de CO_2 en fabricación de materias primas) para una perspectiva a 100 años: 70 años de vida de servicio de la estructura de hormigón + 30 años después de la demolición. Fuente: "The CO_2 uptake of concrete in a 100-year perspective". Claus Pade, Maria Guimaraes. 2006

8.3.4. Descontaminación

Estas políticas medioambientales estrictas están impulsando a tecnologías que mejoren el ambiente que respiramos.

Es en el caso de superficies exteriores donde se ha probado más la tecnología descontaminante aplicada a elementos de hormigón, ya que es donde mayor interés ha habido por mitigar los efectos perjudiciales de la polución ambiental. Por medio de ésta se puede eliminar una parte de los contaminantes presentes en las zonas residenciales o industriales, como los óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (COV´s), etc.

Figura.- Colocación de paneles del proyecto "ETIXc" para el desarrollo de un sistema de aislamiento térmico prefabricado para envolventes de edificación con acción descontaminante y autolimpiante. Edificio Kubik de TECNALIA

8.3.5. Reutilización al final de la vida útil [+]

Este requisito ya es considerado en certificaciones de la sostenibilidad de los edificios que puntúan positivamente el empleo de elementos reutilizados, destacando también algunos proyectos de investigación en que participan empresas de prefabricados para lograr soluciones de diseño que permitan no sólo la reutilización posterior de las piezas, sino intermedias por si se produce algún cambio de uso de los edificios que requiera una modificación de la distribución de los espacios internos; o también como sistemas de aislamiento térmico por el exterior de paneles prefabricados con hormigón arquitectónico para rehabilitación de edificios, extender la vida útil de las fachadas y revalorizar los inmuebles.

9. METODOLOGÍA BIM

9.1. Conceptos básicos

La metodología BIM (modelado de información de la construcción) es un fenómeno imparable que irremediablemente empieza a cambiar la forma en que se ha concebido la construcción hasta ahora. Alineada con la llamada Industria 4.0 o Construcción 4.0, BIM viene fundamentalmente a "poner orden" en los proyectos de construcción, estableciendo mecanismos que permiten a todos los agentes participantes (estudios de arquitectura, consultoras e ingenierías, direcciones de proyecto y obra, empresas constructoras y subcontratistas, proveedores de materiales de construcción, administraciones, gestores de edificios e infraestructuras, etc.) establecer una comunicación más fluida, basándose en el desarrollo y acceso a modelos tridimensionales virtuales del edificio o infraestructura que se comparten, y que contienen información más allá de la geométrica con el fin de facilitar su uso en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto.

El sector de la construcción debe afrontar este salto hacia la digitalización de los proyectos, algo que atañe especialmente a los fabricantes y proveedores de productos de construcción, elementos imprescindibles para realizar cualquier proyecto constructivo.

En la etapa pre-BIM, cada proyecto, véase un edificio, se componía a su vez de determinados sub-proyectos (estructura, fachadas, instalaciones, accesos, etc.) que se han diseñado y ejecutado mayoritariamente mediante planos, y de forma independiente y a veces contradictoria (por ejemplo, una tubería que se define por donde ya transcurre una columna), provocando un número muchas veces elevado de errores que se manifiestan fundamentalmente durante la fase de ejecución, con los consecuentes perjuicios en plazos y costes.

En cambio, BIM actúa como una gran base de datos de todos los elementos que forman parte de un proyecto de construcción. Cada elemento está catalogado, por así decirlo, y cada cambio que pueda realizarse (por ejemplo, un panel de fachada cuya posición se cambia por un determinado motivo) permite visualizar cualquier alteración de los elementos adyacentes (por ejemplo, las conexiones con los pilares y/o forjados en los que apoya). Además, al ir incluyendo y refinando información a lo largo del proyecto, se genera un historial donde se archivan las decisiones tomadas, los datos de los materiales y los servicios realizados con la conformidad legal adecuada.

Por estos motivos, el uso creciente de BIM representa una oportunidad ideal para la consolidación definitiva de la industria de los elementos prefabricados de hormigón. La metodología BIM y especialmente la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón se basan en parámetros similares: control más exigente desde la fase de diseño, un estricto cumplimiento de la geometría y la posición de los distintos elementos constructivos, mayor calidad, costes y plazos controlados y, como consecuencia de todo ello, mayor eficiencia al término de la obra.

9.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados

9.2.1. El salto a BIM

Cada vez más, cualquier fabricante que aspire a participar en proyectos desarrollados bajo esta metodología, deba desarrollar antes un catálogo de productos en lenguaje electrónico BIM que permita a los proyectistas utilizar y conocer esta información. Se pasa de una información técnica basada en planos o ficheros de texto, a archivos digitalizados legibles por software BIM. La forma de transformar esta información en BIM diferirá según el tipo de fabricante: su magnitud, capacidad técnica y económica, ámbito geográfico de actuación, etc. Para ello, es fundamental que el fabricante digitalice su catálogo de producto, algo que será más o menos complejo en función básicamente del grado de estandarización de los elementos. En el caso de los elementos con aplicaciones estructurales, cada fabricante cuenta con una serie de secciones y características tipo que habrá que adaptar para cada proyecto específico, pudiendo encontrarnos además con un número elevado de elementos variados dentro de un mismo proyecto.

9.2.2. Nivel de información de los objetos

Otra decisión que subyace en este sentido es qué cantidad de información debe incorporarse en BIM, para lo cual habrá que decidir qué debe incluirse y qué no (por ejemplo, características que no sean relevantes para el proyecto, o prefieran omitirse por ser información confidencial, etc.) y qué nivel de parametrización (optimizar el número de objetos a desarrollar, agrupándolos por ciertas características/parámetros). La información que contendrán los objetos puede clasificarse de la siguiente forma:

- Geometría: se puede definir con exactitud (largo x ancho x alto), o bien parametrizar dejando abiertas las dimensiones, definiendo un rango para cada dimensión y/o fijar un valor exacto que sea representativo (por ejemplo, paneles de hormigón armado de espesor 10 cm);

- Datos básicos: pueden ser las características esenciales que presentan las normas armonizadas de producto, referencia para los prefabricados con marcado CE (por ejemplo, tomando los valores que ya vienen definidos en la documentación de marcado CE, como es el caso de las Declaraciones de Prestaciones);

- Otros datos: información que el fabricante puede adicionalmente asignar al objeto BIM, ya sea de tipo cuantitativo (precio por m^2, texturas superficiales, etc.) y/o cualitativo (marketing, instrucciones de montaje, etc.).

9.2.3. Desarrollo de objetos BIM

Una de las decisiones que debe tomar la empresa es si el desarrollo de objetos BIM de su catálogo de productos se lleva a cabo con personal propio (departamento técnico, delineantes, etc.) o si es preferible recurrir a una entidad especializada externa. En el caso de los fabricantes de estructuras en que, por magnitud de la empresa, y en que predominen los elementos poco estandarizados que dependen de cada proyecto, cabe esperar que la empresa apueste por la ir formando a personal propio para que adquiera las competencias necesarias en el uso de herramientas de modelado BIM y generar una biblioteca propia y ampliable en el tiempo.

9.3. Plataformas de objetos BIM

Es esencial apuntar la importancia que están adquiriendo las plataformas BIM de objetos de construcción, que presentan un número creciente de archivos digitales de productos y sistemas de construcción, tanto de fabricantes con productos específicos como de productos genéricos. Estas plataformas equivalen a buscadores de productos de construcción, donde aparecen todos aquellos productos de empresas que tienen objetos BIM con información geométrica y de otras características.

Cabe destacar la iniciativa llevada a cabo por ANDECE colaborando con algunas de estas plataformas para presentar una galería de productos prefabricados de hormigón

representativos, con el objetivo de enseñar a las empresas asociadas el camino a emprender en esta evolución digital hacia la metodología BIM.

9.3.1. BIMETICA

De origen español, la base de datos continúa creciendo gracias a la colaboración activa de diferentes fabricantes y asociaciones empresariales, que añaden nuevos productos y actualizan los datos continuamente. Gracias a ello, cualquier usuario puede acceder gratuitamente a la información de los productos y descargar los objetos BIM como familias Revit, objetos Archicad, archivos IFC, archivos AECOsim, archivos CAD 2D/3D, especificaciones técnicas, etc. con información detallada que puede integrarse directamente en el proyecto.

Figura.- Ventana de presentación del panel de hormigón en la galería BIMETICA

+info: Galería de productos genéricos de ANDECE en BIMETICA [+]

9.3.2. BIM&CO

De origen francés, BIM&CO ofrece una plataforma de colaboración internacional para contratistas y fabricantes de productos de construcción con el objetivo de estructurar y distribuir sus datos a todas las partes involucradas en los procesos de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción.

Figura.- Presentación de los objetos genéricos de ANDECE en la plataforma BIM&CO [+]

Ejemplo de contenidos del objeto genérico "Panel de hormigón" desarrollado directamente por ANDECE dentro de la plataforma BIM&CO

- Información general: datos creación, enlaces útiles (por ejemplo, al buscador de fabricantes de la web de ANDECE al tratarse de un producto genérico), código QR para poder descargarlo, etc.
- Fotografías seleccionadas de los elementos.
- Modelos 3D para descarga en el/los software en que se haya desarrollado (en este caso REVIT).
- Documentos adicionales: libertad para añadir información técnica, comercial, etc. que el fabricante quiera añadir.
- Propiedades y variantes: descripción técnica del elemento (por ejemplo, clasificado por los distintos espesores habituales).
- Clasificaciones según los estándares más reconocidos globalmente.
- Países de distribución: se puede dejar abierto, o acotarlo al país/países donde se comercialice el producto para concentrar la atención en un área geográfica determinada.

9.4. Entrada del prefabricador al proyecto

Los proyectos con sistemas constructivos con elementos prefabricados de hormigón deben definirse de forma completa e inequívoca en proyecto (como en BIM), comenzando por la forma (precisión geométrica más elevada debido al proceso industrial) y las propiedades técnicas de los elementos individuales (paneles de hormigón, etc.) hasta conformar el sistema constructivo completo (muro o fachada,...), concibiendo, como debiera ser lógico, que lo proyectado debe ser construible. Con este enfoque, el prefabricador se presenta cada vez más como un apéndice del proyecto, al tener inevitablemente que contar con su asistencia técnica en el desarrollo del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Publicaciones y artículos

Montaje de fachadas de hormigón arquitectónico

Esta guía publicada por ANfhARQ e IECA, dos entidades españolas, tiene como objetivo establecer unas pautas adecuadas de trabajo a los instaladores de fachada, para que el resultado final sea acorde con lo que el proyectista concibió en origen [+]

Otras referencias de interés son:

- "La estética, la eficiencia energética y la industrialización en los edificios de hormigón». CEMENTO HORMIGÓN [+]
- «Hacia el objetivo de los edificios de consumo de energía casi nulo: la masa térmica en los prefabricados de hormigón». ECOCONSTRUCCIÓN [+]
- "Economía circular en los prefabricados de hormigón: hacia el objetivo 'cero residuos'". Revista Cemento Hormigón [+]
- Guía Autodeclaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón – ANDECE [+]
- Guía BIM para empresas de prefabricados de hormigón – ANDECE [+]
- Máster de construcción industrializada en hormigón [+]
- [1] Fuente: TECTÓNICA 25. Hormigón (III). "Citius, altius, fortius. Una visión actualizada sobre el uso del hormigón en edificación". José Jurado Egea.

Normativa

- Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento.

- UNE-EN 14992 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros
- UNE 127992-1 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros. Parte 1: Productos prefabricados de hormigón armados con fibra de vidrio. Complemento nacional a la Norma UNE-EN 14992

MULTIMEDIA

Algunas acciones recientes de difusión organizadas por ANDECE para promover el uso de las fachadas prefabricadas de hormigón:

Vídeos

- Edificio Riverside Homes en Madrid [+]
  - Promotor: Neinor Homes
  - Dirección de Proyecto: Touza Arquitectura
  - 4.000 m2 de paneles prefabricados de hormigón blanco liso.
- Nueva Estación de Alta Velocidad en Rabat (Marruecos) [+]
  - Dirección de Proyecto: Ferrés Arquitectos y Consultores
  - 9.000 m2 de paneles prefabricados de hormigón de altas prestaciones

Presentaciones

- Soluciones prefabricadas e industrializadas de hormigón para envolventes arquitectónicas: estado actual y proyección [+]
- Soluciones innovadoras de fachadas prefabricadas de hormigón con PCM´s para edificios de consumo de energía casi nulo [+]
- Fachadas pesadas industrializadas de hormigón arquitectónico: Proyecto de fachada para Edificio Monfragüe en Madrid [+]

EMPRESAS ASOCIADAS

Relación de fabricantes asociados de ANDECE que declaran fabricar paneles prefabricados de hormigón, en el momento de edición de esta guía. Seleccionar "Fachadas y cubiertas" en el siguiente enlace: http://www.andece.org/directorio-de-negocios/

SOCIOS ADHERIDOS

Relación de socios adheridos de ANDECE que suministran productos y/o servicios directamente relacionados con los paneles prefabricados de hormigón, en el momento de edición de esta guía: http://www.andece.org/miembros-adheridos/