

CAPÍTULO I

PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO ARQUITECTÓNICO
PARA CERRAMIENTOS VERTICALES Y PARTICIONES INTERIORES

1.1. DEFINICIÓN DE CERRAMIENTO

El cerramiento de un edificio es el sistema constructivo que separa el ambiente interior del exterior, delimitando así el espacio habitable (Monjo, 2003). Este comprende las cuatro fachadas principales del edificio, la cubierta del mismo y la superficie en contacto con el terreno. Además de limitar el espacio, forma parte integral del edificio, influenciando tanto el espacio interior como el exterior, y se relaciona con el diseño, uso, estructura, función y servicios de la construcción (Knaack, 2007).

Collado (2005) en su libro *Manual práctico del encargado de obra*, define dos tipos de cerramientos, en función del ángulo que forman con la horizontal, éstos son:

- Cerramientos horizontales: aquellos cuyo ángulo σ con la horizontal sea $\leq 60^\circ$. Ej.: las cubiertas.
- Cerramientos verticales: aquellos cuyo ángulo σ con la horizontal sea $\geq 60^\circ$. Ej.: las fachadas. Se los conoce también como cerramientos de fachada y posteriormente se hará referencia a los mismos bajo esa denominación.

1.2. CERRAMIENTOS VERTICALES O DE FACHADAS

Monjo (2003), describe a los cerramientos verticales como el cerramiento arquitectónico por excelencia ya que -además de definir básicamente los espacios interiores- constituye la envolvente más aparente de la obra arquitectónica, a través de la cual se puede expresar la funcionalidad del edificio y definir el valor escultórico-arquitectónico del mismo con todos los aspectos históricos, creativos y sociales que esto conlleva. No existe duda de que es la primera imagen que se percibe del edificio a simple vista y es el que otorga carácter y forma al mismo; es la única parte que se observa desde el exterior, por lo tanto forma parte de los elementos de una

edificación a los cuales se les presta mayor atención. Por estas razones el cerramiento vertical debe abarcar requerimientos tales como: el control de la humedad, la luz, y el ruido; además de la definición geométrica (volumetría) de espacios y su separación e independencia del exterior. Por otra parte, crea y delimita los espacios interiores, los cuales son condicionados por aspectos ambientales, como la seguridad, estanqueidad, durabilidad, acústica, iluminación, temperatura y humedad (Monjo, 2003).

Cabe destacar que un aspecto fundamental que debe caracterizar a un cerramiento vertical, es el de contribuir al comportamiento sostenible del edificio. Éste debe funcionar como una piel que se adapte al clima local y permita que exista relación entre el espacio interior y exterior, ya que mientras más estático y rígido sea, menos permitirá un acoplamiento a los comportamientos extremos del clima en el que se emplace la edificación (Beyond sustainable, 2016).

1.2.1. Exigencias funcionales de un cerramiento de fachada

Como se mencionó anteriormente, la misión de un cerramiento de fachada es actuar como piel del edificio. Es decir, como una barrera protectora capaz de aislar los espacios habitables interiores de los agentes agresivos del entorno exterior. Para cumplir esta misión, la fachada debe garantizar una serie de requisitos que se señalan a continuación:

- Seguridad estructural
Se sabe que en edificios de altura las fachadas no cumplen ninguna función estructural, al tratarse de edificaciones de estructura metálica u hormigón armado. Aun así, las fachadas se ven sometidas a cargas, siendo la más importante la que ejerce el viento. Por lo tanto la función principal de la fachada sería absorber estas cargas y transmitir las a la estructura. Debido a esto, deben garantizar una resistencia



Imagen 01 Cerramientos Horizontales: Cubierta



Imagen 02 Cerramientos Verticales: Fachada

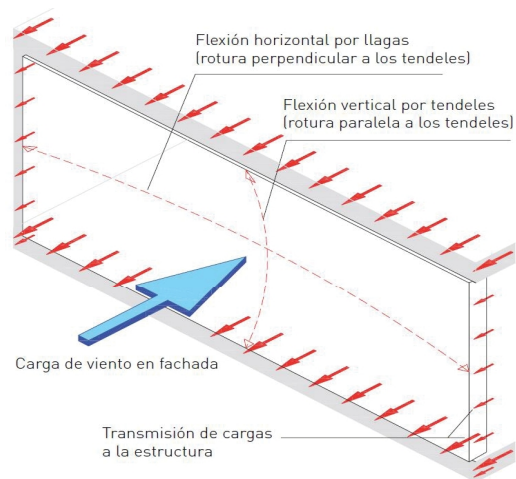


Imagen 03 Seguridad estructural de las fachadas



Imagen 04 Colocación de tabiques interiores

suficiente a la flexión y disponer de las fijaciones necesarias para ello. Los parámetros principales a tener en cuenta en la verificación de fachadas son la carga de viento –que depende de la altura y del entorno del edificio–, las dimensiones de los paños entre elementos de sustentación o arrostramiento, y la resistencia a la flexión del muro (Ytong, 2014).

- Aislamiento térmico

Para limitar el consumo energético utilizado para la climatización de un edificio es necesario diseñar los cerramientos del edificio con soluciones que aporten un elevado aislamiento térmico. Se debe conocer que los puentes térmicos son los puntos más débiles del cerramiento por los que existen fugas de calor en comparación con el resto de la fachada. Estos generalmente se encuentran en los elementos estructurales como los pilares y los cantos de forjado, por lo tanto hay que reducirlos en la medida de lo posible para evitar posibles patologías en la estructura (Ytong, 2014).

- Aislamiento acústico

Usualmente se exige un aislamiento acústico para las fachadas en función de la zona de ruido donde se encuentra el edificio y el tipo de recinto. Mientras mayores sean los niveles de ruido, mayor será la exigencia acústica. Para esto los elementos acústicos deberán garantizar niveles de protección sonora. Una vez construida la edificación, se deberá verificar el cumplimiento de estos niveles. Sin embargo, el aislamiento de un edificio depende fundamentalmente de la superficie de sus huecos y de la solución elegida para los mismos. Influye en menor medida la solución de la fachada que comprende la parte ciega (Instituto Valenciano de la edificación, 2012).

- Protección frente a la humedad

Para definir este concepto se hizo referencia al *Código*

Técnico de la Edificación Española. En este documento, el Instituto Valenciano de la Edificación (2012) afirma que esta normativa establece una serie de condiciones que deben cumplir las soluciones constructivas de las fachadas, de tal manera que se impida el acceso de agua proveniente de las precipitaciones al interior de la vivienda. Además, señala que el grado de impermeabilidad que una fachada debe ofrecer está dado en función de la zona pluviométrica y de la exposición al viento (Instituto Valenciano de la edificación, 2012).

1.3. PARTICIONES INTERIORES

Conocidos también como tabiques, son aquellos elementos que por lo general no tienen función estructural y actúan como simple partición. Su función es controlar la transmisión de sonido entre espacios interiores, dar privacidad y regular la circulación interior. En el caso de presentarse como elementos estructurales vendrían a ser muros de carga, como lo menciona Collado (2005). Y añade también que, en función de la versatilidad de su uso, pueden diferenciarse en dos tipos:

- Tabiques fijos:

Aquellos que permanecen invariables a lo largo de la vida del edificio; como sucede, por ejemplo, en los edificios de viviendas.

- Tabiques desmontables:

Aquellos que pueden variar su posición en función de su uso, sin alterar sus propiedades; como por ejemplo suele ocurrir en los edificios de oficinas.

1.4. LA ENVOLVENTE TÉRMICA

En este proceso de análisis de los cerramientos, es necesario mencionar un elemento que se conoce como la envolvente

térmica. Eco-logicos.es(2012) define este elemento como todos los cerramientos que limitan espacios habitables y el ambiente exterior; ya sea aire, terreno u otro edificio, y además las particiones interiores que separan espacios habitables de los no habitables que también limiten con el exterior.

Existen dos tipos de envolventes en una edificación. La primera se conoce como envolvente opaca y la segunda como envolvente acristalada. Beyond sustainable (2016), señala que la diferencia más importante entre éstas, es que la envolvente acristalada se ubica en los huecos y vanos de la fachada de un edificio, por los cuales permite generar las conexiones visuales entre el ambiente interior y el exterior. Su material principal es el vidrio, material que permite el ingreso de calor e iluminación natural a los espacios interiores. La envolvente opaca, por otro lado, está constituida por materiales no translúcidos y generalmente está compuesta por la estructura y paramentos del edificio. Es importante mencionar que es la que soporta a la envolvente vidriada.

1.5. LA FACHADA

La fachada es el paramento exterior del cerramiento de un edificio, vertical o con inclinación no menor que 60° sobre la horizontal, que envuelve dando privacidad al interior y sirve de protección ante los fenómenos climáticos (lluvia, nieve, calor, frío, vientos) y otros agentes, para este fin se emplean diferentes aislaciones o soluciones constructivas (Adjemian, 2011).

Según Procesosconstructivos123 (2016) el término FACHADA deriva del latín *facies*, que literalmente significa 'rostro', y hace referencia a la apariencia exterior, la fisonomía del edificio. Con frecuencia a la fachada se la califica también de envolvente o piel exterior del edificio, por su apariencia desde el exterior. Ambas acepciones insinúan que la facha-

da es, por lo general, una superficie delgada que se coloca como un vestido sobre el armazón que se encuentra tras él, es decir la estructura del edificio.

En el documento *La Evolución de las Fachadas Ventiladas, Nuevos Materiales, y Sistemas Constructivos*, Adjemian (2011) menciona que la fachada como elemento constructivo de cualquier edificio, es un objeto en el cual se debe tener un cuidado muy especial, ya que es la única parte que se percibe desde el exterior y es un recurso único para caracterizar una construcción en particular. Por lo tanto, la expresividad y estética son características inseparables al concepto de fachada.

La fachada, a lo largo de la historia, ha sufrido multitud de transformaciones por su condición de soporte o de una especie de lienzo para los diferentes estilos arquitectónicos. Sin embargo, los cambios más importantes han resultado como consecuencia de la evolución de técnicas constructivas. Tradicionalmente la fachada solía funcionar como estructura y cerramiento del edificio, en consecuencia la capacidad de abrir huecos para ventilar e iluminar era limitada, al igual que la posibilidad de generar vistas hacia el exterior. En la arquitectura contemporánea el desarrollo de la fachada se ha convertido en una carrera tecnología con el propósito de ampliar los huecos ya mencionados, ya que ha evolucionado en un nuevo sentido que mira hacia la mejora de la calidad del espacio interior del edificio. Este nuevo enfoque ha sido la razón para experimentar con nuevos sistemas tecnológicos constructivos y nuevos materiales a favor de la búsqueda de la unión entre una mayor eficiencia energética y el valor estético del edificio (Adjemian, 2011). Cabe mencionar que los agentes principales de la degradación de las fachadas son aquellos relacionados con la agresividad del clima. En ciertos casos, cuando estos se combinan, la acción perjudicial



Imagen 05 La Fachada



Imagen 06 Gallarus oratory



Imagen 07 Gallarus oratory

es mayor a la acción aislada de cada uno de ellos. Debido a una respuesta insuficiente de las fachadas tradicionales a los problemas mencionados, se ha tratado de responder con mayor eficacia mediante el estudio de nuevos métodos, procesos y tecnologías para así reducir al mínimo posible o incluso eliminar estas patologías derivadas de la acción del clima (Adjemian, 2011).

Empresas destinadas a la creación de fachadas, mayormente en España, han hecho grandes esfuerzos en los últimos años por buscar soluciones basadas en nuevos materiales y tecnologías -siempre mejorando el valor estético- con el propósito de aumentar la productividad y reducir la incidencia de patologías. Esto ha dado como resultado fachadas compuestas por capas, cada una con un fin específico (Adjemian, 2011).

Factores a tomar en cuenta al momento de optar por un sistema de fachada en particular son: flexibilidad, facilidad de aplicación, reparación, durabilidad y economía de mantenimiento (Adjemian, 2011).

1.5.1. Antecedentes históricos de las fachadas

Adjemian (2010), menciona que:

Cuando se hace una retrospectiva sobre los antecedentes de los cerramientos pesados (dejando al margen los ligeros, entre los que se encuentran los textiles, la madera, algunos metales, los térreos, etc.), hay que remontarse a épocas remotas en las que las cuevas naturales se sustituyeron por "cuevas artificiales" hechas de piedra "a hueso". No deja de ser impresionante la sensación que se tiene, en los días de lluvia, en el gallarus oratory, iglesia paleocristiana del oeste de Irlanda; usando una técnica similar a la de las tumbas neolíticas, su construcción en forma de quilla invertida se re-

alizó superponiendo las piedras sin argamasa una sobre otra, pero pese a ello el agua no penetra en el interior sean cuales sean las condiciones meteorológicas. Sin embargo, de entre los requisitos antes apuntados, estas construcciones aportaban poco más que la resistencia mecánica y algo de control térmico y humedades (p.9).

A lo largo de la historia el hombre ha sido precursor y creador de una de las ciencias más importantes de la actualidad, *la arquitectura*, que desde el comienzo de los días se ha mantenido en una evolución constante, como un camino trazado por el hombre primitivo que desconocía que su legado sería imprescindible para las personas de hoy en día y fundamentalmente para nuestra forma de vida (Adjemian, 2011).

Remontándose hacia aquellas épocas del hombre primitivo, donde surge la necesidad de protegerse de las variaciones climáticas y posibles agresiones del medio ambiente, se observa cómo todos esos factores lo llevaron a generar inquietudes que desembocaron en algo totalmente desconocido en ese entonces, lo que llamamos ahora construcción (Adjemian, 2011).

Aquello se podría considerar como el arranque de una de las ciencias, al parecer una de las más importantes de hoy en día, como es la construcción. Ésta es una de las ciencias que mayor legado histórico y artístico ha dejado como se puede afirmar con algunas obras conservadas aún en la actualidad que han servido como ejemplos del cómo se debe construir, ya que han demostrado con su magnificencia y consolidación la capacidad de perdurar a través de siglos (Adjemian, 2011).

1.5.1.1. La antigua Grecia

El desarrollo de la civilización griega se considera como el

nacimiento del hombre moderno, también considerado el ente fundamental del origen de la civilización occidental. Posteriormente repercutirá también en la civilización romana y más tarde servirá de punto base para el desarrollo de las artes en distintas épocas como el renacimiento, barroco y el neoclásico (Adjemian, 2011).

La arquitectura de la antigua Grecia fue producida por los pueblos procedentes de la península griega, el Peloponeso, las Islas del egeo e Italia. Ésta se caracterizó por la excelencia de sus templos, gran parte de ellos se encuentran aún en forma íntegra. En su estudio formal, al momento de generar arquitectura, se destaca un gran conocimiento de la luz y la iluminación, así como un análisis del emplazamiento; lo que permite que las edificaciones sean observadas desde varios ángulos y además puedan ser concebidas desde un punto de vista escultórico enmarcado dentro del entorno que las rodea (Zapata, 2012).

Adjemian (2011) señala:

El templo fue, sin lugar a dudas, uno de los legados más importantes de la arquitectura griega a occidente. Era de una forma bastante simple: una sala rectangular a la que se accedía a través de un pequeño pórtico (pronaos) y cuatro columnas que sostenían un techo bastante similar al actual tejado a dos aguas. En los comienzos éste fue el esquema que marcó los cánones (p.10).

En la construcción de los edificios de culto espiritual no se preocupaban por la magnitud del espacio interior, ya que la única función era ser morada del dios al cual estaba dedicado. Además la liturgia era celebrada al aire libre y el templo debía ser observado como una gran escultura (Adjemian, 2011).

Los griegos tomaron a la figura del hombre como medida de todas las cosas, debido a que tenían una mentalidad antropocéntrica. Su arquitectura cuida mucho la proporción, convirtiendo al orden en la clave de arquitectura y el canon en su escultura. Este orden griego surge de la necesidad de fijar una relación entre cada una de las partes del edificio. Existieron tres tipos de orden, el dórico, jónico y corintio, siendo el capitel su elemento diferenciador (Adjemian, 2011).

“La civilización griega se preocupó mucho por la perfección óptica de sus edificios, querían evitar las fugas y curvaturas generadas por la imperfección en la percepción del ojo humano. Esto lo solucionó implementando una contra curvatura, conjugaron a la perfección el grosor de las columnas con claridad y oscuridad de los fondos y en el fuste de la columna también realizaron una corrección denominada “éntasis”, que reducía el grosor del fuste en la parte superior. Se los considera los últimos constructores megalíticos ” (Adjemian, 2011, p.11).

Cabe mencionar que durante los años 700 a 650 a.C. se introduce un elemento importante en el mundo de la arquitectura: la teja. Este elemento fue sustituyendo progresivamente a los tejados de paja. A pesar de ser más costosas, tanto en precio como construcción, sustituyeron al método anterior de cubiertas, utilizado sobre todo en templos y edificaciones públicas. El uso de éstas también obligó a reforzar los muros de aquel entonces, se sustituyó el barro y la madera por piedra para soportar el elevado peso de las cubiertas (Zapata, 2012).

1.5.1.2. La antigua Roma

A la muerte de Alejandro Magno en el año 323 a.C., los pueblos del mediterráneo quedaron influenciados por la cultura griega y decidieron expandir esta cultura mucho más allá de



Imagen 08 Templo griego: El Partenón

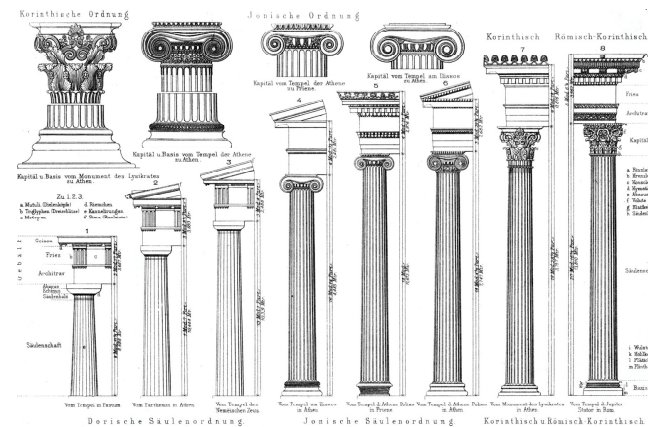


Imagen 09 Órdenes griegos

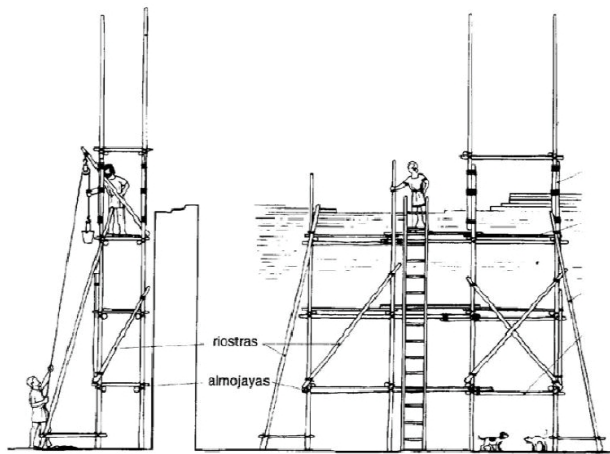


Imagen 10 Disposición de andamios para la ejecución de un muro romano

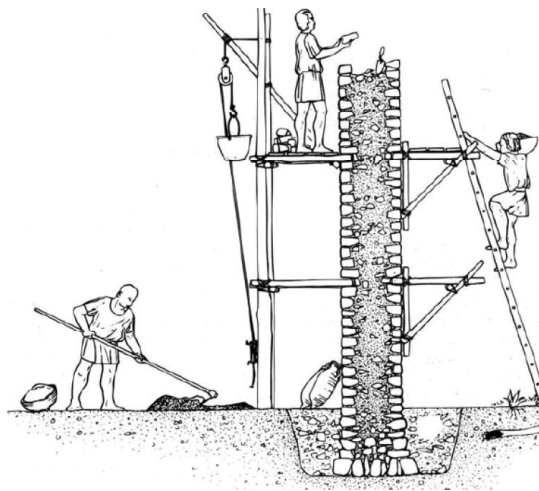


Imagen 11 Ejecución del muro romano

los límites conocidos por el pueblo griego, dando origen a una serie de reinados bastante inestables que constituyeron lo que hoy denominamos helenismo, que se describe como una transformación evolucionada y cosmopolita de la cultura griega que se originó en el período clásico (Adjemian, 2011).

Cronológicamente se puede diferenciar tres tipos de períodos históricos. El primero se conoce como período etrusco entre los siglos VIII-V a.C., el segundo como período republicano entre el siglo V a.C. y el año 23 a.C., fecha en que fue asesinado Julio César, hecho que marcó el inicio del tercer período conocido como imperial. Este último finalizó con la división del imperio en dos partes, oriental y occidental, aproximadamente en el siglo IV d.C. (Adjemian, 2011).

La civilización romana, desde sus orígenes, estuvo en contacto con dos culturas arquitectónicas, la etrusca y la helenística. Ambas dejaron su impronta en los esquemas romanos. De los Etruscos conservaron la preocupación por las infraestructuras, el recubrimiento de los muros, y las cubiertas de teja y madera. Por otro lado, de la cultura helenística la herencia más importante fue la idea de continuar utilizando las formas clásicas, así como el orden y la modulación, el cual fue su ideal estético. Cabe recalcar que en la era romana los sistemas constructivos empleados fueron distintos a los de los griegos. Por ejemplo, la columna dejó de ser un elemento estructural para convertirse únicamente en un elemento ornamental, el cual estaba superpuesto a una estructura en base a muros continuos (Adjemian, 2011).

Los romanos desarrollaron sus sistemas constructivos entre el siglo II a.C. e inicios del siglo IV d.C. En este período inventaron un material cuyas características son comparables a las del hormigón. A este material lo llamaron el *opus caementicium*,

que se componía de polvo puzolánico, mortero de cal aérea y guijarros de piedras. En un principio, lo utilizaron de forma empírica, poco después se fue generalizando su uso en todo el imperio. El uso de la piedra pasaría a un segundo plano, principalmente como revestimiento o en bóvedas. Este denominado hormigón romano, se utilizaba como relleno de muros constituyendo el núcleo estructural de los mismos. A partir del siglo II a.C., los romanos aprendieron a usar la ceniza puzolánica, un tipo de ceniza volcánica que producía un mortero de gran durabilidad y resistencia (Zapata, 2012).

Zapata (2012) menciona:

La ejecución del muro comenzaba con la construcción de dos hojas exteriores, que tenían la función de servir como encofrado perdido al relleno de hormigón. Tenían que estar dotadas de una cierta consistencia, que evitase su pandeo como consecuencia del empuje originado durante el relleno y el batido, y también debía servir de acabado superficial, más o menos definitivo, en función de si se quería o no, aplacar o enlucir el muro. Una vez ejecutadas las hojas exteriores, se vertía en seco la mezcla (*opus caementicium*), añadiendo luego el agua, y procediendo al amasado del hormigón (p.15).

Para realizar el trabajo en altura se utilizaron andamios, a manera de planchas móviles, ubicados sobre travesaños que traspasaban el muro. También se realizaron juntas de espesor considerable entre ladrillos para prevenir el asentamiento desigual entre el relleno y los muros exteriores. (Zapata, 2012).

Los espacios romanos comprendían una arquitectura basada en el uso de muros, bóvedas, y arcos, ya que la función de estos era desempeñar actividades ordenadas. Sus técnicas

cas constructivas se fundamentaban en formas abovedadas, estos elementos se apoyaban en muros de gran calidad y altura que posibilitaban la existencia de espacios de gran tamaño. Por lo tanto, tenían la capacidad de acoger distintos programas (Adjemian, 2011).

El orden no fue empleado de una forma tan pura como se hizo en Grecia. Los romanos apartaron al orden de su sentido estructural y lo convirtieron en un simple recurso de uso ornamental, sea como decoración o revestimiento de elementos estructurales. Todo esto con la finalidad de esconder el núcleo de apariencia tosca compuesto de hormigón, sin olvidar nunca la importancia de mostrar la ostentación de los edificios (Adjemian, 2011).

“Los romanos tuvieron tendencia al fachadismo, adoptaban posiciones de observación fijas, dictadas por el arquitecto, esta eran siempre dirigidas a una imagen frontal, esta frontalidad de la fachada tendía a ser complementada siempre por la simetría y los accesos axiales” (Adjemian, 2011, p.15).

La arquitectura que más sobresalió en esta zona fue la cívica, como lo demuestran en sus vías, acueductos, teatros, anfiteatros, estadios, basílicas, termas, villas, templos.

1.5.1.3. La construcción islámica

“La construcción islámica surge tras una extraordinaria transformación cultural en siglo VIII. Se originó en la ciudad de la meca (Arabia), de la mano de Mahoma. Se expande a través de una extensa área geográfica, desde la india, hasta la península ibérica, propagándose también a través de los Balcanes, Grecia y Turquía” (Adjemian, 2011, p.18).

Suelen expropiar y reutilizar edificaciones ya construidas anteriormente, mezclando sus tradiciones y cultura en naciones

conquistadas. Solían realizar construcciones de muy poca altura pero de considerable extensión por lo que no eran necesarias estructuras de gran resistencia y mostraban una arquitectura sencilla en la que utilizaban materiales fáciles de trabajar. Para los revestimientos utilizaban yeso y mortero de cal, y para elementos de soporte utilizaban pilares de ladrillo y columnas con capiteles corintios (Adjemian, 2011). En los muros no existía ornamentación en base a figuras humanas o animales. Como lo indica el Corán, tenían otros sistemas de adornos murales como el Mnemónico, ornamentación superpuesta y el Mozarabe. Los muros exteriores se revestían con mortero de cal o de yeso. Sin embargo, en el caso de la arquitectura islámica persa, se utilizaba decoración para revestir muros exteriores. (Adjemian, 2011).

1.5.1.4. Edad media

Se le conoció como la etapa oscura. El uso del cemento quedó en el olvido, se dejó atrás las maravillas de la arquitectura romana para abrir paso a las obras de arte de la arquitectura románica, gótica y renacentista, sin el hormigón como núcleo de la estructuras. Estos nuevos edificios empezaron a depender principalmente de la calidad de la piedra y el nivel de detalle de la ejecución del esqueleto como la envolvente. También mostraron gran preocupación por el grosor de las fachadas, siendo esa una característica que definía la calidad y durabilidad (Adjemian, 2011).

1.5.1.4.1. Arquitectura románica

Recibe este nombre ya que guarda cierta similitud con las formas utilizadas en el imperio romano. Surge en una época cercana a la consolidación de Europa, al momento en que este continente sale de un período de crisis y epidemias. El material más utilizado en esta época fue la piedra la cual se empleaba en casi todo los elementos constructivos, salvo en sobre cubiertas donde se utilizaba madera. Esto sucedería



Imagen 12 Arquitectura Islámica: El Taj Mahal



Imagen 13 Arquitectura Románica: Iglesia de San Martín de Frómista



Imagen 14 Arquitectura Gótica: Catedral Gótica El duomo



Imagen 15 Arquitectura renacentista: Basilica de San Pedro

hasta la creación de la bóveda, elemento constructivo que ocupaba la piedra. Usualmente, cuando no tenían canteras de piedra cercana solían reciclar el material de edificios pre-existentes o demolidos, rara vez utilizaron la técnica del ladrillo cocido (Adjemian, 2011). La función principal de los muros románicos era básicamente estructural, ya que el uso de bóvedas requería muros de una resistencia considerable, lo cual se veía reflejado en el espesor. La construcción de estos se realizó con la técnica del *opus emplectum*, desarrollada por los romanos. Esta técnica consta de dos capas de muro de piedra y rellenas con un elemento similar al hormigón. En esta época aparece también el contrafuerte para contrarrestar los esfuerzos de la cubierta en los muros (Adjemian, 2011).

Zapata (2012) menciona que:

Los muros se ejecutaban de manera que eran más gruesos en su zona inferior y, conforme iban ascendiendo, se iban estrechando. Conforme iba avanzando la etapa, la demanda y las exigencias de tener más iluminación y más espacio hizo perfeccionar la técnica. Esto propició la aparición de jambas y arcos en las oberturas, así como de una especialización en la manipulación de la piedra. La utilización de contrafuertes altamente desarrollados, pilares compuestos prismáticos, así como arcos doblados y arquivoltas favorecieron satisfactoriamente el desarrollo de los sistemas utilizados (p.22).

1.5.1.4.2. Arquitectura gótica

Este estilo surgió a finales del siglo XII hasta el siglo XV con la aparición de luminosas edificaciones. Andrew Martindale, en su obra *El Arte Gótico*, define el vocablo gótico como el "adjetivo correspondiente a godo". Fue utilizado en este contexto por primera vez por el tratadista florentino Giorgio Vasari (1511–1574), quien usó este término para nombrar a la arquitectura anterior al renacimiento perteneciente a los

bárbaros. Los componentes, a su modo de ver, parecían confusos, desordenados y poco dignos, en contraste a la perfección y racionalidad del arte clásico (Zapata, 2012).

En esta época se destaca la altura de las iglesias. Los muros se construyeron más esbeltos, ya que dejaron de tener una misión estructural, su única función pasó a ser la de cerramiento. Se destaca también esta arquitectura por ser muy luminosa ya que permitía el paso de luz a través de grandes vidrieras. Se le considera una arquitectura orgánica, el edificio crece según las necesidades, pero de manera desordenada. Se intentó simular las pilastras y nervaduras de acuerdo al ramaje de los árboles. (Adjemian, 2011).

Existen dos elementos constructivos importantes en la arquitectura gótica: el arco ojival y la bóveda de crucería. Mediante estos elementos se logró distribuir mejor las cargas y se consiguió alturas superiores a las que se habían alcanzado hasta entonces. El peso de la cubierta se trasladó al piso mediante contrafuertes exteriores, aligerando así a los muros. Gracias a esto pudo utilizarse grandes vidrieras y rosetones. (Zapata, 2012).

1.5.1.4.3. Arquitectura renacentista

Fue aquella producida durante el período artístico del Renacimiento europeo, que abarcó los siglos XV y XVI. Fue una ruptura total con los estilos anteriores, especialmente con el gótico. Retomó su inspiración en el arte clásico ya que lo consideraban el modelo perfecto. Presentaron innovación dentro del carácter constructivo con la utilización de materiales y nuevas técnicas, como el concepto de entender la línea arquitectónica (Zapata, 2012).

Durante este estilo se acaba el anonimato del arquitecto. Al contrario del pasado, en el que se desconocía de los

creadores, esta arquitectura se encontró altamente detallada, desde los grandes edificios hasta simples obras. Se conoce que surgió en Italia y la primera obra renacentista fue la cúpula de la catedral de Santa María de Fiore, perteneciente a Filippo Brunelleschi, razón por la cual se menciona que este estilo surgió específicamente en Florencia (Zapata, 2012).

1.5.1.5. La arquitectura moderna

No es hasta las primeras décadas del siglo XX que surge el movimiento moderno, que tuvo su origen en la escuela de la Bauhaus, Alemania. Sus principios básicos eran el racionalismo y el organicismo arquitectónico. Este movimiento marca una ruptura con la manera tradicional de configurar espacios, viene representado por una simplificación del estilo formal donde se evita la ornamentación y defiende entre sus principios fundamentales la composición libre de una fachada no portante. De esta manera, sucede que las fachadas comienzan a disminuir sus espesores, una vez que ya no deben cumplir con la función de elemento portante. Se redujo su función a la de servir de protección térmica, estanqueidad y logró generar una imagen de ligereza frente a la que solía ser la pesada fachada convencional (Adjemian, 2011).

El movimiento moderno se asumió con gran exigencia profesional, debido a que los nuevos materiales aquí usados debían garantizar la protección de los espacios interiores. De esta manera, se abrió camino a las fachadas multicapa, implementado cámaras de aire y membranas impermeables (Adjemian, 2011).

Uno de los fundadores del Congreso Internacional de Arquitectura Moderna fue el suizo Charles-Édouard Jeanneret, más conocido como Le Corbusier. El proyectó la villa *Savoye*, una villa situado en Poissy a las afueras de París, fue construido en

1929. Esta obra se destaca porque fue la culminación de las investigaciones formales del arquitecto y de la aplicación de los 5 principios de la Arquitectura Moderna (Adjemian, 2011).

Adjemian (2011), señala que en el año de 1927 Le Corbusier despliega un documento en el cual explica de manera sistemática sus ideas arquitectónicas. Este documento representa una importante innovación conceptual para la época, gracias a la introducción de nuevos materiales como el hormigón armado. Asimismo, en este documento presenta los llamados 5 puntos de la nueva arquitectura, en los que teoriza los principios fundamentales del movimiento moderno y son:

- Los Pilotes: para que la vivienda no se hunda en el suelo y quede suspendida sobre él, de tal forma que el jardín pase por debajo.
- La terraza-jardín: permite mantener condiciones de aislamiento térmico sobre las losas de hormigón y permite generar espacio de esparcimiento sobre la vivienda.
- La planta libre: gracias a las virtudes del hormigón se deja atrás los muros portantes lo cual permite aprovechar funcionalmente y liberar la planta de condicionantes estructurales.
- La ventana longitudinal: los muros exteriores se liberan y las ventanas pueden abarcar todo el ancho de la construcción, optimizando la relación con el exterior.
- La fachada libre: complementario del punto anterior, los pilares se desplazan al interior respecto de la fachada, liberando a ésta de funciones estructurales.

1.5.2. Limitaciones de la fachada convencional

Las fachadas convencionales no sólo deben satisfacer la función estética, sino también deben cumplir requisitos de impermeabilidad, aislamiento térmico y acústico. Generalmente están compuestas por dos hojas; la exterior, que nor-



Imagen 16 La villa Savoye



Imagen 17 Interior villa Savoye

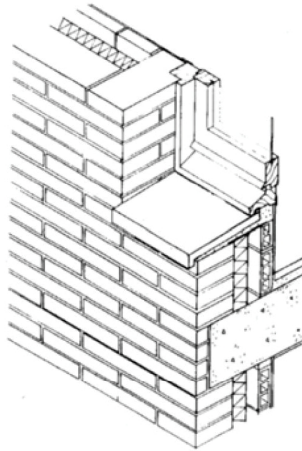


Imagen 18. Esquema de la fachada convencional con aislamiento

malmente es de ladrillo y la interior, que puede ser de ladrillo u otros materiales. En la cámara de aire generada entre estas dos hojas se suele incorporar un aislante térmico, en el que se utilizan materiales como el poliuretano, fibra de vidrio o lana de roca. Para controlar las condensaciones intersticiales, se coloca una barrera de vapor al lado caliente del aislante. Siempre es necesario dejar una pequeña separación de 1 a 2 cm para permitir la ventilación del vapor de agua y evitar que se deteriore el aislamiento (Adjemian, 2011).

Sin embargo, hay que mencionar que estas fachadas presentan diversos problemas por el comportamiento diferencial de las hojas que las componen. Al estar separadas, ambas se asientan sobre el perímetro del forjado y su continuidad suele quedar interrumpida por la estructura. Cabe recalcar que este sistema presenta más problemas de concepción que de construcción. En primer lugar, el problema más grave es que el orden de las envolventes no sea el adecuado, ya que los elementos estructurales llegan hacia el exterior atravesando las envolventes, térmicas y estancas, comprometiendo la eficiencia de estas. Respecto a la envolvente térmica, el problema se limita a reducir la capacidad aislante y el riesgo de generar condensaciones por la aspiración de numerosos puentes térmicos. En el caso de la envolvente estanca, el problema es aún más grave, la incompatibilidad de movimientos mecánicos y térmicos entre cerramiento y los elementos de soporte puede hacer que se abran juntas o que el cerramiento entre en carga; es por esto que la estanqueidad del edificio no podrá garantizarse por la discontinuidad producida en la envolvente (Adjemian, 2011).

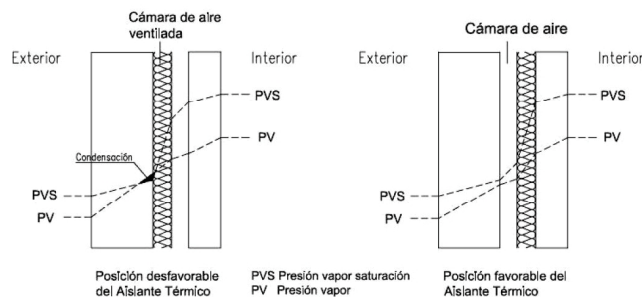


Imagen 19 Puentes térmicos según la posición del aislamiento

ineficaz y si se adosa a la hoja exterior, las condensaciones se producirán en el plano formado por el contacto entre el aislamiento y la albañilería, generando un comportamiento higrotérmico poco efectivo. Como última opción adosarlo a la hoja interior será imposible ya que el proceso constructivo se hace desde fuera hacia adentro. (Adjemian, 2011).

Es muy común la existencia de puentes térmicos en las fachadas, en zonas donde se transmite fácilmente el calor en un cerramiento. Su existencia se origina por el contacto de elementos estructurales con el exterior. Por ejemplo, en un edificio compuesto de estructura metálica u hormigón, los elementos soportantes harán de puente térmico respecto a la mampostería, ya que estos elementos transmiten mejor el calor, provocando pérdidas y formando puntos fríos que pueden dar origen a condensaciones. Generalmente, para ubicar estos puentes térmicos, se puede observar en lugares en los que se generen patologías, como en zonas húmedas (Adjemian, 2011).

Un modo habitual de solucionar un puente térmico es no ubicar los pilares o vigas alineadas con la fachada por su parte externa. Es mejor ubicarlos rehundidos unos centímetros respecto de la fábrica de albañilería, lo suficiente para "protegerlos" con un aislante térmico exterior. De este modo, se evitarán las condensaciones y posteriores apariciones de humedad y moho en el interior de la edificación. Sin embargo, esta medida de precaución requiere un cuidadoso proceso de puesta en obra, ya que una mala práctica no solucionaría el problema. (Adjemian, 2011).

1.5.2.1. Problemas de protección térmica

Respecto a problemas de protección térmica, hay que destacar que esta solución se presenta dudosa respecto a la colocación del aislante térmico, ya que si queda suelto será

1.5.2.2. Problemas de estanqueidad

No se puede garantizar la estanqueidad de un cerramiento cuando su continuidad se ve interrumpida por forjados y de la misma manera sometida a deformaciones de los mis-

mos. Los movimientos térmicos y mecánicos diferenciales no pueden resolverse con sellados de mortero, ni la albañilería puede formar una fábrica cohesionada con los ladrillos completos. (Adjemian, 2011).

En el caso del perímetro de los vanos, la junta estanca es difícil de garantizar ya que en la unión entre el marco de la carpintería y el dintel se forma un punto débil. Como se conoce, la unión ladrillo – mortero desde el punto de vista de la estanqueidad es el punto más débil en un muro de ladrillo, salvo que se compense la excesiva succión de algunos ladrillos con un adecuado humedecimiento antes de usarlos en obra. (Adjemian, 2011).

1.5.2.3. Problemas de estabilidad

Comúnmente, hoy en día, se ejecuta como cerramiento exterior a muros de mampostería de ladrillo, empleando únicamente el aparejo a soga. Si bien este muro no tiene problemas al resistir esfuerzos de compresión, no ocurre lo mismo cuando es sometido a esfuerzos de tracción, siendo ésta la principal causa de grietas y fisuras (Adjemian, 2011).

Una forma habitual para dar continuidad a la fachada desde el exterior es forrar el canto de la losa con fachaletas de ladrillo de tres o cuatro centímetros de grosor, dejando así una distancia entre el borde de la losa y la cara exterior del ladrillo de aproximadamente 5 cm (Adjemian, 2011).

La estabilidad de la hoja exterior del muro de ladrillo exige que se apoye en el borde de la losa los 2/3 de su espesor. Por lo tanto, el 1/3 restante quedará en volado. Se puede decir que esta alternativa es difícil pero no imposible. Sin embargo, no se puede esperar que resulte perfecto ya que el borde de la losa no suele ser encofrado ni hormigonado de la mejor manera, por lo que es posible que al emplear esta técnica

exista el riesgo de que los ladrillos se desprendan del canto de la losa (Adjemian, 2011).

Sánchez (2010) identifica tres tipos de fachadas según su composición material, fachada in situ, mixta y prefabricada.

- La fachada in situ

Son aquellos cerramientos constituidos por elementos pequeños pero no se consideran prefabricados (ladrillos, bloques de hormigón, hormigón armado. etc.). Presentan la facilidad de colocación en obra sin modulación previa y del mismo modo se termina exteriormente en la misma obra con materiales de las mismas características (Sánchez, 2010).

- La fachada mixta

Son aquellos cerramientos que se basan en el anterior e incorporan elementos prefabricados además de la carpintería de los huecos (Sánchez, 2010).

- La fachada prefabricada

Como menciona Collado (2005) en su *Manual Práctico del Encargado de Obra*, los cerramientos pueden ser de muchos tipos, desde los más tradicionales hasta soluciones que requieren de un alto grado técnico, como los elementos prefabricados. Este tipo de fachadas son sistemas constructivos compuestos por paneles prefabricados, como su nombre lo indica. Se caracterizan por su total grado de prefabricación. Son cerramientos que precisan de un sumo cuidado al momento de su ejecución para obtener un resultado adecuado y así cumplir las misiones para las cuales fueron creados. Además, están constituidos por elementos prefabricados. Es decir, llevan incluidas las partes componentes del cerramiento como la estructura, aislamiento y acabado exterior e interior, partes que durante la obra sufren únicamente un proce-



Imagen 20 Fachada in situ

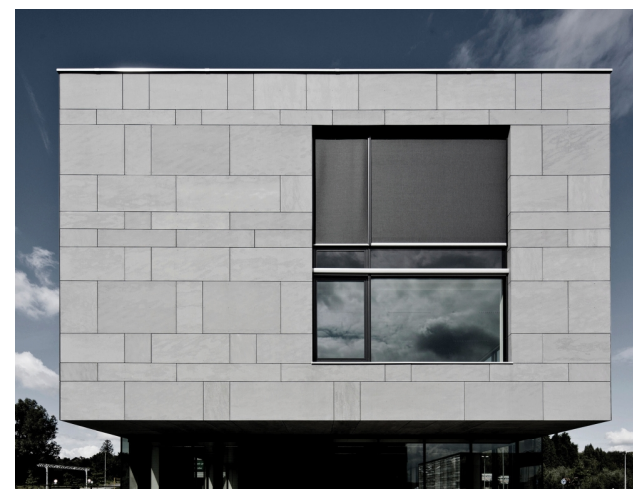


Imagen 21 Fachada prefabricada

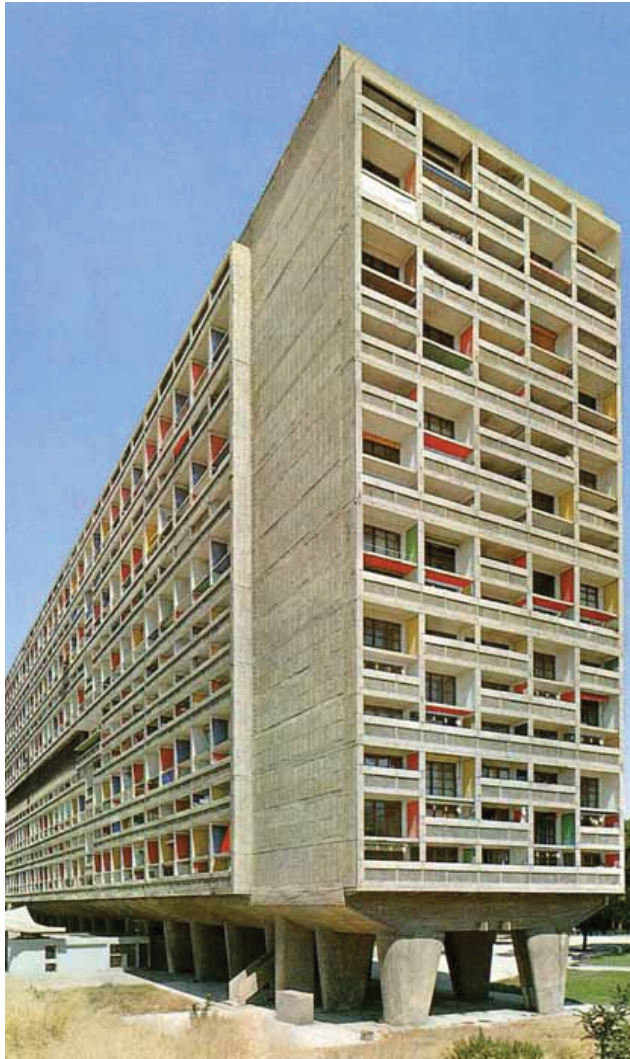


Imagen 22 Unidad habitacional de Marsella

so de montaje racionalizado y mecanizado (Sánchez, 2010).

El material más utilizado hoy en día en la prefabricación de paneles para fachadas es el hormigón, como lo especifica Sánchez (2010) en su documento *Paneles Prefabricados de Hormigón en Fachadas*, en el que señala las múltiples características que lo convierten en un material ideal. Entre ellas resalta que es moldeable, buen aislante térmico y acústico, resistente al fuego, imputrescible y de fácil mantenimiento, dimensionalmente estable y de buenas características mecánicas y económicas, reforzando la razón por la cual se escogió al hormigón como material principal de esta investigación.

1.6 . FACHADAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

1.6.1. Antecedentes históricos

Se conoce que el hormigón fue utilizado por el Imperio Romano, con la técnica ya mencionada, el *opus caementitum*. El uso del mismo se extendió rápidamente por todo el imperio, debido a que se trataba de un material duradero y fácil de producir. Entre las edificaciones descubiertas, en las que se aplicaba esta técnica, están los acueductos, muros de edificaciones, cimentaciones e incluso puentes y palacios (Bayo, 2011).

Con la extensión del Imperio Romano, se adoptaron también estas técnicas constructivas en otros territorios de Europa. Sin embargo, su proliferación se vio estancada por la dificultad de encontrar las materias primas adecuadas, como la cal y las tierras hidráulicamente activas. En consecuencia, parte de los conocimientos adquiridos se perdieron en siglos posteriores (Bayo, 2011).

No se volvió a escuchar de su uso sino hasta el siglo XIX,

cuando Joseph Aspdin inventó el cemento portland en 1824 en Inglaterra. De todas maneras hubo que esperara hasta finales del siglo XIX para retomar el uso del hormigón, cuando al mismo se le comenzó a aplicar junto con entramados de alambre y se constituyó así una materia prima ideal para elaborar prefabricados. A partir de este punto, en 1989, se comenzó a fabricar las primeras vigas de hormigón armado. Posteriormente, en 1891, aparece en Estados Unidos la primera patente de edificio prefabricado, el cual se configuraba mediante módulos tridimensionales en forma de cajón apilable. Fue inventado por Eduard T.Potter (Mansilla, 2003).

Los elementos de hormigón se utilizaron por primera vez de forma masiva en Londres, posteriormente en Estados Unidos y México. Pero no es hasta los años 50, cuando surge una reacción frente a la monotonía del uso de muros cortina, que los grandes arquitectos comienzan a utilizar elementos refinados de fachadas de hormigón, ya que con estos fueron capaces de desarrollar diseños más expresivos, debido a las enormes posibilidades de textura, color y diseño que ofrecían. A esta época se le conoció como el modernismo y fue impulsado por Le Corbusier, Walter Gropius y Alvar Alto, entre otros. Se debe señalar también que el racionalismo y la expresividad fueron las líneas que marcaron el desarrollo de las fachadas de hormigón. Cabe mencionar que el ejemplo más representativo del uso de paneles prefabricados de hormigón de aquella época fue en *La Unidad Habitacional de Marsella* perteneciente a Le Corbusier (Mansilla, 2003).

A finales de los años 60 hubo un declive con respecto al uso de las fachadas de hormigón que duró poco tiempo. A principios del siglo XX los arquitectos comienzan nuevamente a tomar en cuenta las bondades del hormigón y sus condiciones estructurales y buscan crear nuevas formas generando así, definitivamente un uso pleno y honesto de este mate-

rial (Mansilla, 2003).

La prefabricación de paneles de fachada ha evolucionado de forma importante y al mismo tiempo ha transcurrido por caminos diferentes. En general, la tendencia fue crear unidades cada vez de mayor tamaño y en consecuencia, de mayor peso. Al comienzo no se tuvo en cuenta la incorporación de aislamiento ni acabado interior. Hoy en día, se contempla una tendencia hacia diseños más expresivos en comparación con lo que se observaba 10 años atrás. Además, existe más libertad. Actualmente los proyectistas no se concentran únicamente en el diseño de un elemento básico, en lugar de eso se enfocan en el concepto total de la fachada. Los volúmenes, las superficies, las líneas, las diferencias de nivel y los claroscuros adquieren cada vez mayor importancia. Por otra parte se sigue manteniendo el uso de módulos, pero estos no rigen de manera abrupta al diseño y permiten una mayor libertad. Por lo tanto, las características propias del material y su constante evolución dieron paso al surgimiento del hormigón prefabricado como una herramienta de diseño con innumerables posibilidades (Sánchez, 2010).

1.6.2. Definición de prefabricación

Cuando se habla de prefabricación no siempre se está hablando de una prefabricación integral, también puede hacer referencia a las partes de una obra, que podrían ser específicamente la estructura o los cerramientos. En este caso, sería el último el centro de nuestro interés. Antes de plantear una determinada definición de prefabricado, se cree necesario aclarar una confusión sobre los significados conceptuales de industrialización y prefabricación. Mario Oliveri expone este hecho al afirmar que muchas veces la prefabricación es identificada con la industrialización (Oliveri, 1972).

No obstante, la prefabricación es anterior a la industrialización y tan antigua como la civilización. El primer elemento de construcción que ha sido prefabricado pudo haber sido el ladrillo, producido fuera de la obra, mediante sistemas artesanales. Su uso se ha prolongado a lo largo del tiempo hasta nuestros días. Encontramos intentos de prefabricación en todas las eras históricas. Los elementos pétreos con los que fueron construidas las pirámides egipcias llegaban terminados desde remotos lugares, una vez transportados por ejércitos de esclavos, pasaban a ser colocados según un programa prefijado, en la posición en la cual hoy los encontramos. En Grecia, los bloques de piedra de las columnas templarias también eran preparados fuera de la obra y sucesivamente montados en el orden y en la posición prevista (Oliveri, 1972).

Por otro lado, la industrialización se caracteriza por la organización sistemática del proyecto y de la realización de la obra. Otra característica particular es la reproducción de sus procesos y elementos. Es decir, se crea una producción en serie. Generar una construcción industrializada será posible únicamente cuando las piezas a ocupar tengan un formato predeterminado. Como consecuencia de una producción en fábrica se produce la inversión, el transporte y el montaje, por el hecho de ocurrir elaboración y utilización en lugares distintos (Koncz, 1977).

Una vez aclarada la diferencia entre ambos conceptos se procede a especificar el término prefabricación o prefabricado como:

“El sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa,



Imagen 23 Colocación de elementos prefabricados



Imagen 24 Vivienda prefabricada con paneles de hormigón



Imagen 25 Ventajas de la prefabricación

conforman el todo o una parte de un edificio o construcción. Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración" (Cueva, 2012, p.14).

Cueva (2012), especifica que una buena referencia para conocer el grado de prefabricación de una obra es observar la cantidad de desperdicios que ha generado. Mientras mayor sea la cantidad de escombros y suciedad, menor es el índice de prefabricación que presenta la edificación.

1.6.3. Ventajas de la prefabricación

Hernández (2004), en su documento investigativo *Paneles de GRC para la viviendas de bajo coste*, establece las ventajas que pueden ofrecer los elementos prefabricados, éstas son:

- Racionalidad del proyecto

La prefabricación exige un diseño más riguroso al momento de proyectar edificios, así como al adaptar las formas y geometrías del mismo a una modulación determinada. Esto supone que existirá por ende un mejor aprovechamiento de espacios y en general obras más racionalizadas. Cabe mencionar que inventar, muchas veces, disminuye la calidad por lo que se aconseja acoplarse a componentes industrializados, ya que son soluciones constructivas, contrastadas y experimentadas.

- Economía en el tiempo

La prefabricación demanda una programación de obra metódica, con la que se podrían evitar retrasos en plazos de entrega e interferencias entre otros oficios. También las malas condiciones atmosféricas no inciden mayormente en tiempos de montaje.

- Economía de materiales y transporte

Se utiliza los materiales de una manera más racional y se obtienen los mismos resultados y prestaciones que con sistemas tradicionales, salvo que el material utilizado es de menor peso y espesor. También es una construcción limpia ya que todo se realiza en seco y genera menor cantidad de desperdicios. Debido a la considerable reducción de peso, permite más fácilmente el transporte de elementos al destino final.

- Economía de mano de obra

Sustituye mano de obra en el lugar de trabajo, por mano de obra especializada en fábrica de mayor rendimiento y calidad. En este aspecto se va a mencionar la prefabricación de fachadas, pues en comparación con un sistema tradicional, esta requiere mayor tiempo de ejecución, como por ejemplo una mampostería de ladrillo.

- Economía en la estructura del edificio:

Reduce considerablemente el peso de los elementos constructivos que debe soportar la estructura.

- Calidad final

La calidad no depende de la experiencia de la mano de obra ya que estos aspectos son previamente resueltos en fábrica, bajo controles de calidad y procesos industrializados. Así mismo, el proceso de montaje se realiza bajo estrictos protocolos y condiciones técnicas.

1.6.4. Paneles prefabricados de hormigón

Santana (2006), menciona que:

Se entiende por Panel prefabricado de hormigón al elemento o conjunto de elementos que se sitúan entre el espacio exterior e interior de un edificio, desempeñando las funciones de separación y aislamiento, tanto térmico como *acústico*, entre ambos espacios, así como las de protección solar, de



Imagen 26 Paneles prefabricados de hormigón

viento, lluvia, humos, seguridad, etc ... Por otra parte, deben cumplir además las funciones de aspecto estético. Nos referimos a la forma, textura, color, teniendo en cuenta el envejecimiento y conservación... Los Paneles prefabricados de hormigón pueden ser utilizados como cerramiento total o parcial de un edificio. Estos deberán cumplir las mismas exigencias funcionales que un cerramiento de Fachada, es decir, de estanqueidad al agua y al aire, aislamiento higratérmico y acústico; las correspondientes a la durabilidad de los materiales constituyentes y del propio elemento o cerramiento a que da lugar, así como de su mantenimiento; las de seguridad responsables de la cohesión de los elementos, resistencias mecánicas y comportamiento ante el fuego (p.37).

Estos elementos pueden ir encajados entre los suelos y los pies derechos del edificio. Pueden estar unidos entre sí horizontalmente, dejando vista la parte frontal del forjado o pueden ir colgados pasando delante de la estructura del edificio formando una fachada continua.

La prefabricación de paneles ha evolucionado en los últimos años de una manera muy importante. Se observa una tendencia a generar unidades cada vez de mayor tamaño y mayor peso. Estos paneles de cerramiento con dimensiones estandarizadas permiten reducir el número de juntas y acelerar el ritmo de ejecución. Además, ofrecen versatilidad de formas y admiten numerosas posibilidades de acabados superficiales (Santana, 2006).

1.6.4.1. Propiedades de los paneles de hormigón prefabricado

Sánchez (2010), en el documento *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*, expone las siguientes propiedades que pueden tener los paneles prefabricados de hormigón.

- Resistencia mecánica:

El hormigón armado se caracteriza por su capacidad de resistir esfuerzos, como son los de compresión, tracción y flexión. Pero siendo la resistencia a la compresión la mayor de todas, los paneles se arman en base a los esfuerzos que deberán resistir en su vida útil. Así mismo, la resistencia a la compresión del hormigón representa el nivel de resistencia frente al impacto, al ruido, a los ciclos de hielo - deshielo, al envejecimiento y a la abrasión.

- Resistencia al fuego.

Las fachadas compuestas de hormigón presentan una excelente capacidad de resistir ante el fuego. Están clasificadas como A1 en la escala de reacción al este elemento. La resistencia de los paneles de hormigón satisface los criterios de integridad (E) y aislamiento (I) en función de su espesor. Además, la esbeltez geométrica, relación entre la altura del panel y su espesor, debe ser inferior a 40.

- Aislamiento acústico al ruido aéreo

Las fachadas de hormigón prefabricado, gracias a su alta densidad, garantizan un excelente comportamiento frente al ruido aéreo. Esta capacidad de resistencia viene dada por la masa de elemento del cerramiento. En la Tabla Nro. 02 se muestra el índice global de reducción acústica de los paneles, ponderado A (RA) en función del espesor de los paneles (e), para un hormigón de densidad 2.400 kg/m³.

- Comportamiento frente a las heladas

Los paneles de hormigón, al ser prefabricados, están sometidos a rigurosos controles de fabricación. Esto permite desarrollar un hormigón de alta calidad, muy compacto, con granulometrías y áridos ensayados, que dan como resultado un material de alto comportamiento frente a heladas. Es conveniente dar una pequeña pendiente a los paneles para

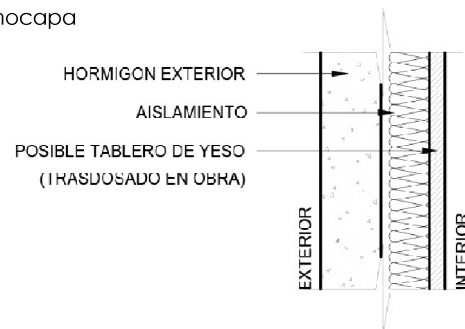
Espesor Mínimo (mm)	Resistencia al fuego
60	EI 30
80	EI 60
100	EI 90
120	EI 120
150	EI 180
175	EI 240

Tabla 01 Resistencia al fuego de un panel de hormigón prefabricado

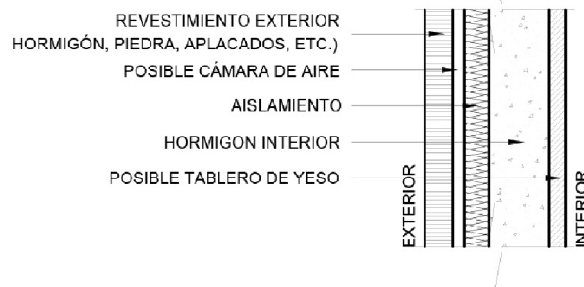
e (m)	m (Kg/m ²)	RA (dBA)
0.060	144	40,9
0.080	192	44,7
0.100	240	48,4
0.120	288	51,3
0.150	360	54,9
0.175	420	57,1

Tabla 02 Reducción acústica

Panel Monocapa



Panel Multicapa



Panel Sandwich

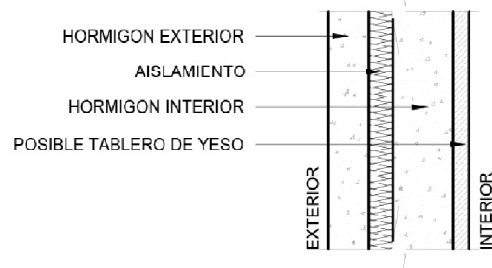


Imagen 27 Tipos de paneles por sus elementos constitutivos

evitar la formación de superficies horizontales donde el agua pueda estar en reposo o también crear drenajes.

- Estanqueidad al agua y viento

Las fachadas de hormigón están constituidas por un material homogéneo, gracias a esto han dado solución a problemas de humedad y entradas de aire. De todas maneras, para garantizar un sellado en la unión de los paneles se debe aplicar un sellante elástico, para así asegurar un hermetismo y controlar que se produzcan entradas de aire y agua.

- Propiedades térmicas

La resistencia térmica de los paneles prefabricados viene establecida por el espesor (e) y la conductividad térmica de los mismos (λ). La conductividad térmica de un panel de hormigón de densidad 2.400kg/m^3 -en condiciones secas- es de aproximadamente $1,6\text{ w/mk}$. También se menciona que la conductividad térmica de las fachadas de hormigón se mejora con trasdosado interior.

- Durabilidad

Uno de los principios del diseño de los paneles de hormigón es que estos se proyectan para resistir las acciones mecánicas a las que serán sometidos. Asimismo, se busca que sean duraderos ante las acciones agresivas del medio ambiente. En condiciones ambientales normales un hormigón bien elaborado presentará una excelente durabilidad al desgaste. De la misma manera, habrá una buena protección a la corrosión de las armaduras. En condiciones ambientales extremas es también una muy buena solución, ya que pueden admitir una amplia gama de tratamientos superficiales, que darán protección específica en circunstancias particulares.

1.6.4.2. Tipos de paneles prefabricados de hormigón

Como menciona Salto (2012) en su documento *Estado del*

Arte de los Paneles Prefabricados de Hormigón para Fachadas, no existe un tratado sistemático sobre la clasificación de paneles. Pero al recopilar información de diferentes autores sobre el tema tratado, se ha podido considerar tres criterios para su clasificación.

1.6.4.2.1. Por su función estructural

- Paneles resistentes o portantes:

Son aquellos que además de cumplir la función de envolvente del edificio soportan y transmiten las cargas verticales de las plantas y la estructura. Debido a su rigidez también pueden contribuir a la estabilidad horizontal del edificio. Estos elementos no pueden suprimirse, puesto que se afectaría la integridad estructural del edificio.

- Paneles no resistentes o auto portantes:

Son aquellos que solo cumplen la función de envolvente del edificio, por lo que solo deben soportar su propio peso (o de las carpinterías que incluyan). las cargas de viento, o nieve y la estabilidad horizontal del edificio. Estos elementos pueden suprimirse sin afectar la integridad del conjunto estructural.

1.6.4.2.2. Por sus elementos constitutivos

- Paneles monocapa:

Estos paneles son una cascara de hormigón homogénea que precisan la instalación del aislamiento térmico y de un trasdosado en obra. La única capa de hormigón debe tener capacidad auto portante, presentar resistencia al paso del vapor de agua y garantizar la estanqueidad al viento y agua.

- Paneles multicapa:

Estos paneles están compuestos por 3 capas de diferentes materiales constructivos en los que una capa de hormigón

suele cumplir la función de soporte estructural del panel. Su ventaja sobre los paneles monocapa es que no precisan de un trasdosado en obra y vienen casi listos para su uso final. Por esto reducen al mínimo las deficiencias o errores de montaje. Su principal desventaja actual es el peso y la dificultad de mantenimiento de la capa aislante.

- Paneles tipo sándwich:

Son los paneles más comunes actualmente en el mercado. En esta clasificación se puede diferenciar 5 elementos principales:

- capa de hormigón interior
- capa de hormigón exterior
- armadura de refuerzo
- conectores
- aislante térmico

1.6.4.2.3. Por su peso relativo

Esta es la valoración más subjetiva sobre la clasificación de paneles. Algunos autores los han clasificado por la densidad de la matriz del hormigón, otros, por el peso por unidad de área, que en la práctica es el más determinante y que según este criterio refleja mucho mejor las cualidades de ligereza del panel.

- Ligeros: cuando la densidad de la mezcla del hormigón de sus capas es inferior a 1.800 kg/m³; o peso por área inferior a los 250kg/m².

- Pesados: cuando la densidad de la mezcla del hormigón de sus capas es superior a 1.800 kg/m³; o peso por área superior a los 250kg/m².

1.6.4.3. Estabilidad estructural de los paneles prefabricados de hormigón no portantes

1.6.4.3.1. Diseño estructural

Según Sánchez (2010), al momento de diseñar un panel prefabricado de hormigón para fachadas, éste debe estar fundamentado en dos estados de carga.

a.) Cargas de servicio, sobre elementos individuales y sobre estructuras: Esta primera condición se debe diseñar bajo la responsabilidad del proyectista. Al ser materiales de cerramiento raramente influirán en su diseño estructural, salvo que se hable de paneles portantes, ya que en estos sí influye el peso propio y el tamaño de la pieza.

b.) Cargas durante la manipulación y el montaje, antes de la instalación: En esta segunda condición, asume directamente la responsabilidad el fabricante. Este deberá tener en cuenta los esfuerzos que se producen en el momento del desmolde, transporte y almacenamiento en fábrica. El fabricante, previo al diseño, debe planificar donde se ubicarán los dispositivos de elevación, pues son siempre necesarios para procesos de manipulación, almacenamiento y desmolde. Las cargas de manipulación en la fábrica y desmolde pueden ser minimizadas con la ayuda de técnicas especiales de manipulación, como serían mediante mesas abatibles y otros sistemas.

También, al momento de desmolde se debe tener en cuenta la resistencia del hormigón, ya que a los 28 días éste adquiere su resistencia final y al momento de desmolde, puede haber adquirido simplemente una fracción. Por lo tanto, se debe verificar que el mismo cuente con una fracción adecuada para realizar el proceso de desmolde. Se recomienda una resistencia mínima de 10 MPA para paneles no portantes (Sánchez, 2010).

Adicionalmente, al momento de transporte y montaje en obra, los paneles prefabricados ocupan diversas posiciones,



Imagen 28 Paneles ligeros de hormigón prefabricado



Imagen 29 Paneles pesados de hormigón prefabricado



Imagen 30 Edificio compuesto por paneles de hormigón prefabricado arquitectónico: Centro Cívico Bicentenario / Lucio Morini + GGMPU Arquitectos

diferentes a la de servicio, que pueden crear situaciones más complejas desde el punto de vista del cálculo. Por lo tanto, los esfuerzos dinámicos también deberían considerarse en el diseño (Sánchez, 2010).

Se debe tener en cuenta que los paneles no deben fabricarse con más espesor del necesario ni tampoco muy delgados, ya que esto conllevaría a que los paneles no cumplan con sus objetivos estructurales, ni funcionales. También se deberá considerar el tratamiento superficial al momento de diseño para que éste no afecte en el espesor mínimo que debe cumplir el elemento (Sánchez, 2010).

1.6.4.3.2. Análisis estructural

Sánchez (2010) menciona que es sumamente importante conocer si los paneles de hormigón prefabricados para fachadas, además de soportar las cargas de diseño propias, también soportan las acciones exteriores del viento, como se mencionó anteriormente en las exigencias funcionales de un cerramiento de fachada. Adicionalmente, estos también pueden soportar las cargas de los elementos de carpintería, así como las acciones exteriores que se ejercen sobre los mismos.

El peso y las acciones de cálculo ejercidas en la fachada se deben transmitir completamente a la estructura del edificio. Por lo tanto, al momento de realizar el cálculo estructural se debe considerar que las cargas que soportan los paneles prefabricados se transmitirán a la estructura por medio de elementos de sujeción en las losas (Sánchez, 2010).

Cada panel debe sujetarse independientemente a la estructura y debe ir anclado o atornillado con el suficiente número de elementos de unión que garanticen su estabilidad. Estos elementos deben ser suficientemente fuertes, ya que deben

transmitir el esfuerzo de vuelco y los esfuerzos del viento a la estructura, que en la mayoría de los casos, se trata de fuerzas horizontales (Sánchez, 2010).

1.7. HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO

El ACI (American Concrete Institute), en su comité 303, enunció la siguiente definición:

“El hormigón arquitectónico es aquel que queda expuesto como superficie interior o exterior dentro de la estructura terminada, contribuye definitivamente a su carácter visual y está diseñado especialmente como tal en los planos y especificaciones del proyecto”. (Bayo, 2011, p.24).

Usualmente, se suele confundir el hormigón arquitectónico con el hormigón visible. Cabe recalcar que ambos tienen connotaciones diferentes. En la tesis titulada *Fachadas de hormigón arquitectónico*, el autor define al hormigón visible como:

“Aquel hormigón que corresponde a partes de una estructura que en la pasada arquitectura habrían estado ocultas o revestidas. Es decir, superficies de hormigón que, sin ser revestidas, no requieren de una calidad estética acusada y en las que no se aplica ningún acabado” (Bayo, 2011, p.22)

Después de aclarar la definición de hormigón visible, Bayo (2011) expone una definición de hormigón arquitectónico en el mismo trabajo:

“Es aquel hormigón cuyas diferentes soluciones de textura, relieve, color y tonalidad pretenden conseguir un aspecto estético definido, es decir, se usará el término hormigón arquitectónico para definir el hormigón convencional en el que los requisitos estéticos tienen una importancia fundamental

entre las características exigidas " (p.22).

En el proceso de investigación de fuentes teóricas, se encontró otro concepto muy importante, debido a que el concepto anterior hace referencia únicamente a la estética. En este nuevo concepto se hace referencia a la técnica pues forma parte del mundo de los paneles prefabricados, por lo cual se espera de aquel todas las ventajas que la prefabricación ofrece.

Según la Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Arquitectónico (2011), las fachadas de hormigón arquitectónico son aquellas que:

"Destacan por su alto grado de industrialización, aplicándose una organización del proceso productivo que, de forma racional y automatizada, implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso integral de diseño, fabricación, transporte y puesta en obra, bajo la perspectiva de una lógica y que empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie permite obtener una mayor productividad global. Al contrario que la construcción convencional, en que cada etapa suele ser independiente del resto, la prefabricación es un concepto amplio que tiene en consideración todas las etapas del proceso de forma cohesionada, buscando la máxima optimización y compatibilidad entre cada una de ellas con lo que el resultado final debe adecuarse a las exigencias establecidas en proyecto en términos de costes, plazos, estética y prestaciones " (p.4).

Finalmente este hormigón, gracias a sus características de industrialización, presenta mejores características físicas y estéticas que un hormigón convencional. Por lo tanto, se lo considera un hormigón de mejor calidad. Conocidos estos aspectos fundamentales, existe una característica que in-

cide directamente en la calidad y es parte fundamental de esta investigación y la menciona Saltos (2012) cuando afirma que estos hormigones también precisan de aditamentos y refuerzos especiales en su matriz para lograr los niveles de calidad y comportamiento que de ellos se esperan y que permiten reducir espesores y por tanto pesos; proporcionando un aumento de dimensiones y facilitando el montaje, como es el caso del GRC "Glass Reinforced Concrete". Andeche (2016) define a este último como un micro - hormigón reforzado con fibra de vidrio alcalino resistente, el cual se conforma por áridos seleccionados de alta resistencia y baja granulometría, cemento, agua, aditivos y fibras de vidrio alcalinoresistentes con alto contenido en zirconio, en donde la fibra de vidrio sustituye las armaduras metálicas tradicionales; por lo que se consiguen muchas ventajas y mejoras en los productos finales.

El compuesto permite obtener un producto de aproximadamente 10mm de sección, con el cual se obtienen paneles de extrema ligereza frente a lo que sería el mismo panel realizado con un hormigón convencional. Además, se le considera un material de alta resistencia a la flexión, tracción e impacto (Vilssa, 2016).

Se trata también de un material con total perdurabilidad, característica que brinda la opción a los arquitectos de desarrollar su capacidad creativa, como consecuencia de la flexibilidad que otorga este material para diseñar formas, modelos, acabados, colores y texturas superficiales, especialmente en aplicaciones de fachadas (Vilssa, 2016).

El GRC es un material que, debido su alta dosificación de cemento, resulta muy rígido; motivo por el cual, la forma de conectar los paneles de GRC a la estructura del edificio debe garantizar el libre movimiento de las piezas para evitar



Imagen 31 Panel de Micro - hormigón reforzado con fibra de vidrio alcalinoresistente



Imagen 32 Fachada de hormigón arquitectónico compuesto por paneles de Micro - hormigón reforzado con fibra de vidrio alcalinoresistente



Imagen 33 Relieve del hormigón



Imagen 34 Textura del hormigón

que pueda fisurarse por efecto de movimientos de la estructura (Vilssa, 2016).

En la imagen 31, se puede observar un panel de fachada moldeado con una cáscara exterior de un espesor de tan solo media pulgada (unos 13 milímetros). Este se conecta a un bastidor de tubo rectangular -confeccionado previamente de acuerdo a la medida de cada panel- al cual queda unido mediante conectores flexibles de acero con un peso de 45Kg por m², sumados los correspondientes a la cáscara de GRC más el bastidor metálico.

1.7.1. Aparición del Hormigón Arquitectónico

Al principio, cuando comenzó a utilizarse el hormigón armado, este material solía esconderse. Entre otras razones, debido a su color gris, a sus terminaciones superficiales y a la tradición existente. Era común admirar puentes u otras edificaciones de hormigón revestidas con piedras, simulando ser productos de mampostería, razón por la cual en las primeras épocas del hormigón armado no se exigía ningún tipo de calidad estética (Bayo, 2011).

Posteriormente, el hormigón comenzó a aparecer en la superficie, de tal modo que se comenzó a exigir requisitos estéticos. Esto fue causado, según explica Aguado y Josa (1993), por el aumento del costo de la mano de obra. Como respuesta, se aconsejó reducir operaciones y por lo tanto dejar de revestir al hormigón, así también surge el hormigón pretensado que permitió crear estructuras más esbeltas y que destacaban la materialidad del hormigón.

Frente a las nuevas exigencias estéticas del hormigón se obtuvieron buenos resultados. Sin embargo, en la década de 1960 y 1970 se encontraron deficiencias de diseño y construcción que comprometían la durabilidad de las estructuras de

hormigón visto. A partir de aquello, arquitectos como Le Corbusier, Mies van der Rohe y Louis I. Kahn implementaron al hormigón arquitectónico en sus proyectos (Peck, 2007).

Desde entonces, las superficies de hormigón arquitectónico continúan en uso hasta la actualidad. Vale mencionar que, ningún otro material constructivo ha mantenido un uso tan extendido en el campo de la arquitectura e ingeniería como el hormigón (Bayo, 2011).

1.7.2. Estética del hormigón arquitectónico

Los factores que determinan el acabado se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: relieve, textura, color y tonalidad. Analizando todas las posibles combinaciones que ofrecen estos cuatro parámetros, se consigue un amplio margen de soluciones a disposición de quien lo proyecte (Aguado y Josa, 1993).

1.7.2.1. Relieve

El relieve en la cara vista del hormigón se produce con las contrahuellas que dejan los encofrados en el elemento. Aparte de los encofrados, existen múltiples opciones para dejar relieves. Una de ellas, consiste en emplear moldes de caucho con los cuales se puede transmitir el relieve al material. Los motivos para emplear relieves pueden ser por temas emblemáticos, aspectos estéticos o para prevenir acciones humanas que deterioren la fachada. A pesar de todas las ventajas que ofrece la aplicación de relieves, ésta puede traer también ciertos inconvenientes como por ejemplo, la acumulación de depósitos de suciedad, aspecto que incide directamente en la estética del elemento y que además puede repercutir en la durabilidad (Aguado y Josa, 1993).

Al pensar en la durabilidad del panel se debe tener cuidado ya que el relieve puede disminuir los espesores de re-

cubrimiento, disminuyendo así la protección frente a la corrosión; por lo cual antes del relieve se debe tener especificados los espesores mínimos del panel (Aguado y Josa, 1993).

1.7.2.2. Textura

C. Ferrer (2004), explica que la textura proporciona una gran calidad al material y del mismo modo permite una variación en la proporción. Esto depende del ángulo de incidencia de la luz, de su intensidad y del punto de vista.

La textura superficial de un prefabricado de hormigón arquitectónico puede conseguirse por distintos métodos, todos pertenecen a uno de los grupos siguientes como menciona Aguado y Josa (1993).

- Procedimiento pasivo:

Aquel resultado que se obtiene directamente del encofrado, pudiendo éste ser liso, rugoso, permeable, impermeable, de madera, de metal o plástico. Se debe conocer que muchas veces las superficies impermeables tienden a dejar un gran número de burbujas en la cara vista. Esto se puede aminorar a través de una buena vibración. De todas maneras, se debe tener cuidado en no sobre vibrar por que esto conlleva a la aparición de defectos superficiales conocidos como transparencia de los áridos. Por otro lado, el uso de encofrados permeables proporciona una superficie vista de hormigón exenta de huecos superficiales. Además, es importante mencionar que una parte que ha permanecido más tiempo encofrada que otra -procediendo ambas de un mismo elemento- eventualmente presentará una tonalidad más oscura, por consiguiente para evitar esta defectuosa terminación se deberá vigilar los tiempos de encofrado (Aguado y Josa, 1993).

- Procedimiento activo:

Aquellos resultados que se obtienen con tratamientos posteriores al desencofrado. Generalmente se elimina la capa externa de la superficie proyectando los áridos. Éste a su vez adquiere gran importancia en el terminado final del hormigón, resaltando su color y su forma (Aguado y Josa, 1993).

Por otro lado, los áridos deberán mantener adecuadas condiciones físicas y químicas de acuerdo al tratamiento que se somete el hormigón, para evitar su degradación al momento de la eliminación de la lechada superficial (Aguado y Josa, 1993).

1.7.2.3. Color

La razón de otorgar color al hormigón es simplemente estética ya que esto conlleva a un sin fin de posibilidades. En cuanto a utilizar diferentes colores en un mismo elemento Gonzales (2005) explica:

Se conocen distintos tipos de armonías de las cuales destacan las armonías de contraste complementario, armonías por analogía y las armonías monocromáticas. Todas ellas son combinaciones de los colores primarios: rojo, amarillo y azul, y de los secundarios: verde, violeta y naranja, presentes en el círculo cromático (p.32).

Además el uso del color en el hormigón consiste en un proceso compositivo, el cual se obtiene a través de sus materiales constituyentes. A continuación se describen los aspectos más destacados:

- Áridos

El árido grueso y el árido fino son los que más influyen en el color del hormigón. Respecto al árido grueso, si este se piensa mezclar con cemento blanco, es necesario que posean una tonalidad clara u homogénea, para evitar una posible



Imagen 35 Círculo cromático de Johann Wolfgang von Goethe



Imagen 36 Pigmentos



Imagen 37 Encofrado metálico



Imagen 38 Encofrado de madera

aparición de sombras. Asimismo F. Kind- Barkauskas (2004), destaca que si se va a realizar un tratamiento posterior al desencofrado, la influencia del color de los áridos será más notoria.

- **Cemento**

Este material también influye de manera importante en el color final del hormigón. Se puede elegir entre cemento gris o blanco, esto dependerá de la coloración que se quiera obtener. De modo que para coloraciones fuertes, el cemento gris es el más apropiado; mientras que para coloraciones claras, se deberá usar cemento blanco (Bayo, 2011).

Aguado y Josa (1993) indican que para obtener un buen acabado, la cantidad de cemento por m³ será de aproximadamente 300Kg, ya que debe existir una consistente cantidad de fracción fina.

- **Aditivos**

Entre los aditivos que pueden provocar cambio de color del hormigón se tiene: aceleradores y retardadores de fraguado, los oclusores de aire, los plastificantes y las adiciones puzolanas y minerales. De todas maneras, el principal aditivo que otorgue color al hormigón serán los pigmentos (Bayo, 2011).

Los pigmentos son finas partículas que dotan de color al material en el cual se mezclan. Son de carácter inerte e insoluble en su medio (Pérez, 1991). Se clasifican en orgánicos y sintéticos, según especificaciones del material y deben agregarse en un porcentaje no mayor al 10% del peso del cemento.

1.7.2.4. Tonalidad

Cuando se utiliza un mismo color, la tonalidad permite un nuevo grado de libertad de diseño. Para la tonalidad no solo influyen los aspectos descritos en el apartado anterior, sino

también otros factores que Aguado y Josa (1993) menciona y son:

- Condiciones termohigrométricas durante la ejecución y el curado
- Materiales constituyentes
- Dosificación del hormigón
- Geometría de los elementos
- Tiempo de amasado
- Tipo de compactación
- Proceso de desencofrado.

La relación agua-cemento es un factor determinante en la tonalidad debido a que las partículas pequeñas del cemento pigmentado, al entrar en contacto con el agua, tienden a cambiar de color por la acción química, rodeándose de un gel semitransparente de color blanco-lechoso que modifica el color original y es el causante de un continuo cambio de color que no se puede determinar mientras la hidratación de la masa del cemento no se haya completado (Aguado y Josa, 1993).

1.7.3. Proceso de fabricación, transporte y montaje de los paneles de Hormigón Arquitectónico

1.7.3.1. Encofrado

El encofrado presenta una gran trascendencia entre los elementos de hormigón arquitectónico. Su elección y diseño influyen en el aspecto del hormigón de manera determinante. Así como el material del mismo se encarga de transmitirle características sumamente importantes (Bayo, 2011).

Las cualidades del hormigón endurecido, en las que más se nota la influencia del encofrado, son la estanqueidad, la dureza, permeabilidad, envejecimiento y la textura superficial

que va en contacto con el encofrado. Por ejemplo, la falta de estanquidad podría provocar pérdidas de lechada; la dureza del encofrado está relacionada con la vida útil del mismo y la permeabilidad influye en el color final del hormigón. Por otro lado, el envejecimiento también afecta al color del hormigón, sobre todo cuando se utiliza encofrados de madera. Asimismo, mientras más rugosa es la superficie del encofrado y si está compuesto por un material permeable, menores serán las burbujas de aire atrapadas otorgando así una superficie más regular (Calavera et al., 1999).

Cuando se usa encofrados de madera, se debe saber que la superficie vista del hormigón dependerá del acabado de la misma. Es importante que la madera de los encofrados sea de una sola procedencia para así mantener la uniformidad de color de la superficie de hormigón. También es conveniente humedecer el encofrado ya que así se evita que el mismo absorba agua del hormigón, afectando la relación agua - cemento y teniendo como resultado hormigones más oscuros. Razón por la cual es recomendable utilizar un material hidrófugo para impermeabilizar la madera (Bayo, 2011).

Los paneles contrachapados suelen ser los encofrados que más se utilizan. Sin embargo, tienen una vida útil sumamente corta. Estos, al igual que la madera, dejan de ser absorbentes con el paso del tiempo y dan lugar a la formación de burbujas superficiales. Como consecuencia se obtienen hormigones más claros y con superficies menos regulares. Es recomendable tratar estos con resinas fenólicas ya que así se mejora la durabilidad del encofrado y también impermeabilizan la superficie, obteniendo así una mejor uniformidad en el color del hormigón (Bayo, 2011).

Otras opciones de encofrado son los metálicos. A diferencia de los de madera, poseen una extensa vida útil. El número

de reutilizaciones que permiten es bastante alto, comúnmente más de 300. Con estos encofrados se obtiene una mayor uniformidad en el color superficial del hormigón. Una desventaja es que al ser un material impermeable y poco absorbente tiende a producir huecos pequeños en la superficie y también genera fisuras superficiales al producirse una mayor contracción con la superficie del hormigón, por el hecho de ser un material poco aislante. Pero el principal problema es que se producen manchas pertenecientes al óxido del encofrado. Para evitar estos inconvenientes se recomienda utilizar desencofrantes que actúen como inhibidores de la corrosión (Bayo, 2011).

El plástico, al ser un material poco absorbente, resulta bastante adecuado para su uso como encofrados. Éstos dan la opción de ser moldeados y convertidos en todo tipo de formas y garantizan la uniformidad del color del hormigón. Para obtener mayor desempeño de los mismos, se recomienda utilizar plásticos reforzados con fibra de vidrio. El principal inconveniente de este tipo de encofrados es el envejecimiento y cambio de color debido a la luz solar, pudiendo afectar así el color del hormigón (Bayo, 2011).

1.7.3.2. Fabricación

El proceso de construcción de los paneles inicia con la limpieza y preparación de los moldes, proceso que consiste en verificar que no haya residuos y posteriormente aplicar aceite desencofrante. La dosificación del hormigón se realizará en laboratorios mediante ensayos hasta conseguir la dosificación adecuada. Se debe mantener la cantidad de agua siempre constante durante la fabricación y si se utilizan pigmentos, hacerlo asegurándose que las cantidades sean las correctas (Sánchez, 2010).

Una vez vertido el hormigón en el molde se debe asegurar



Imagen 39 Encofrado de plástico



Imagen 40 Vertido del hormigón en el molde



Imagen 41 Curado del hormigón



Imagen 42 Desencofrado del hormigón

una compactación adecuada para eliminar el aire que queda atrapado en la mezcla. Esto se realiza mediante un vibrado adecuado. Se debe cuidar de la homogeneidad de los materiales y realizar la mezcla de forma homogénea, descargar la misma evitando que haya segregación. Posteriormente el compactado se debe realizar de manera manual o mecánica, tratando siempre de conseguir un producto denso y homogéneo de características superficiales agradables (Sánchez, 2010).

La colocación de la armadura deberá efectuarse tal como indican los planos. Si la mismas se encuentra dentro de un ambiente corrosivo, se deberá aumentar el recubrimiento. Los elementos de anclaje deberán fijarse correctamente a la armadura tal como indique el cálculo (Sánchez, 2010).

Las armaduras y demás piezas metálicas deberán mantenerse en su correcta posición durante el hormigonado. Éstas deberán ser suficientemente rígidas para evitar que se muevan de su correcta posición durante el vibrado y garantizar así un recubrimiento adecuado (Sánchez, 2010).

1.7.3.3. Curado

El curado es un proceso determinante que deberá efectuarse siguiendo procesos ya establecidos con el fin de garantizar uniformidad y evitar manchas o grietas superficiales. Consiste en retener la humedad para permitir la hidratación del cemento y evitar la formación de fisuras superficiales debido a la pérdida de agua mientras el hormigón se encuentra en estado plástico. Este se realizará mediante riego directo al elemento o colocando plásticos, cuidando siempre la retención de la humedad, principalmente en el primer período de endurecimiento que es vital para la plena obtención de la resistencia del hormigón (Sánchez, 2010).

1.7.3.4. Desencofrado

La determinación del momento más adecuado para realizar el desencofrado del hormigón es uno de los factores más importantes al momento de proporcionar las características resistentes mínimas que requiere para soportar los esfuerzos aplicados en él durante este proceso, debido a que el encofrado deja de ser el elemento que lo sostenía en un inicio. Por lo tanto, se debe cuidar de un desencofrado prematuro ya que podría ocasionar grietas en la superficie vista, por no haber obtenido una resistencia adecuada (Bayo, 2011).

El despegue es conocido como el rompimiento de la adherencia superficial entre el hormigón en estado endurecido y el encofrado que le ha otorgado la forma. Para facilitar este procedimiento, se puede utilizar productos desencofrantes y su uso es aún más necesario cuando el encofrado presenta una superficie rugosa (Martín, 1981).

Existe un gran número de productos desencofrantes disponibles en el mercado. Estos se clasifican según su base líquida disolvente, pudiendo ser acuosa o grasa. El defecto de los desencofrantes de base grasa es que pueden dejar manchas óleas en el paramento del hormigón. Asimismo, el defecto de los de base acuosa es que son de fácil removimiento, ya sea por causa de agua de lluvia o por el hormigón en el momento del llenado o finalmente por procesos de evaporación, este defecto hace recomendable su aplicación en una etapa tardía y próxima al hormigonado (Bayo, 2011).

1.7.3.5. Manipulación

La manipulación de paneles arquitectónicos se realiza mediante elementos embebidos en el panel, elementos que se dejaron al momento del hormigonado. Estos pueden ser casquillos roscados y bulones. El número de elementos de izado va de acuerdo al tamaño del panel y para efectuar este pro-

cedimiento se utilizará balancines, eslingas, cadenas u otros elementos de diversas formas (Sánchez, 2010).

1.7.3.6. Transporte

El transporte se ejecuta mediante caballetes metálicos en los que los paneles se apoyan verticalmente y se asientan sobre un borde de madera con protecciones de goma. Se debe tener especial atención en las restricciones actuales de transporte en cuanto a carga y dimensiones (Sánchez, 2010).

1.7.3.7. Acopio

Cuando los paneles llegan a la obra, estas se colocan de manera vertical sobre caballetes. Al igual que en el transporte, se colocan en su canto inferior sobre madera y protecciones de goma, estos a su vez deben colocarse en ambos extremos para compensar el peso y evitar volcamientos (Sánchez, 2010).

1.7.3.8. Montaje

El montaje de los paneles debe ser realizado exclusivamente por personal capacitado. También se debe realizar tomando en cuenta las especificaciones del proyecto, tal como se indica en los planos y detalles de montaje (Sánchez, 2010).

Usualmente son piezas de gran tamaño y peso, por lo que se requiere una cuidadosa planificación de las tareas a realizar y se deberán tomar todas las precauciones necesarias respecto a la seguridad. En el caso de presentarse vientos con altas velocidades se deberá suspender el trabajo y verificar constantemente los elementos auxiliares (Promateriales, 2016).

Este procedimiento se pone a prueba por los anclajes y elementos de izado que se dejaron en el proceso de hormigonado. A estos se sujetan los cables de las eslingas de la grúa y

se mueven a su ubicación final en el edificio. A continuación se explica el proceso de montaje de los paneles como lo señala Sánchez (2010):

1. Replantar los paneles en la estructura ya terminada, guiándose siempre en los planos de montaje. En estos se deberá notar claramente las cotas de replanteo, la modulación y nomenclatura. Se deberá encajar de manera perfecta y considerando en todos los casos la carpintería que debe acoplarse al sistema.
2. Identificar un reparto de juntas para absorber errores de ejecución de la obra in situ.
3. Trasladar el panel a la zona de montaje.
4. Posicionamiento, nivelado y aplomado.
5. Anclaje mediante soldadura o atornillado.

1.7.4. Tecnología del hormigón arquitectónico

1.7.4.1. Formas de los paneles

Una de las cualidades más importantes del hormigón es su plasticidad, ya que permite un amplio rango de formas posibles. Se puede distinguir dos tipos de formas. Las abiertas, como por ejemplo un módulo que contiene un vano para una puerta, es decir no cuenta con la parte interior; y la forma cerrada, que es el modulo completo sin aberturas. No se recomienda el uso de paneles de forma abierta ya que por su misma forma son más delicados y pueden necesitar más soportes o rigidizadores que aumentarían el costo de producción (Sánchez, 2010).

Un aspecto a considerar, en la forma de un panel, es el bisel que será lo que permita desmoldar el mismo. Deberá tener una inclinación mayor pues mientras más estrecho, más delicado será el elemento, debido a que la adherencia es un factor importante para el diseño y desmoldeo. También de-



Imagen 43 Montaje de paneles hormigón prefabricado arquitectónico



Imagen 44 Dimensión de un panel en función de la capacidad de transporte

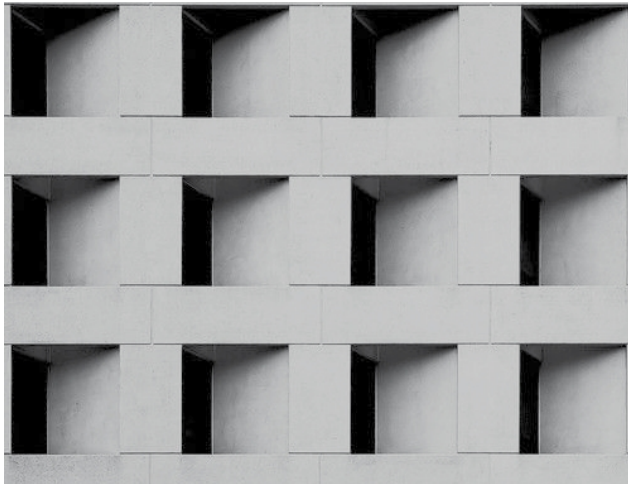


Imagen 45 Racionalización de paneles de hormigón prefabricado



Imagen 46 Fachada modulada

berá considerarse el encuentro entre dos masas de hormigón en un mismo panel. Siempre que sea posible será gradual, esto en función de reducir la posibilidad de una rotura y mejorar la integridad estructural y el acabado del mismo (Sánchez, 2010).

Se recomienda que todos los bordes de los paneles prefabricados se elaboren con un radio considerable y no con esquinas agudas. Éstas se tienden a quebrar fácilmente durante el proceso de manipulación y montaje. Cada proyecto requiere un estudio especial en cuanto al diseño de detalles de sus esquinas con el objetivo de determinar la solución más adecuada con respecto a su aspecto, resistencia, intemperie y economía (Sánchez, 2010).

1.7.4.2. Dimensiones de los paneles

La dimensión de los paneles es una condición propia de cada fabricante, aunque generalmente éstas se pueden limitar por el transporte. (Imagen 44) La dimensión óptima de altura se considera la altura de dos pisos y un múltiplo de un módulo de la base. Este último suele estar condicionado por el diseño del edificio. Sin embargo, en paneles autoportantes, las dimensiones se establecen por la capacidad de manipulación y transporte. Estos paneles usualmente pueden tener espesores de 8 a 12cm, pero se debe limitar su peso a no más de 10 toneladas (Sánchez, 2010).

La manipulación de un panel prefabricado incide directamente en el coste del hormigón prefabricado, por eso se aconseja generar paneles tan grandes como sean posibles, ya que a diferencia de manipular un elemento pequeño se cubre una mayor superficie y se realiza en menores tiempos de ejecución (Sánchez, 2010).

1.7.4.3. Racionalización de los paneles

La racionalización en el diseño de paneles es de suma importancia, ya que es un método con el cual se optimizan recursos. Como principio de racionalización es aconsejable primero desarrollar un panel base, de dimensiones máximas del cual se puedan obtener el resto de paneles. Para conseguir el máximo provecho de optimización de paneles, Sánchez (2010) describe dos criterios con los que se reducirán costos y tiempos de ejecución de la obra:

- Para crear una optimización en el diseño se debe procurar mantener una repetitividad de los paneles, ya sea en las dos o en una de las dimensiones. Con esto se obtendrá mayor rentabilidad en el uso de moldes.
- Se debe tratar de conseguir una superficie media elevada, ya que cuanto mayor sea el tamaño medio de los paneles, menor número de moldes y tiempos se necesitan en su fabricación y mejor será el rendimiento de ejecución.

1.7.4.3. Modulación de la fachada

Se debe tener claro que la modulación es un factor importante en el diseño de edificios, su aplicación es primordial. Pero al mismo tiempo no debe volverse un obstáculo para la concepción arquitectónica del mismo. Se ha observado que desde tiempos ancestrales se utilizaba la modulación, como en las construcciones griegas y romanas, *"donde la sincronización de espacios y formas, alcanzaba caracteres verdaderamente envidiables en base a retículas modulares preestablecidas"* (Sánchez, 2010, p.45).

Asimismo Sánchez (2010), menciona que los mayores intentos de modulación se aprecian con los precursores del renacimiento, como es el caso de Leonardo Da Vinci. Él muestra sus intentos de adaptar formas y medidas a la escala humana mediante un canon modular basado en las dimen-

siones del hombre.

Las fachadas de hormigón arquitectónico se caracterizan por ser elementos que se fabrican acoplándose al diseño del proyectista. Cada proyecto es único y su modulación es específica, por lo cual difícilmente se podría volver a repetir en otra obra. Por esta razón es imprescindible que el proyectista facilite al constructor todos los planos de la obra en donde se encuentra detalladamente el correcto despiece de los paneles, así como el estudio detallado de uniones y esquinas. De esta manera, se garantizará la calidad del aspecto y resultado final de la fachada (Sánchez, 2010).

1.7.4.4. Uniones de los paneles

Este es un tema muy subjetivo y amplio que se analiza de una forma general, ya que los paneles arquitectónicos son diseñados en base a consideraciones especiales de cada proyecto y dan como resultado gran variedad de formas y tamaños, que a su vez generan múltiples detalles constructivos que se solventarán con uniones y anclajes específicos (Sánchez, 2010).

Sánchez (2010), explica que entre las uniones de paneles arquitectónicos se pueden dar dos tipos. Primero, uniones secas, que se realizan con fijaciones y segundo, uniones húmedas, que se realizan con hormigonado en la junta. En la primera, la fijación será la que permita una adecuada colocación del panel; mientras que en la segunda, se necesitará colocar un elemento en el cual se apoye el panel para proceder al llenado de la junta.

El correcto diseño de uniones es fundamental, con las mismas se debe garantizar la resistencia estructural frente a las fuerzas que ejerce el viento, así también influirá en la velocidad de la construcción (Sánchez, 2010).

Las uniones secas en paneles no portantes no necesitan hormigón debido a que éstas se ejecutan mediante perfiles o conectores metálicos, bien con soldadura o tornillos. Se deberá procurar que estos elementos sean galvanizados o de acero inoxidable. En el caso de que vaya a existir soldadura, las piezas metálicas embebidas en el hormigón deberán tener un espesor mínimo (Sánchez, 2010).

Para el cálculo de las uniones para el panel más desfavorable se debe tomar en cuenta que, éstas deberán ser simétricas y se ubicarán como norma general al 1/5 de la luz, ya que Sánchez (2010) lo describe como:

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 (p.64).

Para una unión simple de una o más piezas embebidas, el cálculo debe contemplar que la carga se puede distribuir entre las piezas y estas deben colocarse correctamente en sentido perpendicular a la superficie y en la misma línea de acción de la fuerza aplicada (Sánchez, 2010.)

Las piezas embebidas deberán siempre mantenerse limpias y deben colocarse cuidadosamente para conseguir una transmisión óptima. Respecto a costos, se pueden reducir, si con una sola pieza se unen dos paneles adyacentes. Para esto las uniones se colocarán próximas a los bordes (Sánchez, 2010).

Se debe considerar una adecuada protección de las piezas metálicas frente a la corrosión y a la humedad. Éstas deberán estar completamente cubiertas de hormigón y protegidas correctamente. Antes de aplicar cualquier tratamiento se realizará una adecuada limpieza (Sánchez, 2010).

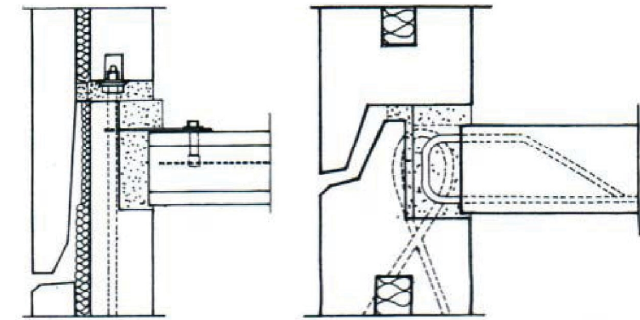


Imagen 47 Unión seca y húmeda

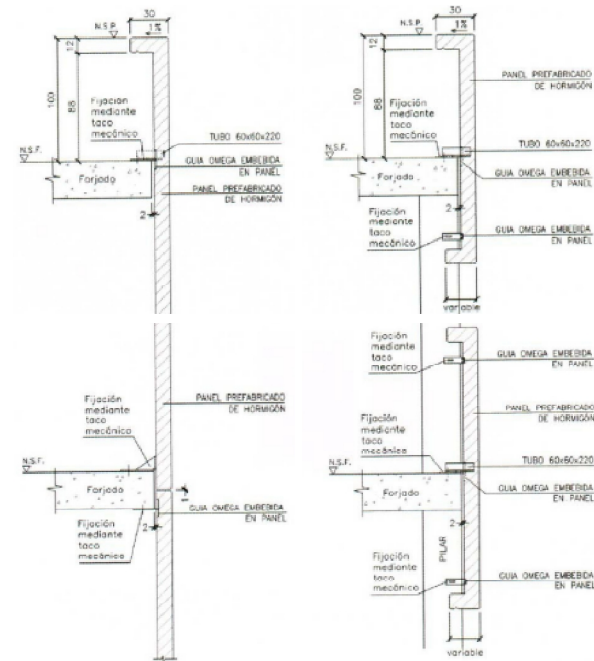


Imagen 48 Unión paneles prefabricados

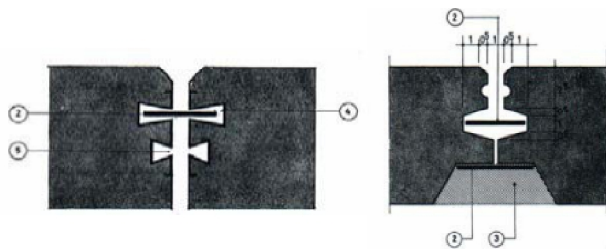


Imagen 49 Junta ventilada

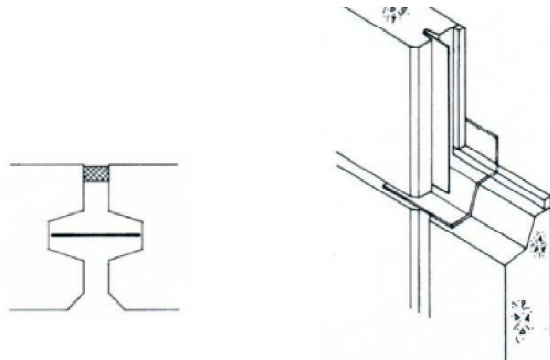


Imagen 50 Esquema de Junta ventilada

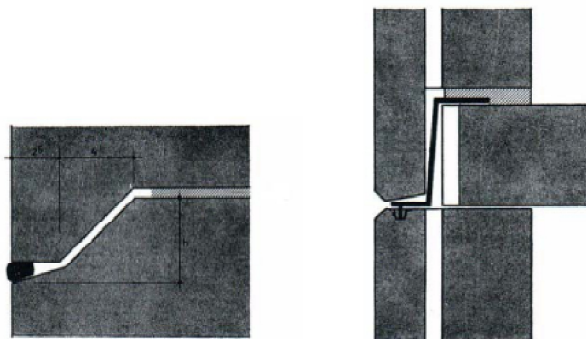


Imagen 51 Junta horizontal

Es importante mantener la simplicidad y repetición en el tipo de uniones de los paneles arquitectónicos. Esto lleva a un ahorro significativo en la fabricación de elementos metálicos. Sin embargo, no se debe olvidar que las uniones deberán ser calculadas para las condiciones más severas (Sánchez, 2010).

1.7.4.5. Juntas entre paneles

1.7.4.5.1. Diseño de juntas entre paneles

Para asegurar la estanqueidad frente al agua y viento en las fachadas prefabricadas de hormigón se deberá sellar las juntas verticales y horizontales entre paneles. La junta se diseña concretamente para garantizar el grado de estanqueidad en su exposición al ambiente exterior. El diseño de la misma depende de la exposición, función, exigencias estructurales, aspecto y economía. Debido a que el diseño de juntas es la parte más débil de todo el conjunto de estanqueidad entre paneles arquitectónicos, deben ser tomados con mucha importancia y ser resueltos de la manera más racional posible (Sánchez, 2010).

En el diseño de juntas no sólo basta con pensar en la estanqueidad contra el agua y viento, aparte se debe solucionar el apoyo de una hoja respecto a otra. Por lo tanto, se debe concebir un buen diseño de la hoja, ya que es la mejor manera de asegurar un correcto funcionamiento frente a posibles fallos de terceros, como es el caso de productos adhesivos que pueden ser mal colocados (Sánchez, 2010).

El ancho de la junta se verá sometido a variaciones debido a cambios de temperatura. Por lo tanto, es necesario que el sellado de dichas juntas se acople a las variaciones producidas sin romperse o desprenderse el material que las constituye (Sánchez, 2010).

1.7.4.5.2. Juntas verticales y horizontales

En las fachadas prefabricadas de hormigón, como se ha venido mencionando, se encuentran juntas horizontales y verticales, pero se debe recalcar que las juntas verticales son en las que mayor consideración se debe tener (Sánchez, 2010).

Las juntas verticales se forman por la unión de dos paneles ubicados de forma lateral. El concepto de sellado se hace con un material de relleno. De todas maneras, se recomienda disponer de un espacio aireado de tal modo que cualquier infiltración ocurrida pueda escurrirse. Como solución para las juntas verticales se puede aplicar el concepto de la junta ventilada, la cual consiste en no sellar del todo la junta, de modo que la humedad pueda moverse a través del material de relleno hacia la cámara de aire ubicada detrás del mismo y escurrirse por medio de las juntas horizontales (Sánchez, 2010).

Las juntas horizontales se forman por la unión de un panel superior y un inferior. Esta junta se soluciona gracias a la forma propia del panel en la zona misma de la junta, la cual evita la penetración del agua (Sánchez, 2010).

1.7.4.5.3. Juntas de un sellado y doble sellado en paneles

Como se ha venido mencionado, el diseño de junta de los paneles es de mucha importancia para el éxito de un proyecto basado en prefabricados de hormigón. Las juntas se clasifican en juntas de un solo sellado y de doble sellado (Sánchez, 2010).

- Las juntas de un sellado están simplemente formadas por un solo cordón de sellado contra la intemperie. Éstas se ubican siempre en la superficie exterior y su correcto funcionamiento dependerá del método de ejecución y de la calidad

de los materiales (Sánchez, 2010).

- Las juntas de doble sellado se caracterizan por tener dos líneas de protección frente a la intemperie. La primera, que sirve para contener la lluvia ubicada cerca de la cara exterior y la segunda, que sirve de sellado contra el viento ubicada cerca de la cara interior. Entre las dos líneas de sellado existe una cama de aire interior que se encarga de ventilar y drenar hacia el exterior ya sea vapor o humedad (Sánchez, 2010).

Las juntas de doble sellado pueden ser diseñadas para grandes longitudes y de múltiples anchuras. Se considera el tipo de junta más apropiado para edificios emplazados en lugares de climas fríos. Se debe destacar que ésta deberá ser accesible desde el interior para el sellado de la junta contra el viento. Sin embargo, este tipo de junta presenta una desventaja en el aspecto económico (Sánchez, 2010).

1.7.4.5.4. Características de las juntas

Se debe conocer la manera en la que un edificio se comporta frente a la intemperie, ya que esto incide en la localización y detalle de juntas. Para evitar consecuencias inesperadas de la intemperie es aconsejable también diseñar las mismas haciéndolas anchas y colocándolas separadas de superficies adyacentes. La anchura de las juntas deberá formarse según los movimientos previstos en las mismas, éstas comúnmente suelen ser de 12 a 25mm (Sánchez, 2010).

El hormigón es un material que está sujeto a cambios dimensionales debido a variaciones de temperatura, que son las causantes de la mayor parte de movimientos en las juntas. Por lo tanto, habrá que considerar esta variación de acuerdo a la diferencia máxima de temperaturas a las que están expuestos los paneles (Sánchez, 2010).

Es aconsejable disponer de un mismo tipo de juntas, esto se logra en la etapa del moldeo utilizando un molde repetitivo. Se deberá cuidar que los bordes de los paneles se encuentren sin desperfectos, uniformes, limpios y libres de cualquier contaminante antes del tratamiento de las juntas. Los sellados aplicados serán provistos por el fabricante del panel señalando adecuadamente su uso (Sánchez, 2010).

En el caso de paneles no portantes, las juntas no presentan tanta importancia debido a su capacidad mecánica. Sin embargo, se deberá tener cuidado ya que son parte esencial de la estética de la fachada, así como importantes por la impermeabilidad del agua y viento. (Sánchez, 2010)

1.7.4.5.5. Proceso de sellado de juntas

El proceso de sellado de juntas se realiza de la siguiente manera, según explica Sánchez (2010):

- Colocación de un elemento de elevación acorde con las condiciones de la obra en ese momento, teniendo en cuenta que el sellado se realiza desde el exterior de la fachada.
- Limpieza de los bordes de las juntas.
- Imprimación de las juntas con puente de unión.
- Instalación de un cordón obturador de polietileno del diámetro adecuado al ancho de junta.
- Sellado final por extrusión con silicona neutra o masilla de poliuretano.

1.7.4.6. Limpieza

Una vez terminado el montaje se deberá eliminar todas las machas y suciedad. Este proceso se debe realizar después del posicionamiento final del elemento y tratamiento de juntas. Las caras del panel se realizarán únicamente con productos especificados por el fabricante. Estos deberán ser compatibles con el hormigón, ya sea agua o productos

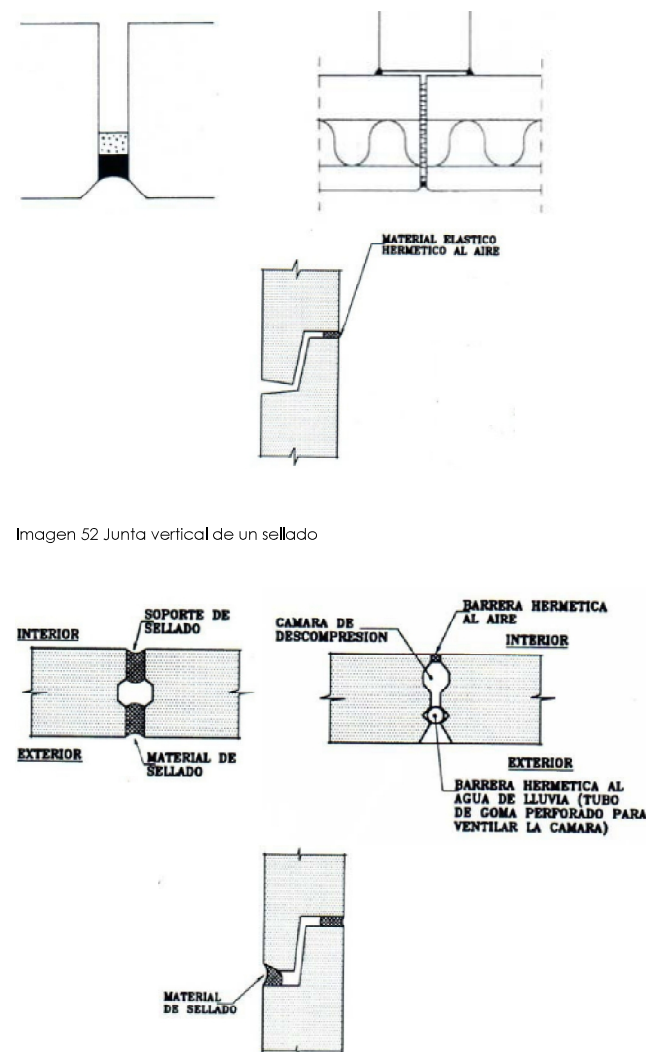


Imagen 52 Junta vertical de un sellado

Imagen 53 Junta vertical doble sellado

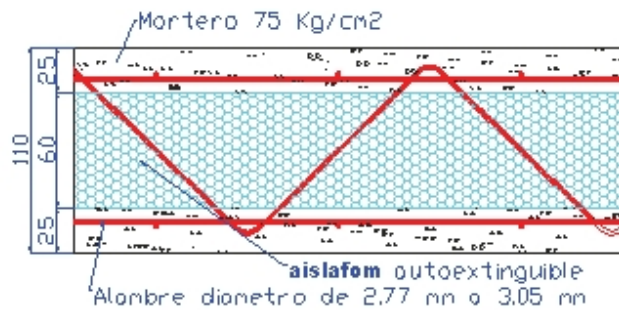


Imagen 54 Construpanel®

químicos. Se debe tener cuidado de no dañar al panel en el proceso de limpieza que se realizará dependiendo del tipo de panel (Sánchez, 2010).

1.7.4.7. Mantenimiento

Para mantener al panel arquitectónico en condiciones óptimas de deberá seguir unas recomendaciones especificadas por Sánchez (2010). A corto plazo, entre 1 a 5 años el panel no requerirá mantenimiento; a medio plazo, entre 5 a 10 años se recomienda la limpieza de la fachada y al mismo tiempo realizar una inspección visual del sellado de juntas; por último, a largo plazo, es decir más de 10 años, se debe realizar una inspección del sellado de juntas, en el caso de encontrar juntas deterioradas se deberá sacar el material sellante, limpiar y procede a sellar nuevamente.

1.8. PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO EN EL ECUADOR

Actualmente en el Ecuador existen varias empresas que se dedican a la fabricación de paneles de hormigón prefabricado, como es el caso de Aislapol S.A., Hormypol y Hormi2. Todas han tenido una larga trayectoria introduciendo productos de nueva tecnología en el ámbito de la construcción prefabricada, usualmente destinados a la construcción de viviendas y edificios. Los elementos prefabricados que estas empresas ofertan cumplen los más altos estándares de calidad al ser elementos industrializados. Por lo tanto, no hay duda de que obedecen todos los objetivos para los cuales fueron creados.

Retomando el eje de esta investigación, el objetivo de la misma fue estudiar el concepto de panel prefabricado de hormigón arquitectónico, para posteriormente elaborar uno. Por lo tanto, se hizo necesario estudiar referencias sobre aquellos que puedan dar pautas para el diseño del mismo y de mane-

ra especial aquellos que se producen en el ámbito local. Es así, que se seleccionó a las empresas descritas anteriormente para realizar el estudio de sus productos, enfocados al uso como cerramientos exteriores y particiones interiores.

1.8.1. Aislapol

El construpanel® es una estructura tridimensional formada por mallas de acero, con una abertura de 10 cm y armadura triangular electrosoldada. Con diámetros de 2.7 ó 3.05 mm, $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$, un núcleo de espuma de poliestireno expandido aislafomâ de 6 cm de espesor, y un revestimiento en ambas caras de una capa de mortero de $f'c = 75 \text{ Kg/cm}^2$ en un espesor de 2.5 cm., obteniendo un elemento rígido ligero, de alta capacidad estructural y excelente resistencia térmica. Las dos mallas están interconectadas a efectos estáticos por medio de una armadura de alambre de acero galvanizado ($f_y= 5000 \text{ Kg/cm}^2$) de 2.7. ó 3.05 mm de diámetro, en zigzag, repartidas uniformemente a lo largo de todo el panel (Aislapol, 2016).

1.8.1.1. Dimensiones y peso de construpanel®

- Dimensiones: 2.20 m x 2.40 m (estándar)
- Dimensiones especiales: Bajo pedido
- Espesor: 8 cm (entre mallas)
- Peso del panel: 4.5 Kg/m² (sin mortero)
- Peso del panel: 100 Kg/m²(con mortero)

1.8.1.2. Propiedad estructural

La estructura tridimensional que resulta de sus 241 puntos de soldadura, sus 15 grapas de acero por m² y la interconexión de las dos mallas por medio de la armadura de alambre de acero hacen que todo el panel se comporte como un muro portante y así responde a los requerimientos de cortante como sección compuesta. La rigidez entre sus uniones y conectores le dan la continuidad estructural necesaria



Imagen 55 Viviendas realizadas con el sistema constructivo Construpanel®

para formar elementos constructivos ligeros, auto – portantes y resistentes (Aislapol, 2016).

1.8.1.3. Propiedades acústicas

Gracias a la capacidad de absorción de ondas de la espuma de poliestireno aislafom®, el panel ofrece buena resistencia al paso del ruido (Aislapol, 2016).

1.8.1.4. Características del aislafom®

Tiene propiedades aislantes térmicas, buenas propiedades acústicas y es 100% reciclable. Además el aislafom® es auto extingible, lo que permite un excelente comportamiento contra el fuego, pues impide que éste se propague, ya que por su composición no propaga las llamas (Aislapol, 2016).

1.8.1.5. Propiedades aislantes

En la actualidad, la espuma de poliestireno aislafom® es el material termo – aislante más efectivo para usarse en construcción, ya que está formado por pequeñas celdas independientes que contienen aire. De esta manera, ofrece gran resistencia al paso del calor por convección. Su bajo coeficiente de conductividad, reduce la conducción del calor a través de un muro con construpanel® (Aislapol, 2016).

1.8.1.6. Ventajas constructivas

- Ligereza en la construcción por la reducción en cargas muertas en 50% respecto a los sistemas tradicionales.
- Ligereza en su transportabilidad, maniobra de carga y descarga y su manejo.
- Alta relación resistencia / peso para absolver movimientos sísmicos.
- Alta Termo resistencia para ahorros de energía y bienestar habitacional.
- Permite la auto construcción usando herramientas convencionales.

- Flexibilidad en la modulación.
- Compatibilidad y adaptabilidad a materiales constructivos tradicionales.
- Facilidad para ocultar instalaciones eléctricas e hidrosanitarias.
- Competitivo en la velocidad de construcción unitaria y notablemente ventajoso en la construcción en serie.
- Nula o mínima utilización de castillos, columnas, cadenas y traveses, por la naturaleza monolítica de la construcción.
- Flexibilidad en cortes para detalles arquitectónicos en puertas, ventanas, tragaluces, esquineros y volúmenes.
- Emplea un mínimo de accesorios de instalación.

1.8.2. Hormypol

Los paneles de HORMYPOL® son fabricados con tecnología ecuatoriana. Están constituidos por dos láminas externas de 12 mm de espesor de micro hormigón vibro prensado y una lámina central de 50 mm de poli estireno expandido. Embebida en cada una de las capas externas de micro hormigón se encuentra una malla hexagonal de acero. En los paneles en los que se solicita o requiere armadura de refuerzo, se incluye también dentro del micro hormigón, en una o en ambas caras, una malla de acero electro soldado (Hormypol, 2009).

1.8.2.1. Tipo de paneles por la cuantía de acero

- Panel simple: tiene esta denominación porque en su interior no mantiene ningún tipo de acero de refuerzo, sino una malla hexagonal de alambre muy fino en cada cara que cumple la función de evitar fisurados por contracción, así como la de absorber cierto impacto. Sin embargo, su estabilidad y resistencia a los agentes atmosféricos es idéntica a las otras presentaciones (Hormypol, 2009).
- Panel armado: estos se diferencian de los anteriores por



GRAFICO I

Imagen 56 Panel Hormypol



Imagen 57 Instalación paneles Hormypol

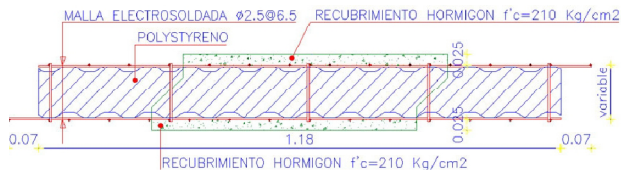


Imagen 58 Panel simple modular estructural Hormi2

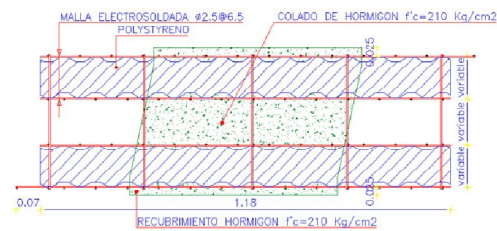


Imagen 59 Panel compuesto estructura Hormi2



Imagen 60 Vivienda realizada con el sistema constructivo Hormi2

que en una o en ambas caras, a más de la malla de impacto, mantiene una malla de acero electro soldada, embebida en el micro hormigón, produciendo un efecto de blindaje frente a posibles intentos de atravesarla, o de ser destruida por golpes muy fuertes (Hormypol, 2009).

• Panel de losa de entrepiso: este panel sobrepasa con un factor de seguridad mayor a cuatro los requerimientos de una sollicitación normal. Mantiene una malla de acero electro soldada en la cara inferior, y una malla de alambre de 0.5 mm en la superior e inferior (Hormypol, 2009).

1.8.2.2. Dimensiones disponibles

- $b = 1,00$ m.
- $h = 1,30$ m.
- $e = 74$ mm.
- $w = 68,75$ kg/m²
- w_t panel $1 \times 1,30 = 89,37$ kg/m²

1.8.2.3. Dimensión de sus componentes

- Espesor de caras de micro hormigón: 12 mm.
- Espesor de poli estireno interno: 50 mm.
- Espacio de nervaduras transversales internas: 150 mm.
- Espesor de nervio (macho) en panel: 19 mm.
- Ancho de surco (hembra) en panel: 20 mm.
- Paso de malla hexagonal de impacto: 15 mm.
- ϕ malla electro soldada en paneles armados. 3 – 5,5 mm.

1.8.2.4. Especificaciones técnicas

- Resistencia a la compresión: 400 – 450 kg/cm²
- Resistencia a la tracción: 90 – 95 kg/cm²
- Sometido a flexión se obtiene valores de 1.175 kg de carga uniformemente distribuida sobre el panel previo a su rotura
- Peso específico del micro hormigón: 2.400 kg/m³
- Peso específico del poli estireno: 13,00 kg/m³

- Peso específico del panel 0,93 kg/dm³
- Acero de refuerzo en malla grafilada (ext y losa) 4.200 kg/cm²
- Resistencia media del panel a la compresión: 158 – 176 kg/cm²

1.8.2.5. Ventajas del sistema hormypol

- Menor tiempo en la ejecución de obra.
- Reducción del costo de construcción.
- Fácil instalación.
- Estabilidad al paso del tiempo.
- Peso reducido.
- Impermeabilidad por su alta densidad.
- Menor impacto ambiental
- Sistema cortafuegos.

1.8.2.6. Propiedades importantes

• Para poder instalar los paneles, puede prescindirse del uso de columnas en obras bajas. Como elementos estructurales en obras altas, pueden ser instalados en sistemas aporticados de hormigón, acero o madera, pueden complementarse con tabiquería de ladrillo, bloque de hormigón, adobe, tapia, e inclusive madera (Hormypol, 2009).

• El poli estireno EPS es no degradable, posee grandes propiedades termo acústicas, es no tóxico, es auto extingible al fuego; es resistente al agua salada, ácidos diluidos, metanol, etanol, soluciones alcalinas, y se contrae a la acción de ácidos concentrados y disolventes orgánicos (Hormypol, 2009).

1.8.3. Hormi2

Es un moderno sistema constructivo de hormigón armado, formado por paneles modulares producidos industrialmente. Su función estructural es garantizada por dos mallas de acero galvanizado electro-soldadas, unidas entre sí a través de

conectores de acero también galvanizado formando una estructura espacial, que encierra en su interior una placa de poli-estireno (EPS) expandido, la cual asegura un aislamiento termo-acústico. Una vez colocados en obra se añaden dos capas de micro hormigón y se obtiene una estructura sismo resistente, formada por muros portantes, losas y escaleras. El sistema permite realizar construcciones de hasta 20 pisos, en cualquier tipología y diseño arquitectónico (Hormi2, 2013).

1.8.3.1. Tipos de paneles

- Panel Simple Modular Estructural (PSME): se usa como estructura de muros portantes en construcciones de hasta 5 pisos, con lanzado de micro hormigón en ambas caras. Es utilizado en paredes, escaleras y losas de cubierta dependiendo de la configuración de la obra (Hormi2, 2013).

- Panel Doble: se conforma de dos paneles simples unidos entre sí por conectores de acero de alta resistencia y se usa como estructura de muros portantes en construcciones de hasta 20 pisos, con un colado de hormigón en el centro de los dos paneles y un lanzado del micro hormigón en ambas caras externas del panel doble (Hormi2, 2013).

1.8.3.2. Ventajas del sistema Hormi2

- Liviano: al utilizar una alma de poliestireno expandido, el m2 del panel pesa 6 kg/m2 lo que lo hace de fácil maniobrabilidad y manipulación
- Rapidez constructiva: el sistema permite un ahorro de hasta el 40% en tiempo de ejecución en obra muerta.
- Fácil construcción: es un sistema de fácil transportación e instalación. Mejora el rendimiento del personal contratado en obra, Además, en su proceso constructivo no se requiere picar y resanar las paredes para las instalaciones.
- Resistente: posee una malla de acero electrosoldada a cada lado, que luego de ser revestidas cada una con un mi-

cro hormigón, ofrece una alta resistencia que transmite seguridad y fortaleza y es una estructura espacial sismoresistente.

- Versátil: se adapta a cualquier detalle constructivo, sin importar su tipología o arquitectura.
- Ahorro de materiales: proporciona un ahorro de costos significativos al disminuir el uso de encofrados, madera, estructura, clavos, etc.
- Limpieza en obra: reduce considerablemente el desalojo de desperdicios y basura generados, volviéndola una obra más limpia.

Según el análisis realizado, los productos señalados ofrecen múltiples ventajas y usos. Del mismo modo, el estudio sirvió para conocer aspectos importantes a tomar en cuenta a la hora del diseño del panel de hormigón prefabricado arquitectónico de esta investigación. Vale aclarar que, a los paneles prefabricados de hormigón estudiados no se los puede denominar arquitectónicos, porque estos desvinculan una cualidad sumamente importante que caracteriza a un panel arquitectónico, y es la estética. Estos paneles están diseñados para funcionar como cerramientos exteriores y particiones interiores, pero la superficie vista está destinada a ser posteriormente recubierta dejando de lado la estética propia del hormigón. En el caso de no ser recubiertos no presentan un mayor acabado singular que exprese la materialidad del hormigón, sino simplemente es la propia terminación adquirida por el método de fabricación, por lo que en conclusión se los puede denominar paneles prefabricados de hormigón visto, mas no arquitectónicos.

1.9. CONCLUSIONES

1. El presente capítulo sirvió para conocer con más detalle el mundo de los paneles de hormigón prefabricados, así como sus características más importantes. De modo que se

generó una noción de los aspectos más relevantes que se debió tomar en cuenta para el diseño del panel de hormigón prefabricado arquitectónico. Sin la noción de estos aspectos sería muy difícil lograr el diseño adecuado de un cerramiento de fachada, como es el caso de las exigencias funcionales que deben cumplir estos elementos, resaltando sobretodo la seguridad estructural; aspecto que permitió conocer los esfuerzos a los que son sometidos los paneles de fachada durante su fabricación y al momento de desempeñar su función, de tal modo que se pueda diseñar estos elementos cumpliendo todos los requisitos de seguridad.

2. El hecho que los paneles desarrollados sean prefabricados quiere decir que vienen respaldados por procesos estandarizados que cumplen controles de calidad, lo que garantiza un óptimo desempeño del panel ya que conlleva todas la ventajas de un elemento prefabricado. Por lo tanto, el uso de los mismos no generará errores en viviendas ni procesos de mala calidad.

3. El elemento constructivo conocido como fachada, se dice, es uno de los aspectos en los que al momento de elaborar un proyecto arquitectónico se debe tener un especial cuidado y atención, debido a que representa la imagen final del proyecto visto desde el exterior. Por lo tanto, una correcta proyección basándose en una modulación y un estudio es de vital importancia.

4. Sin duda este capítulo permitió conocer más profundamente por qué el hormigón es considerado como el material más utilizado hoy en día. A más de proporcionar una resistencia estructural excepcional, permite un sinfín de acabados y texturas que significan para el constructor, innumerables ventajas.

5. En el Ecuador se ha observado que existen múltiples em-

presas dedicadas a la comercialización de paneles prefabricados de hormigón. Según el análisis, se pudo ver que estos elementos presentan un sin número de ventajas además que cuentan con excelentes propiedades mecánicas. Lamentablemente la concepción del hormigón como acabado final de una obra arquitectónica en nuestro medio aún se considera como una opción lejana a suceder.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adjemian. (2011). La evolución de las fachadas ventiladas, nuevos materiales y sistemas constructivos. Proyecto final de carrera. Universidad Politcnica de Valencia.
- Aguado de Cea, A. y Josa, A. (1993), Hormigones arquitectónicos. Cemento - Hormigón. Nº 722.
- Aislapol. (2016). construpanel. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de http://www.aislapol.com/index_construpanel.html
- Andece. (2016). Paneles microhormigón armado con fibra de vidrio o GRC. Recuperado de 11 de junio de 2016, de <http://www.andece.org/47-cerramientos/articulos-cerramientos/242-fachada-arquitectonica.html>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Arquitectónico. (2011). Montaje de fachadas de hormigón arquitectónico. Recuperado de 2 de abril de 2016, de http://www.panelarquitectonico.org/files/Montaje_fachadas_anf-harq_jeca.pdf
- Bayo, C. (2011). Fachadas de hormigón arquitectónico. Proyecto de fin de especialidad. Universidad Politécnica de Catalunya
- Beyond sustainable. (2014). Clasificación de sistemas constructivos de envolventes verticales opacas desde el punto de vista de su sostenibilidad. Recuperado de 1 de Abril de 2016, de <http://beyondsustainable.net/2014/06/30/clasificacion-de-sistemas-constructivos-de-envolventes-verticales-opacas-desde-el-punto-de-vista-de-su-sostenibilidad/>
- Calavera Ruiz, J. "Et al", Fernández Gómez, J., González-Isabel, G., López Sánchez, P., Pérez Luzardo, J.M. (1999). Aspectos visuales del hormigón. Monografía Nº 3 INTEMAC.
- Collado. (2005). Manual práctico del encargado en obra: control de ejecución de tabiquerías y cerramientos. (1a ed.) Valladolid, España: Ediciones Lex Nova
- Congreso Internacional de Arquitectura Blanca (2004), En blanco: primer congreso internacional de arquitectura blanca.
- González Martín, J. (2005). Revestimientos continuos. Tradicionales y modernos.
- Cueva, J (2012). Sistematización en el diseño de una vivienda modular con estructura metálica y paneles de concreto. Tesis para optar al título de arquitecto. Universidad de Cuenca.
- Eco-logicos. (2012). Qué es la envolvente térmica de un edificio y qué elementos la componen. Recuperado de 1 de Abril de 2016, de <http://eco-logicos.es/2012/03/que-es-la-envolvente-termica-de-un-edificio-casa-o-vivienda-y-sus-elementos/>
- Hernández, f. (2004). Paneles de GRC para las viviendas de bajo coste y otras aplicaciones para atender determinadas situaciones de emergencia y catástrofe. Proyecto de investigación. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hormi2. (2013). Hormi2. recuperado el 13 de Abril de 2016, de <http://hormi2.com/>
- Hormypol. (2009). Construcción con el sistema de micro hormigón vibro prensado en encofrado sintético. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de <http://www.hormypol.com/>
- Instituto Valenciano de la edificación. (2016). Fachadas. Recuperado de 1 de Abril de 2016, de <http://www.five.es/calidadentuvivienda/elegir-vivienda-con-calidad?id=16>
- Knaack, U. (2007). Facades, principles of construction. Birkhäuser Berlín, Alemania.
- Koncz, T. (1977). Construcción industrializada. Madrid: Editorial hemann blume.
- Mansilla, S. (2003). Hormigón arquitectónico. Tesis para optar al título de constructor civil. Universidad Austral de Chile.
- Martín Palanca, J. (1981), El momento de desencofrar. Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Nº 364.
- Monjo, J. (2003). Tratado de construcción Fachadas y Cubiertas. Madrid, España.
- Oliveri, M. (1972). Prefabbricazione o Metaprogetto Edilizio. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Peck, M. (2007), Hormigón: diseño, construcción, ejemplos.
- Pérez Luzardo, J.M. (1991), Color y textura en el hormigón estructural. Cuaderno INTEMAC Nº 4.
- Procesosconstructivos123. (2016). La envolvente. [archivo PDF]. Recuperado de https://procesosconstructivos123.files.wordpress.com/2015/08/envolvente_2015_08_28.pdf
- Promateriales. (2016). Cerramiento Prefabricado de Hormigón. [archivo PDF]. Recuperado de <http://www.promate->

riales.com/pdf/pm1305.pdf

Saltos, P. (2012). Estado del Arte de los Paneles Prefabricados de Hormigón para Fachadas. Trabajo final de grado. Universidad politécnica de Catalunya.

Sánchez, J. (2010). Paneles prefabricados de hormigón en fachadas. Proyecto fin de master. Universidad Politécnica de Madrid.

Santana, R. (2006). Paneles prefabricados para fachadas con hormigón de altas prestaciones. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de gran Canaria.

Ytong. (2014). Soluciones para cerramientos y fachadas [archivo PDF]. Recuperado de http://www.ytong.es/es/docs/Cerramientos_y_fachadas.pdf

Vilssa. (2016). Paneles de micro-hormigón armado con fibra de vidrio. Recuperado de 11 de Junio de 2016, de <http://vilssa.com/paneles-de-micro-hormigon-armado-con-fibra-de-vidrio>.

Zapata. (2012). La Fachada ventilada, su estudio y posibilidades. Proyecto final de carrera. Universidad de Lleida.

REFERENCIAS IMAGENES

01 Recuperado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/776999/casa-en-vila-matilde-terra-e-tuma-arquitetos/564167eae58ece0d83000087-vila-matilde-house-terra-e-tuma-arquitetos-photo>

02 Recuperado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/776999/casa-en-vila-matilde-terra-e-tuma-arquite->

<tos/56416652e58ece0d83000079-vila-matilde-house-terra-e-tuma-arquitetos-photo>

03 Recuperado de http://www.ytong.es/es/docs/Cerramientos_y_fachadas.pdf

04 Recuperado de <http://www.ytong.es/es/content/tabiqueria.php>

05 Recuperado de http://noticias.arq.com.mx/Details/13018.html?utm_source=boletin&utm_content=final&utm_medium=email&utm_campaign=boletin346#.Vq0A8tXhCUI

06 Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallarus_oratory_lateral.jpg

07 Recuperado de <http://forgetsomeday.com/dingle-peninsula/>

08 Recuperado de <http://europaenfotos.com/atenas/partenon-philippoppos.jpg>

09 Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/Schema_Saeulenordnungen.jpg/1280px-Schema_Saeulenordnungen.jpg

10 - 11 Zapata. (2012). *La Fachada ventilada, su estudio y posibilidades* [fotografía]. Recuperado de <http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/208949/azapatap.pdf?sequence=1>

12 Recuperado de <http://d8nz9a88rwc9.cloudfront.net/wp-content/uploads/2015/07/taj-mahal-1.jpg>

13 Recuperado de http://javier-architectonic.blogspot.com/2011_11_01_archive.html

14 Recuperado de <http://negociosypoder.com/10-fabulosas-catedrales-goticas/>

15 Recuperado de <http://www.absolutroma.com/basilica-de-san-pedro-en-roma/>

16 Recuperado de <http://blog.gilmar.es/la-villa-savoye/>

17 Recuperado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-58394/ville-savoye-le-corbusier/1288061914-villa-savoye-1-1000x664falvio>

18 - 19 Adjemian. (2011). *La evolución de las fachadas ventiladas, nuevos materiales y sistemas constructivos* [fotografía]. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/11912>

20 Recuperado de <http://www.arquitecturadecasas.info/fachadas/>

21 Recuperado de http://www.equitone.com/sites/default/files/imageobjects/EQUITONE_facade_panel_Temse_office-building-01_0.jpg

22 Recuperado de <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/07/4e/93/074e93875ab38b9443f1dcbdcfd85cda.jpg>

23 Recuperado <http://blog.is-arquitectura.es/blog/wp-content/uploads/2013/03/montaje-Broadway-Stack-edificio-prefabricado-apartamentos.jpg>

24 Recuperado de http://www.abaton.es/file_upload/project/1300x730/1381-_MG_2822%20copy.jpg

25 Recuperado de <http://www.planeta-vivo.com/vivienda/una-casa-transport>

26 Recuperado de <http://www.letcon.com.au/images/letconprecastsystems.jpg>

27 Saltos, P. (2012). *Estado del Arte de los Paneles Prefabricados de Hormigón para Fachadas* [fotografía]. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16957/TFM%20Final%20021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

28 Recuperado de <http://www.tectonica-online.com/productos/veit-dennert/sistema-muros-prefabricados-masivos-ligeros/696/>

29 Recuperado de <http://www.tectonica-online.com/productos/veit-dennert/sistema-muros-prefabricados-masivos-ligeros/696/>

30 Recuperado de http://images.adsttc.com/media/images/5098/6bab/28ba/0d03/e900/00b9/large_jpg/_MG_3140.jpg?1375492933

31 - 32 Recuperado de http://javier-architectonic.blogspot.com/2011_11_01_archive.html

33 Recuperado de <http://is-arquitectura.es/2012/06/10/dune-azulejos-madera-hormigon-con-relieve/>

35 Recuperado de <http://teoriadelcoloruacj.blogspot.com/2011/11/circulo-cromatico-de-goethe-1809-1810.html>

36 Recuperado de <http://dmapri.com/wp-content/uploads/2014/05/Pigmentos-Fluorescentes-161.jpg>

37 Recuperado de <http://www.encofrado-aluminio.com/Proceso.html>

38 Recuperado de <http://blog.danbrunn.com/2012/10/code-red-form-work/>

39 Recuperado de <http://www.archiexpo.es/prod/geoplast/product-55873-872674.html>

40 Recuperado de <http://www.litebuilt.com/esp/es-in.html>

41 Recuperado de <http://www.leadingarchitecture.co.za/wp-content/uploads/2013/09/cci-concrete-being-cured.jpg>

42 Recuperado de <https://www.construible.es/noticias/chronolia-el-hormigon-de-lafarge-para-reparaciones>

43 Recuperado de http://www.reids.co.nz/wp-content/uploads/2012/02/IMG_0939.jpg

44 Recuperado de http://badajoz.placasalveolares.com/2010_09_01_archive.html

45 Recuperado de <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/63/99/b6/6399b669e50ac7deaff977981bb48158.jpg>

46 Recuperado de <http://openbuildings.com/buildings/park-hill-sheffield-uk-profile-40479/media#!buildings-media/10>

47 - 53 Sánchez, J. (2010). *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas* [fotografía]. Recuperado de <http://>

oa.upm.es/4518/1/TESIS_MASTER_JUAN_FRANCISCO_SANCHEZ_HURTADO.pdf

54 http://aislapol.com/index_construpanel.html

55 Recuperado de <http://www.construpanel.com.mx/galeria-vivienda.html>

56 Recuperado de <http://www.hormypol.com/userfiles/image/PANELES/GRAF1.JPG>

57 Recuperado de <http://www.hormypol.com/userfiles/image/LOSAS/losaestruct/losaestr.JPG>

58 - 59 Recuperado de <http://hormi2.com/tipos-de-panel/>

60 Recuperado de <http://www.larevista.ec/actualidad/vivienda-y-decoracion/alternativas-constructivas>

REFERENCIAS TABLAS

Tabla 01 - 02: Sánchez, J. (2010). Paneles prefabricados de hormigón en fachadas. Proyecto fin de master. Universidad Politécnica de Madrid.



