

Materiales 1Y Fachadas Ventiladas

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas

Máster en Fachadas Tecnológicas y Envolventes Sostenibles
Benito Lauret Aguirregabiria
Profesor Titular Universidad

Octubre, 2019
<http://oa.upm.es/57154/>

3. MATERIALES 1: PIEDRA NATURAL, PANELES DE CERÁMICA POSOSA Y COMPACTA (GRES), PANELES COMPOSITE, HONEYCOMB, DE CHAPA PLEGADA, PANEL SÁNDWICH, DEKTON, KRION, DE CELULOSA PRENSADA, AQUAPANEL, DE RESINAS REFORZADAS Y GRC.

3.1. Placas de piedra natural.

La piedra es un material de construcción ancestral. Sin embargo, siempre ha resultado cara su extracción en cantera, su transporte y su colocación, por su elevado peso. Según las técnicas de corte de la piedra avanzaban, se utilizaban planchas de piedra de menor espesor, inicialmente en suelos, después en escaleras, en paredes interiores y finalmente en fachadas.

Inicialmente, los chapados de piedra se tomaban con morteros de yeso o cemento y en todo caso con pequeños ganchos metálicos de alambre. Tras décadas a la intemperie, estos chapados, empezaban a desprenderse, originando problemas evidentes. Por este motivo se empezaron a desarrollar nuevos sistemas de sujeción mecánica mediante herrajes y tornillos mucho más fiables que el mortero y los alambres.

Si los sistemas de anclaje actuales para placas de piedra son relativamente seguros, no se puede decir lo mismo de todos los tipos de piedra natural. Además, es sabido que en muchos casos la especie pétreo se elige por su apariencia o por su precio, pero no siempre por sus prestaciones mecánicas. Ante la discusión de cómo enfocar el problema de los chapados de piedra natural, hay que recordar una antigua clasificación de las piedras utilizadas en construcción:

- Roca o piedra ornamental.
- Roca de construcción.

Al primer tipo pertenecen aquellas piedras que admiten pulido y al segundo, aquellas menos nobles y compactas que no lo admiten. En el primer grupo estarían los mármoles y granitos, mientras que en el segundo encontramos las areniscas, por poner algún ejemplo. Pues bien, este criterio no por tradicional es menos efectivo, ya que una roca que admite pulido es de por sí compacta, lo que la hace en general más resistente a todo tipo de acciones.

En cambio, las rocas de construcción son menos compactas y, en general, más débiles en toda situación. De este modo, no puede proyectarse un chapado de piedra con un espesor prefijado independientemente del tipo de piedra: las más compactas podrán ser utilizadas con menores espesores que las rocas menos compactas. El tipo de sistema de anclaje elegido también condicionará el espesor mínimo a emplear.

Genéricamente, las rocas compactas llegan, según los casos, a los 30mm de espesor, mientras que las rocas de construcción pueden requerir fácilmente grosores de 60mm o mayores.

Tómense estos valores como meramente orientativos, ya que para el correcto diseño de una fachada de piedra natural se deben considerar detalladamente una serie de condiciones que permitan confiar en su seguridad.

En este tipo de fachadas el elemento estrella es la especie pétreo elegida, normalmente por motivos estéticos y, en consecuencia, es lo que merece mayor atención en primera instancia.

El estudio de arquitectura seguramente pondrá un cuidado especial en la elección de la imagen de la piedra elegida, en tanto que color, textura y despiece en fachada.

A partir de aquí el primer debate que aparece es cuál debe ser el espesor de las placas. Teniendo en cuenta que los suministradores son capaces de cortar la piedra en espesores progresivamente más delgados, la tendencia es a elegir piezas quizá demasiadas finas, lo que en la práctica puede derivar en problemas.

Lo primero que habría que considerar son las cualidades mecánicas de la piedra en sí, ya que de ello va a derivar su idoneidad en combinación con diferentes sistemas de anclaje.

Por una parte, hay que exigir al suministrador los siguientes valores:

- Resistencia a compresión, según ensayos.
- Resistencia a flexión, según ensayos.
- Resistencia al arrancamiento de anclajes, similares a los que se quieren emplear.

Especies pétreas y espesores recomendados.

En general, no se recomiendan espesores inferiores de 30mm en placas pétreas para fachadas ventiladas. Por otra parte, es muy raro que se superen los 60mm de espesor.

Como se ha dicho, existen dos grandes grupos de piedras para la construcción: roca ornamental y piedra de construcción.

La primera admite pulido, y en este grupo estarían los granitos y los mármoles, principalmente. Admiten, en general, mecanizados (ranuras) en los bordes para colocación de anclajes ocultos por el borde.

Siempre que se trate de formatos no superiores a 1m² admiten espesores del orden de 30mm. En grandes formatos, habrá que proceder al cálculo de los espesores requeridos. Estas piedras son, generalmente, bastante compactas y resisten razonablemente bien la helada.

Existe otro grupo de rocas que por su composición y estructura no admiten pulido, al contrario que las anteriormente citadas. A este grupo pertenecen areniscas, calizas y pizarras. Mientras que las dos primeras gozan de cierta isotropía en sus propiedades mecánicas, las pizarras son claramente anisótropas por su estructura laminar, lo que obliga a tomar precauciones especiales (aumento de espesor) si se quiere utilizar anclaje oculto ranurado que, en general, debería desestimarse para las pizarras. Lo recomendable es utilizar pequeñas grapas vistas como las que se utilizan en muchos sistemas de cerámica compacta.

Aunque de isotropía comprobada, las areniscas y calizas pueden en diversos casos tener bajas cualidades mecánicas, resultando peligroso utilizar anclajes puntuales de espiga, que tan bien funcionan con el granito.

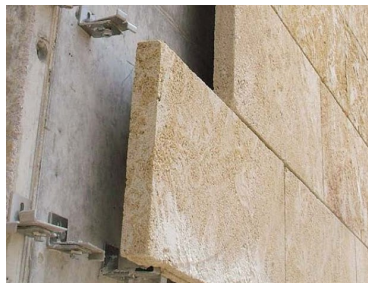


Figura 3.1: Piedras fósil.

En caso de desconocerse estas propiedades mecánicas, se recomienda ir a espesores disuasorios de 60mm.

Existe un tipo de caliza muy interesante llamada piedra fósil, que tiene una porosidad muy alta y resistencia mecánica muy baja. En estos casos, se impone una caracterización de sus características mecánicas mediante ensayo, así como prescindir de ellas en zonas con riesgo de helada. Los ensayos mecánicos han de hacerse tanto en seco como con la piedra saturada de agua tras 24 horas de inmersión.

Si una especie pétreo va a utilizarse por vez primera en una ubicación, se recomienda estudiar cómo se ha comportado en localizaciones similares, sobre todo en grado de humedad relativa.

Se han casos de piedras que se saturan espontáneamente en ambientes húmedos y generan hongos que la ennegrecen, sin que pueda resolverse el problema sino con la sustitución completa de la fachada con otro tipo de piedra.

En resumen, podrían darse las siguientes pautas de actuación de cara a proyectar una fachada ventilada de piedra natural. Se recomienda reclamar al suministrador:

- Valores de resistencia al arrancamiento de anclaje mediante ensayo.
- Valores de resistencia a compresión y flexión, mediante ensayo.
- Densidad, porosidad, comportamiento a la helada y a diferentes climas, muy especialmente si se va a usar en ambiente húmedo.
- Anisotropía en sus propiedades mecánicas (pizarras).
- Inspección in situ de fachadas ventiladas y realizadas con la misma especie pétreo.

Identificación del material pétreo.

Cada especie pétreo responde a una composición química determinada, unas características físicas también identificables y una especie geológica sedimentaria, metamórfica, plutónica o ígnea. Siendo todo ello importante en la caracterización y conocimiento de una especie pétreo determinada, se recomienda, no obstante, realizar otro tipo de pesquisas no menos interesantes:

- Cantera de procedencia.
- Lecho del que procede y fecha de extracción.
- Inspección ocular con buena luz diurna y al exterior de la partida completa de piedra recibida en obra, previo a su aceptación.

Hay que pensar, en general, que la piedra natural, junto a su belleza intrínseca, es una fuente de sorpresas de todo tipo y todas las precauciones que se tomen son pocas, ya que los problemas potenciales una vez instalada la piedra son abundantes.

Granitos y mármoles.

Los granitos y los mármoles son especies pétreas ampliamente utilizadas en la industria de la construcción y por ello en fachadas ventiladas.

El espesor típico de utilización es de 30mm, si bien dependiendo del formato de las placas puede ser necesario verificar el cálculo de cargas de viento y su repercusión en los correspondientes anclajes.

Los granitos, en general, presentan una razonable isotropía de propiedades mecánicas y son rocas compactas que pulidas o no se pueden emplear en fachadas ventiladas con cierta confianza. Es decir, si se tienen los valores de resistencia a compresión, flexión y arrancamiento, se puede confiar razonablemente en un comportamiento uniforme y previsible.

Los mármoles, por su parte, son piedras muy variadas. Mientras que algunas variedades tienen una estructura uniforme, como el mármol blanco de Macael, existen otras como el mármol travertino cuya belleza radica precisamente en sus coqueras o ahuecamientos que suponen, en la práctica, no solo reducciones de la sección efectiva resistente de la placa, sino una anisotropía mecánica evidente.

Estas características deben ser tenidas en cuenta, pues evidentemente no habrá comparación entre los valores de resistencia a flexión en piezas con las fibras o vetas en una dirección o la perpendicular. Los espesores deberán dimensionarse teniendo en cuenta estos defectos y explorando y ensayando las situaciones más desfavorables.



Figura 3.2: Arriba: Corte de láminas de granito; medio: acopio en fábrica de láminas de granito; abajo: extracción de granito.



Figura 3.3: Distintos tipos de mármol cortados y almacenados.

Otros mármoles pueden tener fallos o defectos tales como vetas de otro material distinto, o “pelos” de cantera. Son líneas de rotura previsible, que deben ser rechazadas en cualquier placa durante su inspección o previamente al encargo, señalando claramente que no serán aceptables. Como siempre, si se van a utilizar placas con vetas muy evidentes, deben siempre ensayarse las placas más desfavorables para ponerse del lado de la seguridad.

Pizarras y esquistos.



Las pizarras y los esquistos son generalmente rocas de estructura laminar. Es por ello por lo que no se recomienda utilizar anclajes ocultos en los bordes, por suelen romper la piedra por deslaminación.

Son rocas que suelen presentar valores importantes de resistencia a flexión, si bien su espesor es cambiante debido a su estructura y métodos de extracción y corte.



Se recomienda utilizar anclajes de gras vistos que suelen ser estéticamente aceptables por su pequeño tamaño. En caso de querer utilizar anclajes ocultos por los bordes habrá que aumentar considerablemente el espesor de las placas (40-60mm), lo que incide negativamente tanto en el peso de la fachada, como en su precio, por lo que la solución se hace antieconómica pero posible.

Figura 3.4: Arriba: Fachada ventilada de pizarra con anclaje visto; abajo: acopio de planchas de pizarra.

Estas consideraciones son de aplicación con cualquier otra especie pétrea de estructura laminar.

Calizas y areniscas.



Figura 3.5: Piedra caliza de Colmenar.

Son especies pétreas históricamente empleadas en construcciones tales como iglesias, palacios y catedrales. Debido a su facilidad de corte y labra y sus propiedades mecánicas razonables, resultan ideales para muros de fábrica y obra de cantería en general.

En el caso de los chapados y fachadas ventiladas, los casos cambian ya que debido a la delgadez de las placas las exigencias mecánicas aumentan y, en muchos casos, el espesor de 30mm se vuelve escaso.

De nuevo, la variabilidad de especies es muy grande, y sus características mecánicas son igualmente muy diferentes. Es decir, identificar como caliza a una piedra es como no decir nada. Por ejemplo, tenemos rocas muy compactas y competentes, como la caliza de Colmenar, con una robustez notable.

En el otro extremo, tenemos otro tipo de calizas llamadas fósiles, algunas de las cuales presentan una cantidad de huecos notable, con una estructura reticular que es la base de su belleza. También esta característica es la base de su fragilidad y debilidad mecánica, si bien pueden considerarse relativamente isotrópicas.

No hay, en principio, ningún problema en utilizarlas, pero los espesores deben crecer en consonancia con las cargas, asegurando igualmente el sistema de anclaje según los criterios de seguridad (CTE). Su único defecto importante es su mala adaptación a zonas con heladas, ya que el hielo puede destruirlas rápidamente, como a cualquier otra roca porosa.

Las areniscas son rocas muy interesantes, ampliamente usadas en construcciones históricas. Existen especies muy diferentes en dureza y compacidad. Aunque en general son rocas blandas y fáciles de cortar, las hay más robustas y más débiles, sobre todo si están saturadas de agua.

Es muy notable una especie de arenisca especialmente blanda cuando está húmeda, a saber, la arenisca de Villamayor, piedra que está en casi todos los edificios históricos de la ciudad de Salamanca. La Plaza Mayor, la catedral, así como grandes zonas del casco histórico están realizadas con esta piedra, cuya resistencia a los siglos, a la intemperie y a la helada están fuera de toda duda.

Sin embargo, en Salamanca, estas placas tienen espesores muy generosos (hasta 100mm), por lo que una correcta utilización en base a las características particulares de esta piedra puede habilitar su utilización en fachada ventilada. Habrá, en este caso, que acudir a dimensionados de espesor muy generosos que darán lugar a cargas importantes de peso propio.

Se recomienda la consulta del excelente trabajo de tesis doctoral de Carmen Vielba en la UPM. En esta tesis se caracteriza de modo ejemplar la arenisca de Villamayor.



Figura 3.6: Cilindro de piedra caliza de Colmenar.



Figura 3.7: Extracción de piedra arenisca en la cantera.



Figura 3.8: Proceso de extracción de piedra arenisca.



Figura 3.9: Cortado de piedra arenisca.



Figura 3.10: Fachada ventilada de placas cerámicas.

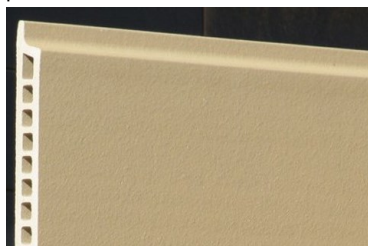


Figura 3.11: Placas cerámicas para fachadas ventiladas.



Figura 3.12: Placas cerámicas hexagonales especiales para fachadas ventiladas.



Figura 3.13: Placas cerámicas almohadilladas para fachadas ventiladas. Centro Botín en Santander.

En resumen, es muy importante estudiar detenidamente la especie pétrea a emplear tanto en aspectos de índole mecánica, como de heladicidad y reacción a la humedad ambiente. Es muy recomendable inspecciones fachadas previamente realizadas con la piedra en estudio para observar su estado y evolución con los años.

3.2. Cerámica porosa y compacta (gres).

La industria de la cerámica, tan importante en España, ha evolucionado para ofrecer productos adaptados a la construcción de fachadas ventiladas. Entre los productos cerámicos para fachadas ventiladas están los de cerámica porosa y los de cerámica compacta.

Como los ladrillos se realizan por extrusión, con este método se pueden hacer piezas con secciones especiales, con diseños que optimizan las prestaciones del material en peso y rigidez, proporcionando pestañas o resaltos que ayudan además a su colocación en seco sobre rastreles metálicos.

Las piezas de color roja de cerámica similar a la de los ladrillos proporcionan a los edificios coloraciones que recuerdan a las fachadas tradicionales de ladrillo, si bien su despiece varía radicalmente. Su durabilidad está sancionada por la experiencia su corte es económico al aprovecharse la misma tecnología de producción de los ladrillos convencionales. Al igual que existen ladrillos vidriados o esmaltados, estas piezas pueden recibir un acabado superficial esmaltado que, como es lógico, mejora su aspecto, pero aumenta su precio.

Por otra parte, al igual que existen baldosas y azulejos de gres, a saber, cerámica compacta de gran resistencia, se fabrican piezas para fachadas ventiladas, que tienen unas excelentes prestaciones dentro de precios controlados. Esas piezas carecen de resaltos para facilitar su montaje, si bien se pueden instalar con pestañas vistas, o anclajes ocultos por destalonado de fondo.

Celosías.

Con el nombre de celosías calificamos todas aquellas superficies exteriores de los edificios que permiten ampliamente el paso del aire, de la lluvia y de la luz, más o menos tamizada. Su propósito

es proporcionar al edificio un cierto efecto estético exterior, si bien no detienen en absoluto el viento o la lluvia, que deberán ser controlados en caras interiores.

Las soluciones empleadas en las celosías van desde las piezas cerámicas, a las telas metálicas, pasando por retículas de muy diversos diseños, retículas o materiales.

Podemos decir de las celosías que se comportan de modo parecido a los parasoles, es decir, tamizan de alguna manera la luz exterior y el soleamiento, si bien no protegen de la lluvia y el viento. Son elementos ornamentales con función de tamiz luminoso, que deben ser en sí mismas resistentes a la intemperie, al viento y a los agentes atmosféricos en general.

Podrían considerarse aquí las lonas caladas o perforadas, si bien se abordarán más adelante de forma detallada en el capítulo de materiales textiles.

Sería demasiado extenso para este texto considerar caso por caso todos los ejemplos existentes, pero baste decir que sean del material que sean, no se les requiere impermeabilidad ni estanqueidad al aire, sino estabilidad y durabilidad.

3.3. Paneles composite.

Reciben esta denominación aquellos paneles o piezas planas de pequeño espesor (4-8mm) compuesto por dos láminas exteriores de aluminio y una capa interior o núcleo de plástico rígido. El espesor de las capas de aluminio es de 0'5mm y el del plástico, concretamente polietileno, es variable (3-7mm).

Este producto inventado en 1964 por ALCAN y denominado originalmente ALUCOBOND, se empleaba en principio en edificios industriales, y en otras ramas de la industria. Sin embargo, pronto empezó a interesar a los arquitectos por sus características.

Los paneles composite no deben confundirse con los materiales compuestos (en inglés composite) que se basan en resinas reforzadas con fibras de vidrio.

Una de las ventajas de los paneles composite es que se benefician de todos los tratamientos y revestimientos desarrollados para



Figura 3.14: Placas cerámicas especiales para fachadas ventiladas.

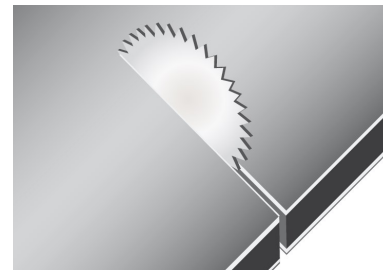


Figura 3.15: Corte de panel composite.

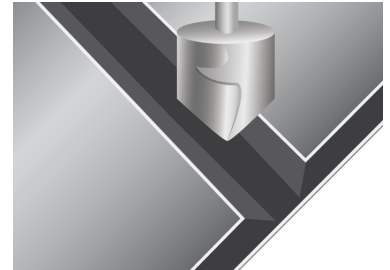


Figura 3.16: Fresado panel composite.

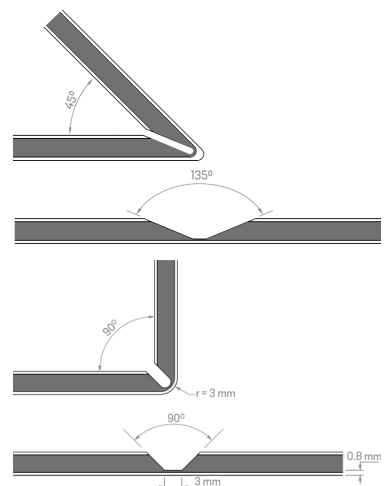


Figura 3.17: Plegado panel composite.

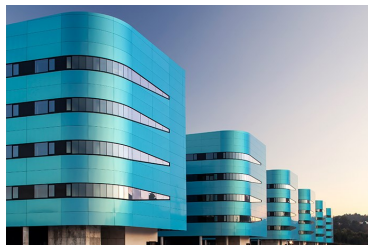


Figura 3.18: Ejemplos de fachadas ventiladas de composite.

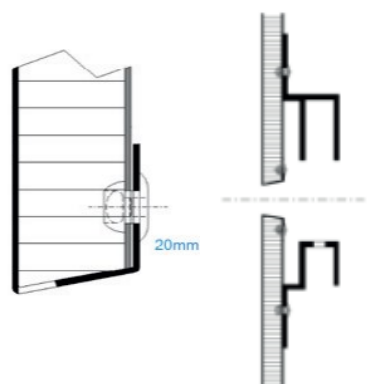


Figura 3.19: Detalles de fachadas ventiladas de paneles honeycomb.

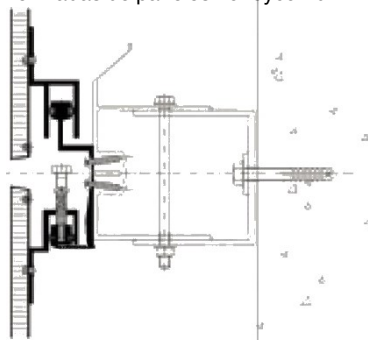


Figura 3.20: Anclaje de fachada ventilada de paneles honeycomb.

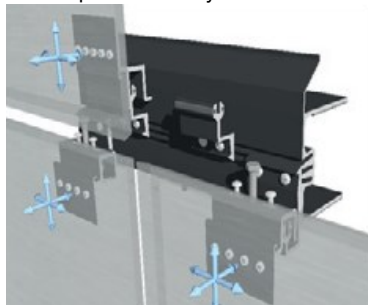


Figura 3.21: Perspectiva de fachada ventilada con paneles honeycomb.

las carpinterías de aluminio. El núcleo de plástico le da rigidez, al tiempo que reduce peso, no envejece al estar protegido por el aluminio y permite una gran variedad de pliegues y dobleces mediante fresado arcial del espesor del panel.

Su uso se ha difundido notablemente en edificios de oficinas y comerciales porque combina perfectamente con los cerramientos acristalados, ya que permite tener los mismos acabados y colores que las carpinterías de aluminio.

3.4. Paneles Honeycomb.

Si bien con el panel composite se pueden conseguir paneles de cierto tamaño (3m) a veces se requieren paneles de muy mayor formato (>6m) que exceden las posibilidades del composite. En este caso, entre las dos chapas de aluminio hay una retícula hexagonal de aluminio en forma de nido de abeja, motivo por el que recibe el nombre de honeycomb.

Las chapas exteriores son más gruesas (0,7-1mm) y el espesor total del panel también (8-50mm). El nido de abeja vincula ambas chapas a través de un adhesivo durante la fabricación, logrando un panel de excelente planeidad y poco peso. Igualmente, admite todos los acabados y revestimientos típicos del aluminio.

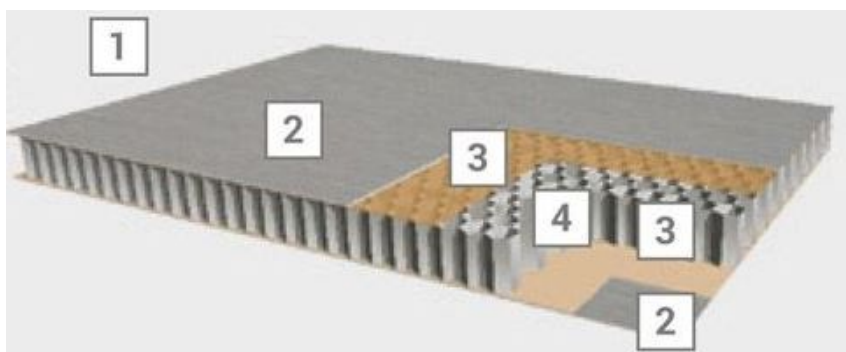


Figura 3.22: Composición interna de panel honeycomb.

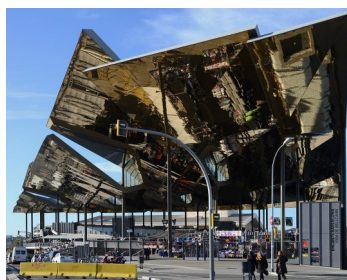
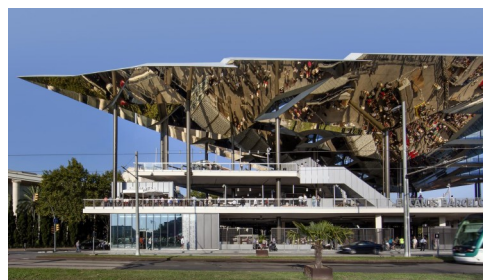


Figura 3.23: Ejemplo de envolvente con ventilada de panel honeycomb: Mercado de los encantos, Estudio B720, Barcelona, 2017.



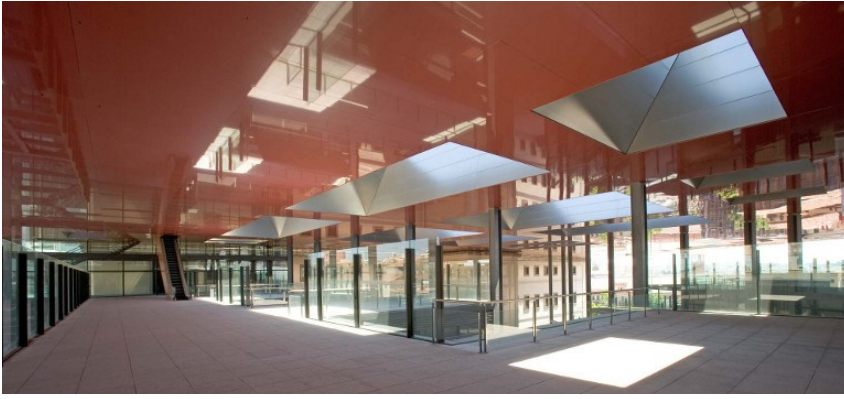


Figura 3.24: Ejemplo de envoltorio con ventilada de composites: ampliación del Museo Reina Sofía de Jean Nouvel.

3.5. Planchas de metal.

Se pueden realizar fachadas ventiladas de diversos metales que pueden emplearse en piezas de metal de cierto espesor (varios mm) o en bandejas con pliegues en sus bordes para lograr la rigidez deseada. También pueden emplearse chapas onduladas, o incluso piezas de extrusión.

El metal más común es el acero, que ha de pintarse, el acero inoxidable y el acero cor-ten. Este último plantea algunas cuestiones derivadas de su naturaleza de envejecimiento controlado.

Por ejemplo, la caída de la lluvia tiende a lavar parcialmente su capa de óxido exterior, ensuciando superficies adyacentes que no sean de cor-ten. Por otra parte, nunca debe dormir el agua en contacto con el cor-ten, ya que puede provocar el crecimiento incontrolado de costras de óxido con el consiguiente deterioro del material. Las chapas onduladas galvanizadas han sido muy utilizadas en algunas obras de arquitectura renombradas. Estas chapas pueden ser también de aluminio y de extrusión de aluminio. También se pueden utilizar chapas de cobre o bronce.

Acero inoxidable

Entre los metales existentes que pueden utilizarse en fachadas arquitectónicas está el acero inoxidable, que resiste muy bien a la intemperie y tiene una durabilidad y características mecánicas excelentes.

Sin embargo, su alto precio suele ser un obstáculo para su uso. Esto lo suele relegar a realizaciones singulares donde se buscan sus características intrínsecas.



Figura 3.25: Escultura Cloud Gate de Chicago.



Figura 3.26: Paneles de acero inoxidable de la escultura Cloud Gate de Chicago.

Una cualidad muy particular del acero inoxidable es que se puede soldar, por lo que las juntas pueden hacerse desaparecer en obra, mediante soldado y pulido. Si el acero está con su acabado máximo “pulido espejo”, la desaparición de las juntas puede llevarse al extremo de la perfección, por su puesto, a altísimos costes, constituyendo una piel de espejo continua, como en la escultura Cloud Gate de Chicago.

Con acero inoxidable se pueden lograr formas de doble curvatura por conformación en frío, si bien esto vuelve a encarecer considerablemente el producto. También se puede anodizar en varios tonos.

Acero Cortén.

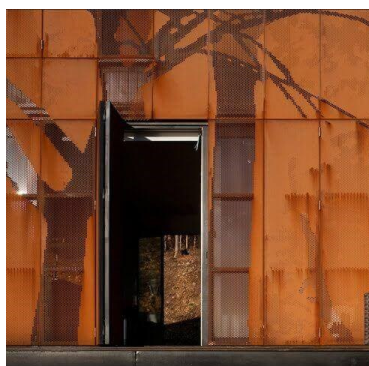


Figura 3.27: Vivienda con fachada ventilada de acero cortén microperforado .

El acero cortén es esencialmente una aleación de acero y cobre que tiene la propiedad de autoprotgerse con una capa de óxido al cabo de los años. Este envejecimiento natural es la pátina propia de este material, que no debe protegerse con pinturas ni barnices. Este material se busca en consecuencia por su imagen de óxido natural.

La pátina de acero cortén se origina por ciclos de humectación / secado debido a la lluvia. Si por algún motivo que permanentemente en contacto con humedad, la capa de óxido puede llegar a crecer incontroladamente, ocasionando daños en la placa o su sistema de anclaje.

En consecuencia, es un material aceptable para fachadas ventiladas, siempre y cuando esté previsto un correcto drenaje y secado de las placas.

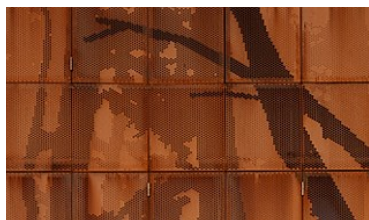


Figura 3.28: Detalle de la fachada ventilada de acero cortén microperforado .

Un inconveniente de este material es que la lluvia lava parcialmente la capa de óxido, generando ensuciamiento en zonas adyacente de la fachada, sobre todo inferiores y especialmente si son de color blanco.



Figura 3.29: Alzado de vivienda con fachada ventilada de acero cortén microperforado .

Otros metales.

Otros metales que pueden estar a la intemperie sin protección y cuya pátina es aceptada como valor añadido son el cobre, el bronce y el latón. Dentro de los metales de color gris tenemos el acero galvanizado, el cinc y el aluminio, que resisten muy bien la intemperie.

El aluminio permite además que se utilicen secciones de extrusión como elemento de fachada. De este modo, se pueden obtener diferentes relieves de acabado de fachada, siempre que el resaltado sea de tipo lineal, es decir, compatible con la extrusión. Además, debido al desarrollo de revestimientos y lacados del aluminio, la gama de colores y acabados posibles es muy amplia y de gran calidad, con el único inconveniente de su precio, no despreciable.

Extrusión de aluminio.

Aunque la forma más habitual de utilización del aluminio extruido en arquitectura es en forma de carpinterías para ventanas y muros cortina, existen en el mercado productos de extrusión de aluminio para realizar la hoja exterior de fachadas ventiladas.

Resultan interesantes un tipo de piezas que, una vez montadas, se asemejan a una chapa ondulada, como el ejemplo que reflejan las imágenes. Aunque en este caso se ha utilizado en su color, también puede recibir todos los tratamientos propios del aluminio, como el anodizado y el lacado.

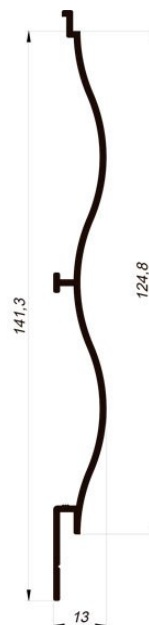


Figura 3.31: arriba: pieza Alustock de extrusión de aluminio; abajo: Detalle de fachada ventilada de planchas de aluminio extruido.



Figura 3.30: Izquierda y derecha: vivienda con fachada ventilada de planchas de aluminio extruido.



Su principal ventaja reside principalmente en la libertad de diseño de su sección, dentro de las limitaciones dimensionales del proceso de extrusión. Dado que es un material que se viene aplicando ampliamente en carpinterías de fachada, su calidad de fabricación y durabilidad de los acabados está plenamente comprobada.

La extrusión de aluminio es un material poco empleado en fachadas ventiladas más por desconocimiento que por su idoneidad y prestaciones. Igualmente, se suele ignorar la variedad de colores y acabados posibles.

3.6. Dekton, Krion, celulosa prensada.

Existen otros tipos de paneles opacos para fachadas ventiladas basados en materiales termoplásticos con carga mineral, típicamente metacrilato, con polvo de cuarzo y mármol. Algunos productos comerciales conocidos de este tipo son CORIAN o el KRION.

La principal diferencia con otros paneles delgados y compactos reside en que, además de su capacidad para cortarse a medida, se pueden conformar con calor, por lo que admiten formas especiales. Su precio es elevadísimo, por ello solo se utilizan cuando así lo exige el cliente, que asume en primer lugar su coste elevado.

Sus espesores oscilan entre 10 y 20mm y admiten ranurados, fresados y destalonado de fondo. Además, al igual que el hormigón polímero, su colocación en la masa, de modo que los bordes del mismo color que el resto.



Figura 3.32: De arriba abajo: fachada ventilada de Corian; diferentes texturas, acabados y colores del producto Corian; conformación de formas especiales con el producto Corian.



Figura 3.33: Izquierda: diferentes texturas, acabados y colores del producto Krion; derecha: edificio con fachada ventilada con el producto Krion.



Figura 3.34: Imágenes del producto Dekton: almacenaje en fábrica, colocación en obra y gamas de acabados exteriores.

3.7. Aquapanel.

Aquapanel es una placa cementicia creada por la empresa Knauf que reúne una serie de propiedades interesantes para realizar fachadas tecnológicas opacas de nueva generación.

El planteamiento de Knauf es sustituir por completo los tradicionales muros de ladrillo, con aislamientos acústicos equivalentes, y mejorando tanto el aislamiento térmico como el peso general del cerramiento. Su tecnología es muy similar a la del yeso cartón, es decir, se monta sobre perfiles horizontales y verticales de chapa plegada, algo más robusta que la del yeso cartón, mediante tornillos autorroscantes. Estas placas son lo suficientemente blandas como para permitir el atornillado. Las juntas y los tornillos se pueden ocultar con masilla de modo análogo al yeso cartón y existen una serie de acabados que permiten hacer terminaciones sin juntas igual que con yeso cartón. Al tratarse de un panel cementicio, resiste la humedad, por lo que puede colocarse al exterior.

Una configuración mínima de un muro soporte de Aquapanel incluiría una estructura metálica soporte de 10cm de profundidad, al menos una placa de Aquapanel por el exterior y una de yeso cartón por el interior.

Sin embargo, las exigencias acústicas puede que no queden completamente resueltas con esta configuración, siendo probable que haya que añadir placas adicionales de yeso cartón por el interior para alcanzar el aislamiento acústico requerido. Igualmente, los huecos de ventana han de tratarse cuidadosamente para evitar el puente acústico.

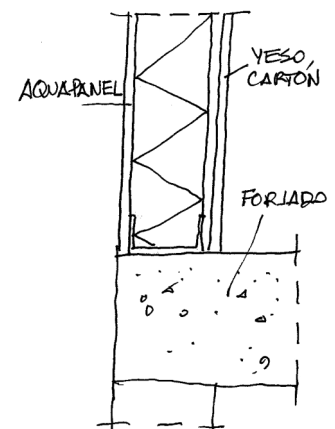


Figura 3.35: Sección vertical, panel Aquapanel.



Figura 3.36: Placas cementicias de la marca Viroc.

Como se puede observar, es un tipo de cerramiento que requiere un diseño constructivo adecuado a cada necesidad, si bien el apoyo técnico del fabricante permite proyectar soluciones competentes en cada caso.

Por lo tanto, es un material que sirve tanto para hacer fachadas continuas, a junta cerrada, como para servir de soporte a una fachada ventilada en el exterior. Sin embargo, el Aquapanel en sí no se utiliza como material de la hoja exterior de fachadas ventiladas.

Otras placas cementicias.

Existen en el mercado paneles llamados de madera cemento o prensados de madera cemento de media y alta densidad. Una de las marcas es Viroc, y se utilizan tanto para interior como para exterior, o sea, fachada ventilada. Se colocan atornillados o remachados por el exterior.

Igualmente basado en el cemento pero mucho más compacto, existe el fibrocemento sin amianto, que permite la fabricación de piezas muy resistentes que además se pueden instalar con anclaje oculto.

3.8. Resinas reforzadas.

Hace ya décadas que se utilizan en construcción materiales compuestos del tipo resinas reforzadas, tales como poliéster reforzado con fibra de vidrio (GFRP). La moldeabilidad durante sus procesos de fabricación de la resina reforzada, comúnmente llamada fibra de vidrio, permite realizar elementos singulares para fachadas, con preferencia a elementos planos, ya que por su precio otros materiales compiten con ventaja.

Su gran defecto es su mala resistencia al fuego, lo que últimamente ha sido resuelto mediante la adición de carga minera en su masa.

Entre sus ventajas está que puede aplicarse in situ, de modo que también puede constituir pieles continuas, ya que en obra pueden cerrarse las juntas. También compite con ventaja en situaciones en las que el peso sea un problema, pues es más ligero que el resto de materiales de cerramiento.



Figura 3.37: Paneles de resinas reforzadas en sede de BBVA (Madrid).



Figura 3.38: Paneles de resinas reforzadas en FerrariLand.

3.9. Glass Reinforced Concrete (GRC).

Los paneles de GRC (Glassfibre Reinforced Concrete) son elementos de base cementicia, compuestos de micro hormigón y fibras de vidrio cortas (3-4 cm) dispersas, con espesores típicos de entre 8 y 10 milímetros, aunque pueden llegar eventualmente a los 4 cm. Los paneles se fabrican sobre molde por proyección simultánea de la lechada de micro hormigón y fibras de vidrio, formando capas sucesivas hasta lograr el espesor requerido.

En la composición del GRC se utiliza cemento portland ordinario, denominado CEM1, preferentemente blanco, ya que el gris ofrece importantes cambios de coloración al endurecer.

Todo material compuesto se caracteriza porque las propiedades del mismo son superiores a las de los materiales componentes por separado. Así, la ausencia de resistencia a tracción del cemento se ve compensada por la resistencia a tracción de la fibra de vidrio.

	SiO ₂	Na ₂ O	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	ZrO ₂	Li ₂ O
	%							
Fibra E	52,4	0,8	10,4	14,4	5,2	16,6	-	-
Fibra AR	71	11	-	1	-	-	16	1
	Tensión de rotura (MPa)				Módulo elasticidad (GPa)			
Fibra E	3.500				72,5			
Fibra AR	2.500				70			

Tabla 3.1: Composición química y propiedades mecánicas de las fibras E y AR.

Inicialmente se utilizaba fibra de vidrio común tipo E, si bien pronto se observó que ésta era atacada químicamente por los álcalis del cemento, deteriorándose rápidamente sus propiedades mecánicas, y por ende las del material compuesto resultante. Así, se pasó al empleo de fibra de vidrio AR (Alcali Resistant) de menores características mecánicas iniciales, pero que permanecen inalteradas al resistir el ataque del cemento. Actualmente solo se utilizan fibras de vidrio AR como refuerzo del cemento.

Una de sus principales aplicaciones iniciales fue limitar el aspecto del hormigón, con pesos muy inferiores (hasta 5 veces inferior) debido a la delgadez de los paneles.

Al ser de base cementicia los paneles de GRC resultan ideales para fachadas, teniendo una excelente durabilidad y resistencia a la intemperie. Por otra parte, al ser un material moldeado permite la reproducción de todo tipo de relieves y formas, así como ser una de las pocas alternativas arquitectónicas para producir paneles de doble curvatura. Se trata, por tanto, de un material para componer la hoja exterior de la envolvente, sin funciones portantes, ya sea con cámaras ventiladas o estancas.

A pesar de sus contrastadas ventajas, los paneles de GRC han quedado relegados a edificios singulares, a grandes formatos y a casos en los que resulta ventajoso reproducir determinadas formas o relieves, tales como centros comerciales y otros.

Este tipo de paneles de GRC suelen ser producidos por fabricantes que trabajan también con otros paneles pesados prefabricados de hormigón, ya sean de cerramiento o estructurales.



Figura 3.39: Proyección de panel de GRC.

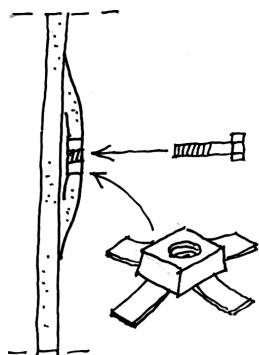
Su acabado inicial es blanco, pero existe gran variedad de colores, ya sea con el tinte de la mezcla de cemento o mediante acabados posteriores con pinturas al silicato o capas de revocos especiales, entre los que destacan los acabados metálicos.

Aunque su conocimiento y seguridad están ampliamente contrastados y se trata de un material utilizado durante décadas, está conociendo un nuevo auge debido, como se ha dicho, a su capacidad de adaptarse a formas complejas, como es cada vez más demandado por los arquitectos.

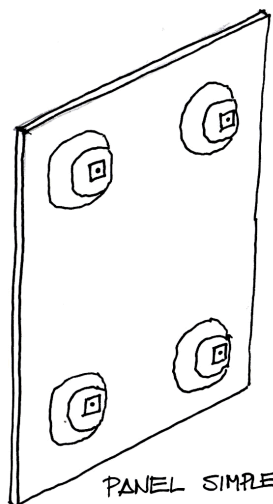
Tipologías de paneles.

Existen tres tipos principales de paneles de GRC en la industria:

- Paneles simples o cáscara, compuestos de una simple hoja de GRC.

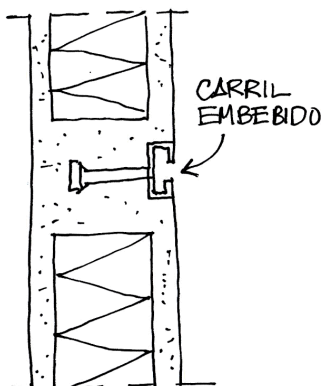


ANCLAJE HEMBRA

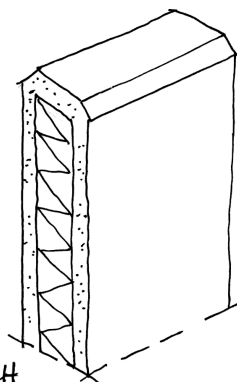


PANEL SIMPLE

- Paneles bicapa o sándwich, que constan de dos capas con un núcleo, habitualmente de poliestireno expandido.

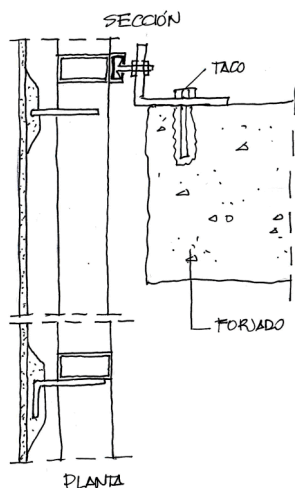


CARRIL EMBEBIDO

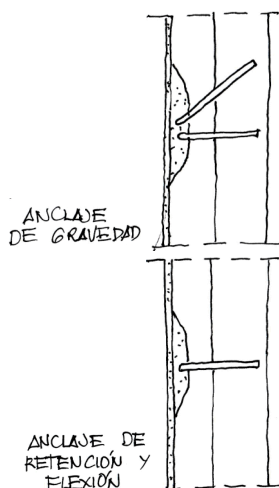


PANEL SANDWICH

- Paneles simples con 'stud-frame', o estructura auxiliar.



PLANTA



ANCLAJE DE GRAVEDAD

ANCLAJE DE RETENCIÓN Y FLEXIÓN

Los paneles simples se utilizan en pequeños formatos y como baldosas. Los paneles sándwich no tienen función aislante, ya que el núcleo sirve para darles espesor, esto es, inercia, sin aumentar el peso, quedando interrumpido puntualmente con zonas macizas de GRC que conectan ambas caras del panel. Se utilizan cuando se precisan dos caras vistas, como en antepechos de balcones o piezas exentas como parasoles.

Finalmente, cuando se precisan paneles de gran dimensión, pero ligeros, se utilizan paneles simples reforzados con stud-frame, que consiste en estructuras tubulares de acero que rigidizan el conjunto y facilitan su montaje en obra.

Prestaciones y aplicaciones.

Las principales virtudes de las fachadas de GRC son, indudablemente, su ligereza y durabilidad. La primera es muy importante ya que reduce cargas estructurales y esto ya significa un ahorro de por sí frente a soluciones pesadas. Por otra parte, la durabilidad es muy deseada ya que el mantenimiento de estas fachadas se reduce, a lo sumo, a operaciones de limpieza con agua a presión, dependiendo del ensuciamiento acaecido con los años.

Otra característica que no es menor es su capacidad de adoptar formas y texturas muy variadas en función de los moldes y tratamientos empleados, entre ellos las pinturas al silicato. Como el hormigón ordinario se adapta a las formas del molde, por lo que el GRC es uno de los escasos materiales para paneles que pueden adoptar formas de doble curvatura.

El GRC solo constituye la cara exterior del cerramiento y, por tanto, no aporta propiedades térmicas. El necesario aislamiento térmico y la hoja interior deben agregarse posteriormente.

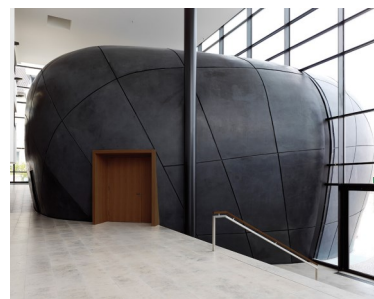
Sin embargo, debido a la posibilidad de realizar paneles de gran formato que integran las ventanas (hasta de 3x12 metros), que además son muy ligeros, se puede conseguir un rápido avance de la obra.

Esto permite cerrar rápidamente plantas al exterior, lo que habilita todo el trabajo de acabados interiores con gran celeridad. Hoy en día la reducción de plazos en las obras es un aspecto de relevancia creciente.

Como ejemplo de las posibilidades del material podemos citar el edificio K-42 Medienhaus, en Friedrichshafen, Alemania, en el que aparece una forma ovoide que se incrusta o macla con una fachada de vidrio. Está realizada con paneles de GRC negros, de doble curvatura, todos diferentes.



Figura 3.40: Edificio K-42 Medienhaus, en Friedrichshafen, Alemania



Empresas de la comunidad de Madrid, como Prefabricados Ponce, investigan nuevos procesos productivos basados en la impresión 3D, para realizar paneles de doble curvatura diferentes a precios razonables.

Todavía en fase de proyecto, la nueva torre de Zaha Hadid en Buenos Aires tiene una serie de formas orgánicas en fachada que serán resueltas con paneles de GRC. El motivo es claro: ligereza, reproducción de forma y durabilidad. La ligereza es importante en un edificio en altura, para no imponer cargas extra a la estructura.

La reproducción de forma tiene permite construir con fidelidad las formas diseñadas por el estudio Hadid. La durabilidad es importante finalmente, sobre todo en un edificio emblemático cuyo precio justifica elevados estándares de calidad constructiva.

Un primer estudio de la consultora de fachadas, Skin Arquitectura, arroja un mínimo de variantes de 65 paneles, que deberán resolverse con sus correspondientes moldes. Las primeras estimaciones arrojaban más de doscientas variantes, lo que aumentaba exponencialmente el coste, con más moldes y menos cantidad de unidades repetidas por molde.



Figura 3.41: Imagen exterior de acabado de fachadas en la nueva torre para Buenos Aires de Zaha Hadid.

Sería francamente muy interesante saber si el nuevo sistema de Ponce podría abordar esta obra y a qué precios.

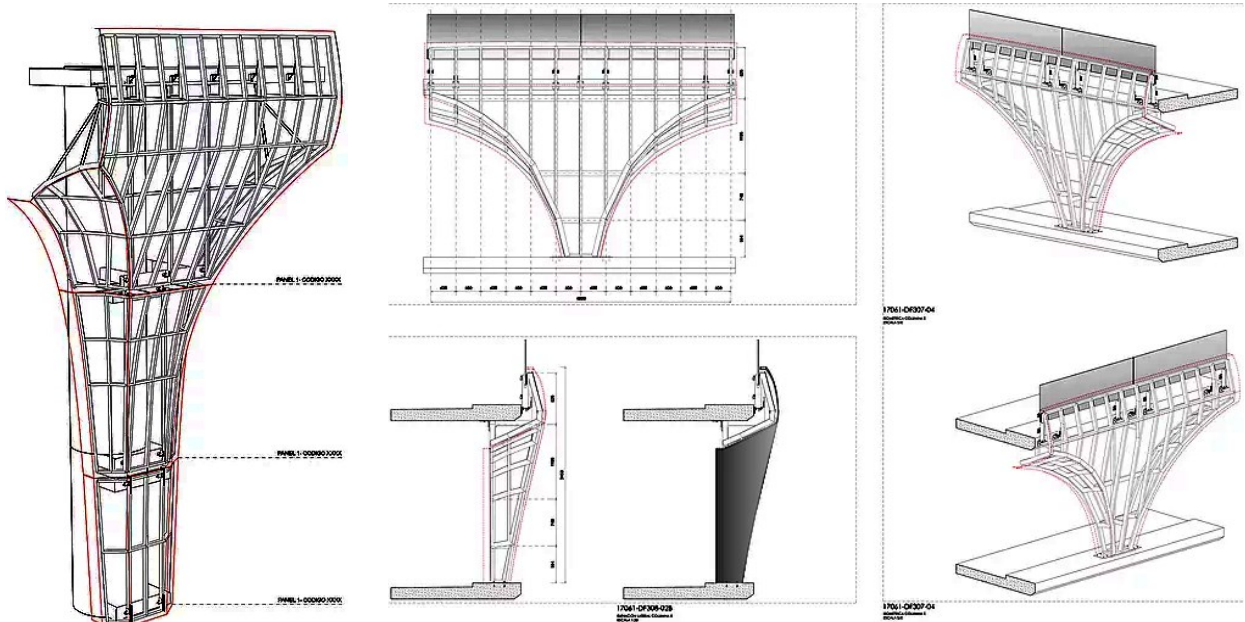


Figura 3.42: Detalles de subestructura para sujeción de paneles GRC

3.10. Laminados de alta presión.

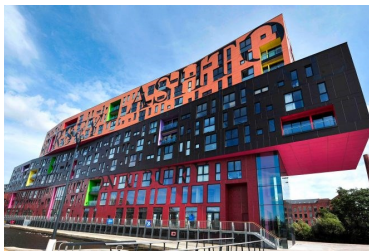


Figura 3.43: Ejemplo de empleo de fachada ventilada con laminados de alta presión.

Existen en el mercado una serie de productos, especialmente apropiados para fachadas ventiladas, entre los que se encuentran los laminados de alta presión, también conocidos como laminados de celulosa de alta presión.

Una marca conocida es TRESPA, si bien existen productos similares en el mercado. Se caracteriza por constituir paneles de pequeño espesor (del orden de los 10mm) con características mecánicas y de durabilidad notables. Su precio es elevado y sus propiedades están normalmente respaldados por ensayos, por lo que se trata de productos que responden a unas prestaciones ciertas. La variedad de colores y acabados también es muy alta.

Si el fabricante lo habilita, se pueden usar con anclaje oculto con ranura en el borde, o por destalonado de fondo. Obviamente, también se pueden usar con anclajes vistos, ya sean pestañas o remaches o tornillos pasantes.

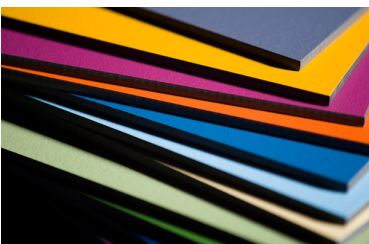


Figura 3.44: Distintos colores de paneles laminados de alta presión.

Los colores no son en la masa, sino en sus superficies exteriores, por lo que en las esquinas pueden aparecer los cantos, de color normalmente negro. Se pueden cortar a medida y admiten fresados, si bien destruyen la cara exterior y su color o acabado.



Figura 3.45: Distintos acabados exteriores de paneles laminados de alta presión.

3.11. Hormigón polímero.

Se denomina hormigón polímero al material de aspecto pétreo que constituye la masa de algunos paneles para fachada ventilada. Es una piedra artificial cuyo ligante suele ser resina de poliéster. Por ello sería más propio llamarlos paneles de resina de poliéster con carga mineral.

A diferencia de los paneles laminados de alta presión, el aspecto del hormigón polímero se asemeja más a materiales pétreos y la gama de olores y acabados es también limitado. Al ser un producto industrial, está sometido a controles de calidad, y todo tipo de ensayos por lo que las prestaciones declaradas por el fabricante suelen ser de confianza.

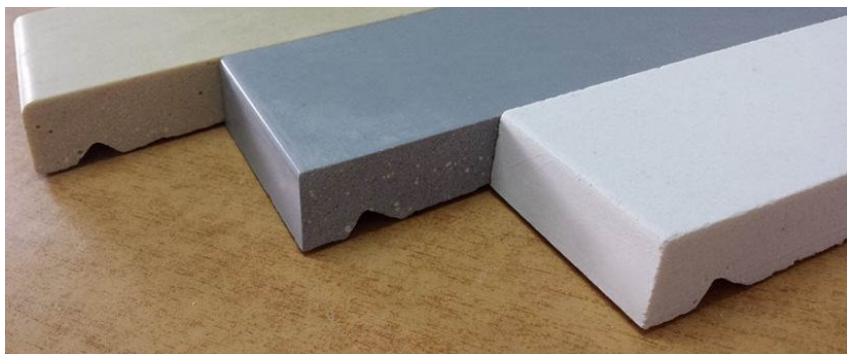


Figura 3.46: Distintas gamas cromáticas de paneles de hormigón polímero.

Asimismo, son materiales compactos algo más pesados que los laminados de alta presión, e igualmente robustos, permitiendo su mecanización a través de fresados, ranurados y anclajes por destalonado. Se fabrican en espesores diversos (10-20mm) y combinan el noble aspecto de la piedra con las prestaciones confiables de un producto industrial.



Figura 3.47: Ejemplo de empleo de fachadas ventiladas de prensados de madera.



Figura 3.48: Configuración interna de panel de prensado de madera.

3.12. Prensados de madera.

En este grupo encontramos productos derivados de la madera, tales como contrachapados y otros que, sometidos a tratamientos de alta presión y resinas fenólicas, alcanzan altas prestaciones mecánicas y de durabilidad.

Su principal característica es su imagen de madera, a veces exigida por el cliente y solamente posible con estos productos que emplean madera real.

Es muy importante en estos casos contar con ensayos de envejecimiento acelerado, sobre todo frente a humedad (niebla salina) y frente a la radiación ultravioleta. Se conocen casos de degradación de la imagen inicial de paneles de este tipo, por lo que estas propiedades han de verificarse en detalle previamente.

3.13. Fachadas tecnológicas opacas basadas en el muro cortina.

Una de las evoluciones más interesantes de las fachadas tecnológicas opacas en las últimas décadas es sin duda el aprovechamiento de la tecnología del muro cortina para conseguir fachadas opacas de gran calidad. Los sistemas de muro cortina, stick y modular, han alcanzado una madurez tecnológica importante, por lo que hoy en día son sistemas de precio razonable y de prestaciones conocidas y confiables.

Comoquiera que los muros cortina incorporan tanto zonas transparentes (visión) como zonas opacas (peso de forjado) podemos decir que el problema de la fachada opaca ya está resuelto desde el principio con muro cortina. Podría objetarse que, si bien hay zonas opacas, se ven las tapetas de aluminio. Sin embargo, con los nuevos sistemas sin tapeta o SG, este problema desaparece. La principal ventaja de usar muros cortina como fachadas opacas es que su transición con las ventanas se produce de la forma más natural posible: las ventanas están integradas en la retícula soporte general del cerramiento.

Según se han ido incorporando diferentes materiales en los paneles de las zonas opacas del muro cortina, como por ejemplo los paneles composite de aluminio que ya proporcionan una amplísima paleta de acabados.

Otra ventaja añadida es que el muro cortina entrega caras a la estructura del edificio a través de las cabezas de los forjados, eliminando la dependencia de un muro soporte, ya sea por su falta de calidad, por ahorrar peso o simplemente porque se desea prescindir del mismo.

Con el desarrollo de los sistemas modulares se amplían las posibilidades y la calidad de las soluciones obtenidas. De este modo, no solo se elimina el trabajo artesanal in situ del muro soporte, sino que el cerramiento alcanza un grado mayor de prefabricación, realizándose en taller en un gran porcentaje, lo que supone mayor calidad, y más rápido cierre del edificio para poder trabajar por dentro. Además, el hecho de que los sistemas modulares se monten por el interior reduce enormemente la necesidad de los medios auxiliares exteriores.

Debido a su precio, los sistemas modulares de fachadas opaca se reservan a obras singulares, que sin duda están marcando el máximo nivel de evolución en fachadas tecnológicas opacas.

Lo que sí parece una tendencia creciente es la desaparición del muro soporte como tal. En su lugar, se desarrollan sistemas completos de fachada exterior, que incorpora estanqueidad al agua y al aire y proporciona una parte del aislamiento acústico y térmico. Lo interesante está en que una vez instalada esta envolvente ya se puede trabajar por el interior de modo que se completa con un trasdosado similar al resto de la tabiquería que completa el aislamiento térmico y acústico, normalmente a base de lana de roca y placas de yeso cartón.

Finalmente, existen nuevas soluciones de muro soporte en seco a base de placas cementicias, estructura metálica, lana de roca y placas de yeso cartón. Es el caso del sistema de muro seco Aquapanel de Knauf. Este sistema incorpora una placa exterior cementicia, requeridas a priori.

Considerando que tanto las exigencias térmicas como de otro tipo son crecientes, este tipo de cerramientos son lo bastante versátiles como para proporcionar una respuesta adecuada en cada caso. Si bien son soluciones ejecutables in situ, es verdad que el grado de industrialización de los productos empleados no requiere artesanos experimentados, sino simples montadores, por lo que su espacio para el error es muy limitado. Estos muros indus-

trializados también eliminan la aparición de escombros por las rozas ejecutadas para embutir instalaciones, ya que estas se pueden insertar sin problemas en la estructura metálica de chapa durante el montaje, como en los tabiques de yeso cartón.

3.14. Otras fachadas tecnológicas opacas.



Figura 3.49: Otras fachadas tecnológicas opacas: fachada de paneles sandwich de chapa.

De manera alternativa a las fachadas ventiladas, de cualquier tipo, es decir, de tipo convencional o basadas en muro cortina, existen otro tipo de fachadas tecnológicas opacas con un recorrido paralelo a las fachadas ventiladas.

Nos referimos a las fachadas de paneles ligeros tipo sándwich. Este tipo de paneles resuelve en una sola hoja todas las funciones del cerramiento, a saber, estanqueidad al aire, al agua, aislamiento térmico, acústico, etc.

Los paneles sándwich de chapa de acero y alma de espuma de poliuretano y otros plásticos proceden de la industria, o sea, de la construcción de naves industriales. La voluntad de resolver todas las exigencias en una sola hoja resulta muy atractiva, sin embargo, el continuo aumento de los requisitos que se le exigen a la fachada ha dejado obsoletas alguna de estas soluciones.

Sin embargo, esta tecnología se está aprovechando por algunos fabricantes como parte de un sistema completo de cerramiento con fachada ventilada. Su función sería sustituir el aislamiento térmico que pasa por delante de los forjados, resolviendo además la estanqueidad al aire y al agua del sistema. Se completaría con la hoja exterior, que da la imagen y acabado exterior de la fachada, que puede ser cualquiera, incluso ladrillo. Por el interior, se completaría el aislamiento y el tabique interior.

3.15. Fachadas especiales.

Con respecto a fachadas basadas en el sistema modular de muro cortina, merece la pena citar un par de ejemplos recientes donde estas soluciones muestran claramente su potencial.

El edificio BSU, Ministerio de Urbanismo de Hamburgo, constituye un ejemplo de fachada ventilada cerámica instalada sobre un cerramiento constituido por unidades ancladas de forjado a forjado a la manera de un muro cortina modular. No en vano, se trata



Figura 3.50: Mock up visual de la fachada del edificio BSU.

de una solución ejecutada por uno de los mejores fachadistas a nivel mundial, a saber, Permasteelisa. Lo más interesante es que, además, es un edificio de gran eficiencia energética que ha logrado certificaciones y sellos energéticos del máximo nivel.

Partiendo de una estructura de hormigón armado hecha in situ, se colocan los anclajes correspondientes en el borde de los forjados y, a continuación, se instalan los módulos de fachada, de forjado a forjado, como en un muro cortina modular convencional. Estos módulos vienen terminados de taller tal vez a un 80%.

En obra, se terminan de instalar aislamientos térmicos y fachada ventilada de cerámica. Las ventanas, vienen ya perfectamente instaladas y selladas en los módulos. El nivel de calidad de la fachada es máximo, así como sorprende el grado de prefabricación e industrialización que supone utilizar un sistema modular.



Figura 3.55: Bandas de fachada de colores.



Figura 3.56: Izquierda: ventanas cerradas; derecha: ventanas abiertas.



Figura 3.51: Estructura de hormigón y comienzo de instalación de fachada.

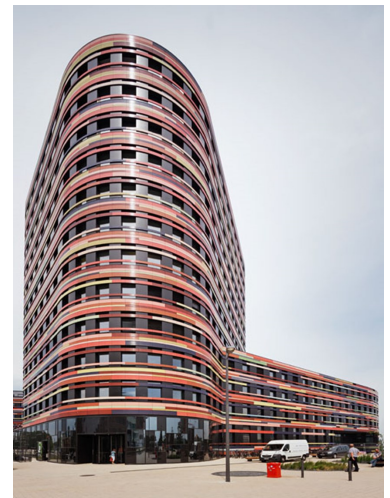


Figura 3.52: Edificio terminado.



Figura 3.53: Instalación de paneles de fachada.

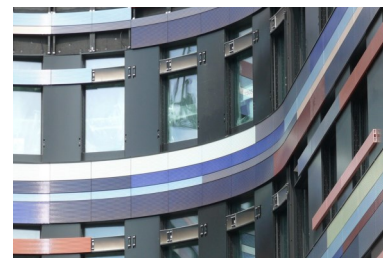


Figura 3.54: Anclajes para instalación de bandas de fachada.

della facciata. Scala 1:20
 Vertical and horizontal sections
 of the façade. Scale 1:20

1. **chiusura verticale opaca:**
 - formelle di ceramica multicolore (dal rosso al giallo nelle facciate esterne, dal blu al verde in quelle interne), lineari o curvilinee, fissate con supporti a scomparsa
 - doppio strato di isolante sostenuto da montanti e traversi metallici
 - pannello fonoisolante
2. **lamiera metallica**
 - piana o curvilinea
3. **chiusura verticale trasparente:**
 - serramento di alluminio
 - triplo vetro
4. **sistema di schermatura solare esterna:** tende e motore d'azionamento
5. **schermatura solare interna** azionabile manualmente
6. **superficie riflettente**
7. **pannello di ventilazione** per il raffreddamento naturale notturno azionabile manualmente e isolato acusticamente dall'interno

1. **vertical opaque enclosure:**
 - multi-coloured ceramic tiles, linear or curved, connected with hidden supports
 - double insulation layer supported by metallic mullions and transoms
 - acoustic panel
2. **curved or flat metallic sheeting**
3. **transparent vertical enclosure:**
 - aluminium frame
 - triple-glazing
4. **external solar screening system:** curtains and motor
5. **internal solar screen** manually activated
6. **reflective surface**
7. **ventilation panel** for the night natural cooling, manually activated and acoustically insulated from the inside

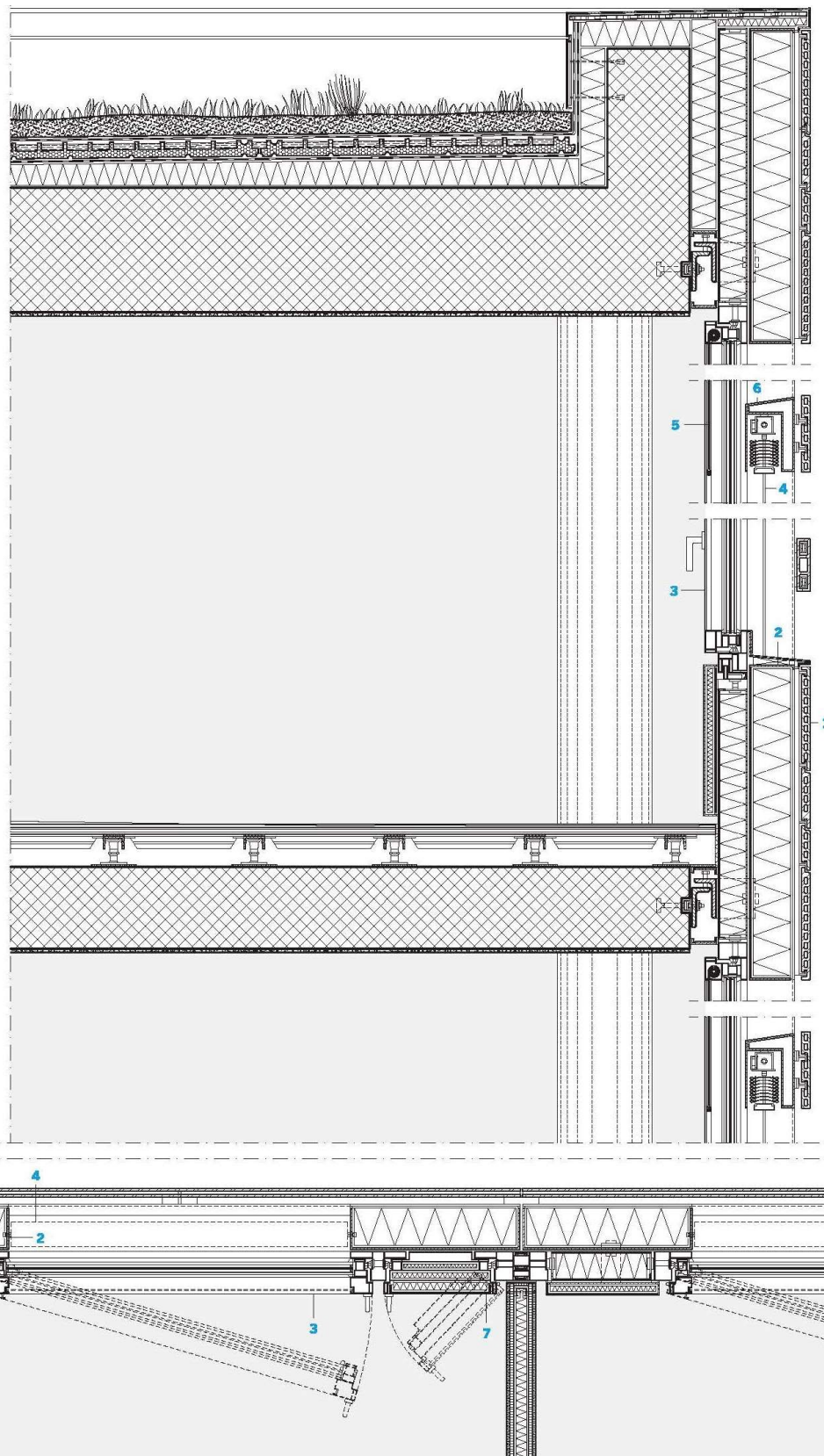


Figura 3.57: Sección vertical (arriba) y sección horizontal (abajo).

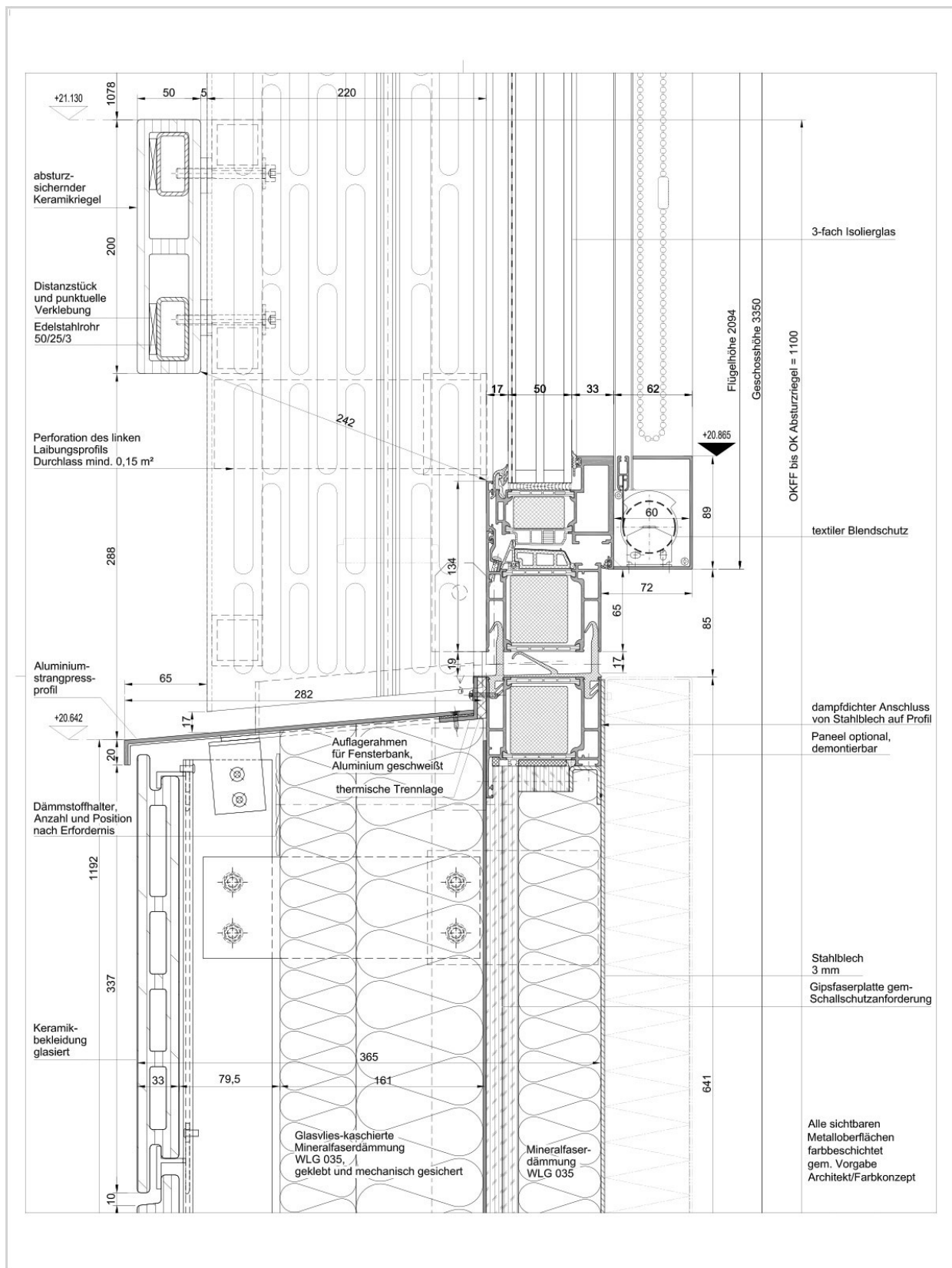


Figura 3.58: Sección vertical por ventana.

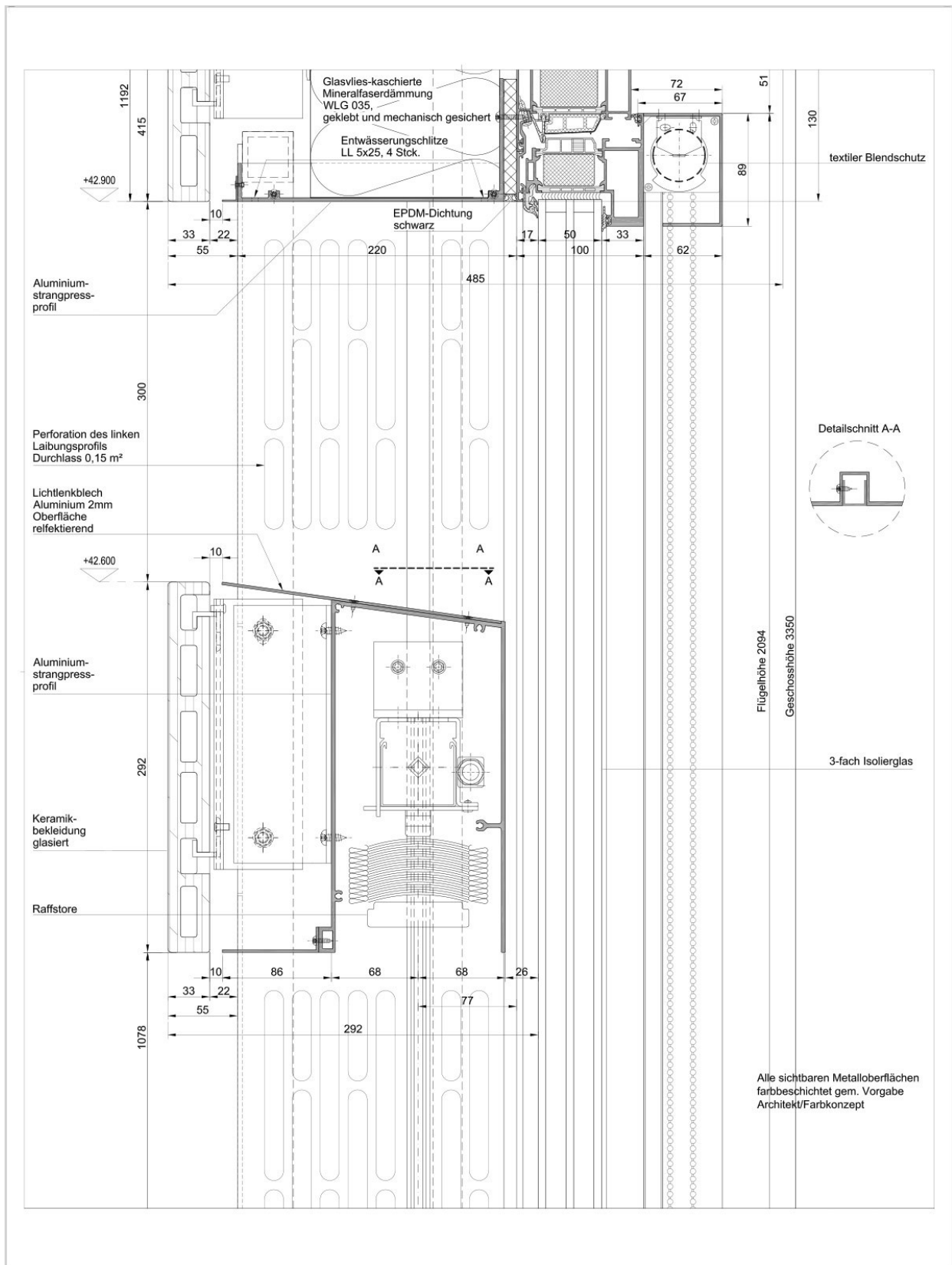


Figura 3.59: Sección vertical por parte superior de ventana con persiana oculta.

Otro edificio muy interesante por su fachada es la ampliación del MoMA en San Francisco. En este caso, la fachada es una realización de Kreysler Industries. La imagen escultórica del edificio se logra con paneles de composite (poliéster reforzado con fibra de vidrio o GFRP) que hay que anclar al edificio. La solución adoptada es similar a la del edificio BSU, ya que los paneles de fibra de vidrio se anclan a módulos de fachada, que después se instalan de forjado a forjado, logrando una perfecta transición con las ventanas.

En este caso, el GFRP compite con su referente cementicio, el GRC, logrando una cierta reducción del peso. El problema tradicional del GFRP es su mal comportamiento a fuego, que en esta ocasión se ha logrado mitigar gracias a la aportación de carga mineral a la resina y la realización de los correspondientes ensayos para demostrar su comportamiento en caso de incendio.

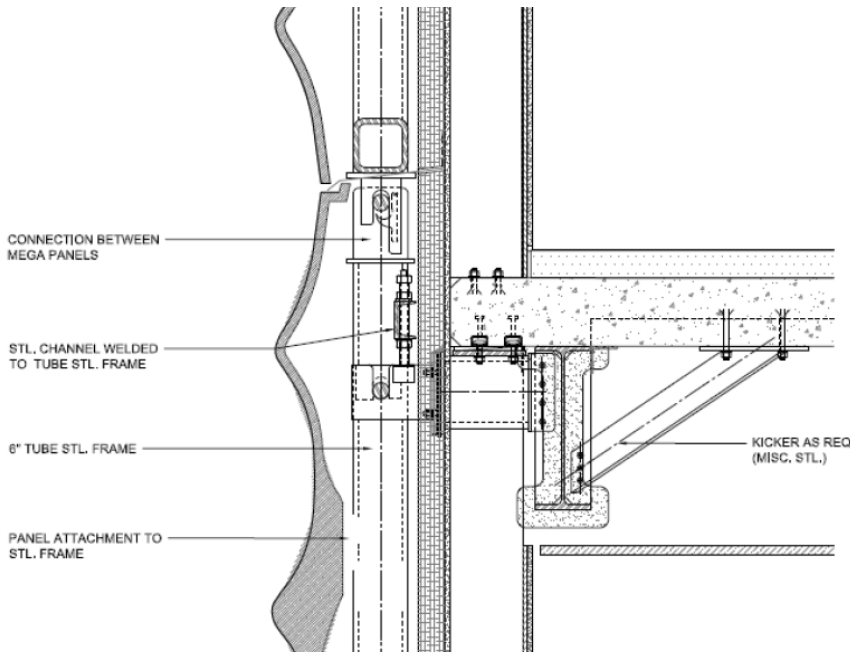


Figura 3.60: Arriba: sección vertical por fachada; Figura 19.12: Abajo izquierda: fachada terminada en contacto con terreno. Figura 19.13: Almacenamiento de piezas.

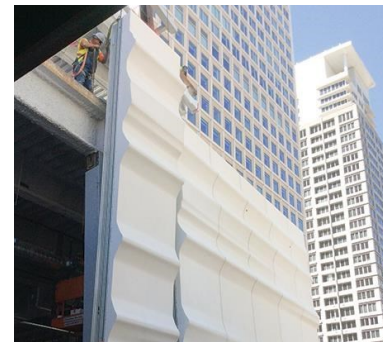
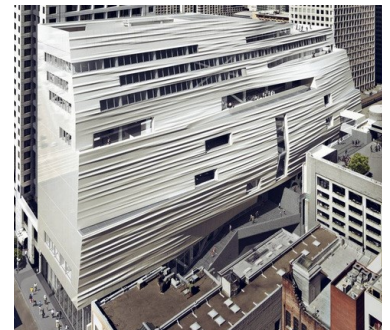


Figura 3.61: de arriba a abajo: módulo de fachada en ensayo; Vista general del museo; Colocación de módulos de fachada; Producción de módulos de fachada en fábrica.



Figura 3.62: Torre Porta Fira, Toyo Ito.

Leyenda del detalle de la izquierda:

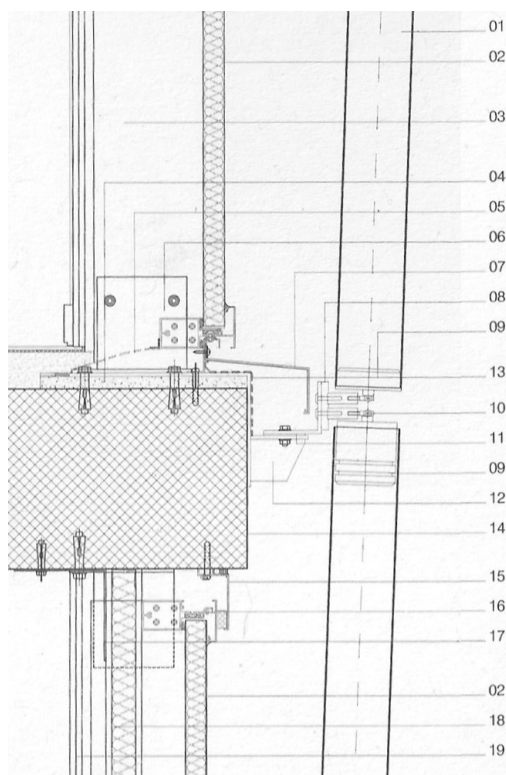
1. Tubo aluminio 110 mm de diámetro y 1,7 mm de espesor. Acabado lacado Ral base 3003D- 1094HR RW124L de Interpon-Azko. Sello Qualicoat.
2. Panel sándwich de 35 mm de chapas exteriores de acero de 0,5 mm e interior de espuma rígida de poliuretano. Acabado microperforado.
3. Montante muro cortina. Acabado lacado negro mate. Ral 9011.
4. Capa de regulación de mortero.
5. Lámina geotextil.
6. Anclaje muro cortina de acero S-275 zincado.
7. Remat perimetral inferior d'alumini. Acabat lacat negre mat. Ral 9011.
8. Pasamanos de acero S-275 galvanizado con imprimadas negra para la fijación de rótulas.
9. Mecha de polietileno para enfundar los tubos de aluminio. Acabado color Ral 3003.
10. Rótula de métrica 6. Cuerpo de acero inox. AISI 303, anillo interno acero inox Aisi 420.
11. Junta elástica tipo silenbloc de neopreno.
12. Anclaje piel exterior de acero S-275 galvanizado con imprimación negra, Ral 9011.
13. Butil autoadhesivo T-240NT. Color negro. Espesor 09 mm.
14. Capa pintura negro mate de 50-60 micras. 59930 Hempacryl Evolution.
15. Remate perimetral superior de aluminio. Acabado lacado negro mate.
16. Travesaño superior muro cortina. Acabado lacado negro mate.
17. Ángulo de acero zincado. Fijación cortafuegos.
18. Promatect 100 de 10 mm (RF-60).
19. Trasdosado de doble capa de cartón yeso.

3.16. Celosías y pieles exteriores permeables.

Dejando de lado realizaciones de arquitectura textil con lonas caladas, es decir, perforadas para dejar pasar el agua, en este caso nos referiremos a aquellas pieles exteriores destinadas a dar una imagen determinada al edificio pero que dejan pasar la lluvia hasta la siguiente capa. Así, la estanqueidad al agua deberá resolverse en la segunda capa. Por otra parte, este efecto es común a todo tipo de parasoles o elementos de sombra que dejan pasar la lluvia.

Telas metálicas, chapas perforadas, chapados a junta abierta, tubos, troncos, bambú, etc. son innumerables los materiales empleados en “falsas fachadas” para dar al edificio una determinada imagen, aportando a lo sumo algo de sombra a la fachada. De ellas, las más interesantes son aquellas que utilizan la capa externa para aportar ciertos valores formales, gracias a la libertad que da no tener que resolver funciones de estanqueidad.

Se citarán aquí dos ejemplos basados en la utilización de tubos para conseguir superficies especiales en la fachada. El primero es la torre de Toyo Ito, Porta Fira, de Barcelona, en el que una sucesión de tubos de aluminio de color rojo resuelven la depurada geometría del modelo de Ito.



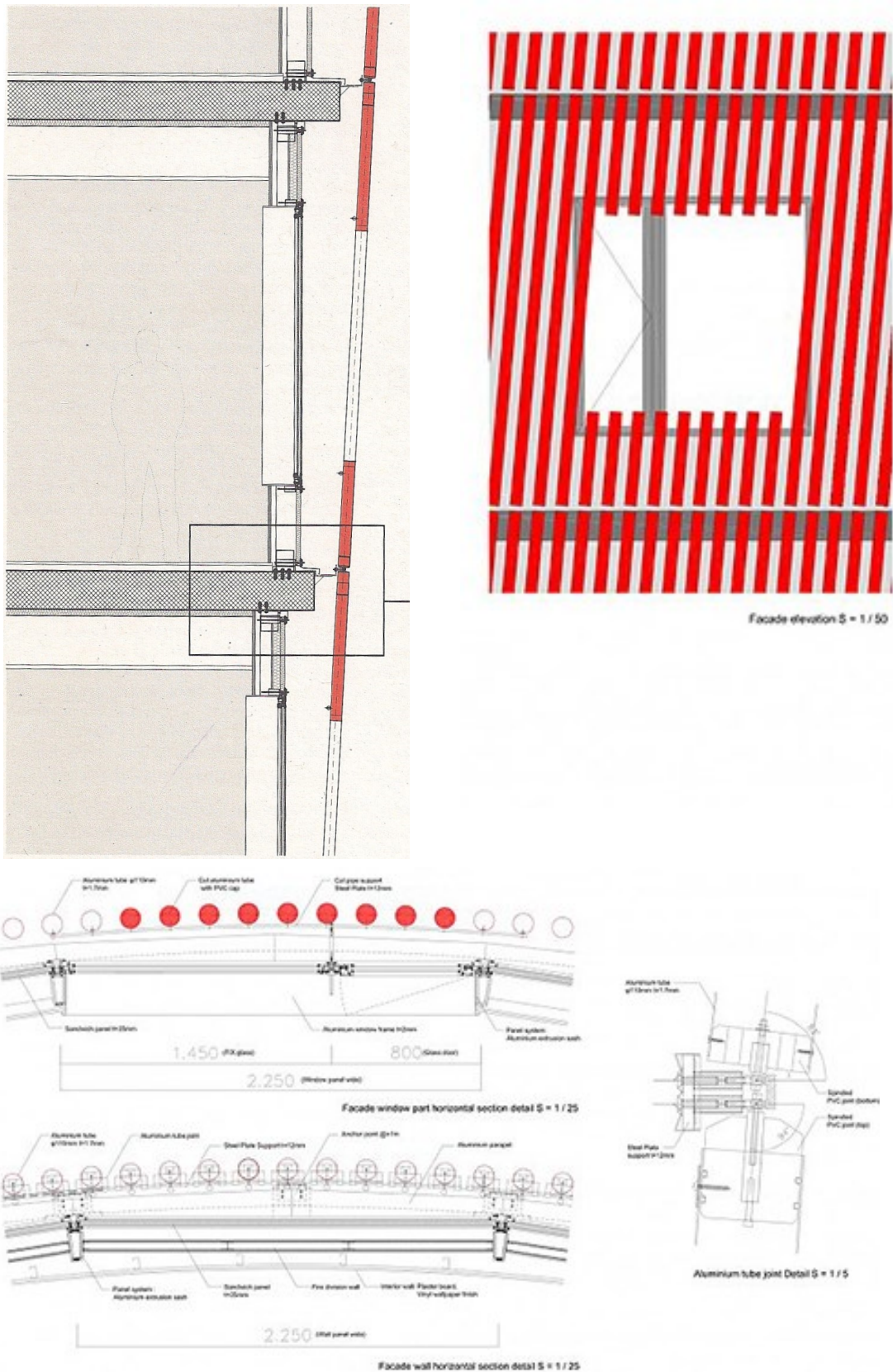


Figura 3.63: Detalles de fachada.

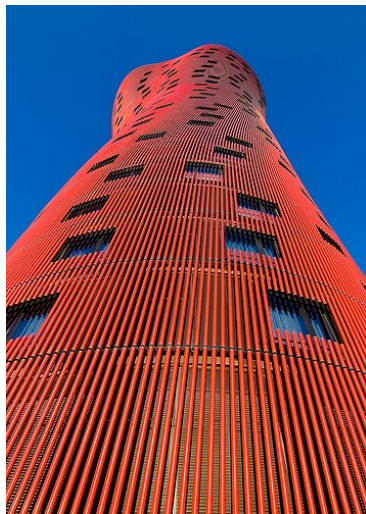


Figura 3.64: Fachada a base de tubos de la Torre Porta Fira, Toyo Ito.



Figura 3.65: Mock up visual.

La escala del edificio hace que la sucesión de tubos se lea como una superficie continua, prácticamente sin juntas, con lo que una solución “aparentemente” simple hace el milagro de la continuidad formal de una envolvente de superficies complejas. Incluso el abocinamiento superior de la torre se resuelve únicamente separando poco a poco (imperceptiblemente) los tubos de fachada. Descender al detalle de sujeción de estos tubos y del cerramiento real del edificio es toda una aventura que permite visualizar hasta qué punto se han vuelto complejas las fachadas tecnológicas opacas en la actualidad.

Como en otros ejemplos, la hoja exterior compuesta por tubos de aluminio sigue la superficie de la envolvente proyectada por Ito, pero los muros de cerramiento que están detrás se regularizan pasando a dar siempre verticales. Esto supone grandes ventajas y abaratamiento en obra, además de que no se ve.

Los muros de cerramiento se resuelven con sistemas modernos de muro seco, a base de placas cementicias exterior y de yeso cartón interiores, englobando un núcleo de aislamiento térmico de lana de roca. Cuando es necesario por normativa se integra también en el interior de estos cerramientos el conocido panel antifuego de Promatect.

Una vez resuelta el tema de la envolvente térmica, acústica y antifuego del edificio, pasa a resolverse la envolvente estética. Esta se compone de tubos de aluminio lacado en rojo de 100mm de diámetro. Para ello se disponen en primer lugar anclajes tipo muro cortina en el borde de los forjados. A continuación, una especie de carrera o travesaño corrido horizontal recorre la fachada, dibujando el perímetro curvo ideal del edificio. Sobre este travesaño de acero se atornillarán las piezas necesarias para sujetar los tubos de aluminio.

Donde hay ventanas aparecen nuevos travesaños parciales para tomar los finales de los tubos de aluminio, que se interrumpen en las ventanas. Estos travesaños están en la parte superior e inferior de la ventana para anclar los tubos correspondientes, y están a su vez anclados al muro soporte.

La solución de la torre de Ito es a la vez sencilla y lograda, dándole al edificio exactamente la imagen que demanda, sobre todo visto a media distancia.

Otro edificio interesante por su utilización de tubos en la hoja exterior de un modo si cabe aún más radical es el Centro para la Cultura Mundial Rey Abdulaziz, en Arabia Saudita, según proyecto del estudio Snohetta.

A primera vista, parecería un proyecto marca de Zaha Hadid, aunque como vemos este universo formal es cultivado también por otras firmas. El proyecto, a primera vista, recuerda a una escultura realizada como amontonamiento de cantos rodados de formas romas y bordes suaves. Una vez más, el reto de ejecutar una envolvente tecnológica con todos los desafíos que ello conlleva conduce a soluciones que nada tienen que ver con el encofrado gigante y el hormigón armado en cantidades industriales.

Sea como fuere, en la arquitectura de hoy en día se prefieren soluciones ligeras de capas especializadas en funciones concretas y con materiales, o mejor dicho, productos también especializados y prestaciones conocidas, que se diseñan y calculan “ad hoc” en cada caso, gracias al conocimiento acumulado por décadas de práctica por firmas tales como Buro Happold en las funciones de ingeniería de fachadas o Seele en las de fachadista.

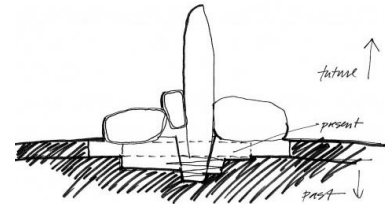


Figura 3.66: Croquis de proyecto del Centro para la Cultura Mundial Rey Abdulaziz.



Figura 3.67: Centro para la Cultura Mundial Rey Abdulaziz.

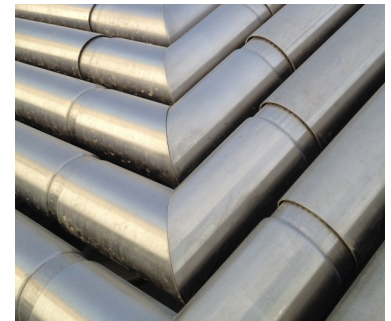


Figura 3.68: Tubos de la envolvente.

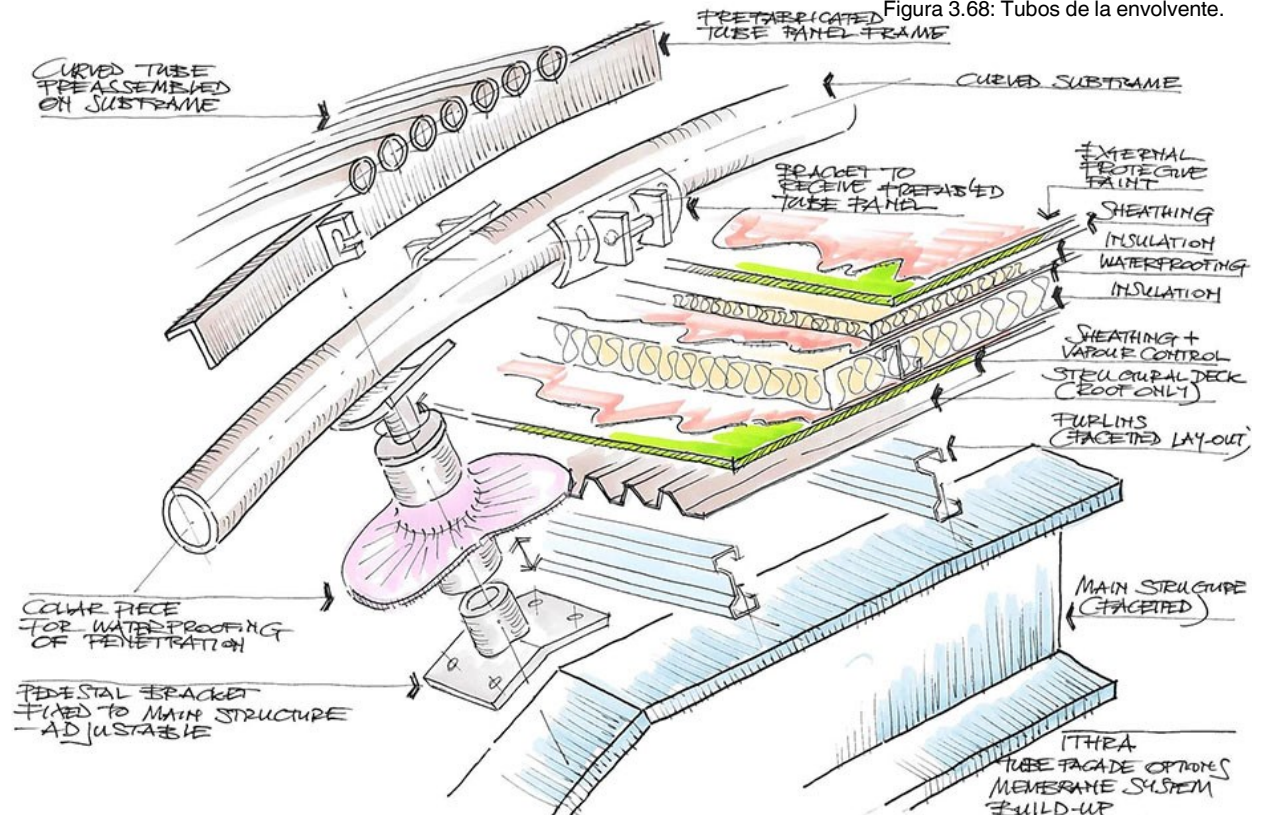


Figura 3.69: Dibujo de la solución de la envolvente del proyecto.



Figura 3.70: derecha: paneles modulares de la envolvente del edificio; sobre estas líneas: estructura metálica soporte de la envolvente.

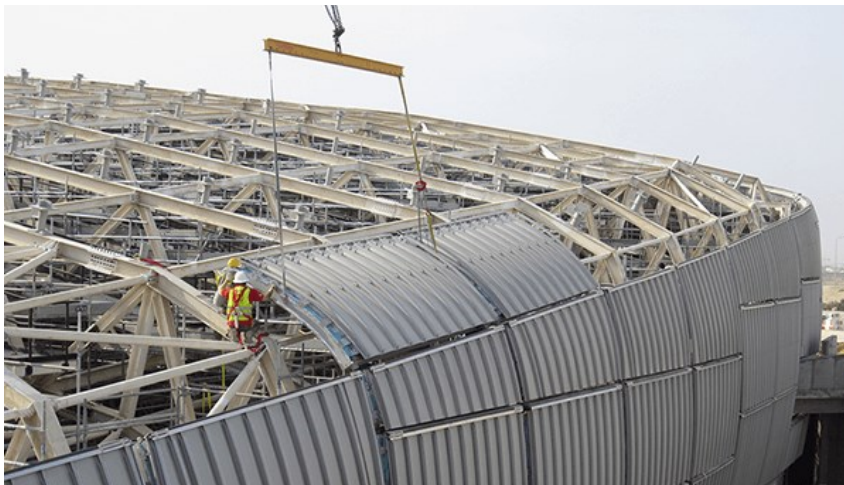


Figura 3.71: Colocación de tubos.

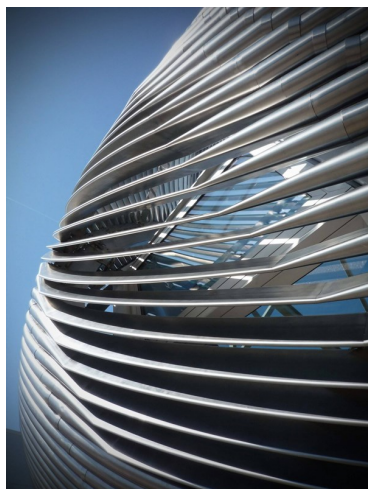


Figura 3.72: Estrechamiento de tubos en las zonas de visión.

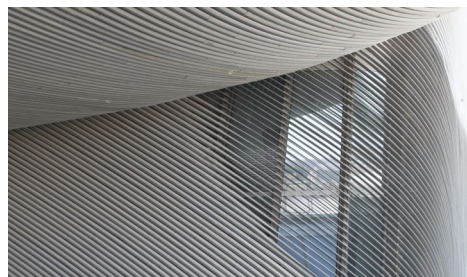
De este modo, partiendo de la solución de la torre de Ito, se da un paso adelante, creando una primera envolvente modular perfectamente aislada y estanca. Esta envolvente puede llegar a tener una geometría realmente compleja, por lo que aparece inicialmente una estructura tubular que resuelve esta geometría.

Los paneles de cerramiento, que incorporan la impermeabilización y el aislamiento térmico se ensamblan, sellan y finalmente dejan al exterior una serie de carriles a los que anclar las piezas de sujeción de los tubos, que en este caso son de acero inoxidable gris metálico (en su color).

La última regulación en la fijación de los tubos permite la realización óptima de la “tersura” de esta piel metálica. Una vez más, vistas desde la distancia, los tubos simulan una superficie continua que se lee de una sola vez.

Un detalle no menor es que cuando se desea que asomen las ventanas, no se interrumpen los tubos como en la torre de Ito, sino que se “aplastan” formando una especie de persiana de lamas que permite el paso de la luz y las vistas. Se trata, sin duda, de un nuevo hito en la tecnología de fachadas opacas, que sin duda experimentará progresos en los tiempos venideros.

Figura 3.73: izquierda: Mock up visual.; derecha: zonas de visión con tubos más estrechos.



3.17. Obras singulares.

Cloud Gate en Chicago.

Cloud Gate es una escultura de proporciones arquitectónicas situada en el Millennium Park de Chicago, EE.UU. Es una obra del escultor Anish Kapoor y se caracteriza por estar realizada en acero inoxidable pulido espejo, de modo que se percibe como una única pieza sin juntas. También ha recibido el apelativo de “the bean”, o la alubia, por su forma y también ha sido comparada con una gota de mercurio.

Sea como fuera, lo más significativo de esta obra es el desarrollo tecnológico requerido para su construcción, en el material elegido, acero inoxidable, y en la calidad de sus juntas, que son soldadas y posteriormente pulidas hasta hacerlas tan lisas que desaparecen a la vista.

Más allá de que su presupuesto haya sido muy elevado, lo cierto es que se requiere una planificación de su proceso de fabricación y montaje muy particular.

La prefabricación de los componentes es inevitable y lógicamente desde proyecto se procede a una división en paneles de la superficie del modelo del artista. Dentro de la complejidad forma de la escultura, siempre se busca encontrar alguna regularidad que permita la repetición de algunos paneles.



Figura 3.74: Escultura Cloud Gate, de Anish Kapoor.



Figura 3.75: Operarios durante el proceso de fabricación de los paneles.



Figura 3.76: Izquierda: fabricación de estructura portante de la escultura; derecha, fabricación de paneles exteriores.

Contra lo que pueda parecer, la producción de los paneles de doble curvatura es relativamente manual, ya que no resulta viable crear moldes de estampación para la producción de series de paneles tan cortas. En consecuencia, se realizan de un modo semi



Figura 3.77: Pulido exterior de los paneles para conseguir el efecto espejo.



Figura 3.78: Estructura interior de la escultura.



Figura 3.79: Proceso de ensamblado de la escultura.



Figura 3.80: Colocación de paneles.

artesanal con ayuda de máquinas o prensas de rodillos, a través de las que se va pasando repetidas veces la chapa, dándole forma progresivamente. Después, con una máquina palpadora que comprueba los puntos de contacto del panel con el modelo virtual se comprueba su exactitud que, en este caso, ha sido de una centésima de pulgada.

Los paneles individuales se han producido en taller, realizados en chapa de acero inoxidable, con un refuerzo en el trasdós de costillas de chapa de acero inoxidable, para el mantenimiento y rigidización de la forma.

Debido al tamaño considerable de esta escultura, se requiere una estructura soporte adicional que, por supuesto, queda oculta una vez terminada la escultura. Su concepto parte de dos anillos de acero, que apoyan en cimentación, y que quedan vinculados con una serie de elementos lineales tubulares de acero. Toda la estructura se produce en taller y se instala en obra con uniones atornilladas. Oslo uno de los anillos tiene apoyo fijo y el otro tiene apoyo deslizante en horizontal para acomodar las previsibles dilataciones de la escultura.

Para la erección de la misma, se dispuso una construcción provisional a modo de carpa de lona, para proteger de la intemperie a los operarios de montaje.

El orden de instalación parte de la cimentación, la erección de los anillos principales de la estructura, montar el resto de la estructura tubular y comenzar la instalación de los paneles sobre la misma. Para ello se coloca, en primer lugar, el panel superior de la cúpula interior y, a partir de ahí, se van agregando paneles completando toda la parte inferior de la escultura, sujetando cada panel a la estructura y soldando entre sí todos los paneles por sus bordes.

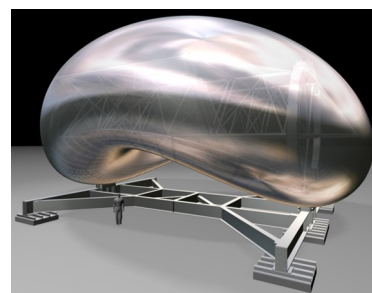
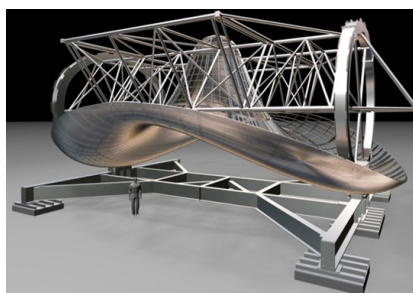
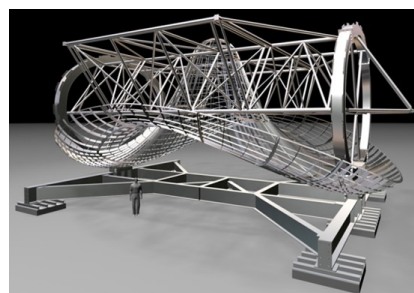


Figura 3.81: Proceso de montaje de la escultura. Izquierda: estructura interior con los dos anillos en los extremos; medio: comienzo de colocación de paneles desde la parte inferior; derecha: escultura completada.

Una vez finalizado el montaje de todos los paneles exteriores con sus cordones de soldadura vistos, se procede a pulir exteriormente todos y cada uno de los cordones de soldadura hasta que desaparecen visualmente, logrando así una continuidad de espejo perfecta.

Museo de Graz.

Este edificio es una obra interesante de Peter Cook, antiguo componente del grupo Archigram, célebre por sus propuestas arquitectónicas futuristas de los años 60. El propósito del proyecto es la creación de un volumen orgánico de formas suaves, donde la envolvente de formas fluidas no hace distinción entre cubiertas y fachada. Es una envolvente tecnológica opaca, si bien el material de acabado es un plástico transparente (policarbonato), sustitutivo del vidrio por su mayor facilidad de conformación al calor, y menor riesgo de rotura.



Figura 3.85: Museo de Graz.

Es muy común que en proyectos de este tipo se aprovechen soluciones de cubierta ligera, como es la cubierta deck, para resolver la envolvente. En este caso, además se recurre a la variante de la cubierta deck que incorpora barrera para vapor. La barrera para vapor se consigue utilizando un aislante térmico de vidrio celular (a célula cerrada) que, a su vez, queda sellado con un vertido de pasta bituminosa, dando lugar a una solución algo rudimentaria pero muy efectiva.

Como sucede habitualmente con las cubiertas deck, no se puede apoyar ningún aparato o bancada sobre ellas, sino que cualquier apoyo deber progresar hasta la estructura soporte. Esto da lugar a que estos puntos de anclaje aparezcan resaltados sobre la cubierta para resolver adecuadamente la estanqueidad al agua.



Figura 3.82: Lucernarios del edificio.

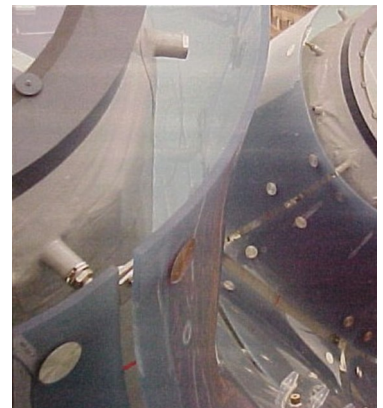


Figura 3.83: Paneles de policarbonato anclados por puntos.



Figura 3.84: Aislante térmico a base de placas de vidrio celular (en la imagen, los volúmenes de color verde), sobre estructura soporte del edificio.

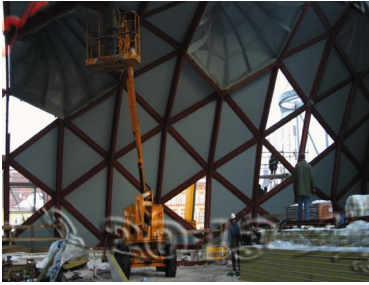


Figura 3.86: Estructura triangulada del edificio para conseguir la forma deseada.

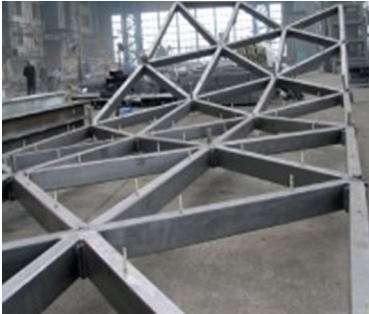


Figura 3.87: Prefabricación en taller de la estructura triangulada del edificio.

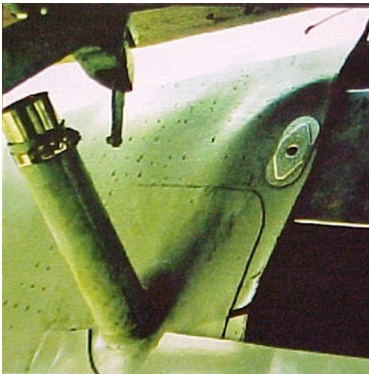


Figura 3.88: Impermeabilización de piezas salientes.



Figura 3.89: Capas de la envolvente. Sobre la barrera de vapor se encuentran los puntos de luz, y sobre éstos, los paneles de policarbonato.

De este modo, el sistema constructivo se compone de estructura soporte, soporte del cerramiento, aislamiento térmico con barrera para vapor, membrana de impermeabilización exterior y hoja exterior.

De dentro hacia afuera lo primero que aparecería sería el acabado interior. Sin embargo, prescindiendo de esta parte, lo siguiente será la estructura del edificio, que para resolver la forma compleja es triangulada y prefabricada en taller. La estructura metálica se produce en taller en elementos tan grandes como sea posible transportar por carretera. Una vez montada la estructura se coloca el soporte del cerramiento, basado en chapa grecada, que sería el soporte del aislamiento térmico, es este caso de vidrio celular.

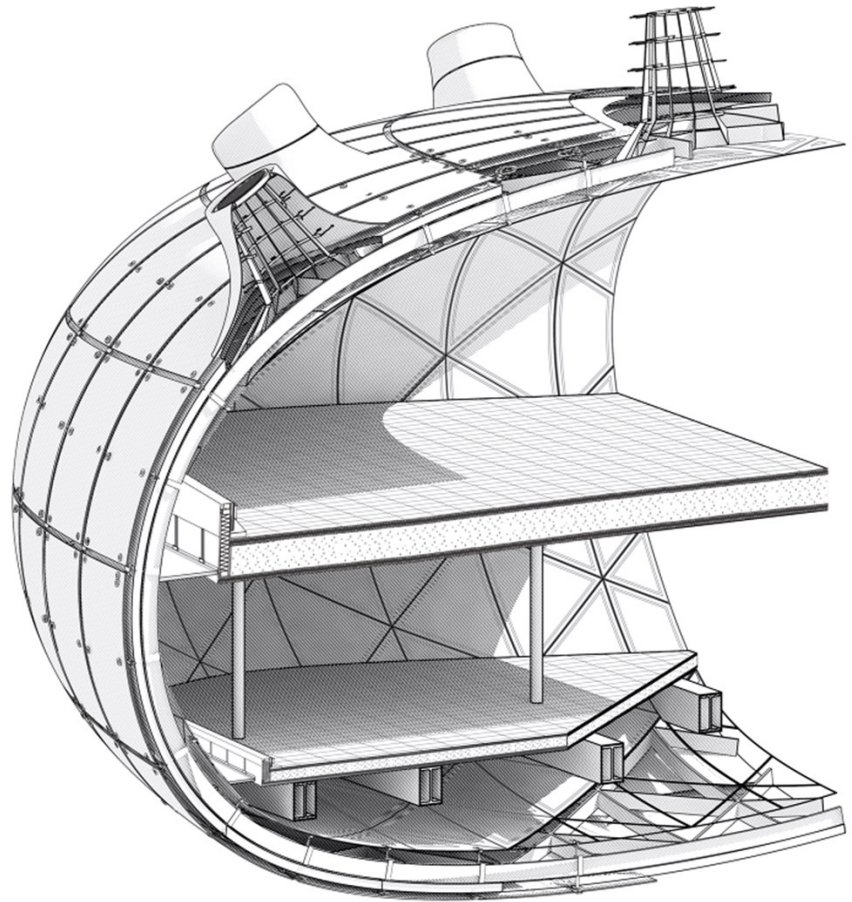


Figura 3.90: Perspectiva seccionada del Museo de Graz.

Una vez sellado el vidrio celular, se coloca la membrana de impermeabilización de PVC, realizando todos los remates de los elementos resaltados de anclaje para la hoja exterior. Finalmente, se instala atornillada la hoja exterior de paneles de policarbonato transparente.

El motivo de utilizar un material transparente es precisamente que otro de los temas del proyecto era el colocar una serie de luminarias entre la membrana y la hoja exterior, por lo que se le pedía transparencia precisamente para dejar pasar la luz.

En consecuencia, los paneles de policarbonato dejan entrar el agua hasta la membrana inferior y todas las luminarias deben ser estancas a la humedad ya que el agua llega hasta la membrana de PVC.

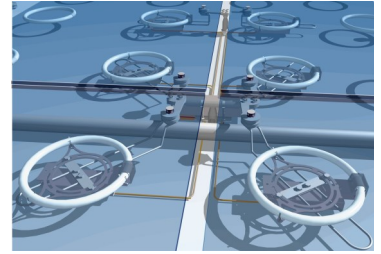


Figura 3.91: Luminarias de la envolvente bajo los paneles de policarbonato.



Figura 3.92: Imagen final de noche con las luminarias encendidas.

Estación de autobuses Pforzheim.

Aunque no se trate exactamente de una fachada de un edificio, la estación de autobuses en Pforzheim (Alemania, 2015), del estudio Metaraum, ilustra perfectamente las posibilidades que ofrece en la actualidad el sistema constructivo de Aquapanel.

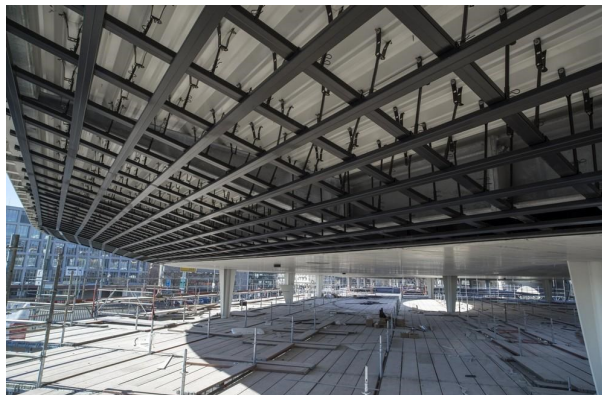
En efecto, estas marquesinas expuestas a la intemperie en el frío clima de Alemania demuestran perfectamente estas posibilidades.

Para empezar, el ahorro de peso es esencial y la economía de presupuesto frente a una superficie digamos de chapa o panel composite es importante.

La continuidad del acabado es otra característica muy interesante de Aquapanel, ya que permite la ocultación de las juntas reales y la creación de otras (ficticias) según el diseño de los arquitectos.



Figura 3.93: Imágenes de construcción del techo de la estación de autobuses.



La calidad del acabado y su durabilidad quedan asegurados por los acabados prescritos por el fabricante, a modo de revestimientos adicionales sobre un panel que ya de por sí resiste la humedad.

Otro detalle interesante de este proyecto que refleja inmejorablemente el estado de la técnica actual es el empleo en zonas horizontales de una cubierta deck. Este tipo de cubierta es extraordinariamente ligera y de bajo coste, siendo además sumamente fácil de mantener.



Figura 3.94: Diversas imágenes del proyecto.

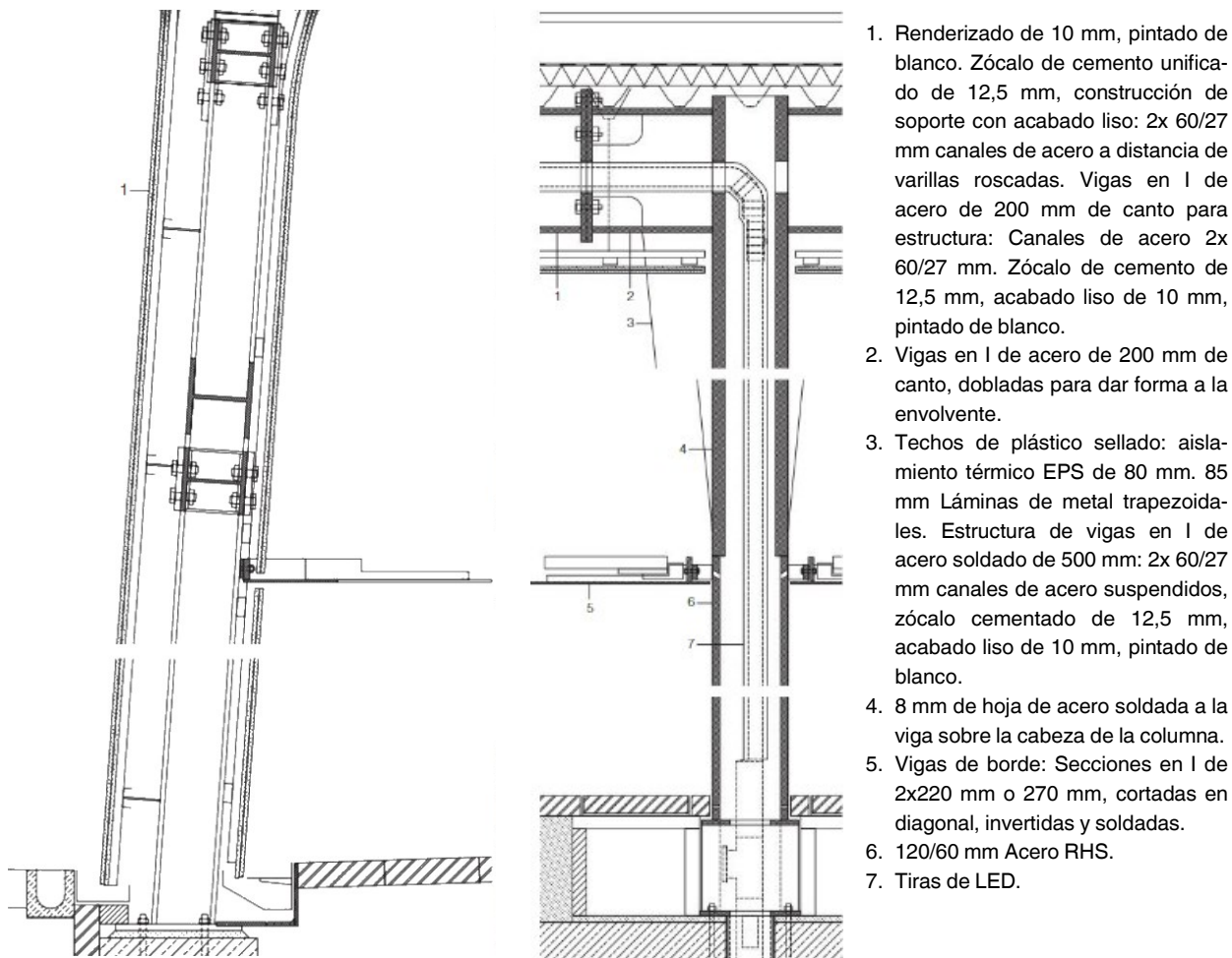


Figura 3.95: Detalles de arranque de estructura soporte y envolvente.

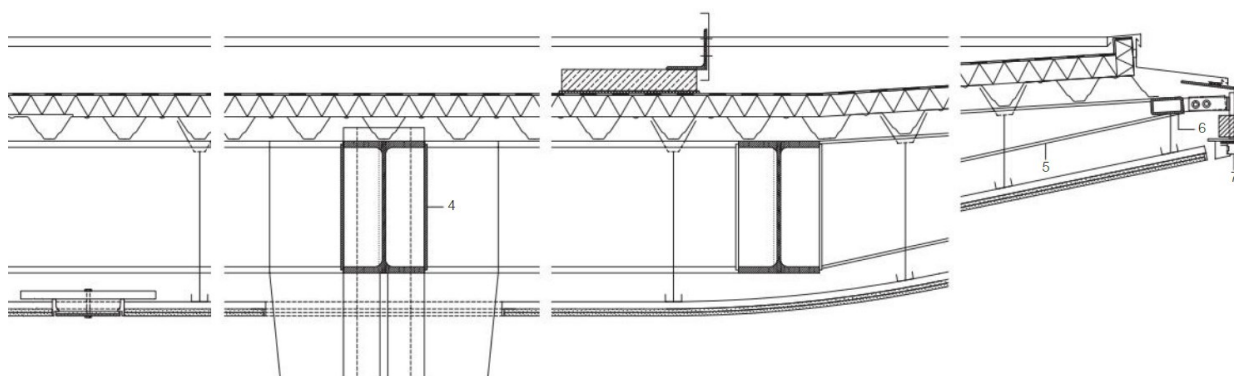


Figura 3.96: Detalle de cubierta.

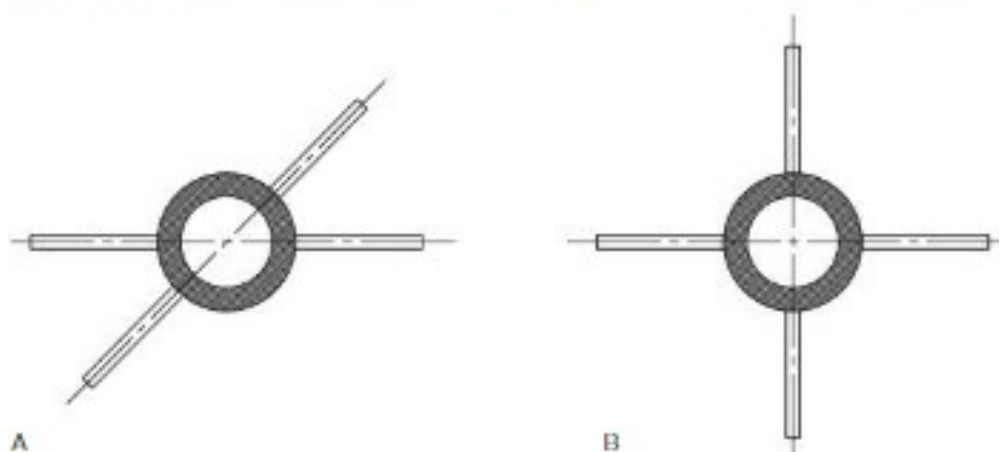
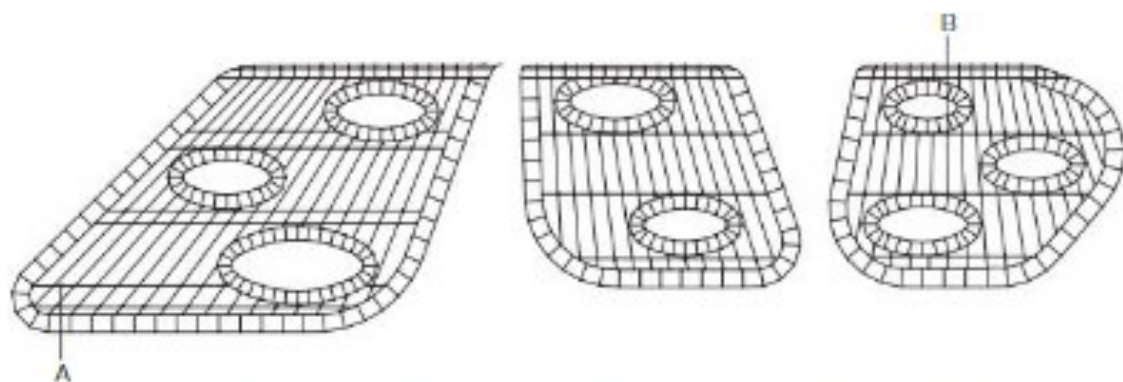


Figura 3.97: Detalles de formación de huecos y estructura general del proyecto.