

Las fachadas de los edificios altos



Carlos Prada Rodríguez

Ingeniero Superior Industrial.

Director de KREA Ingeniería y Consultoría

Resumen

En gran parte de los casos, las fachadas de los edificios altos se resuelven con muros cortina modulares que han de cumplir con las prestaciones requeridas a toda envolvente. Sin embargo, en este tipo de construcciones, algunos de estos requisitos precisan de un nivel de exigencia superior al de las fachadas de un inmueble convencional, como ocurre con determinadas necesidades estructurales o térmicas. Además la sostenibilidad es un factor en alza de consideración especialmente necesaria y conveniente durante el diseño de las fachadas de este tipo de edificaciones.

Palabras clave

Muro cortina, prestaciones, sostenibilidad

Abstract

Modular curtain walls are frequently used in the facades of tall buildings. While these logically have to meet the performance standards required of all facade systems, they are subject to a series of additional requirements that place far higher demands on these systems than the facades of conventional buildings, this being particularly so with respect to certain structural or thermal requirements. Sustainability is a further factor that is particularly necessary and convenient to consider during the design of facades in these types of buildings.

Keywords

Curtain walls, performance, sustainability

1. Breves reseñas históricas

A finales del siglo XIX y principios del XX se incorporan a la arquitectura materiales como el hormigón armado, acero, aluminio y vidrio plano que dan lugar a edificios extremadamente originales y avanzados.

Los avances en el campo técnico y científico hacen posible un estudio más exacto del comportamiento de los materiales, abriendo el camino a la realización de grandes obras ingenieriles. La evolución de la tecnología del vidrio y del metal crea nuevas posibilidades constructivas como la realización de amplios espacios vidriados. Las ventanas aparecen como elementos fundamentales en las composiciones arquitectónicas. Se abre la vía hacia las fachadas muro cortina.

La envolvente externa pierde la función de elemento portante. La piel del edificio, liberada de esta función, puede realizarse en vidrio continuo, así como en paneles de aluminio u otros materiales ligeros. La fachada se transforma en un mero elemento de revestimiento, no integrada con la estructura del edificio.

2. Sistemas de fachadas en edificios altos. El muro cortina

Existen muchas clasificaciones distintas de fachadas según su función, su sistema o su tipo de fabricación y montaje. Podríamos diferenciar entre fachadas ligeras y pesadas o fachadas portantes y autoportantes. También entre fachadas ventiladas, muros cortina, dobles pieles, abotonadas, sistemas pretensados, vidrio estructural, etc. Cada una de estas clasificaciones pueden tener o no subclasificaciones atendiendo a diferentes conceptos.

Dado que el propósito de este artículo no es el de explicar las diferentes clasificaciones de fachadas, sino el de analizar brevemente las fachadas de edificios altos, nos centraremos en el tipo que, habitualmente, presentan estos edificios: el muro cortina.



Proyecto de un rascacielos de vidrio en
Berlín en 1921



Instalación de muros cortina modulares. Central Market Redevelopment (Abu Dhabi)

Se puede definir muro cortina (*'curtain wall'*) como un sistema de fachada ligera autoportante independiente de la estructura principal del edificio. Generalmente, se consideran muros cortina a las fachadas continuas que pasan por delante de la estructura de los forjados, aunque también se podrían incluir aquí las fachadas situadas entre forjados (también llamadas fachadas panel) que tengan continuidad en el plano horizontal.

Atendiendo al sistema de fabricación y montaje, los muros cortina presentan dos sistemas principales: muro cortina tradicional (*'stick system'*) y muro cortina modular (*'unitized system'*). El muro cortina tradicional consiste en un sistema que no incorpora módulos prefabricados y en el que los componentes de la fachada se montan separadamente en obra. El muro cortina modular consiste en un sistema de módulos prefabricados, ensamblados en taller y montados en obra.

En el sistema modular, los distintos procesos de fabricación y ensamblaje se realizan en fábrica, bajo un estricto control de ejecución y unas condiciones ambientales controladas. De esta forma, se consiguen unas tolerancias de fabricación y acabados de calidad óptimos. Además, se minimizan los trabajos de puesta en obra, aumentando significativamente la rapidez de montaje y disminuyendo o eliminando la necesidad de medios de elevación auxiliares.

Los edificios en altura presentan, por lo general, una gran superficie de fachada que, unido al grado de repetición de elementos y a la necesaria garantía de calidad y velocidad de instalación, requieren en la mayoría de los casos el uso de un sistema modular de fachada.

3. Aspectos a considerar durante el diseño

La fachada constituye el principal elemento de defensa de un edificio contra los agentes exteriores. Algunas de las prestaciones que podría (no todas las fachadas han de cumplir con todas) tener que cumplir son las siguientes:

- Garantizar su estabilidad estructural.
- Garantizar los requisitos térmicos exigidos: transmitancia térmica, ausencia de condensaciones, temperatura interior, factor solar.
- Proteger al edificio y a sus ocupantes del ambiente exterior, garantizando la habitabilidad y el confort interno de sus usuarios.
- Garantizar las condiciones de servicio.
- Servir de barrera al agua y al aire.
- Garantizar la seguridad interna del edificio y seguridad frente a caídas.
- Garantizar una barrera pasiva contra el fuego.
- Garantizar los requisitos acústicos exigidos.
- Garantizar unas condiciones de luz natural determinadas y vistas a través de ella.

- Garantizar una barrera contra la contaminación.
- Presentar el aspecto estético deseado.
- Seguridad ante ataques de bomba.

Otros factores importantes que afectan al diseño son los siguientes:

- Presupuesto (fondos disponibles, financiación, flujo de caja, etc.).
- Tiempo (programa, envíos, fabricación, etc.).
- Normativas y requisitos legales (normativas, códigos, etc.).
- Administrativos (licencias, procedimientos, etc.).
- Conocimientos disponibles.
- Facilidad de construcción (velocidad de montaje, accesos, etc.).
- Durabilidad (vida útil).
- Mantenimiento y reposición (cómo y cuándo).
- Control de calidad (normativa, acabados, supervisión, etc.).
- Sostenibilidad

En los epígrafes siguientes comentaremos alguno de estos factores.

3.1 Estabilidad estructural

Garantizar la estabilidad estructural es un requisito esencial a la hora de afrontar el diseño de una fachada de un edificio.

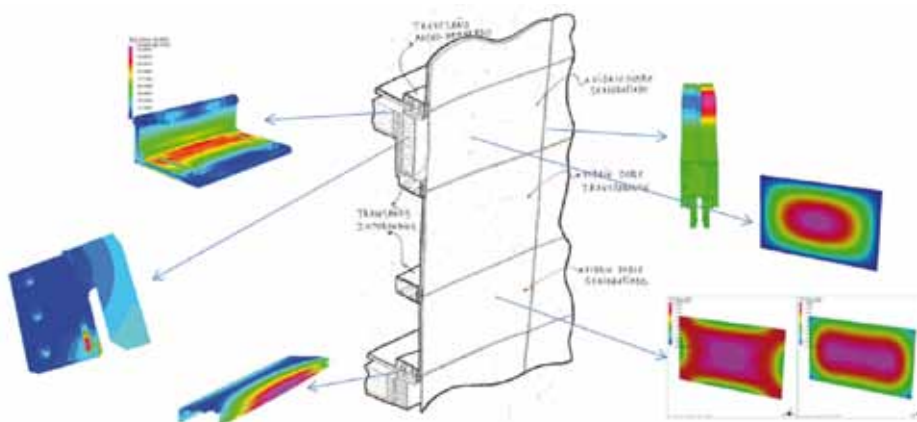
Todas las fachadas están sometidas a sobrecargas de viento y a su peso propio. Además también pueden estar sometidas a otro tipo de cargas, como pueden ser sobrecargas de nieve, sobrecargas de uso, cargas de impacto, cargas sísmicas, cargas debidas a explosiones, cargas térmicas, etc. En el caso de edificios altos, la sobrecarga de viento tiene una especial importancia y es la que suele dimensionar gran parte de los elementos estructurales.

A la hora de acometer un cálculo de una fachada es preciso entender el recorrido de las cargas hasta que llegan a la estructura principal del edificio. Partiendo de los elementos exteriores de la fachada hacia los interiores los principales elementos a calcular son: elementos de revestimiento (normalmente placas planas), montantes y travesaños (sistemas isostáticos o hiperestáticos) y anclajes a la estructura principal del edificio (bien sea forjados o estructura metálica). En este punto es aconsejable tener en cuenta que un sistema isostático puede generar solicitaciones menores en los anclajes y que el medio para llegar a la consecución del sistema isostático es el empleo de rótulas. Por último, todas las uniones entre estos elementos han de ser verificadas (tornillos, siliconas estructurales, soldaduras, tacos o anclajes embebidos en el forjado, etc.).

Una vez definidos los elementos a calcular, los pasos a seguir son los habituales en el cálculo de estructuras: establecer las cargas, definir el esquema estático, elegir el tipo de cálculo a realizar, resolver el análisis e interpretar los resultados.

En numerosas ocasiones también ha de realizarse un análisis modal con el fin de verificar el nivel de riesgo de entrada en resonancia de algunos componentes.

Cabe mención especial la necesidad de un análisis de los movimientos de la estructura principal del edificio (especialmente significativos en edificios en altura): movimientos verticales en el plano de la fachada, tales como deformaciones en el borde de los forjados, acortamiento de los pilares o dilataciones y contracciones térmicas, y movimientos horizontales como el movimiento relativo entre plantas debido a acciones de viento y sismodilataciones y contracciones



Cálculo de componentes de fachada (FEA)

térmicas o asentamientos diferenciales de la estructura principal. También es muy importante el control de las tolerancias de ejecución. La finalidad de estos análisis es la de evitar problemas de ajuste y fijación de la fachada, así como la de prevenir la aparición de cargas adicionales sobre elementos estructurales que no habían sido diseñados para soportarlas.

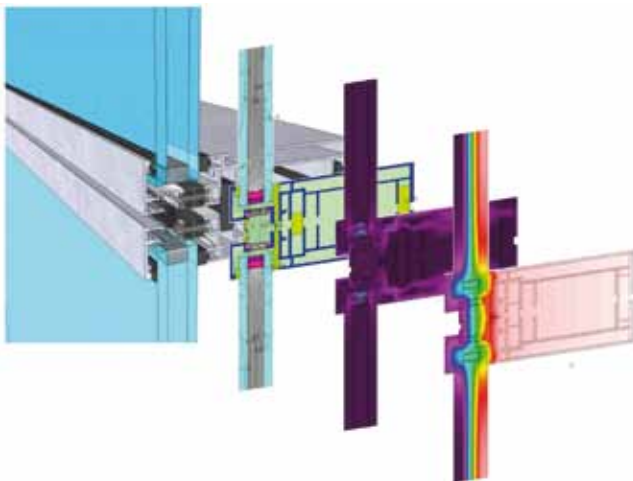
3.2. Análisis térmico

Toda fachada ha de cumplir unos requisitos térmicos mínimos. En el caso de los edificios en altura estos requisitos suelen tener un nivel de exigencia alto debido al uso al que se destinan este tipo de inmuebles (administrativo, hotelero o residencial; raramente se realizan edificios altos para otros usos como industrial o no habitables, aunque puede haber excepciones).

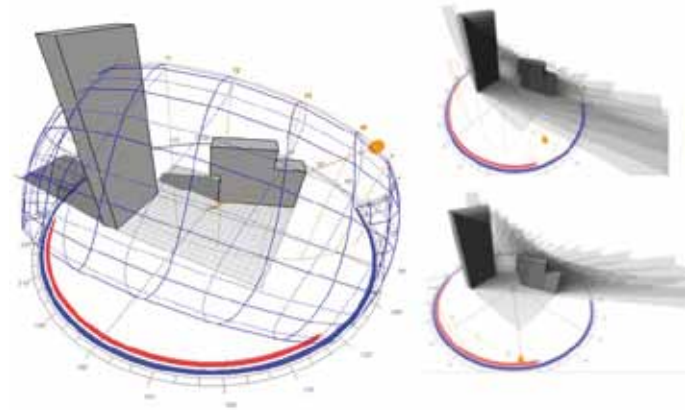
El parámetro fundamental que define el comportamiento térmico de una fachada es el valor U (transmitancia térmica). Según cita el CTE (Documento Básico HE Ahorro de Energía), la transmitancia térmica es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera:

$$U = Q/A \cdot \Delta T. \text{ Se mide en } W/m^2K.$$

El valor U global típico de la fachada depende del centro del panel, del valor U de la periferia y de los efectos de borde. Los límites de este parámetro vienen establecidos por las normativas en función de la zona climática en que se encuen-



Ejemplo de cálculo térmico



tre el edificio y de su uso, de la orientación de la fachada, del porcentaje de huecos y del tipo de carga interna del edificio.

Por otro lado, el análisis del riesgo de condensaciones superficiales (o intersticiales) sobre la fachada tiene especial relevancia. Este análisis se basa en la premisa que no se producirán condensaciones si la temperatura superficial mínima obtenida es superior a la de rocío.

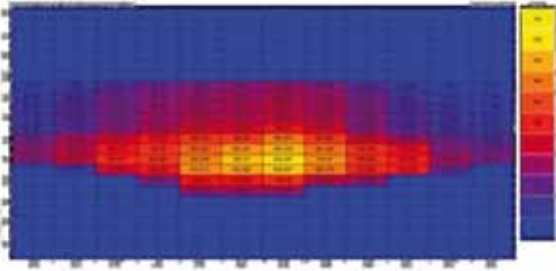
3.3. Análisis solar

Los edificios en altura suelen estar muy expuestos a la radiación solar, debido a la ausencia de otros edificios que les proporcionen cobijo.

El comportamiento energético de la fachada no solamente se cuantifica por la transmitancia térmica, sino también por la cantidad de radiación solar que entra al edificio, definida mediante el factor solar. El factor solar se define como el cociente entre la radiación solar que atraviesa una superficie y la que incide sobre esa misma superficie.

Por lo tanto a la hora de diseñar la fachada se han de tener en cuenta aspectos tales como el porcentaje y tipo de vidrio, sistema de fachada (una sola piel, doble piel, etc.), elementos de control solar y elementos exteriores existentes, orientación del edificio y uso del mismo. También se debe encontrar un balance equilibrado entre la radiación solar que penetra en el edificio y la luz natural que accede a su interior, definido por el 'daylight factor'.

Un análisis del recorrido solar sobre el edificio calculando la radiación solar incidente en la fachada puede ayudar a definir



Ejemplo de análisis solar

de forma más precisa el factor solar necesario, así como a optimizar los elementos de control solar de la envolvente. Además se puede obtener información sobre las sombras arrojadas por nuestro edificio sobre los circundantes y viceversa. En ocasiones también es interesante realizar un análisis de los deslumbramientos ocasionados por las fachadas.

3.4. Fachadas y sostenibilidad

Se puede definir el concepto de sostenibilidad en la arquitectura como un modo de concebir el equilibrio de un edificio con su entorno, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental sobre el medio ambiente y sus ocupantes.

Existen multitud de razones para argumentar un diseño sostenible entre las que se encuentran la legislación, el valor añadido, el coste de la energía, la responsabilidad y satisfacción de los técnicos, la destrucción de recursos naturales en la que se encuentra envuelta la humanidad, etc. Estos argumentos se engloban en el conocido triple enfoque: social, económico y medioambiental.

Una forma de medir la sostenibilidad la proporcionan los sistemas de certificación de edificios sostenibles o sistemas de clasificación de edificios verdes (*'green building rating systems'*) entre los cuales se encuentran los siguientes: LEED, BREEAM, VERDE, GREENSTAR, DGNB, ESTIDAMA, CASBEE, HQE, etc.

Entre estos sistemas de certificación los más difundidos son el LEED, BREEAM y el GREENSTAR. Analizando las categorías que estudia cada una de estas certificaciones y

agrupándolas obtenemos una serie de categorías generales a considerar: emplazamiento, gestión, energía, materiales, agua, calidad del ambiente interior, contaminación, innovación y transporte.

¿Cómo se puede actuar sobre cada una de estas categorías a la hora de diseñar una fachada? Un posible enfoque podría ser el siguiente:

- **Emplazamiento.** No siempre se puede escoger el emplazamiento del edificio. Sin embargo, se puede optimizar la orientación, la forma, integrar la fachada con el entorno o considerar la existencia de microclimas. Un análisis solar como el que se ha apuntado anteriormente puede ayudar a optimizar estos conceptos.
- **Gestión.** Procesos de diseño rigurosamente estudiados, políticas aplicadas a la gestión de la construcción, sistemas de gestión ambiental, buenas prácticas de puesta en marcha, manuales de funcionamiento y de mantenimiento de las fachadas adecuados.
- **Energía.** Optimizar la eficiencia energética (y reducir las emisiones de CO₂) implica optimizar los valores U (transmitancia térmica) y g (factor solar), disponibilidad de luz natural,



Categorías de sostenibilidad



Ropemaker Place (Londres). Edificio galardonado con BREEM Excellent y LEED Platinum pre-certification

usar la masa térmica, incorporar sistemas de energía renovables en las fachadas o utilizar sistemas de fachadas que se adapten a las condiciones existentes en cada momento. Un correcto diseño así como análisis térmicos y solares adecuados optimizan la eficiencia energética de las fachadas.

- **Materiales.** Utilización en las fachadas de materiales de baja energía embebida (reducir huella ecológica por la extracción, producción, uso y desecho), gestión eficiente de los recursos (materiales renovables, reusables, reciclables), uso de materiales saludables y seguros (no cancerígenos o que no irriten), fuentes de proveniencia de los materiales responsables o la optimización estructural de los materiales (reduciendo la cantidad de material utilizada).

- **Agua.** Considerar sistemas de fachadas que requieran poca agua para su limpieza (elección de materiales, buen diseño que evite acumulación de suciedad y manchas, inclinación de la fachada, estrategia de limpieza adecuada, reducir la superficie acristalada, etc.), considerar sistemas de recogida de aguas para limpieza o suministro de aguas grises para los servicios del edificio o la consideración de fachadas con baja cantidad de agua embebida.

- **Calidad del ambiente interior.** Mejorar el confort térmico y acústico, la iluminación natural, el confort visual y la ausencia

de deslumbramientos. Las fachadas diseñadas con una única barrera de vapor y con materiales resistentes a los mohos también ayudan a mejorar la calidad del ambiente interior, así como la utilización de materiales locales que acerquen a los usuarios a su edificio.

- **Contaminación.** Considerar las emisiones que se generan en la producción de los materiales de la fachada, diseñar considerando materiales renovables, sistemas que se puedan desmontar, separar los materiales y volver a utilizar, diseñar la fachada para una durabilidad adecuada, considerar en el diseño la futura demolición del edificio, reducir el volumen de residuos generados durante la construcción, prevenir la contaminación desde el interior (buscando el balance entre ventilación natural y eficiencia energética), barreras a la contaminación exterior (buscando el balance entre la contaminación exterior y la ventilación natural).

- **Innovación.** Desarrollar soluciones específicas para una localización determinada que tenga beneficios sostenibles o enfatizar la conexión y la comunicación entre profesionales, sistemas y conceptos a lo largo de la ejecución del proyecto.

- **Transporte.** Utilización de materiales locales para reducir el transporte durante la ejecución del proyecto y la utilización de proveedores locales; estudios iniciales del microclima, localización y orientación puede ayudar a elegir el emplazamiento, lo cual repercutirá en la disponibilidad y el uso de los medios de transporte por parte de los usuarios del edificio. En edificios altos, la concentración de usuarios es un condicionante muy importante a la hora de escoger los medios de transporte con los que se accederá al edificio.

A modo de conclusión se puede afirmar que las fachadas de los edificios altos generalmente son muros cortina que han de cumplir con los requisitos exigibles a toda fachada, aunque algunos de ellos con un nivel de exigencia superior. **ROP**

Referencias

- "Proyecto de Edificios Altos". ACHE. 2013
- Documento Básico HE. Ahorro de Energía. Septiembre 2013
- LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction. 2009 Edition.