

Nueva Sede Banco Popular Fase II. Salón de Actos.

Banco Popular headquarters. Conference Hall

Jesús M. CERESO MIGUEL

Doctor Arquitecto
ENAR Envoltentes Arquitectónicas S.L.
Gerente
icerezo@enar.pro

Miguel Ángel NÚÑEZ DÍAZ

Doctor Arquitecto
ENAR Envoltentes Arquitectónicas S.L.
Director Técnico
manukez@enar.pro

RESUMEN

La idea principal del Salón de Actos de la Sede del Banco Popular en Madrid es configurar una caja de vidrio transparente en la que se eliminarán los elementos estructurales metálicos tradicionales para la fijación de la fachada, de manera que el vidrio trabajará como cerramiento y elemento estructural al mismo tiempo. Las necesidades de entorno exterior, clima, orientación y ruido, se han resuelto desde la idea arquitectónica de una doble piel con piezas de vidrio extra claro de gran formato y la idea estructural de conectar los esfuerzos entre las dos pieles mediante unos contrafuertes verticales trabajando a través de adhesivos y anclajes.

ABSTRACT

The main idea of the Conferences Hall of the Banco Popular Headquarters in Madrid is to set up a transparent glass box in which the structural metallic elements to fix the facade have been removed, so that the glass works like a cladding and structural element at same time. The conditions of external environment, climate, orientation and noise, have been solved from the architectural idea by means of a double skin of extra clear glass pieces with large size. The structural concept is to connect the stresses between the two skins by means of vertical fins working together through adhesives and anchors.

PALABRAS CLAVE: Vidrio estructural, vidrio laminado, contrafuertes, transparencia

KEYWORDS: Structural glass, laminated glass, fins, transparency.

1. Introducción al vidrio estructural

Desde la 2ª mitad del s. XX se empiezan a ver ejemplos de elementos estructurales de vidrio con ménsulas, contrafuertes, vigas, pilares y pórticos en elementos arquitectónicos, fundamentalmente, como elementos de cerramiento o cobertura.

El elemento estructural de vidrio es aquel que actúa de transmisor de cargas que recibe de otro elemento, generalmente superficial y las conduce a la estructura principal del edificio, ya sean forjados, vigas o pilares.

Como referencias destacan, por orden cronológico, el cerramiento de los almacenes Arias, de Sanz Magallón; la fachada del edificio Willis Faber and Dumas de Norman Foster; la marquesina de la estación Yurakucho, en Tokio, de R. Vignoly junto con la ingeniería de Tim Mcfarlane; el Audi Cube en Riyadh (Arabia Saudí), de Nabil Fanous y Dewhurst Macfarlane; hasta llegar al hito del Cubo de Apple de Nueva York, de Bohlin Cywinski Jackson junto con Eckersey O'Callaghan en 2006 y 2011 (Figura 1).



Figura 1. Cubo de Apple en 2006 y 2011.

(Fuente: seele.com/references/apple-retail-store-5th-avenue-new-york/)

Actualmente estas impactantes referencias generan a su vez nuevas soluciones de vidrio estructural aplicada a la arquitectura como es el caso del cerramiento del salón de actos de la sede social del Banco Popular.

2. Descripción Arquitectónica

El cerramiento de doble piel de vidrio estructural de 9.41m de altura en el salón de actos, tiene una planta aproximadamente cuadrada con unas medidas exteriores de 22.31m x 22.86 m y unas medidas interiores de 20.91 x 21.46 m, formando dos pieles separadas de 0.70 m y a su vez, uniendo las mismas por contrafuertes apoyados en una bancada metálica en el nivel del suelo.

La modulación tanto de la piel interior como de la piel exterior es de 2,60 m con ajustes en las esquinas, en las que se dispone un contrafuerte a 45° para conectar ambas pieles.

En la parte superior existe una losa de hormigón apoyada en otros soportes de hormigón, en la que se prevén unas deformaciones que deben ser absorbidas por el cerramiento de vidrio.

El cerramiento de vidrio está interrumpido por los accesos con puertas, embocaduras y dinteles de madera, tanto para comunicar con el exterior como para comunicar desde el interior. El cerramiento también queda interrumpido por la cabina de proyección y traducción simultánea.

En una primera solución las cotillas descolgaban de la losa superior dejando libre la parte inferior en una altura de 3,00 m sobre el suelo para poder facilitar las labores de mantenimiento y limpieza de ambas caras de cada piel. Sin embargo, a partir de tener la necesidad de comunicar por la parte superior en continuo toda la cámara para la circulación del aire insuflado desde el suelo para atemperar y evitar las condensaciones, se vió la posibilidad de poder mantener la limpieza y sustitución de vidrios con un carril y polipasto superior. Una vez conjugados estos problemas, se determinó que habría que invertir el modelo estructural y apoyar los vidrios de las costillas abajo también sobre las bancadas y dejar libre la parte superior.

Los sistemas empleados en las juntas debían tener una doble función, un sellado estructural bicomponente "in situ" y un sellado de estanqueidad, todo ello bajo la misma condición de la máxima transparencia como criterio.

3. Evolución del concepto estructural

Desde el inicio del diseño siempre se ha considerado emplear elementos de vidrio de una sola pieza para simplificar el modelo estructural y eliminar juntas horizontales en pro de la transparencia.

La primera hipótesis de cálculo hubiera sido plantear un vidrio de suelo a techo soportado por sus bordes superior e inferior como si se tratase de un cerramiento al que le afectasen el viento y las cargas vivas horizontales con sus bordes verticales libres, en cuyo caso el espesor del laminado de vidrio hubiese sido imposible su fabricación y en su montaje.

Esto nos lleva a optimizar al máximo los elementos de los que disponemos y por ello lo que hacemos es hacer trabajar tanto al elemento del cerramiento exterior como al interior conectando ambas placas por contrafuertes-ménsulas que no llegan a conectar toda la altura haciendo que la zona sin refuerzo ya sea viable con el espesor calculado.

El concepto inicial sigue el siguiente esquema (1) pero por condicionantes de entorno, aire acondicionado, mantenimiento y mejora de la sustitución de vidrios, se planteó finalmente el esquema (2) (ver figura 2)

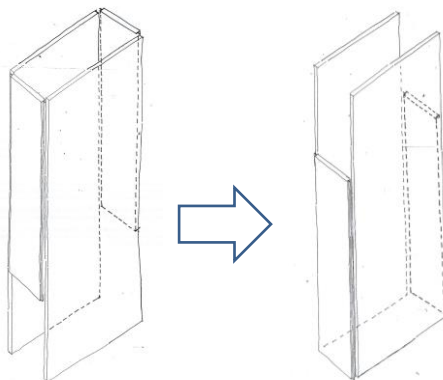


Figura 2. Evolución del esquema estructural. Concepto inicial (1) y planteamiento final (2)
(Fuente: elaboración propia)

Este esquema permite en el detalle de pequeña escala eliminar el deslizamiento vertical del contrafuerte asociado a la losa superior, del cerramiento superficial asociado a la losa inferior.

3.1. Acciones y Coacciones

Las acciones a tener en cuenta en este tipo de elementos son el viento y las cargas vivas horizontales. Para saber con qué presión y succión se encuentra afectado un módulo tipo se ha considerado la situación más desfavorable teniendo en cuenta el CTE por el que la máxima presión es de 600 Pa y la máxima succión es de 900 Pa.

También se ha añadido la acción de las cargas vivas horizontales situadas a 1,20 m desde el suelo y con una carga correspondiente según CTE a espacios privados de 1,6 kN/ml.

Las coacciones empleadas son las siguientes:

- Los vidrios de cerramiento se encuentran apoyados arriba y abajo en las dos pieles, permitiendo siempre su dilatación en la parte superior y la absorción de las deformaciones de la losa superior a la cual se fija.

- Empotrando en la bancada metálica inferior sobre la losa, los contrafuertes perpendiculares a las dos pieles dejando libre su extremo superior.
- Unión solidaria entre los bordes verticales de las dos pieles con los bordes verticales de los contrafuertes.

Estas coacciones llevadas al terreno físico y a la pequeña escala se traducen en los siguientes elementos que representan la forma de trabajo seleccionada en el campo del vidrio estructural:

- Los apoyos inferiores del vidrio de las dos pieles se recogen en un galce metálico a modo de mordaza separando el vidrio con elementos plásticos para evitar el contacto.
- Los apoyos superiores en dilatación lo hacen a través de unas pletinas de aluminio unidas con silicona estructural al borde superior de vidrio de manera que es a ésta banda metálica a la que se une el angular metálico con colisos verticales para asumir la deformación de la losa superior.
- El contrafuerte estará empotrado en la parte inferior de la bancada metálica a través de una mordaza metálica que comprime el vidrio a través de 8 tornillos de métrica M24 que atraviesan el mismo vidrio con unos casquillos interiores.
- La unión entre los bordes verticales de paneles de vidrio con el borde vertical del contrafuerte se realiza a través del pegado estructural de un pequeño perfil de aluminio macizo en forma de "T". Este pegado se realizará en taller mediante sellado estructural monocomponente tipo Sikasil SG-20, y a su vez el pegado de los bordes del vidrio con silicona estructural "in situ" con sellado estructural bi-componente tipo SG-500, para rematar exteriormente con un sellado de estanqueidad con silicona WS 605.

4. Componentes

Para la realización de este tipo de elementos arquitectónicos de cajas transparentes se sustituyen los tradicionales de perfiles metálicos que conforman una retícula estructural por elementos de vidrio estructural, que necesitan a su vez de otros componentes asociados para su funcionamiento.

4.1. Vidrio

El vidrio empleado es silicato sodocálcico con una composición baja en óxido de hierro, confiriéndole no solo algo más de transparencia, sino también evitando un tono verdoso no deseado debido al espesor de la masa de vidrio.

Sin embargo, en todos los casos necesitamos utilizar vidrio laminar por seguridad, de manera que es necesario transformar el vidrio. En todos los casos se utilizará PVB como interlayer.

El vidrio tiene una resistencia característica en función de algunas variables como indica el proyecto de norma pr-EN 16612 [1], entre ellas el tratamiento térmico de las láminas de vidrio.

Los vidrios de las pieles serán laminados 10+10 mm con 6 PVB y con un tratamiento termoendurecido que además contribuye a una mayor resistencia a impacto durante el montaje.

Los vidrios de los contrafuertes serán laminados 10+10+10 con 4 PVB entre cada lámina y con un tratamiento termoendurecido en los contrafuertes tipo y templado en las esquinas que tienen un mayor esfuerzo exterior.

El concepto de emplear siempre vidrio laminar proviene de los estudios realizados hasta el momento... Por el que se debe seguir unos criterios de diseño basado en las 5 R's [2], que en definitiva se resumen en que utilizando vidrio laminar se obtiene una seguridad post-rotura de los elementos. En el caso de los contrafuertes termoendurecidos con taladros se han ejecutado con un casquillo de acero inoxidable interior y resina entre éste y los taladros realizados en el vidrio con excentricidad entre las lunas, sin embargo, son termoendurecidos porque en caso de rotura al ser un elemento tan principal en cuanto al concepto estructural es mucho más seguro que un vidrio templado [3]. En el caso de las esquinas no se puede llevar este mismo criterio porque se precisaba mayor resistencia.

Todos los cantos de los vidrios se realizan en acabado pulido brillo.

4.2. Anclajes

Los anclajes son los elementos complementarios del vidrio estructural que transmiten los esfuerzos del vidrio a la estructura principal del edificio.

En este caso, en la parte inferior, se presentan unas bancadas que además de hacer la función de estructura metálica soporte, sirven para regular milimétricamente el apoyo de los vidrios sobre calzos continuos, habida cuenta de la importancia que tiene la correcta nivelación de la placa de vidrio para obtener un aplomado del borde vertical perfecto y mantener la junta estructural con los espesores proyectados y constantes.

Los angulares que se apoyan sobre esta bancada también tienen regulación en planta para confinar lateralmente el vidrio separándolo mediante láminas plásticas.

Todos los perfiles empleados son de acero galvanizado S275JR, y los tornillos de alta resistencia con una métrica M24.

Los anclajes superiores (figura 3) también son de acero galvanizado directamente fijados a la losa de hormigón superior. Están compuestos por dos elementos, una pieza en "T" anclada con tacos a la losa y un angular fijado mecánicamente con 4 tornillos M10 a la platabanda pegada con silicona estructural al vidrio vertical de cerramiento. La unión entre ambos elementos se realiza con 2 tornillos M12 a través de unos colisos que permiten la dilatación vertical del panel y la deformación diferida de la losa estructural superior.

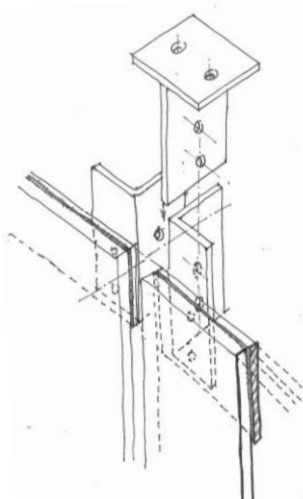


Figura 3. Esquema de anclaje superior.

(Fuente: elaboración propia)

Todos los anclajes galvanizados a su vez quedan ocultos por carenados de chapa de acero inoxidable finalmente sellados contra el vidrio para obtener la estanqueidad requerida.

4.3. Juntas

Las juntas verticales son la clave de este proyecto gracias a las cuales conseguimos trabajar de forma solidaria al conjunto de la forma que ha sido modelado en el software de cálculo. Tienen dos partes diferenciadas, la junta desde el suelo hasta la parte superior del contrafuerte y la junta desde dónde acaba el contrafuerte hasta el anclaje superior.

La junta del contrafuerte (figura 4) está diseñada gracias al desarrollo tecnológico que están desarrollando los adhesivos en favor de los medios de producción y de montaje. Para la unión perpendicular de los tres vidrios utilizaremos un perfil en "T" de aluminio macizo. Este perfil se instalará en taller sobre el canto del vidrio del contrafuerte con silicona estructural bicomponente (Sikasil SG-20) con alto nivel de control en la tolerancia del espesor de dicha junta. La otra parte de la junta se realiza "in situ" cuando se instala el vidrio sellando estructuralmente con Sikal SG-500 entre el canto del vidrio y el perfil de aluminio con un cordón de 15x8 mm. Estos cordones están transmitiendo por cortante los esfuerzos de viento al contrafuerte a través del perfil de aluminio. Para conseguir la estanqueidad y una vez comprobada la compatibilidad, se sella por el exterior con un sellado de silicona neutra de estanqueidad (Sika WS605S) en toda la altura de 9,41 m. En el caso en que se abandona el contrafuerte y el perfil de aluminio interior, se sule éste con una junta a presión de EPDM como fondo de junta del sellado de estanqueidad de 23 mm de ancho.

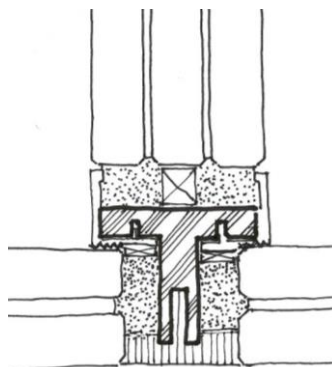


Figura 4. Esquema de junta vertical.

(Fuente: elaboración propia)

También existen en la parte superior unas juntas especiales de extrusión de EPDM en forma de acordeón para resolver la flecha diferida que se produzca en el tiempo por la losa superior del hormigón, salvaguardando la estanqueidad.

5. Proceso

5.1. Mock-up estético

Antes de la ejecución de la fachada se realizó un mock-up estético (Figura 5A) o muestra con todos los elementos a escala real, pero con una dimensión más reducida para comprobar los distintos acabados de los distintos materiales como el satinado del acero inoxidable de las chapas que ocultan los anclajes galvanizados, así como los colores a utilizar en los sellados y láminas

vistas, comprobando también el nivel de calidad de ejecución de los distintos sellados y encuentros.

Sobre esta muestra se colocaron diferentes colores y acabados, eligiendo los definitivos para su instalación en obra.



Figura 5.(A) Mock-up estético.



Figura 5. (B) Mock-up de ensayo.

(Fuente: elaboración propia)

5.2. Mock-Up de ensayo

Adicionalmente a las muestras de los materiales, previamente a la instalación, se realizó en laboratorio una muestra a escala real de la fachada (Figura 5B) compuesta por dos módulos completos para garantizar el funcionamiento de la misma y conseguir el marcado CE de dicha fachada según la norma de producto de fachadas ligeras UNE-EN 13830.

Sobre esta muestra de ensayo se hicieron los siguientes ensayos según la normativa vigente:

- Permeabilidad al aire (UNE-EN 12152)
- Estanqueidad al agua (UNE-EN 12154)
- Resistencia a la carga de viento (UNE-EN 12179)
- Resistencia al impacto (UNE-EN 14019)

Adicionalmente a estos ensayos, sobre el mock-up y para garantizar el funcionamiento en caso de rotura, se fracturó una de las láminas del contrafuerte central y se volvió a realizar la prueba de resistencia al viento, comprobando que el sistema sigue funcionando.

5.3. Fabricación

La fabricación se realiza con un control de calidad exhaustivo en todos sus elementos para obtener una geometría muy precisa.

Los vidrios en particular han necesitado de unas tolerancias muy exigentes habida cuenta de que las existentes en las normas eran absolutamente insuficientes para estos vidrios de gran formato. Las condiciones de geometría y de perpendicularidad de las aristas, como de desplazamiento o decalaje en laminado de los vidrios de cerramiento o como la falta de concetricidad en los taladros de los contrafuertes y posicionamiento ha exigido disponer de una industria muy

especializada. El termoendurecido y el laminado de los vidrios de gran formato sólo se puede realizar en una empresa en España y en muy pocas empresas en Europa (Figura 6A y 6B).

Los perfiles ocultos de aluminio sin embargo se han realizado con un control estándar ya que para este tipo de elementos ya es suficientemente exigente.

En el caso de la silicona estructural nos hemos podido aprovechar del avance de la tecnología en este campo pudiendo emplear una novedad que es la silicona bicomponente in situ.



Figura 6. (A) Acopio de vidrio en fábrica.



Figura 6. (B) Mecanizado de contrafuerte.

(Fuente: elaboración propia)

5.4. Instalación y medios auxiliares

El montaje del cerramiento se realiza según la siguiente secuencia que evita problemas de coordinación con los distintos elementos. En primer lugar, se monta la estructura metálica inferior y los anclajes superiores sobre la losa de hormigón, una vez instalados ambos, se procede a la alineación y aplomado de la vertical de los mismos. En este punto es muy importante conseguir una nivelación exacta de la parte inferior, porque cualquier pérdida de verticalidad puede provocar desplazamientos importantes en la parte superior que impidan un correcto sellado de las juntas verticales. Una vez nivelados y aplomados los anclajes se procede a la instalación del vidrio interior, para lo que es necesario una mini-grúa y una ventosa de grandes dimensiones. Cada vez que se instalan dos vidrios, para continuar con la cadencia de montaje, se instala un útil de acero en lugar de la costilla de manera temporal con su misma rigidez, como elemento de estabilización del cerramiento. Una vez colocados al menos cuatro vidrios interiores, se comienza la instalación de costillas perpendiculares, sustituyendo el elemento de estabilización provisional, sobre los anclajes de acero inferiores, una vez colocada requiere de nivelación y aplomado, para posteriormente la colocación de los vidrios exteriores que conforman el cerramiento y cierran la cámara interior (figura 7A y 7B).

Habiendo colocado los cuatro vidrios que corresponden con una costilla se procede al aplomado y nivelación del conjunto, que se fija mediante grapas provisionales al perfil de aluminio de la costilla, una vez garantizado la correcta posición de todos los elementos se procede a realizar el sellado estructural entre los vidrios de cerramiento, interiores y exteriores, sobre la costilla, manteniendo las grapas provisionales de fijación. Posteriormente una vez haya curado el sellado

estructural, se procede a desmontar las grapas provisionales y realizar el sellado final de estanqueidad en una sola tirada para garantizar la homogeneidad y acabado.

Por último, se instalan todos los elementos de acabado de acero inoxidable y los sellados de estanqueidad contra los vidrios.



Figura 7. (A) Contrafuerte
(Fuente: elaboración propia)



Figura 7. (B) Vidrio exterior

6. Conclusiones

El resultado obtenido cumple los requerimientos pretendidos siendo una referencia más en el campo del vidrio estructural.

Por un lado, el esquema estructural de los vidrios de 9.41 m de altura en doble piel conectados por los contrafuertes perpendiculares de 7.95 m que no completan toda la altura es un modelo estructural que demuestra su funcionamiento.

Por otro lado, en la pequeña escala, el detalle de la junta que ensambla elementos perpendiculares de vidrio con silicona estructural, también es una aportación al estado de la técnica demostrando una vez más que la silicona estructural correctamente especificada y dimensionada resuelve diseños con una expresión mínima.

El trabajo con vidrios laminados por seguridad es bastante común, sin embargo, ya no lo es tanto emplear vidrios termoendurecidos en vez de templados para conseguir más seguridad en caso de rotura accidental y de este modo mantener el sistema estructural como quedo reflejado en el ensayo.

Con todos estos conceptos se crean nuevas referencias que harán evolucionar en nuevos ejemplos y desafíos los siguientes diseños arquitectónicos de vidrio estructural.



Figura 8. (A) Salón de actos terminado. Exterior



Figura 8. (B) Salón de actos terminado. Interior

(Fuente: elaboración propia)

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a los equipos intervinientes en el desarrollo del proyecto la confianza demostrada en ENAR para involucrarse en esta aventura; al Banco Popular como propiedad, al estudio de arquitectura AYALA como diseñadores y a Bovis como project manager.

También agradecen la colaboración de las empresas que han logrado llevar a cabo la ejecución de esta obra: Martifer como fachadista, Tvitec como suministrador de vidrio transformado y Sika como técnicos y suministradores de la silicona estructural.

8. Referencias

- [1] prEN 16612 . (n.d.). Glass in building – Determination of the load resistance of glass panes by calculation and testing. AENOR.
- [2] GREEN, R. (n.d.). Guía para el uso estructural del vidrio en edificios. Filosofía de diseño.
- [3] LOUTER, C., BELIS, J., VEER, F., & LEBET, J. (2012). Structural response of SG_Laminated reinforced glass beams; experimental investigations on the effects. Engineering Structures, Volume 36, March 2012, Pages 292–301