

Evolucion Histórica

Muro Cortina, Lucernarios y Vidrio Estructural

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, 2018
<http://oa.upm.es/52520/>

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA: MURO CORTINA, LUCERNARIOS Y VIDRIO ESTRUCTURAL.

1.1 La transparencia en la antigüedad



Figura 1.1: Obsidiana.



Figura 1.2: Vasijas romanas de vidrio soplado.

El vidrio es en principio un material natural llamado obsidiana. Sin embargo la producción artificial del vidrio requiere cierta habilidad. Aunque el vidrio se conoce desde antiguo su utilización en la edificación habitual es relativamente reciente. Parece que ya en el antiguo Egipto se realizaban vasijas de loza vitrificada (fayenza) en el siglo IV antes de Cristo. Parece que los primeros objetos de vidrio se produjeron hacia el 1500-1200 a.C., y eran cuentas de collar.

El primer gran paso en el dominio de la producción de objetos de vidrio es la técnica del soplado, en el siglo I a.C. en las costas fenicias. Durante el imperio romano se extiende por todo el mediterráneo y adquiere su nombre actual (*vitrum*). Las primeras vasijas no eran transparentes sino coloreadas.

Los romanos utilizaron, por otra parte, cristales de yeso para conseguir ventanas semitransparentes utilizando un material que se extraía en España, más concretamente en la villa de Segobriga, llamado "*lapis specularis*".



Figura 1.3: Izquierda: pieza de yeso translúcido; Derecha: transparencia del yeso cristalizado.



Figura 1.4: Ventana medieval.

En la edad media se producían pequeñas piezas de vidrio que mediante perfiles de plomo se podían agrupar para conseguir cerrar ventanas de cierta dimensión. Su transparencia dejaba mucho que desear y más que permitir las vistas proporcionaban iluminación natural y protección de la intemperie, aunque su uso estaba reservada a los edificios de la nobleza. La producción de vidrio transparente dependía de laboriosos procesos de pulido a

partir del material colado, y en consecuencia su coste era muy elevado, y estaba reservado a la producción de lentes y otros objetos especiales.

Llegado el siglo XVII, Luis XIV construye el palacio de Versalles en el que las ventanas transparentes permitían disfrutar de las vistas, lo que además llevó a proyectar los jardines para ser contemplados desde palacio, cuidando las perspectivas que podían ser apreciadas.

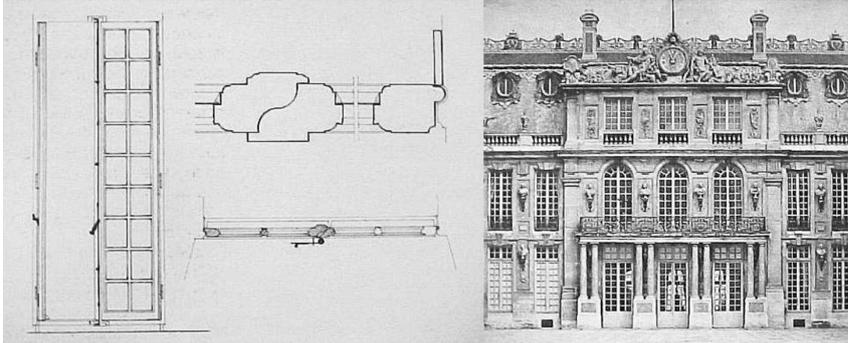


Figura 1.5: Detalle de carpintería en Palacio de Versalles.



Figura 1.6: Ventana de Versalles.

Estos vidrios seguían siendo de pequeño formato y elevado coste por la necesidad del pulido, pero gracias al empleo de una carpintería que agrupaba muchas piezas se podían lograr ventanales de cierto tamaño. La producción de vidrio plano se basaba en el vertido del vidrio fundido sobre una mesa, sobre la que se aplanaba posteriormente con rodillos que dejaban marcas sobre la superficie del vidrio. Finalmente se debía pulir para eliminar estas marcas.

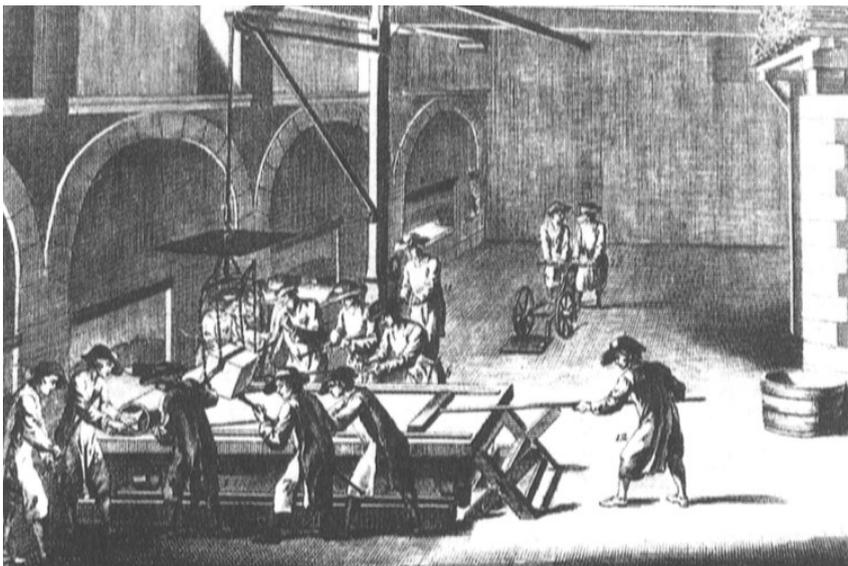


Figura 1.7: Grabado de la enciclopedia francesa sobre la producción del vidrio.

1.2 Las grandes realizaciones decimonónicas

En el siglo XIX se perfeccionan diversos métodos de producción de vidrio plano como el de corona y el de cilindro. La transparencia lograda era aceptable, sin llegar a poder considerarse perfecta (los vidrios hacían “aguas”), pero ya no requerían del costoso pulido por lo que su precio dejó de ser prohibitivo y uso se extendió al común de los edificios.



Figura 1.8: Procedimiento de corona.

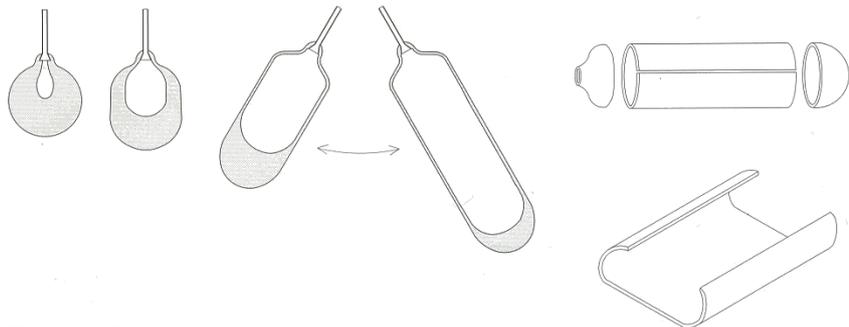


Figura 1.9: Procedimiento de cilindro.

Por otra parte, también en este siglo, se da un gran auge de las construcciones transparentes para jardines: los invernaderos victorianos. La moda de cultivar especies exóticas gracias a las condiciones de clima artificial conseguidas en los mismos se extendió rápidamente entre la nobleza inglesa de la época victoriana, dando lugar a un pujante sector de jardineros que ejecutaban con admirable habilidad estas prodigiosas construcciones transparentes, que por ser utilitarias estaban desprovistas de exigencias academicistas de diseño. En este sector destacó la figura de Joseph Paxton que ya en 1844 construyó la famosa Palm House en Kew, y que posteriormente proyectaría y construiría el formidable Crystal Palace en Londres, en 1851.



Figura 1.10: Palm House, Kew.

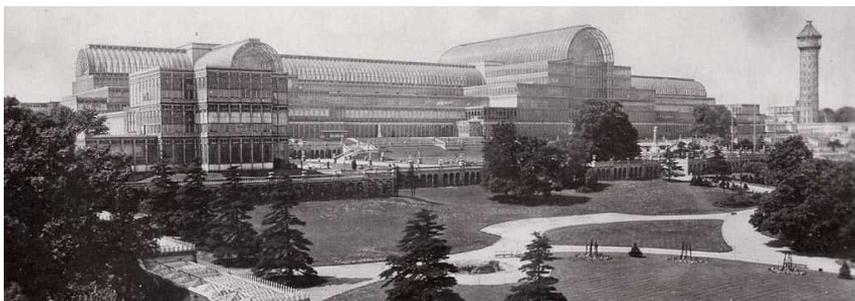
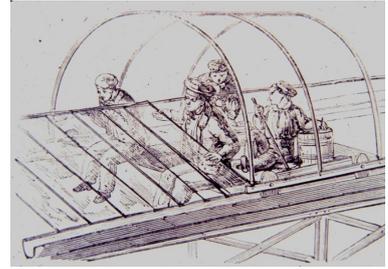


Figura 1.11: Crystal Palace, Hyde Park, Londres.

Este edificio emblemático, hoy desaparecido, tuvo un origen poco menos que curioso. Se convocó un concurso para el gran pabellón de exposiciones que resultó desierto. A continuación el tribunal del concurso elaboró un pomposo proyecto de piedra y ladrillo, cuya ejecución a una año vista resultaba una entelequia.

Finalmente Paxton propuso un proyecto viable en tiempo y presupuesto, según su experiencia en la construcción de invernaderos, que culminó con la ejecución del edificio en solo ocho meses.

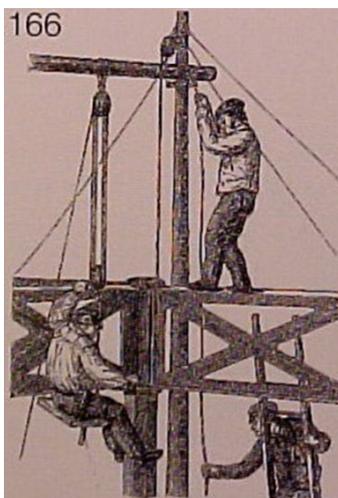
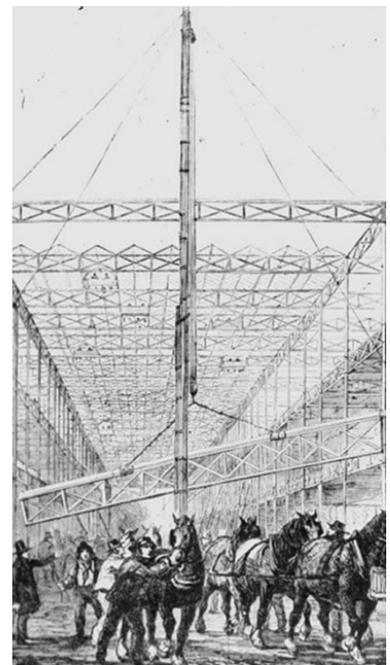
Este formidable edificio de 600 por 150 metros de planta se hizo siguiendo criterios unos de modularidad, prefabricación, racionalización y ligereza sorprendentes para la época, resultando un inmenso logro arquitectónico para el momento, con gran éxito e impacto social. Se desmontó tras la exposición y una parte se volvió a erigir en la localidad de Sydenham, siendo pasto de un incendio en 1936.



Sobre estas líneas: Figura 1.14: Se utilizaron vidrios de pequeño formato y 2mm de espesor.



Figura 1.12: Interior del Crystal Palace.



166

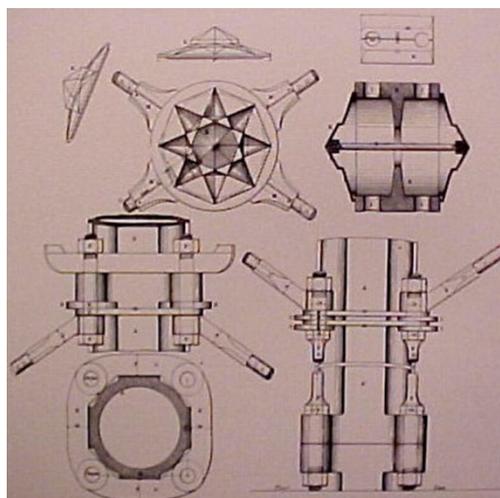


Figura 1.13: Detalles de ejecución del Crystal Palace.



Figura 1.15: Montaje del Crystal Palace.



Figura 1.16: Galería Vitorio Emanuele II.

Merece la pena citar aquí alguna otra realización de la época como la galería Vitorio Emanuele II, en la italiana ciudad de Milán, en este caso un enorme lucernario, terminado en el año 1877. Esta cubierta acristalada, la mayor de su época, demuestra la alta capacidad y dominio técnico alcanzado en las estructuras metálicas de la época, y el logro de importantes superficies acristaladas con pequeños formatos de vidrio de muy escaso espesor, a menudo de unos 2-3 milímetros.

La demanda de transparencia se trasladó rápidamente a los edificios comerciales de la época, cuyo beneficio potencial compensaba el elevado precio del acristalamiento. Edificios como los almacenes Gardner en Jamaica Street, en Glasgow, del arquitecto John Baird, construido en 1856, constituye un ejemplo evidente de esta demanda arquitectónica, en una época donde las principales características academicistas de la composición se dejan notar con todo su peso, si bien todos los arcos y columnas exteriores son de fundición.



Figura 1.17: Edificio de almacenes Gardner, 1856.

El incendio del centro de Chicago en 1870 dio lugar a un proceso de renovación arquitectónica sin precedentes, en el núcleo de una ciudad boyante y con una demanda de edificios altos y modernos inusitada. Este fenómeno dio lugar a la llamada escuela de Chicago, que no dio lugar aún a los rascacielos de vidrio actuales, sino más bien a nobles edificios, de aspecto sólido de ladrillo y piedra en las fachadas, pero con modernas (y revolucionarias para la época) estructuras metálicas, que permitían aumentar considerablemente el tamaño de las ventanas.

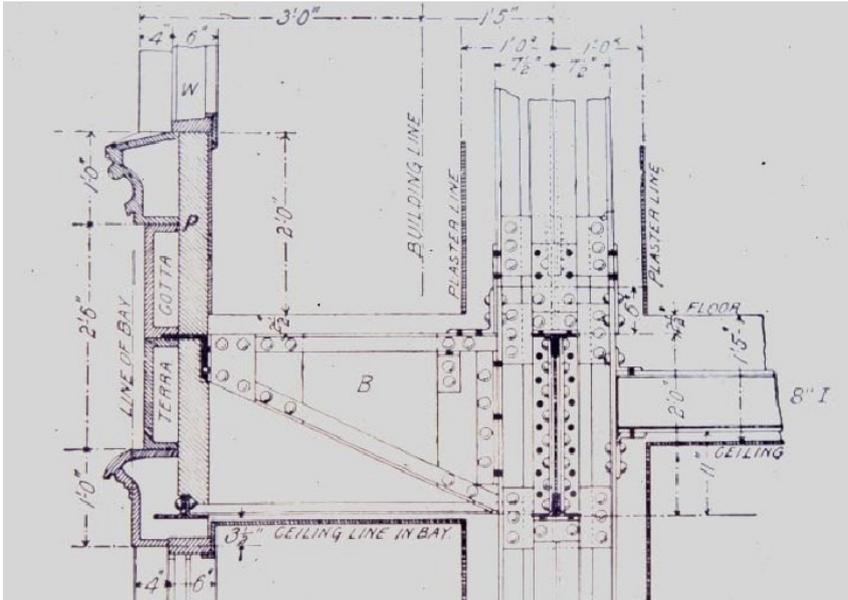


Figura 1.18: Reliance building, detalle de fachada.

Un ejemplo de estos edificios es el Reliance (1894), con estructura de acero y molduras de fachada de terracota. Sus quince plantas anticipaba muchos de los aspectos de los modernos edificios

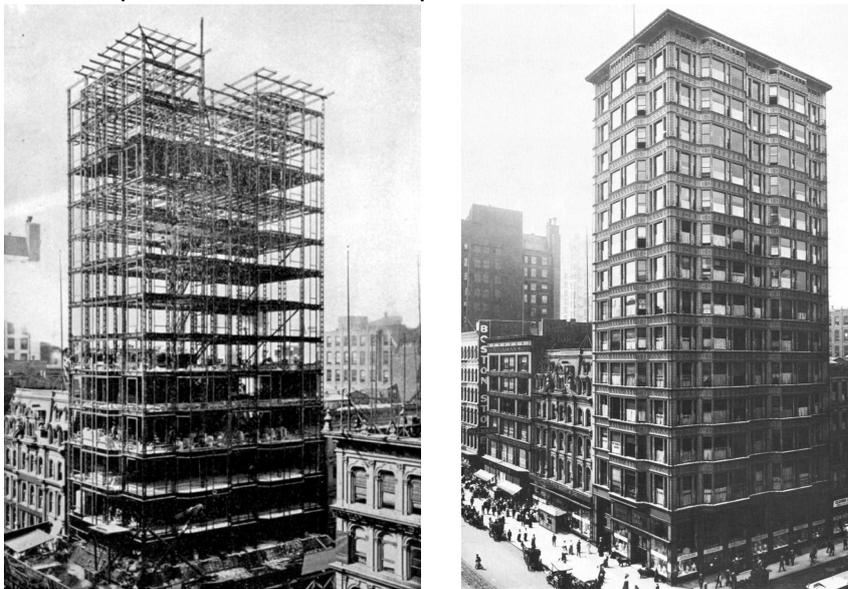


Figura 1.19: Izquierda: Construcción y estado final del Reliance Building, 1894.

de oficinas: espacios diáfanos y luminosos, con excelentes vistas al exterior y comunicación vertical garantizada por los novedosos ascensores. Los plazos estimados de obra parecen también haber sido muy cortos, ya que se dice que la estructura de las últimas diez plantas, de acero roblonado, se montó en únicamente dos semanas, plazo inaudito para las construcciones de fábrica de la época.

Por otra parte, procesos como la extrusión de metales estaban aún en sus albores. La extrusión se patentó en 1797, si bien se utilizaba para hacer tuberías y la presión necesaria se hacía con mano de obra humana, hasta la invención de la prensa hidráulica en 1820. A fines del siglo XIX ya se hacían extrusiones de cobre y bronce, pero no de aluminio.

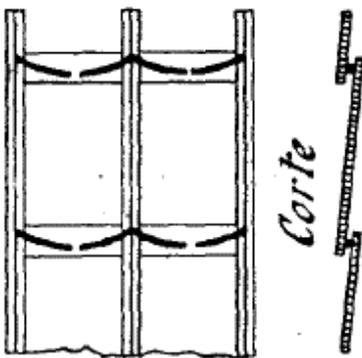


Figura 1.21: Sistema de baquetón Collin que se empleó en la Exposición de 1878, es de plomo y se coloca entre los dos vidrios; en el centro una ligera depresión permite la salida del agua recogida.



Figura 1.20: Izquierda: Perfiles extruidos de bronce; derecha: Perfiles extruidos de cobre.

En cuanto a los lucernarios, su desarrollo ha venido ligado a dos factores principales: por un lado, la resolución de las condensaciones producidas por unos vidrios aún deficientes en cuanto a aislamiento; por otro lado, la incorporación de nuevos materiales, sistemas y técnicas que progresivamente contaban con mejores prestaciones. Los primeros lucernarios pretendían desde la carpintería evacuar el agua cuanto antes hacia el exterior. Esto se conseguía mediante solapes en las juntas horizontales y con mástique o caperuzas de distintos materiales en las juntas de los montantes.

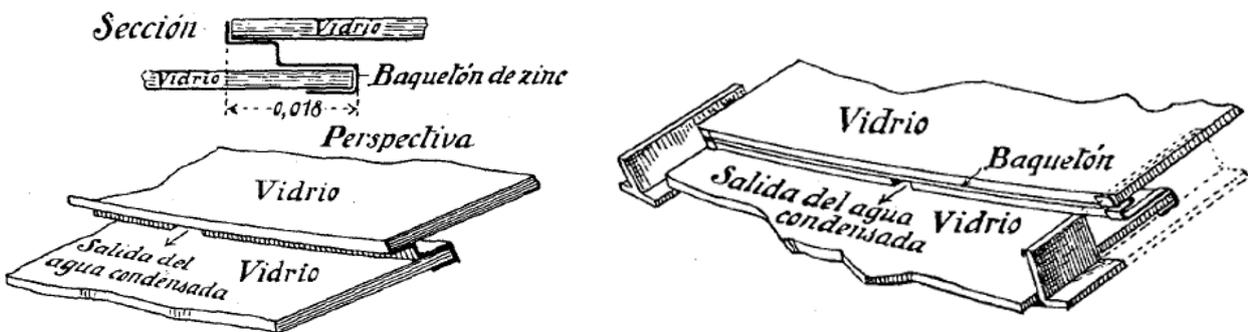


Figura 1.22: Izquierda: sistema de baquetón Bigeard: con gancho continuo, se arquea y perfora en el centro para expulsar el agua; derecha: sistema Murat: tiene la ventaja de no bordear de metal el vidrio inferior y por consiguiente de no activar la condensación.

Los resultados más prácticos y económicos se obtenían con los baquetones metálicos o de cualquier otra materia interpuestos entre los dos vidrios. Todos los sistemas de juntas de vidrios se fundan en este principio: recoger el agua de condensación y evacuarla en cada junta. Entre los numerosos tipos se encuentran el baquetón Collin, el Bigeard o el Murat. Se trataban de sistemas que corregían las deficiencias de los precedentes, por lo que su éxito se demostró por la experiencia.

La limitación de estos sistemas es que no convenían más que para vidrieras con vidrios de una pieza entre correas que salvaban luces modestas. En cuanto a otros elementos geométricos de los lucernarios como son las limatesas o las limahoyas, así como los bastidores de puertas o huecos presentaban también serios problemas que no fueron vencidos hasta la introducción de siliconas y juntas de EPDM.

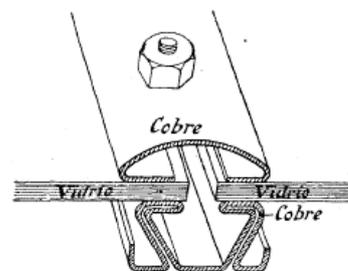
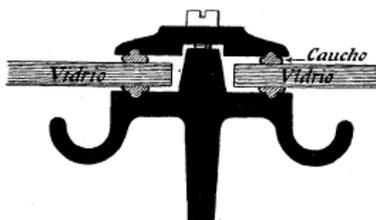
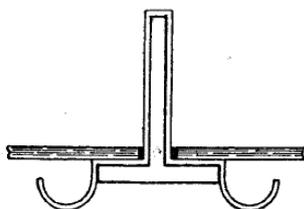


Figura 1.23: Izq: sistema Desnoulet; medio: sistema Hardy; derecha: sistema Invencible.

Con la entrada del aluminio en el ámbito de la construcción empiezan a desarrollarse los primeros perfiles, cuya primera aplicación es en los novedosos invernaderos de la época. Sin embargo, no se produce una innovación en el esquema de estos nuevos perfiles con respecto a los antiguos de hierro; la novedad viene únicamente de la mano del material, no de los sistemas.

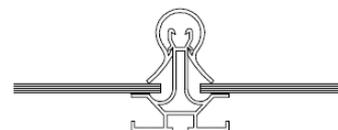


Figura 1.24: Perfil de la marca Hiberlux: Perfil de aluminio con vidrio armado y caperza clipada de PVC. Posee conductos para desagüe de condensación. Los apoyos del vidrio se realizaban sobre finas bandas de goma pegadas.

Con la llegada de los primeros polímeros sintéticos y sus ventajas como una mejor estanquidad debido a su grado de elasticidad, la técnica avanza hacia nuevas y mejores soluciones. Sin embargo, estos resultados carecen de rotura de puente térmico, teniendo pequeñas inercias y, por consiguiente, salvan pequeñas luces.

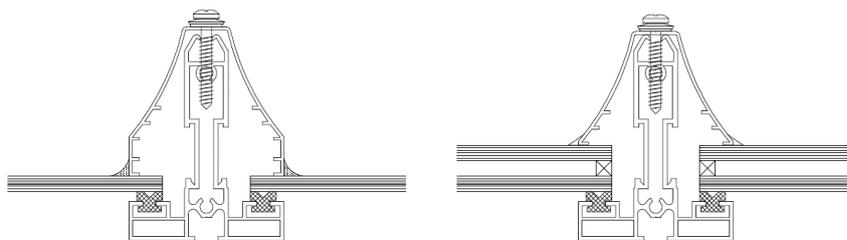


Figura 1.25: Izquierda: Perfiles de aluminio con mayor inercia, incluyen juntas de EPDM y caperuzas de aluminio extrusionado; derecha: Perfil de aluminio con vidrio doble.

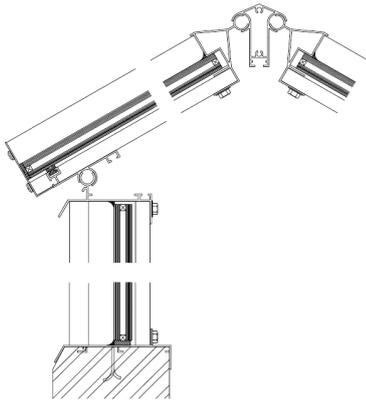


Figura 1.26: Encuentros en cumbrera y remates perimetrales.

Poco a poco esta problemática se va resolviendo por la demanda de mayores luces y la capacidad de producción de vidrios de dimensiones superiores. Con la aparición de los dobles acristalamientos los perfiles se adaptan a los pesos y necesidades estructurales de las mayores luces exigidas. Sigue sin existir rotura de puentes térmicos y para la estanquidad final se comienza a utilizar la silicona en las juntas de la caperuza y el vidrio. Para los encuentros en cumbreras y remates perimetrales se van creando distintas matrices para solucionar distintas pendientes y garantizar la estanquidad del conjunto.

1.3 Las innovaciones del siglo XX.

Las primeras décadas del siglo XX verían un cambio radical en el enfoque arquitectónico: la desaparición de la decoración, fuese de terracota o de fundición era el signo de la nueva arquitectura.



Figura 1.27: Fábrica Fagus, 1911.

Un ejemplo claro de estos nuevos postulados es la fábrica Fagus de Walter Gropius, del año 1911. En ella aparecen paredes desnudas hechas completamente de vidrio y acero, creando el nuevo paradigma de la piel continua de vidrio. Al mismo tiempo, Mies van der Rohe, compañero en la Bauhaus de Walter Gropius, formulaba sus utopías de rascacielos de vidrio en 1921. Su influencia se dejaría sentir sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX.

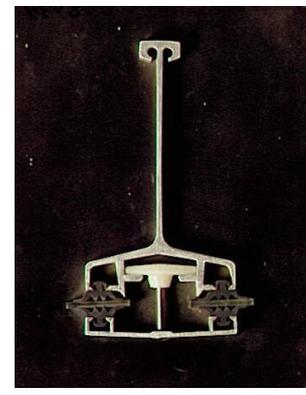


Figura 1.28: Modelo de torre acristalada, Mies 1921.

Otro gran pionero en este periodo es Jean Prouvé. Prouvé no era arquitecto, sino cerrajero, pero dio un gran impulso a las envolventes metálicas de gran ligereza, experimentando con perfiles de chapa plegada y de extrusión de aluminio. Destacan en esta época las fachadas ligeras de la Maison du Peuple (1939) y el club de vuelo Roland Garros (1936).



Figura 1.29: Izquierda: Club de vuelo Roland Garros, 1936; derecha: Montante para muro cortina. Prouvé, 1958.



Hacia 1920 se desarrollan dos procesos de producción industrial de vidrio plano, mediante estirado, conocidos como Colburn (Libbey-Owens) y Forcault.

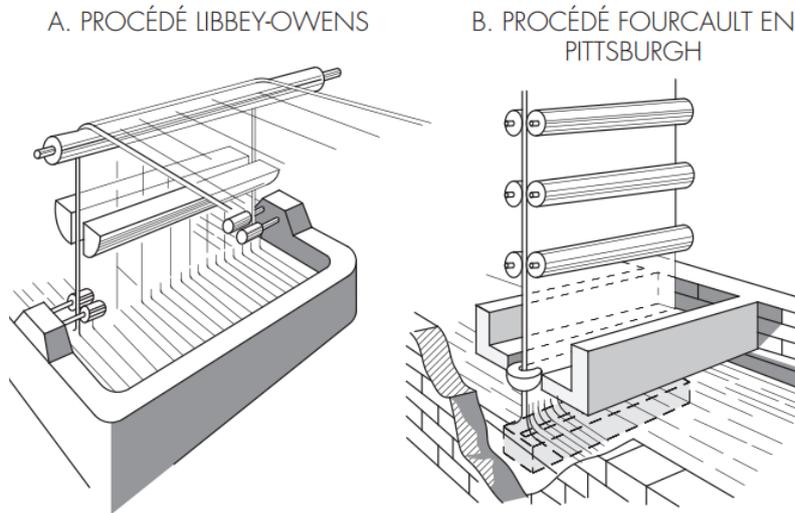


Figura 1.30: Procesos de Libbey-Owens (izquierda) y de Fourcault (derecha).

Thermopane
REGISTERED U.S. PATENT OFFICE

The acceptance of *Thermopane*—Libbey-Owens-Ford's transparent insulating unit—has been tremendous! It is timely to emphasize the following:

- 1 *Thermopane* is a registered trade mark of the Libbey-Owens-Ford Glass Company;
- 2 Only Libbey-Owens-Ford makes *Thermopane*;
- 3 Only Libbey-Owens-Ford can call a transparent insulating unit *Thermopane*;
- 4 Only *Thermopane* has the Bondermatic Seal which bonds the panes of glass into one unit to prevent dirt and moisture from entering the dry air space;
- 5 The name "*Thermopane*" can and should be used when referring to the L-O-F product;
- 6 The word "*Thermopane*" should never be used when referring to any other brand of multiple-glazing construction.

We make these statements because the function of a trade mark is to unequivocally identify the manufacturer of a product . . . and to eliminate the possibility of confusion in the mind of the public concerning the producer of a specified product . . . and to assure that the customer gets what he orders.

We are sure that architects, contractors and others who are familiar with the superiority and advantages of *Thermopane* will welcome these statements . . . will refrain from using our trade mark in referring to any construction or product not made by the Libbey-Owens-Ford Glass Company.

We believe that our readers will understand L-O-F's pride in *Thermopane* and our sincere desire to have *Thermopane* continue to enjoy its individuality.

©1945 Thermopane is also available in Canada.

LIBBEY-OWENS-FORD
a Great Name in GLASS

LIBBEY-OWENS-FORD GLASS COMPANY...TOLEDO 3, OHIO

Oblique view of Thermopane—the windowpane that insulates.

Figura 1.31: Anuncios publicitarios glosando las virtudes principales de los nuevos sistemas de vidrios.

Estos procesos permitían una producción de vidrio plano masiva sin depender de la artesanía humana, dando como resultado un vidrio de una transparencia muy aceptable conseguido mediante un pulido térmico. Esto permitía su comercialización a precios mucho más aceptables, considerándose un producto apto para todo el mundo y ya no un artículo de lujo.

El perfeccionamiento de los distintos procesos permitió aumentar los formatos de ventana, posibilitando la ventana de suelo a techo y consiguiendo la ansiada desmaterialización del muro. En 1945 se comercializa el primer vidrio doble con cámara llamado Termopane, realizado aún con vidrio estirado.

En 1953, los hermanos Pilkington registrarían su patente de vidrio flotado como producto definitivo, logrando un vidrio de transparencia casi perfecta y formatos de dimensiones arquitectónicas satisfactorias (3x6m).

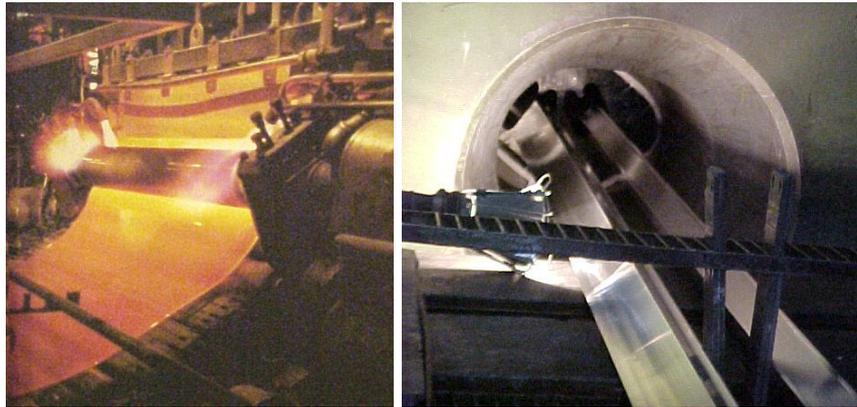


Figura 1.32: Izquierda: Vidrio estirado en caliente; derecha: Proceso de extrusión de perfiles de aluminio.

La producción de perfiles de extrusión de aluminio comienza hacia el año 1904. La demanda inicial de perfiles de aluminio se centra en la automoción y la aviación, debido a su ligereza. Esta demanda aumentó considerablemente durante la segunda guerra mundial, generándose al final de la misma un excedente que se destinaría preferentemente a la construcción, de ahí el auge que encontraron las carpinterías de aluminio en la década de los años 50.

Los postulados del movimiento moderno se manifiestan con sorprendente rotundidad en Brasil, tras la gran guerra de los años 40. En el ministerio de Educación y Salud, Lucio Costa, firme discípulo de Le Corbusier, crea un rascacielos sucesor de las Unités d'Habitation, totalmente acristalado en fachada sur (sin sol en Brasil) y con brisesoleil en la soleado norte.

De hecho, la fachada norte crea el precedente claro del edificio Lake Shore Drive de Mies, y más concretamente de un acristalamiento integral encajado entre forjados, lo que hoy llamamos fachada panel.



Figura 1.33: Ministerio de Educación y Salud, Río de Janeiro. Lucio Costa 1943.

En efecto Mies da una vuelta de tuerca a este concepto, reforzando la verticalidad expresiva frente a la a priori forzosa horizontalidad impuesta por los frentes de forjado. Para ello el paso es colocar perfiles metálicos pasantes por delante de los forjados, si bien los acristalamientos siguen estando encajonados entre los forjados. Estos perfiles metálicos, que pueden interpretarse como meras molduras formales, en realidad asumen el papel de rigidizar verticalmente la cristallera, por lo que ejercen como la pieza básica que aparecerá en casi todos los muros cortina: el montante.

De este modo, la fachada de Lake Shore Drive (1951) está a caballo entre el ministerio y su posterior y conocidísimo edificio Seagram, en el que aparece ya el acristalamiento pasando por delante de los forjados, constituyendo definitivamente el concepto actual de muro cortina. Dada la precisión con la que se construyen las estructuras metálicas en EE.UU. no fue un problema ejecutar unidades completas de dos plantas de altura y 6,4m de anchura que luego se izaban para ser instaladas en la fachada.



Figura 1.35: Lake Shore Drive (1951).

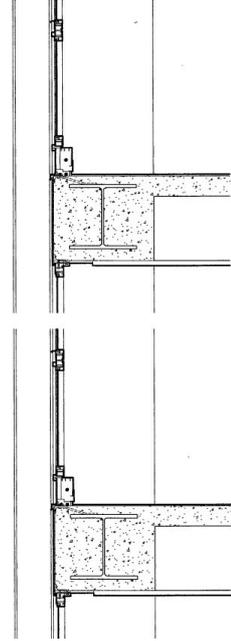


Figura 1.34: Sección vertical de fachada de apartamentos Lake Shore Drive.



1.4 Del edificio Seagram a nuestros días

Si bien es en el siglo XXI cuando se desarrollan grandes superficies acristaladas, tanto en paredes como en techos, no es hasta mediados del siglo XX cuando aparece esta solución técnica con un planteamiento sistemático e industrializado. El final de la segunda guerra mundial genera un excedente de aluminio en Estados Unidos, lo que unido al desarrollo de la técnica de la extrusión pone en el mercado una nueva opción para carpinterías de vidrio. A los primeros perfiles de bronce utilizados por Mies Van der Rohe en el Seagram de Nueva York, les siguen nuevas secciones de aluminio extruido, inicialmente reforzadas con acero y en adelante completamente de aluminio.

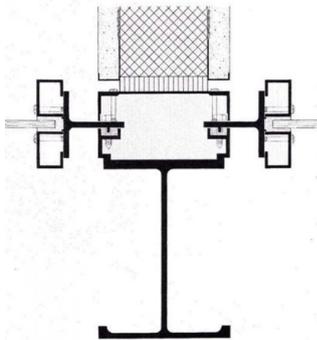


Figura 1.36: Edificio Seagram; Arriba: Alzado principal; Abajo; Sección por el montante del muro cortina.

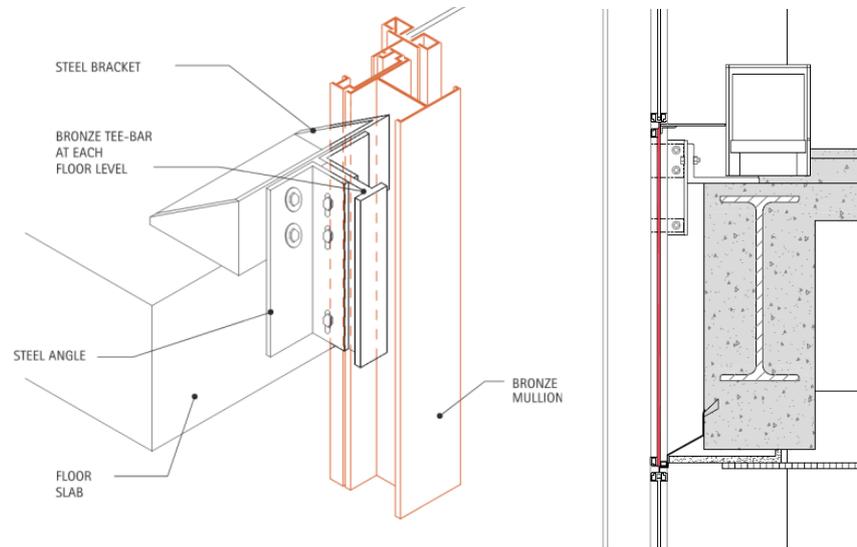


Figura 1.37: Izquierda: Vista del anclaje al forjado; derecha: sección vertical por el antepecho.

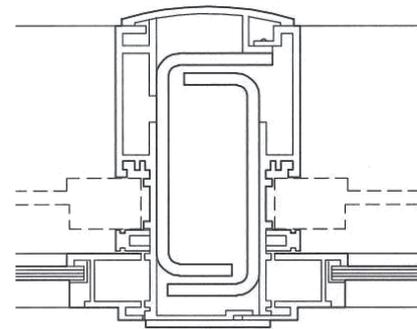
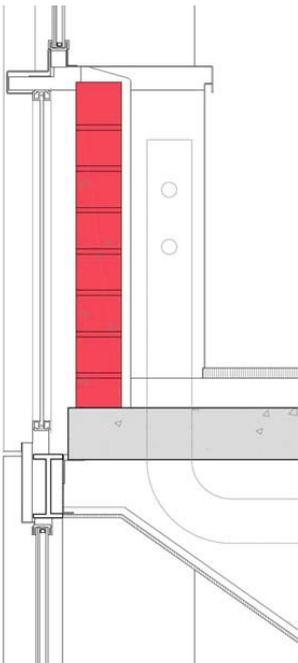


Figura 1.38: Edificio de Naciones Unidas, Nueva York, 1950; Izquierda: detalle de corte vertical de fachada; Medio: Imagen exterior; Derecha: detalle de muro cortina.

En estos primeros edificios se utiliza vidrio sencillo y las carpinterías presentan puentes térmicos notables. Anteriormente ya había aparecido el vidrio doble, y posteriormente la rotura del puente térmico en la carpintería.

En fechas tan tempranas como 1959, ya se producen avances tecnológicos notables en algunos edificios como el Dow Corning Works, tales como el uso de la extrusión de aluminio como único material de la reja del acristalamiento e incluso la división del montante en dos partes, antecedente notable de los actuales sistemas modulares.

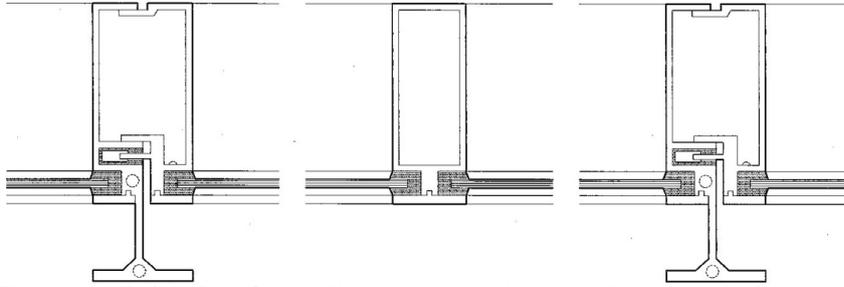


Figura 1.39: Edificio Dow Corning Works, 1959: Izquierda: detalle de corte horizontal de fachada; derecha: fotografía exterior



La búsqueda de la desaparición, al menos al exterior, de los inevitables perfiles de la carpintería, da lugar a la aparición de sistemas con el vidrio pegado a la carpintería, dejando una superficie exterior plana, lisa, continua y sin salientes, que aparenta ser solo de vidrio. Para lograr este efecto se utilizan vidrios muy reflectantes, gracias al reciente desarrollo de las capas metálicas. Uno de los primeros ejemplos es el edificio Allied Bank Tower en Dallas, Texas, de I. M. Pei. 1986.

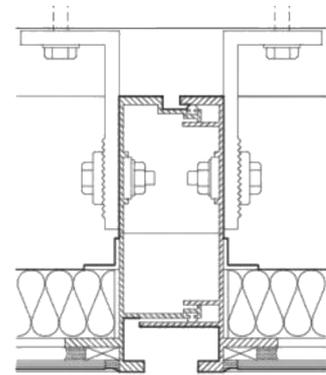


Figura 1.40: edificio Allied Bank Tower, 1986: Izquierda: Detalle de muro cortina; medio y derecha: fotografías exteriores

Debido a las especiales condiciones de trabajo de la silicona con se adhiere el vidrio a la carpintería, silicona adhesiva de altas prestaciones, se ha llamado a estos sistemas de "silicona estructural". La imagen que proporciona una fachada completamente acristalada, ampliamente demandada por edificios corporativos ha dado lugar a un gran desarrollo técnico de estos sistemas hasta llegar a los actuales muros cortina stick y modular, con todas sus variantes.



Figura 1.41: Hotel Industrial Berlier

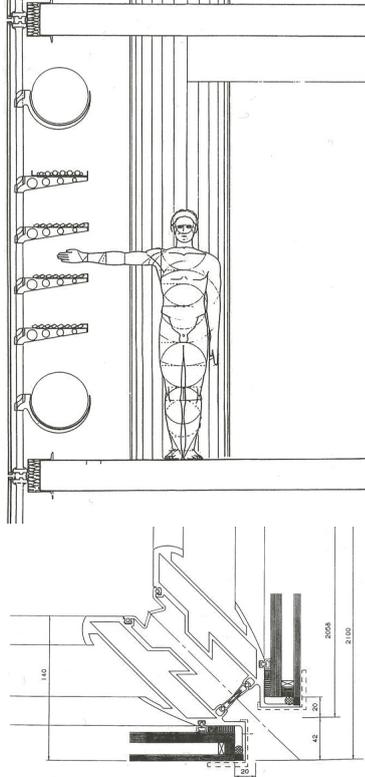


Figura 1.42: Hotel Industrial Berlier: Arriba: Sección por fachada; abajo: sección horizontal por esquina.

Aunque para la fecha ya han aparecido sistemas modulares y sistemas de silicona estructural, el Hotel Industrial Berlier de Dominique Perrault tiene interés por su transparencia. Si en el edificio de Pei en Dallas el vidrio con capa esconde el espesor del aluminio, aquí la transparencia impide ese recurso, por lo que se minimizan los perfiles para lograr un efecto de máximo logro técnico al servicio de la transparencia. Destaca el detalle de encuentro con el forjado, minimizando todos los componentes para aportar una ligereza y transparencia notables.

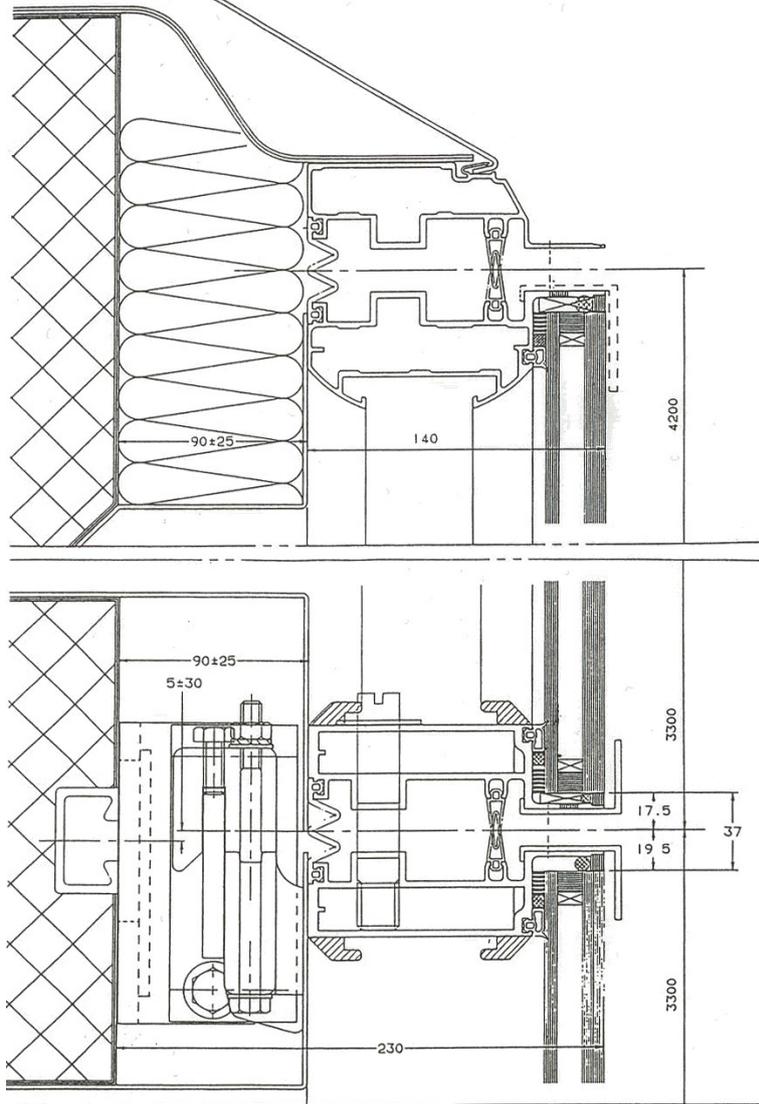


Figura 1.43: Hotel Industrial Berlier, Detalles de la carpintería de fachada.

Si bien se han hecho muchos progresos como la rotura del puente térmico, las cámaras equalizadas de drenaje, y los acristalamientos dobles y triples con capas metálicas, aún falta mucho para que se puedan considerar fachadas eficientes energéticamente al nivel que se va a demandar en un futuro cercano.

1.5 La eliminación de la carpintería. La aparición de las costillas de vidrio y los cables.

Compañías como Saint Gobain desarrollan el vidrio templado térmicamente hacia 1928. En un principio se usa para los parabrisas de los coches. Sin embargo, en combinación con el nuevo invento del vidrio flotado permite sorprendentes aplicaciones en grandes escaparates y puertas de vidrio de una pieza. Hacia 1955 se hace en Madrid la fachada de los almacenes Arias en la calle Montera. Llama la atención la extraordinaria transparencia de la fachada, entrada y escaparates, explotando todo el potencial del vidrio templado sujeto con pequeños herrajes.

Estas realizaciones eran posibles gracias al apoyo del CITAV, Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio, de la antigua Cristalería Española. A él acudían los arquitectos y de forma gratuita sus expertos resolvían con los formatos y herrajes disponibles las ideas proyectadas por aquellos.

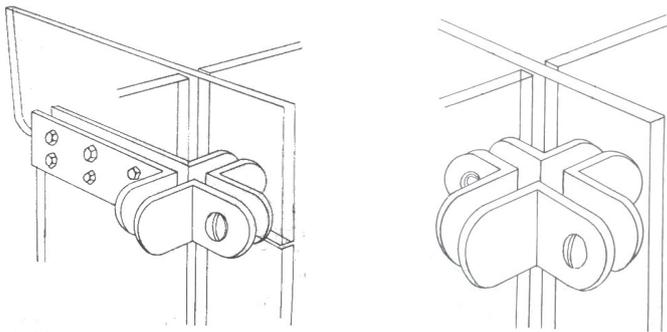


Figura 1.44: elementos metálicos de enlace entre vidrieras

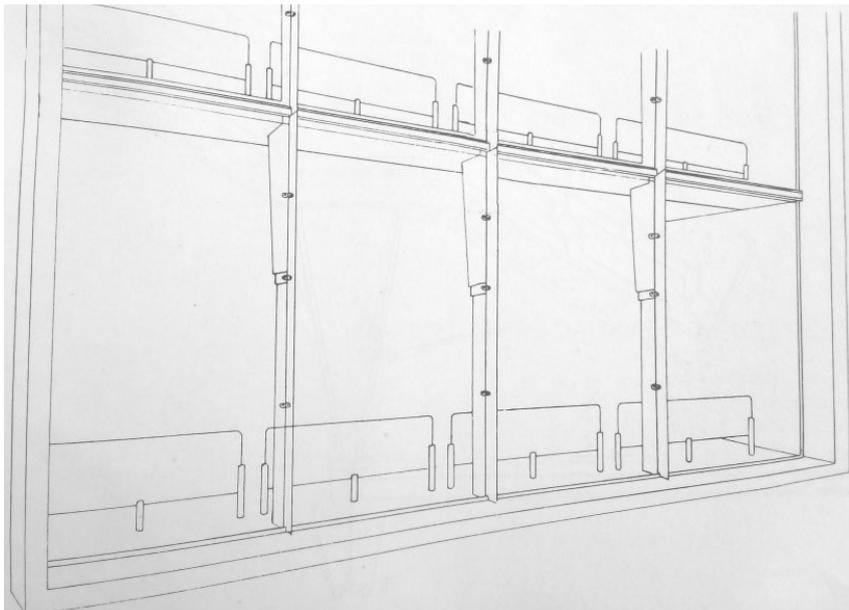


Figura 1.45: Perspectiva de fachada vidriada de Almacenes Arias.



Figura 1.46: Almacenes Arias en Madrid, Sanz Magallón 1955.

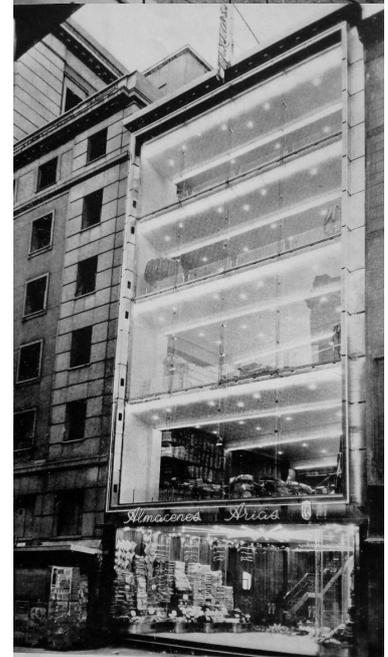


Figura 1.47 Almacenes Arias

Actualmente existen sistemas de acristalamiento sin carpintería, sujetando el vidrio por anclajes o fijaciones puntuales, que en el sector de la fachada se denominan sistemas de vidrio abotonado. Se desarrollaron en la década de los 80, a partir de varios edificios emblemáticos que marcaron el desarrollo de esta tecnología.

Norman Foster jugó un papel importante en esta progresiva evolución, con tres edificios. En su proyecto de edificio para la IBM en Cosham, de 1971, utiliza un sistema de la empresa Pittsburg Plate Glass (PPG) llamado pitco "T" wall, consistente en un sistema de retención del vidrio a montantes y travesaños mediante perfiles de caucho, con cuña de bloqueo.

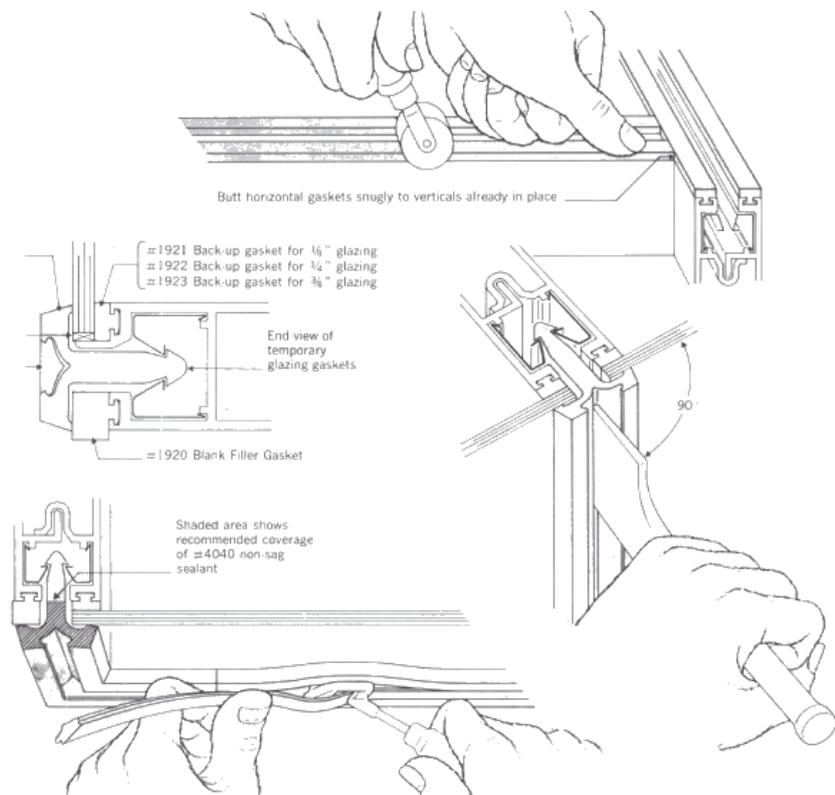


Figura 1.48: Izquierda: Edificio IBM en Cosham, Norman Foster, 1971; Arriba: Montaje de carpinterías del Edificio IBM.

El paso crucial en esta evolución se da con el edificio Willis, Faber and Dumas, en Ipswich, 1975, en el que gracias a un sistema existente de la empresa Pilkington, llamado Patch Fittings, se podía sujetar el vidrio mediante placas y contraplacas de acero, aseguradas con tornillos pasantes a través del vidrio. Este sistema tenía una complejidad inherente de cierto nivel. Para empezar, siguiendo un concepto típicamente High Tech, se elimina el peligro de pandeo colgando el vidrio en vez de apoyarlo.

Para lograr una superficie de vidrio de gran formato se crea un “macropanel” a base de estas placas y contraplacas de acero inoxidable (patch fittings) que solidarizan las distintas placas de vidrio creando una unidad. Este gran panel se cuelga de su parte superior, quedando a libre movimiento en todos sus bordes. Este cuelgue es elástico para evitar posibles esfuerzos en el vidrio, y se realiza mediante balancines (suspension hangers). Finalmente para contrarrestar empujes horizontales (viento, choque de personas) se colocan unas costillas de vidrio unidas mediante juntas deslizantes (sliding joints) de acero inoxidable.

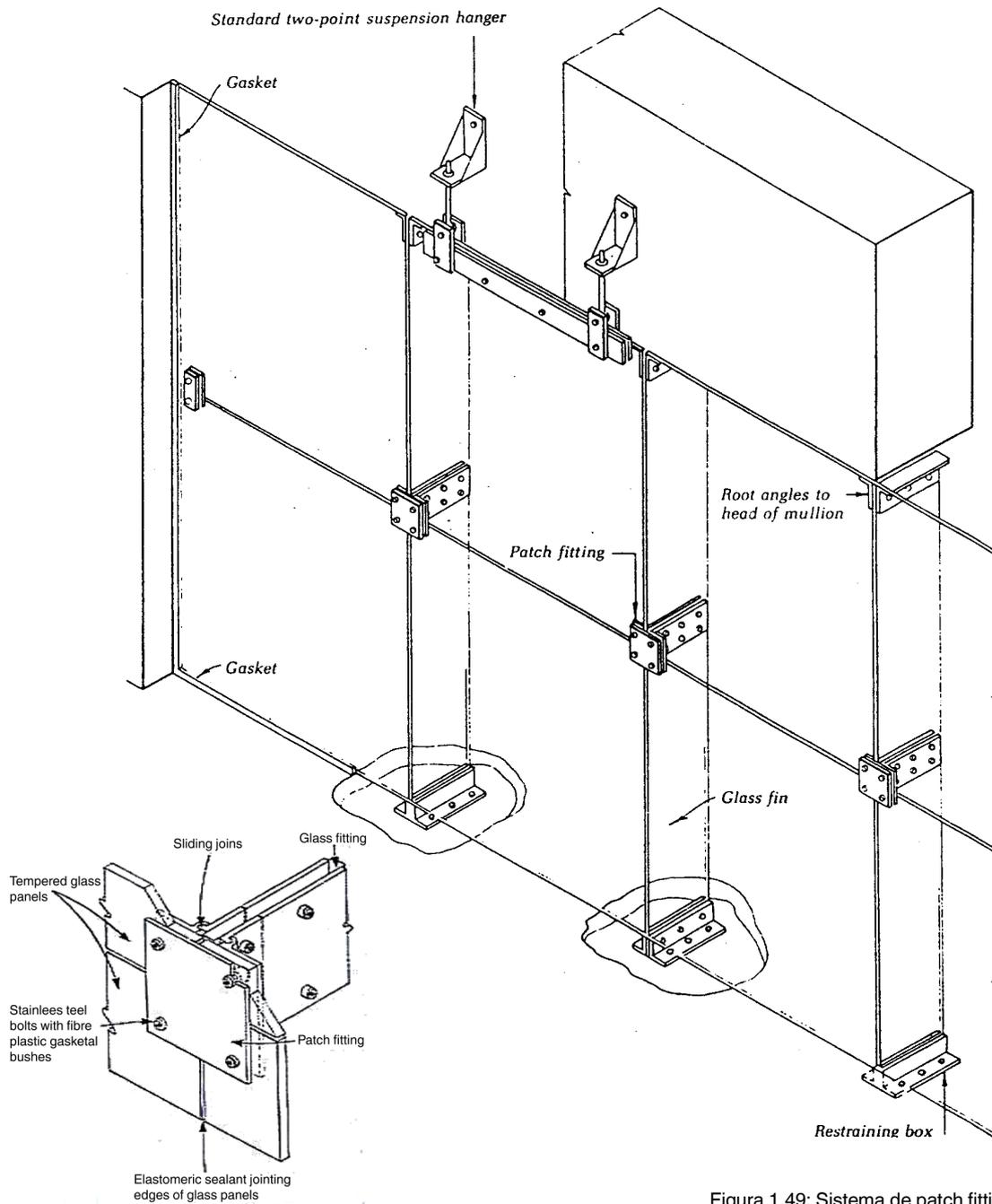


Figura 1.49: Sistema de patch fittings, Pilkington.

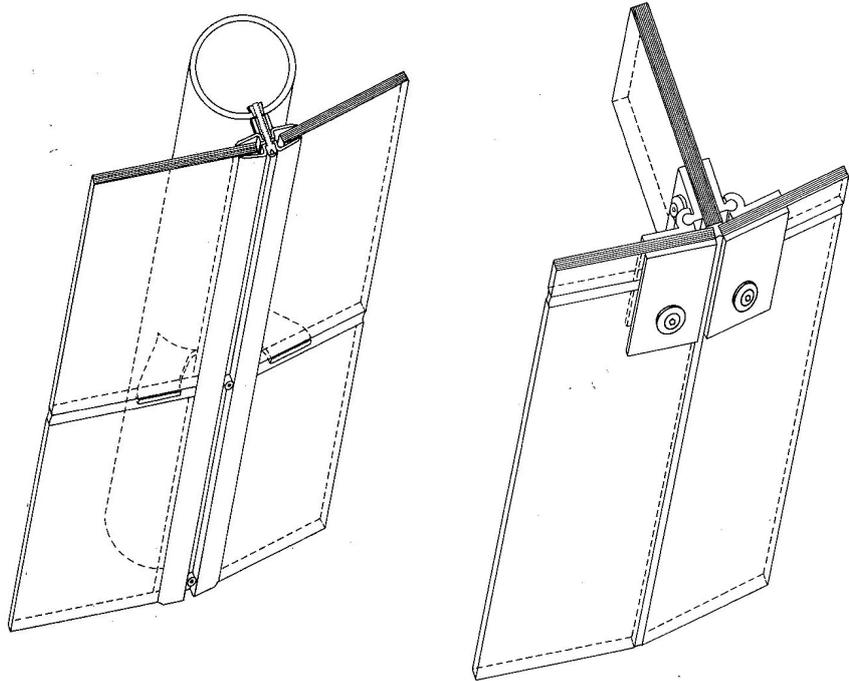


Figura 1.50: Solución transitoria (M. Francis) y definitiva de fachada del Willis, Faber and Dumas.



Figura 1.51: Imagen interior de la solución de fachada. Edificio Willis, Faber and Dumas.

Las placas y fijaciones debían evitar el contacto vidrio-metal mediante separadores de plástico o caucho. Todas las piezas de vidrio eran templadas, para una mayor seguridad mecánica del conjunto. Lo cierto es que para complicar aún más las cosas Norman Foster planteaba una fachada curva, debido a la forma de la parcela. Por este motivo tuvo la negativa inicial de Pilkington, que le obligó a estudiar una solución alternativa, basada en el sistema pitco "T" wall, y desarrollada por el ingeniero naval Martin Francis. Más adelante, en su centro Renault en Swindon del año 1982, Norman Foster emplea un sistema diferente, también de Pilkington, denominado Planar, que eliminaba la carpintería perimetral del vidrio, pero sujetando cada panel de vidrio individualmente. El contacto vidrio-metal se elimina mediante el uso de casquillos o



Figura 1.52: Centro Renault en Swindon, Norman Foster, 1982.

camisas de plástico en los tornillos de fijación. La teórica compatibilidad de movimientos con la estructura soporte se resuelve con unas placas flexibles (spring plates) u orejetas que sujetan los tornillos.

Es obligado citar aquí al ingeniero estructural de la ingeniería Ove Arup and Partners, Peter Rice, quien acompañó a Norman Foster desde sus primeros inicios en el desarrollo de soluciones técnicas avanzadas para sus edificios.

De hecho, por estos años, Peter Rice se asocia con Martin Francis y junto con el arquitecto Ian Ritchie funda el estudio RFR (Ritchie, Francis and Rice). Este estudio desarrolla el edificio definitivo en el desarrollo de esta tecnología: los invernaderos de la



Figura 1.53: Exterior de los invernaderos de la Ciudad de las Ciencias y la Industria. Ciudad de las Ciencias y la Industria, en el parque de la Villette, en París.

Este proyecto de Adrien Fainsilber, de 1986, es en realidad una reforma de un mercado de abastos, y plantea tres grandes volúmenes acristalados de 32x32 metros de fachada y 8 metros de

Comparaison entre la solution avec montants en verre et le système de raidisseurs en câbles.

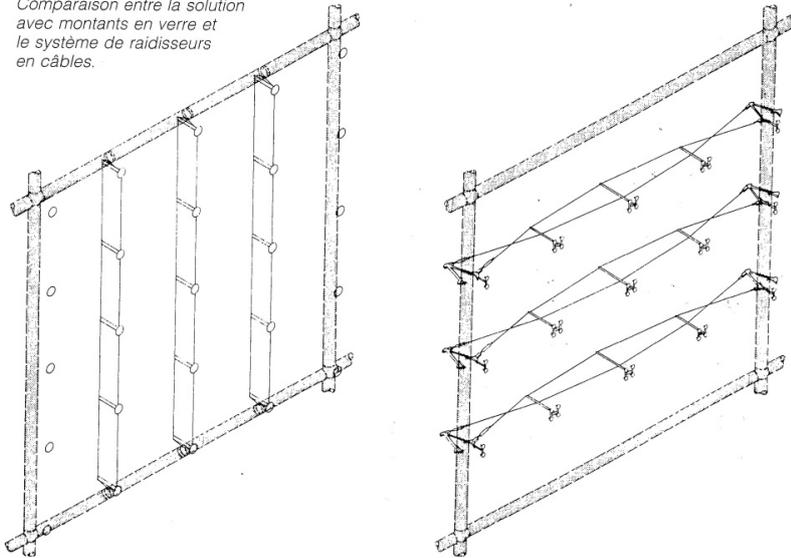


Figura 1.54: Soluciones sucesivas para la fachada de la Villette.

fondo, que debían tener la máxima transparencia. Para ello se planteó una estructura tubular de acero inoxidable, en una retícula de 8x8 metros.

El enfoque inicial de Peter Rice utilizaba el sistema de patch fittings en cada uno de los cuarteles de 8x8 metros, que define la estructura principal de la cristalera, como manera de eliminar en estos paños la presencia de elementos lineales metálicos. Sin embargo, los primeros cálculos dieron como resultado el peligro

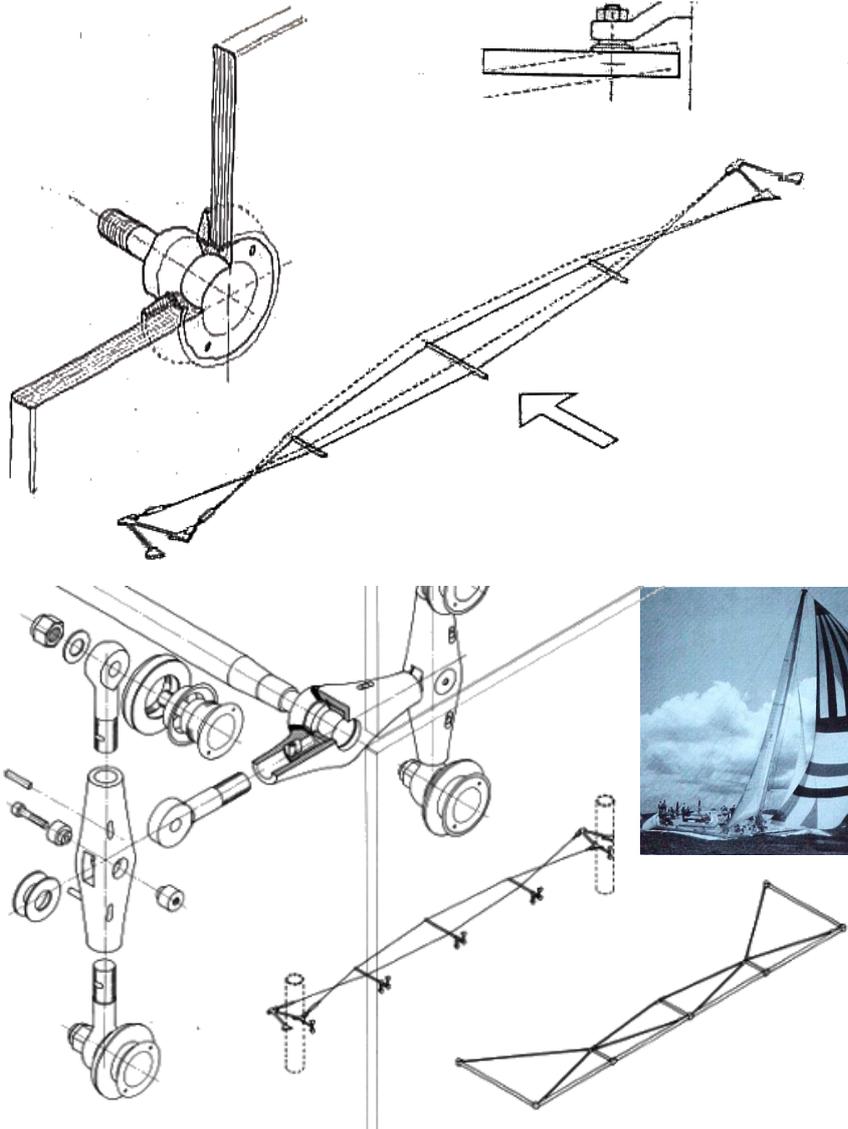


Figura 1.55: Colección de piezas diseñada por Peter Rice para las cristalerías de la Villettes, de rotura por pandeo lateral (buckling) de las costillas de vidrio. Aquí el concurso de Martin Francis resultó vital debido a su experiencia en el diseño de veleros de competición, al proponer (colocadas en horizontal, lo que enfatizaría la ingravidez del conjunto) cerchas de cables pretensadas. Éstas cerchas presentan el problema de grandes deformaciones (flechas), haciendo que la fachada se abombe e impidiendo la sujeción solidaria de las placas del patch fittings; por ello, para permitir el giro relativo entre paneles, Peter Rice crea el anclaje de rótula.

Como resultado de lo expuesto, se puede resumir lo siguiente:

- El principio de colgar el vidrio busca eliminar el pandeo, al eliminar la compresión.



Figura 1.56: Peter Rice y Hugh Dutton, autores del libro *Le Verre Structural*, sobre la Villettes.

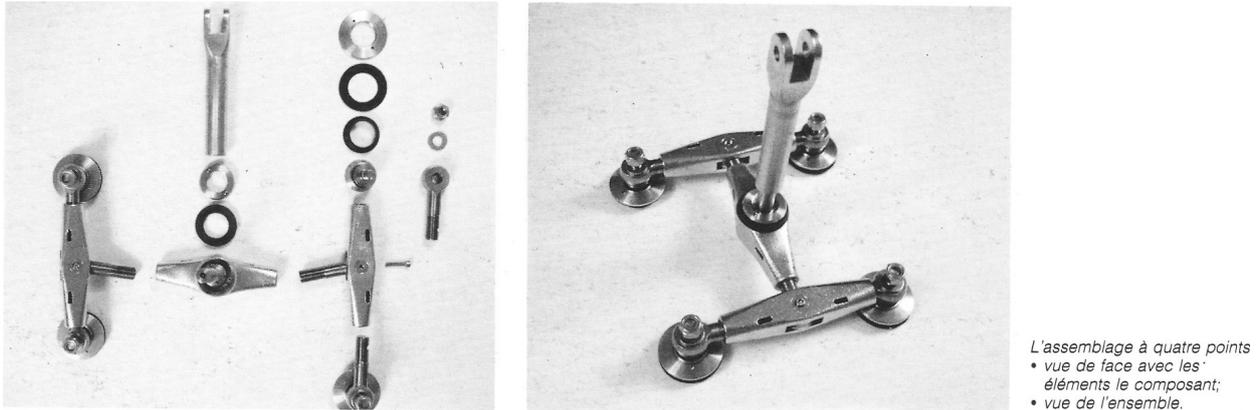


Figura 1.57: Ensamblaje de cuatro puntos de la fachada de la Villette.

- Si la estructura soporte del vidrio es flexible puede llevar a la necesidad de acomodar giros mediante rótulas (RFR) o placas flexibles (Planar).
- Se debe eliminar radicalmente el contacto vidrio-metal mediante separadores de plástico (Teflón, Delrin, Nylon, EPDM, etc.).
- Se suele utilizar vidrio templado, con tratamiento Heat Soak, aunque actualmente además se suele prescribir un laminado adicional para evitar caídas de fragmentos en caso de rotura.

Por desgracia, Peter Rice falleció en 1992, dejando un gran vacío en el mundo de la arquitectura High Tech. Hoy en día existen múltiples sistemas comerciales de vidrio con fijación puntual, si bien se requiere un estudio particular de cada caso para determinar especificaciones del vidrio, estructura soporte de la fachada, diseño de fijaciones, etc. Especialistas como James Carpenter, Tim Macfarlane o Eckersley O'Callahan, son los nuevos especialistas del vidrio estructural.