

Adaptación de un sistema Standard de piel de vidrio a una zona sísmica Centro Cívico San Juan 2006

Arq. Karina A. Tarrisse
Gerente de Diseño
ESTUDIO MARSHALL & ASOC. S.A.
Consultores en diseño e ingeniería de fachadas
Marconi 690 7B – B1636GHB - Olivos, Buenos Aires, Argentina
E-Mail: consultores@estudiomarshall.com
www.estudiomarshall.com

Introducción

El Edificio Centro Cívico San Juan, se comenzó a construir en el año 1973. Repitiendo la historia de muchos otros edificios públicos de nuestro país, las obras fueron paralizadas durante 23 años, y recién el año anterior han sido retomadas.

La capital sanjuanina se ubica en una zona geográfica expuesta a frecuentes movimientos telúricos. Día a día en San Juan se suceden sismos de pequeña magnitud, y esporádicamente pueden alcanzar niveles importantes.

Los cerramientos de fachada de este edificio, debían no solo ser capaces de absorber movimientos sísmicos y asegurar hermeticidad al agua, sino también ajustarse a plazos de ejecución y costos establecidos muy acotados.

Por estas últimas razones no se pudo diseñar un cerramiento especial para el edificio, y no habiendo en el mercado fachadas de diseño antisísmico; se recurrió al rediseño y adaptación de un sistema standard de carpinterías, muy conocido por los carpinteros que fabrican e instalan fachadas en nuestro país.

Sistema “Piel de vidrio”

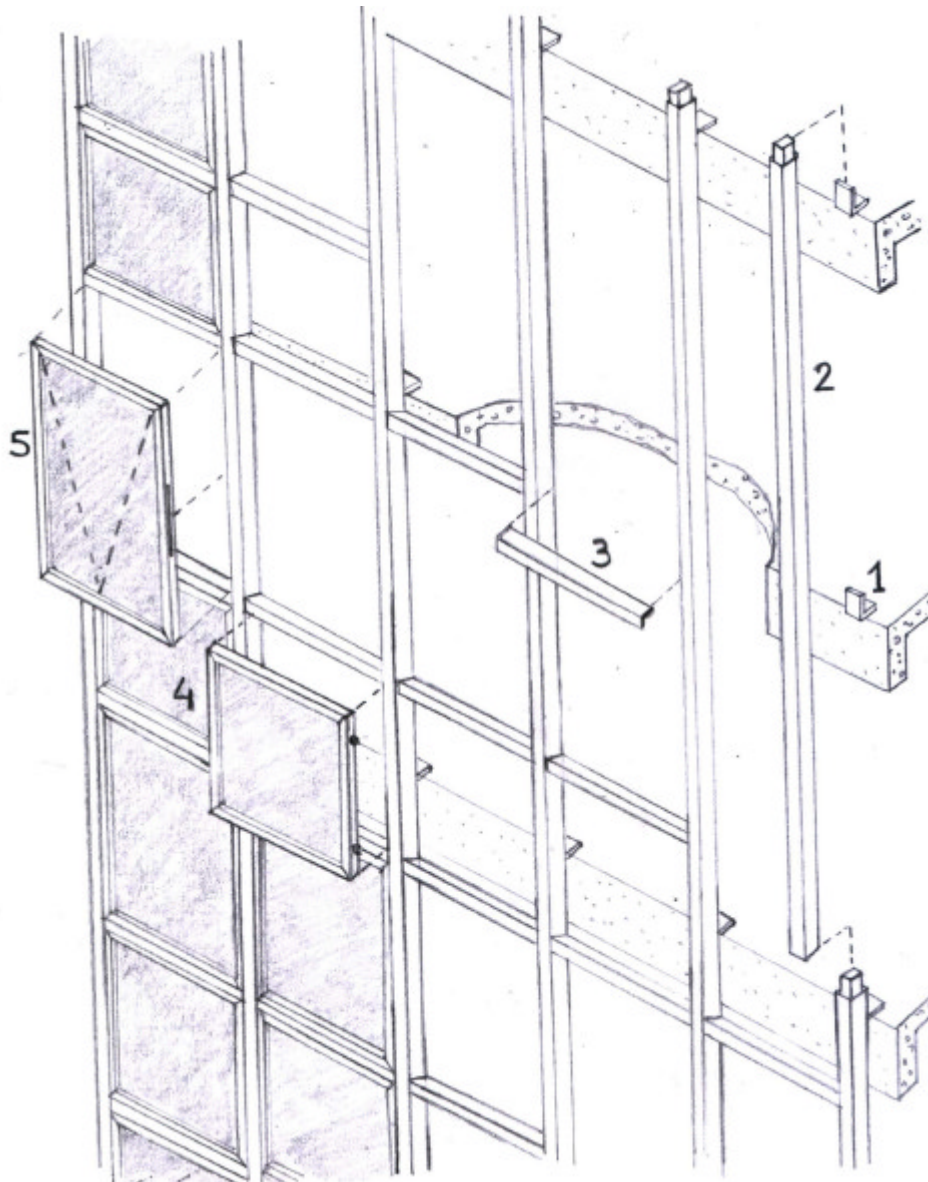
Antes que nada se debe aclarar qué entendemos por “piel de vidrio”.

Si bien el término, utilizado correctamente, indica que se trata de una envolvente de vidrio que a manera de “piel” recubre un edificio; en Argentina, hace varios años se comenzó a llamar “piel de vidrio” a un sistema del tipo stick que, con algunas variantes, es ofrecido por varios proveedores de cerramientos.

Estos sistemas se componen básicamente de paños fijos y ventanas de proyección al exterior y cuentan con los siguientes elementos: anclajes, mullions, travesaños o botaaguas, marcos vidriados, burletes, anclajes de paños fijos, herrajes del tipo tijera para ventanas de proyección, entre otros.

El esquema de armado de estos sistemas podría resumirse así:

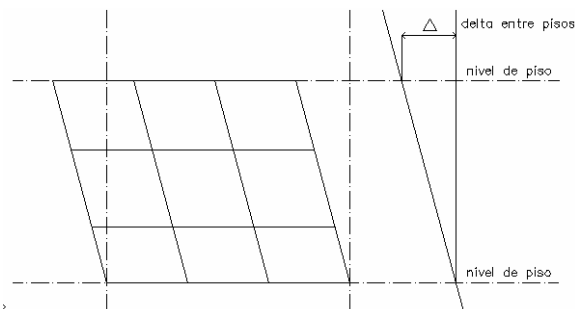
1. Colocación de anclajes en las losas
2. Instalación de mullions
3. Colocación de travesaños (solo para algunos sistemas)
4. Colocación de paños fijos vidriados (alternando la interposición de botaaguas en otros sistemas)
5. Colocación de paños móviles



Esquema de armado sistema "Piel de Vidrio"

Un sistema de estas características, no es apto para una zona sísmica, debido a que sus elementos se conectan entre sí de manera hiperestática.

Expuesto a un sismo, podría sufrir las deformaciones que se muestran en el siguiente gráfico:



Los paneles, al estar tomados en 4 puntos transformarían su forma dentro del plano, de rectángulo a paralelogramo provocando que los vidrios se salgan del marco, o se rompan debido a las tensiones generadas al entrar en contacto uno con el otro.

Requerimientos de una fachada antisísmica

Si bien es cierto que las fuerzas sísmicas pueden actuar sobre las fundaciones de un edificio desde cualquier ángulo, se asume que inciden de manera normal a las caras del edificio, produciendo deformaciones en el plano de las fachadas perpendiculares a ellas. Una fachada expuesta a movimientos sísmicos deberá ser capaz de acompañar los movimientos de la estructura del edificio, sin sufrir roturas, deformaciones plásticas, ni desprendimientos de sus partes componentes.

Deberá prestarse especial cuidado en el diseño de los anclajes, el dimensionado de las juntas, la selección de vidrios, el diseño de las interfases entre fachada y estructura del edificio.

Requerimientos de Diseño de las fachadas del Centro Cívico San Juan

Dimensiones de los vanos: 8.60 m x 3.64m

Presión de viento: 132 kg/m²

Acción sísmica esperada: Grado 7 escala Richter (equivalente en este edificio a movimientos laterales diferenciales entre losas: +/-30 mm)

Deformaciones máximas en columnas: 10 mm (respecto a la diagonal proyectada)

Ensayo de hermeticidad según Norma:

- IRAM 11591 “Carpintería de obra. Método de ensayo de estanqueidad al agua de los cerramientos exteriores”,

Ensayo sísmico según Normas:

- AAMA501.4 “Recommended Static test method for evaluating curtain wall and storefront systems subjected to seismic and wind induced interstory drifts”
- AAMA 501.6 “Recommended Dynamic test method for determining the seismic drift causing glass fallout from a wall system”

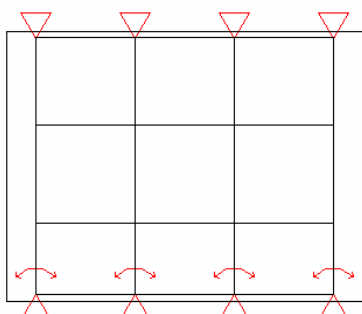
Sistema adoptado: Piel de vidrio standard

Posibilidad de utilizar nuevas extrusiones: solo 5 matrices

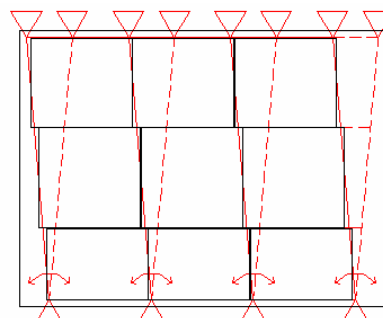
Plan de acción:

- Rediseño del sistema
- Armado de prototipo para ensayos
- Ensayo de prototipo
- Correcciones al prototipo
- Reensayo de prototipo
- Confección de nuevas matrices
- Producción en taller y obra

A partir de las condicionantes enumeradas se estudiaron diferentes propuestas de esquemas estructurales de fachadas. Finalmente adoptamos el esquema estructural graficado:

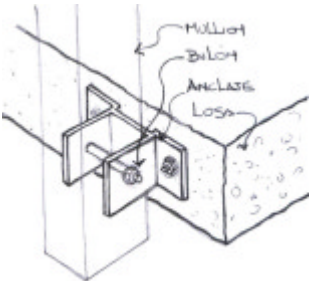
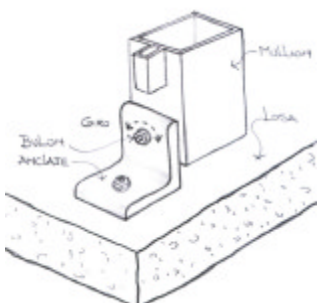
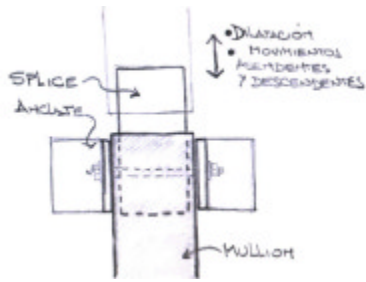
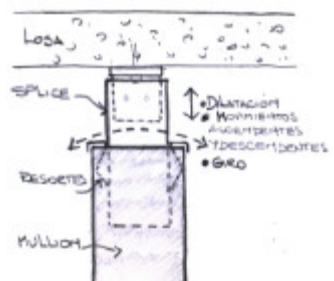
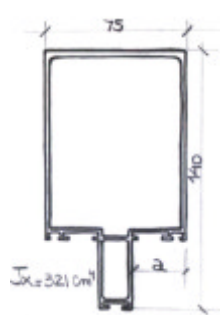
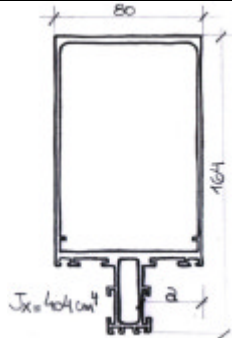
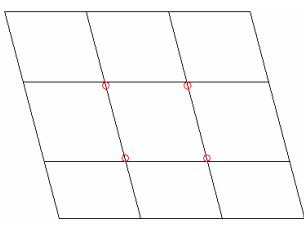
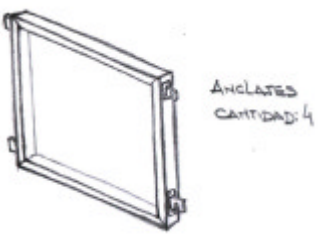
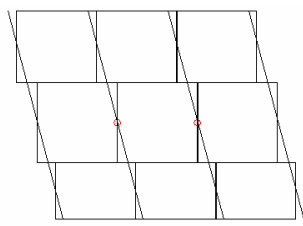
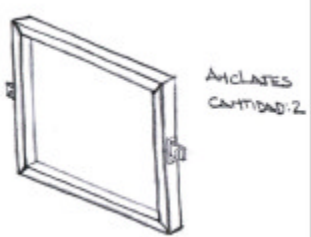


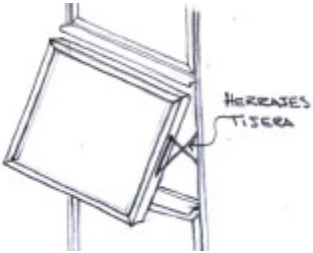
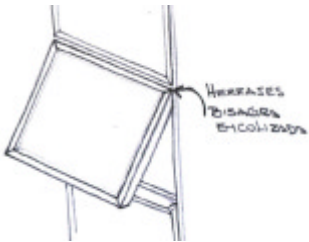
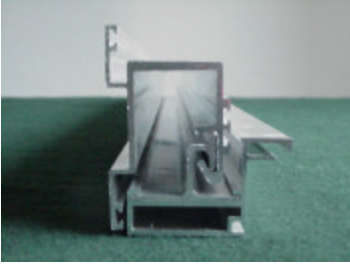
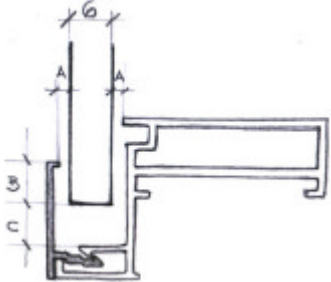
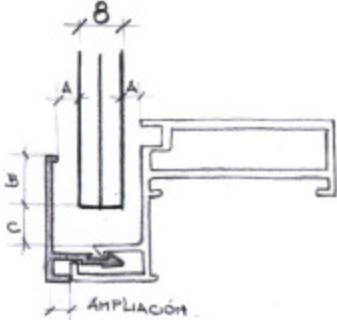
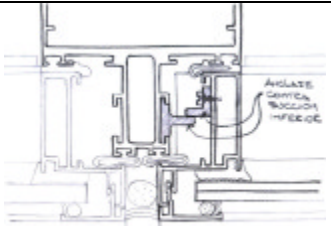
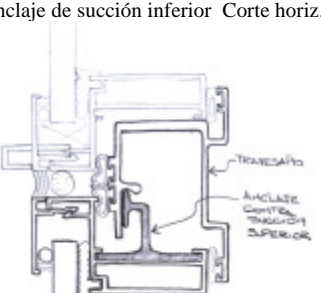
Esquema estructural en posición de descanso

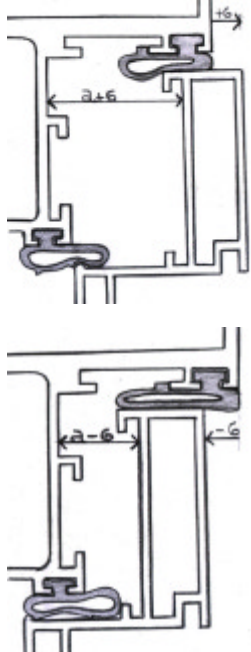
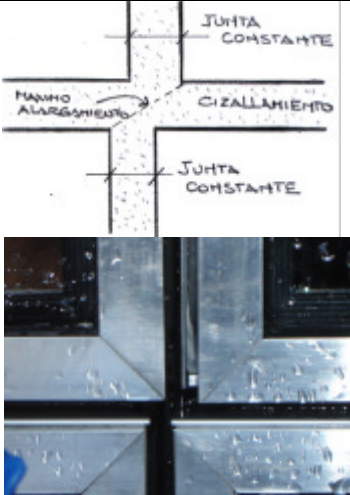
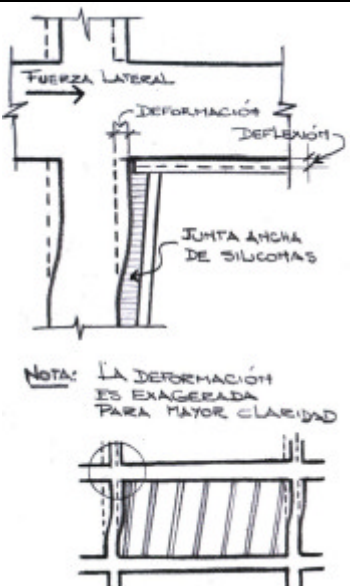


Esquema estructural en posición sísmica

Modificaciones y soluciones adoptadas para los distintos componentes

	SISTEMA PIEL DE VIDRIO	SISTEMA C. C. SAN JUAN	MOTIVO DEL CAMBIO
ANCLAJES INFERIORES			Permitir el giro de los mullions para acompañar el movimiento de la estructura principal en situación sísmica.
ANCLAJES SUPERIORES			Absorber movimientos de dilatación del elemento estructural y el giro lateral para acompañar el movimiento de la estructura principal en situación sísmica. Se logró con un splice que deja un huelgo importante en los laterales del mullion y se mantiene en posición por medio de resortes.
MULLIONS			Se diseñó una nueva matriz para alcanzar la inercia requerida por el elemento de acuerdo a la luz entre apoyos, su separación respecto al elemento vecino, y la presión de viento a la que estará expuesta la fachada. Se aumentó la distancia "a" para permitir el movimiento entre marcos vidriados y mullion.
PAÑOS FIJOS	 <p>Comportamiento de paños vidriados fijados en 4 puntos</p> 	 <p>Comportamiento de paños vidriados fijados en 2 puntos</p> 	La fijación en 2 puntos permite que los paños acompañen a la estructura sin deformarse. Al fijarlos a la mitad de su altura, las distancias entre elementos (mullions - marcos) pueden acortarse al máximo. La fila de paños superior se desplaza lateralmente respecto a la fila de paños inferior, provocando un cizallamiento en las juntas, pero permitiendo que los paños conserven su forma rectangular, y no se choquen unos con otros. Se diseñó una nueva pieza de anclaje, para que entre 2, soportaran el peso de la hoja. Los perfiles de marco utilizados corresponden al sistema existente, para no impactar en el plan de trabajos.

VENTANAS	SISTEMA PIEL DE VIDRIO	SISTEMA C. C. SAN JUAN	MOTIVO DEL CAMBIO
		 	<p>Diseñamos 2 nuevas matrices que se adaptan a los perfiles de marcos vidriados: un travesaño y una bisagra especiales, para que las ventanas en lugar de tomarse con tijeras a los mullions, lleven una bisagra encolizada a lo largo del dintel. Este sistema es más seguro que el de tijeras ya que la ventana a pesar de los movimientos sísmicos siempre quedará colgada a los travesaños. En los herrajes tipo tijera no confiamos, pues podrían fallar las fijaciones como producto de las continuas tensiones provocadas con el acercamiento y alejamiento entre las hojas y mullions. Los perfiles de marco utilizados corresponden al sistema existente y son los mismos utilizados en paños fijos.</p>
CONTRA VIDRIOS			<p>Se diseñó un contravidrio especial para permitir los correctos huelgos entre vidrio y aluminio, debido a que el marco y contravidrio originales estaban diseñados para alojar vidrios de hasta 6 mm de espesor, y el vidrio seleccionado (laminado crudo de espesor 4+4) totalizará 8 mm.</p> <p>La elección de estos vidrios se debe a que, en caso de romperse, lo hacen en forma segura. Al estar ambos vidrios adheridos con una lámina de polivinil de butiral (vidrio laminado), los trozos quedan adheridos a la lámina, y como el patrón de rotura de un vidrio crudo es en trozos de gran tamaño, este quedará sujeto al marco sin desprenderse.</p>
ANCLAJES CONTRA SUCCIÓN		 Anclaje de succión inferior Corte horiz.  Anclaje de succión superior Corte vert.	<p>Aparece un nuevo elemento que no es propio del sistema "Piel de vidrio".</p> <p>En los paños fijos cuya altura es mayor a un metro, se recurrió a la utilización de anclajes de succión. Pues para el ancho y presión de viento que tenemos, la inercia de los perfiles de hoja verifica para paños de altura menor a un metro. Para evitar que los paños se deformen frente a solicitaciones de succión provocadas por el viento, se diseñaron anclajes que restringen el movimiento de paños hacia el exterior, pero permiten el movimiento lateral necesario en el momento de un sismo.</p>

	SISTEMA PIEL DE VIDRIO	SISTEMA C. C. SAN JUAN	MOTIVO DEL CAMBIO
BURLETES			<p>Se diseñaron burletes especiales para asegurar que no se deslacen aún con los desplazamientos ocurridos entre piezas de aluminio durante un sismo.</p>
JUNTAS Y SELLADORES		 <p>Prototipo ensayado. Cizallamiento producido en posición sísmica.</p>	<p>El dimensionado de juntas responde al análisis de tolerancias y movimientos esperados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tolerancias de fabricación • Tolerancias de montaje • Dilatación térmica del aluminio • Movimiento sísmico <p>Y a la capacidad del sellador para elongarse y comprimirse. Se utilizó sellador de silicona neutra de medio módulo (50% compresión, 50% tracción), para obturar: juntas entre marcos de paños fijos, exterior de paños vidriados, juntas de interfase.</p>
INTERFASES			<p>Fueron objeto de un cuidadoso estudio y trabajo interdisciplinario con el estructuralista.</p> <p>El máximo corrimiento de la columna de hormigón respecto a la diagonal generada por los mullions durante un terremoto, es de 10mm. Las interfases entre fachada y estructura de hormigón fueron diseñadas de manera tal que pudieran absorber estos movimientos eventuales, y las tolerancias de la estructura de hormigón. De esta manera todos los cerramientos de una misma tipología, conservan medidas idénticas.</p>

Ensayos efectuados en el Instituto de Investigaciones antisísmicas

En el Laboratorio de Ensayos – Instituto de Investigaciones Antisísmicas “Ing. Aldo Bruschi” Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de San Juan - se realizaron 2 pruebas sobre un prototipo de fachada con las siguientes características:

Sistema de cerramiento compuesto por 8 paños fijos y 1 ventana de proyección al exterior, montados sobre un vano de estructura metálica que simula el de hormigón armado existente en obra. Acristalado con vidrio laminado 3+3 en las dos hileras superiores, y monolítico float incoloro de 4mm en la fila inferior. (En una etapa posterior al ensayo se decidió utilizar vidrios laminados 4+4). Realizado con perfilera Piel de vidrio.

Dimensiones: 4809 mm de ancho x 3640 mm de alto. Superficie: 17.5 m²

La ventana operable se instaló con un sistema de bisagra superior encolizada.

A los efectos del ensayo no se encontraban instaladas las terminaciones interiores.

La perfilera utilizada en el prototipo es la misma que se utilizará en la obra, excepto aquellas matrices de nuevo diseño, que no estaban extruídas al momento de la prueba. Para reemplazarlas, se utilizaron perfiles similares de varios proveedores, y se fabricaron piezas torneadas especiales para reproducir algunos anclajes.

Objetivos de los ensayos

1. Determinar la resistencia del espécimen a la infiltración de agua y a los efectos de la acción sísmica de manera separada y de manera secuencial.
2. Determinar la amplitud del desplazamiento horizontal de la estructura que será responsable de la caída de vidrios (total o parcialmente)
3. Tener un valor aproximado del coeficiente de seguridad desde el punto de vista Seguridad.

Parámetros de las Pruebas

Infiltración de agua (Según IRAM 11591):

Comprende 5 Fases consecutivas y sin interrupción. Cada fase superada otorga al espécimen una calificación: NORMAL / MEJORADA / REFORZADA / MUY REFORZADA / EXCEPCIONAL.

La prueba se realizó con los siguientes parámetros:

Caudal de agua constante: 35 litros por.minuto (equivale a 2 litros x m² por minuto lo que es aproximadamente igual a 120 mm de lluvia caída en una hora)

Diferencia de presión uniforme estática de aire, a lo largo del espécimen de prueba en fases escalonadas. Cinco escalones que parten en 100 Pa: equivale a un viento de aproximadamente 46 a 48 Km/h; y culmina en 700 Pa: equivale a un viento de aproximadamente 124Km/h.

La calificación máxima alcanzada corresponde a la última fase realizada sin filtraciones de agua.

En cada fase de este ensayo se inspeccionó cuidadosamente buscando puntos de penetración de agua.



Prototipo de cerramiento a ensayar



Rejilla rociadora (caudal)



Ciclón (diferencias de presión)

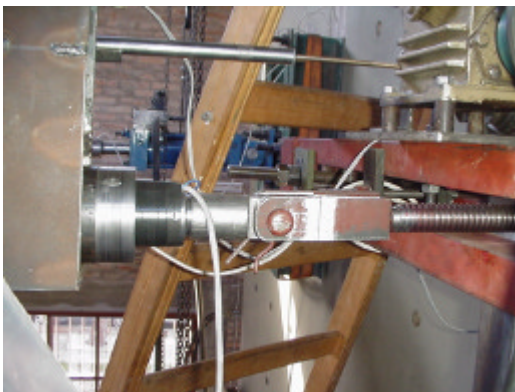
Acción sísmica (Según AAMA 501.4.00):

Por medio de un actuador consistente en un gato hidráulico conectado al elemento horizontal superior (dintel) comandado por un sistema computarizado se reproduce el movimiento horizontal diferencial entre losas esperable en un sismo Grado 7 escala Richter, (+/-30 mm).

La prueba consiste en tres (3) ciclos completos. (Un ciclo se define como un desplazamiento completo en una dirección, vuelta al punto original, desplazamiento completo en la dirección opuesta, y vuelta al punto original).

Se miden los desplazamientos ocurridos entre los componentes del sistema para cada tramo del ciclo.

Luego de realizado este ensayo, se miden las deformaciones permanentes; se verifica que los anclajes no hayan sufrido roturas, alteraciones o desviaciones; que todas las funciones permanezcan intactas sin daños visibles; que no se hayan producido roturas ni caídas de vidrios; y que ningún componente se haya desprendido o caído.



Actuador



Sistema computarizado

Infiltración de agua (Según IRAM 11591):

Se repite el Ensayo de Infiltración de agua con idénticos parámetros a los anteriores

Prueba de caída de cristales (Según Norma AAMA 501.6.01).

Objetivo: determinar el desplazamiento horizontal que causará caída de cristales.

Se desplazará el espécimen en incrementos de un ciclo, empezando por 1,5 veces el desplazamiento de diseño inicial (45 mm) y procediendo en incrementos de 6mm hasta que:

- se produzca caída de vidrios (Fragmento mayor a 650 mm²), o
- se llegue a un desplazamiento de +/- 0.04 por la altura del espécimen (145mm).

Resultado de las Pruebas:

En lo referente a la hermeticidad al agua del prototipo, se observó que este, sin haber sido sometido a la acción sísmica, alcanzó la calificación REFORZADO según IRAM 11507-1. Las filtraciones se produjeron en el escalón de los 500 Pa de presión, equivalente a un viento de 104 Km/h.

Una vez sometido a la acción sísmica, el prototipo disminuyó su capacidad de hermeticidad al agua calificando como MEJORADO (las filtraciones se produjeron en el escalón de 300 Pa de presión, equivalente a un viento de 80 Km/h).

La pérdida de hermeticidad se debe a que algunas de las juntas de sellador se desgarraron producto de la acción sísmica y su dimensionado.

Frente a la acción sísmica de diseño (+/-30 mm) el prototipo se comportó correctamente.

Prueba a la caída de cristales. Habiendo alcanzado un desplazamiento horizontal de +/- 147 mm, superior en un 490% al desplazamiento de diseño, los bordes de los vidrios sufrieron roturas. Si bien el espécimen presentó deformaciones permanentes luego de retirada la carga, cabe destacar que no se produjo caída de vidrios total ni parcial, como tampoco de ningún elemento de fachada, lo que hace que el prototipo haya superado ampliamente las expectativas.

Conclusión

Tal como muestran los ensayos de laboratorio, el rediseño de este sistema de cerramiento a fin de adaptarlo a sollicitaciones sísmicas, ha sido un éxito.

Sin embargo, aunque el esquema estructural adoptado se comportó correctamente tal como se lo había previsto, fue necesario recurrir a múltiples soluciones para el rediseño de piezas, lo que insumió mayores costos de ingeniería por la cantidad de tiempo invertido. Además en algunos casos, no pudo evitarse especificar piezas de difícil resolución en taller, o dificultosa colocación en obra, lo que a largo plazo también se traduce en mayores costos.

Todo esto se hubiera evitado diseñando un sistema antisísmico desde cero, en lugar de recurrir a la adaptación de un sistema existente.

Adaptar un sistema existente, puede parecer al principio el camino más corto a recorrer, pero trae impuesta una serie de condicionantes que limitan la búsqueda de respuestas a los problemas.

Diseñar desde cero un sistema, implica mayor libertad en la propuesta de soluciones.

A la hora de evaluar la disponibilidad del mercado, debemos recordar que la industria argentina está preparada para hacer modificaciones a sus sistemas, y mucho más aún para responder a necesidades de nuevos diseños.