



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“Análisis de Muros Cortina, en la Ciudad de Valdivia”.

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Patrocinante:
Sr. Eduardo Peldoza Andrade.
Ingeniero Civil.

Profesor Copatrocinante
Sr. Carlos Vergara Muñoz.
Ingeniero Civil Mecánico,
Magíster en Economía y Gestión Regional
Doctor en Economía Aplicada.

FELIPE ANDRES MUÑOZ DÍAZ
VALDIVIA – CHILE
2008

Índice General

Páginas

Resumen

Summary

Introducción.

Planteamiento del problema.

Situación actual.

Objetivo.

Metodología.

Capítulo I

1. Descripción general del muro cortina.	7
1.1. Los Muros Cortina desde sus orígenes a la actualidad.	7
1.2. ¿Qué es un Muro Cortina?	9
1.2.1. Definición.	9
1.2.2. Características más importantes.	9
1.2.3. Ventajas y desventajas.	10
1.2.3.1. Ventajas	11
1.2.3.2. Desventajas	11
1.2.4. Elementos que componen un Muro Cortina.	12
1.2.4.1. Elementos resistentes	12
1.2.4.2. Elementos de relleno	12
1.2.4.3. Elementos practicables	13
1.2.4.4. Elementos de fijación	13
1.3. Materiales componentes.	14
1.3.1. El Aluminio.	15
1.3.1.1. Propiedades del aluminio	15
1.3.2. El Vidrio.	16

1.3.2.1.	Tipos de Vidrio.	16
1.3.2.2.	Características mecánicas.	16
1.3.2.3.	Selección del tipo de vidrio adecuado	18
1.3.2.4.	Propiedades ópticas y energéticas del vidrio	19
1.3.3.	La Silicona Estructural.	20
1.3.3.1.	Requisitos técnicos de la silicona estructura	20
1.3.3.2.	Solicitaciones	22
1.3.3.3.	Piezas de seguridad	22
1.4.	Clasificación.	23
1.4.1.	Según su forma o arquitectura.	23
1.4.2.	Según su fabricación o montaje.	24

Capítulo II

2.	Requisitos técnicos que debe cumplir.	26
2.1.	Requisitos estructurales.	26
2.1.1.	Cargas de viento.	27
2.1.2.	Carga sísmica.	29
2.1.2.1.	Disposiciones generales de diseño	30
2.1.2.2.	Parámetros usados en análisis	30
2.1.2.3.	Determinación de las fuerzas sísmicas	31
2.1.2.3.1.	Fuerza sísmica horizontal	31
2.1.2.3.2.	Fuerza sísmica vertical	34
2.1.2.3.3.	Combinaciones de carga	34
2.1.3.	Estanqueidad al agua.	37
2.1.3.1.	Sistema de drenaje interno	37
2.1.3.2.	Tolerancias	37
2.2.	Requisitos de confort.	39
2.2.1.	Comportamiento térmico.	39
2.2.1.1.	Elementos sobrepuestos para el control solar.	39

2.2.1.2.	Solución de doble fachada.	41
2.2.1.3.	Vidrios como elemento de control solar y luminosidad	42
2.2.2.	Comportamiento acústico.	45
2.2.3.	Luz natural y visual.	50
2.2.4.	Ventilación.	50
2.3.	Requisitos de prevención de riesgos.	51
2.3.1.	El fuego.	51
2.3.2.	Descargas eléctricas.	51
2.3.3.	Seguridad de las dependencias.	52
2.4.	Requisitos de uso.	52
2.4.1.	Funcionalidad.	52
2.4.2.	Dilataciones térmicas.	52
2.4.3.	Durabilidad.	54

Capítulo III

3.	Metodología de análisis.	55
3.1.	Cálculo del espesor del vidrio.	56
3.2.	Cálculo de la perfilaría del Muro Cortina.	61
3.2.1.	Mullions o Montantes.	61
3.2.2.	Travesaños.	66
3.3.	Cálculo de silicona estructural.	71

Capítulo IV

4.	Análisis estructural de los muros cortina seleccionado.	76
4.1.	Análisis del Edificio Multimedia 7000.	76
4.1.1.	Descripción del muro.	76
4.1.2.	Análisis de diseño del muro.	77
4.1.2.1.	Determinación del espesor del vidrio	77
4.1.2.2.	Cálculo de los montantes	79

4.1.2.3. Cálculo de travesaños	81
4.1.3. Cumplimientos de otros requisitos.	82
4.2. Análisis del Edificio Telefónica del Sur.	84
4.2.1. Descripción del muro.	84
4.2.2. Análisis de diseño del muro.	85
4.2.2.1. Determinación del espesor del vidrio	85
4.2.2.2. Cálculo de los montantes	87
4.2.2.3. Cálculo de travesaños	88
4.2.2.4. Cálculo silicona estructural	89
4.2.3. Cumplimientos de otros requisitos	91
4.3. Análisis del Edificio de la Corte de Apelaciones de Valdivia.	93
4.3.1. Descripción del muro.	93
4.3.2. Análisis de diseño del muro.	94
4.3.2.1. Determinación del espesor del vidrio	94
4.3.2.2. Cálculo de los montantes	95
4.3.2.3. Cálculo de travesaños	97
4.3.2.4. Cálculo silicona estructural	98
4.3.3. Cumplimientos de otros requisitos	99

Capítulo V

5. Conclusiones	101
Anexos	103
Anexos A	103
Anexos B	112
Anexos C	116
Bibliografía	123

Índice Tablas	Páginas
Tabla N° 1, Tensiones de trabajo para los vidrios	18
Tabla N° 2, Propiedades del vidrio	18
Tabla N° 3, Determinación de K_d	32
Tabla N° 4, Determinación de A_o	33
Tabla N° 5, Valores de a	35
Tabla N° 6, Valores de b	36
Tabla N° 7, Requisitos de estanqueidad	38
Tabla N° 8, Infiltración máxima	38
Tabla N° 9, Clasificación coeficientes de sombra	45
Tabla N° 10, Intensidad de sonidos típicos.	46
Tabla N° 11, Niveles de ruido permisibles por recinto	48
Tabla N° 12, Determinación del coeficiente de forma.	58
Tabla N° 13, Factor de corrección	59
Tabla N° 14, Formulación para el diseño de perfiles montantes.	62
Tabla N° 15, Formulación para el diseño de perfiles travesaño.	67

Índice de Fotografías	Páginas
Fotografía N° 1, Edificio 7000, campus Miraflores	77
Fotografía N° 2, Edificio Telefónica del Sur	85
Fotografía N° 3, Edificio Corte de Apelaciones de Valdivia	93

Índice Figuras	Páginas
Figura N° 1, Diagrama de la radiación solar que incide en un cristal	43
Figura N° 2, Niveles sonoros de distintas actividades.	47
Figura N° 3, Diagrama para determinación del espesor equivalente.	59
Figura N° 4, Diagrama de carga del viento sobre el montante.	62
Figura N° 5, Diagrama de esfuerzo del muro.	64
Figura N° 6, Diagrama de esfuerzo del muro panel.	64
Figura N° 7, Diagrama de carga del montante.	65
Figura N° 8, Diagrama de carga sobre el travesaño.	67
Figura N° 9, diagrama de carga final sobre los calzos y travesaño.	69
Figura N° 10, Distribución de calzos.	69
Figura N° 11, Diagrama de carga gravitatoria que actúa en el anclaje	70
Figura N° 12, Esquema de carga del viento sobre el muro.	71
Figura N° 13, Esquema de partes de un muro cortina	116
Figura N° 14, Elementos del muro cortina	117

Resumen

El muro cortina es una solución constructiva, que debe cumplir con requisitos técnicos. Pero actualmente no existe una normativa que regule especialmente esta solución. Para analizar a los muros, hay que basarse en las normativas vigentes de los elementos componentes y normas extranjeras.

Para el desarrollo del tema se dará una descripción general y específica del sistema constructivo en cuestión, inclusive los materiales componentes. Se acotará el tema en base a las exigencias técnicas que debe cumplir el muro cortina, enfocándose en la metodología de análisis del muro cortina, para análisis a los principales edificios de la ciudad de Valdivia, que posean la fachada acristalada en cuestión.

Según los resultados obtenidos los muros cortina no cumplen con las exigencias técnicas propuestas, lo que nos indica la necesidad de una normativa que regule el diseño de Muros Cortina.

Summary

The curtain wall is a constructive solution, which must expire with technical requirements. At present there is no regulation for this particular solution, though. To analyze to the walls, it is necessary based in the current regulation of the compounding elements is accomplished.

For the development of the topic one will give a general description and the constructive system including materials is specified. The topic will be fitted according the technical requirements for a curtain wall, focused on the analysis method of a curtain wall, for analysis of the main buildings with glass front at the city of Valdivia.

According to the obtained results the curtain walls do not expire with the technical proposed requirements, which indicates us the need of a regulation that should regulate the design of Curtain Walls.

Introducción.

Cuando hablamos de una fachada integral liviana, nos referimos a unas de las soluciones constructivas más atractivas de la arquitectura moderna, conocidas como muro cortina.

Con el muro cortina se generaliza el espacio acristalado y se transforma en modo radical la relación entre el espacio construido y el medio circundante, y es por tanto el artífice de una nueva forma de vida, de un diferente concepto espacial y por supuesto de un nuevo espectro tecnológico e industrial de la construcción. Hoy el muro cortina es un elemento absolutamente abierto al debate y la experimentación.

Por un lado hay muchas y muy diferentes maneras de entender, proyectar y construir las fachadas acristaladas, de resolver la idea de piel-membrana, de concebir su transparencia y reflexión, la relación interior y exterior, el control solar y ambiental o el confort de usuario. Además, la fachada resulta necesariamente inseparable del resto de los elementos del edificio: de su orden estructural, de su concepción energética y del propio concepto espacial.

Planteamiento del problema.

Este sistema constructivo debe cumplir con ciertos requerimientos técnicos, tales como: estructurales, acústicos, térmicos, confort, seguridad, etc. Pero no existe una normalización propia del sistema, sino de los elementos componentes del sistema.

No existe información de cómo se comportan en climas cálidos o fríos, o método alguno de diseño, aunque las empresas dedicadas al rubro tienen sus propios métodos. Y el único texto de autoría nacional al respecto es C.D.T. (2007) “***Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas***”, de la Corporación de Desarrollo Tecnológico en conjunto con empresas del rubro.

Situación Actual.

En la actualidad no existe normativa chilena que regule específicamente al muro cortina, y solo se deben consultar normativas extranjeras como las brasileñas, argentinas, españolas y americanas, o recurrir a referencias bibliográficas de otros países y empresas foráneas.

Objetivo.

- Entregar la mayor cantidad de información posible acerca de los requerimientos técnicos que debe cumplir tanto el diseño como el funcionamiento de un muro cortina, teniendo en consideración que en Chile no existe una normativa oficial al respecto.
- Realizar un estudio de los muros cortina de 3 edificios de la ciudad de Valdivia, tomado en cuenta el análisis estructural (lineal - estático) y verificando otros requisitos, tales como: Estanqueidad, sistema de drenaje interno, propiedades térmicas, comportamiento acústico y requisitos de seguridad.
- En base al objetivo anterior, concluir si los muros cortinas analizados cumplen con tales requisitos.

Metodología.

Se aplicará el análisis convencional lineal y estático, para poder usar este método debemos tener en cuenta las siguientes cargas tales como: presión del viento, peso propio del vidrio, carga sísmica.

Para determinar el espesor del vidrio y las dimensiones de los perfiles de la fachada, se usarán formulas que utilizan las principales empresas de diseño y fabricación de muro cortina. En este análisis, no se considera el efecto del desplazamiento relativo de entrepisos, ni la carga sísmica.

Se recopilará la información necesaria para poder realizar un análisis de las fachadas de los principales edificios de la ciudad, que poseen el muro cortina (*Edificio de la Telefónica del SUR, Edificio de La Corte de Apelaciones de Valdivia y el Edificio 7000 Multimedia de la Universidad Austral*).

Capítulo I

1. Descripción general del muro cortina.

1.1. Los muros cortinas desde sus orígenes a la actualidad¹.

Sus inicios datan del siglo XIX, en el periodo de la arquitectura de hierro, donde gracias a los avances tecnológicos, el vidrio se pudo utilizar como elemento de construcción y a la globalización de los perfiles metálicos. Por este desarrollo aparecieron las primeras fachadas ligeras, transparentes e integralmente dispensadas del sistema estructural del edificio. Las soluciones constructivas y los materiales aplicados en invernaderos se utilizarán en fachadas y cubiertas de estaciones de ferrocarriles, en museos, mercados y galerías comerciales en toda Europa.

Uno de los pioneros en las fachadas acristaladas es el Crystal Palace de Londres en 1851 (edificado por Joseph Paxton), fue una enorme construcción, de bajo costo, muy liviano, con una compleja geometría, con elementos prefabricados (segmentos metálicos y planchas de vidrio) producidos en serie y llevados a la obra listos para ser utilizados, lográndose construir en poco tiempo. Aquí Paxton (constructor de invernaderos) instaura un nuevo diseño arquitectónico donde se valoriza el espacio y la gran iluminación en el interior, casi igual al exterior.

Tras el gran incendio que sufrió Chicago en 1871, se instaura el sistema en América, para lo cual, hubo que desarrollar un sistema de construcción para edificios de gran altura, ligeros, de bajo costo y de rapidez de puesta en obra. El primer edificio de estas características fue el Second Leiter Building de Chicago en 1891, que era completamente construido con pilares fundición, las losas con estructura metálica y fachadas no portantes.

También es importante señalar algunos de los avances técnicos desarrollados en esa época tales como el ascensor, los sistemas de ventilación y el aire acondicionado, en tanto que en las comunicaciones destacan el telégrafo y el teléfono, la electricidad para la luz artificial y los

¹ Ramón Araujo – Xavier Ferrés. 2004. Muro Cortina.

motores eléctricos de ventiladores, refrigeradores, bombas y elevadores, el agua corriente y el inodoro sifónico “WC”.

Es así como comienza todo un movimiento arquitectónico, un movimiento modernista, ya que las innovaciones técnicas para complementos de servicios para los edificios hacían posibles obras pioneras, como lo son la sala de turbinas de AEG en Berlín en 1909, la Faguswerk en Alfeld en 1911 y poco después aparecen los primeros edificios de pisos, como el Bauhaus, el pabellón Suizo y la Cité Refuge de Paris en 1933, y los dos rascacielos en la Friedrichstrasse de Berlín en 1922.

Desde ahí que el vidrio es aplicado a las nuevas tipologías en altura, pero la técnica es muy elemental aún: si las nuevas fachadas ligeras son todavía de fábrica, el muro cortina cuenta con poco más que unas rudimentarias secciones de acero laminado y unos vidrios de prestaciones muy básicas.

En América (EEUU) el desarrollo de edificios en alturas destinados a oficinas, permiten la aparición de los primeros rascacielos (New York entre 1948 - 1958) con muro cortina continuo y exterior a la estructura, contruidos con el sistema montante o mullions y travesaño, con aire acondicionado, vidrios tintados (polarizados), etc; los cuales dejan a la vista soluciones impresionantes debido a su creatividad y nivel tecnológico.

Esta fórmula se reparte desde New York al resto del mundo, y con ella el muro cortina, que comienza una evolución técnica imparable, incorporando nuevos materiales y tecnologías muchas veces nacidas en otras ramas, como la automotriz o la aeronáutica; nuevas composiciones del vidrio (de control solar y los vidrios dobles), una amplísima gama de productos poliméricos (gomas, plásticos y adhesivos) y sobre todo los perfiles de aluminio, que permitieron alivianar el peso y ajustar con mejor precisión los accesorios y mecanismos de ventanas.

Desde este punto que se produce toda una evolución de cada uno de sus materiales componentes, destacando el aluminio y el vidrio, lográndose así un sistema de montantes y travesaños,

formando mallas modulares y prefabricadas, con perfiles de compleja geometría, basadas en sistemas de acoplamiento entre perfiles para rigidizar, ensamblar, escuadrar y además de incorporar canales de drenaje, gomas y accesorios. Para aumentar la velocidad de construcción, se desarrollan paneles premontados en taller, lo cual reduce la mano de obra en la instalación².

1.2. ¿Qué es un muro cortina?

1.2.1. Definición.

Un muro Cortina es una estructura compuesta principalmente por cristal, silicona y aluminio, que envuelve a una edificación para protegerlo, tal como la piel en el ser humano, teniendo como funciones filtrar las acciones de los elementos atmosféricos y controlar en ambos sentidos el flujo de calor, luz, aire y sonido, y limitando otros agentes que pudieran amenazar la edificación.³

Otra definición; El muro cortina es una fachada integral liviana consistente en una estructura metálica portante en la cual se insertan los paños vidriados o placas opacas que, conjuntamente, logran cerrar exteriormente un edificio.

En Chile, los muros cortinas, principalmente, se diseñan y montan con sistemas portantes de aluminio anodizado, los cuales se fijan al edificio por medio de anclajes y apoyos de acero o de aluminios especiales. Estas fachadas fijadas a la estructura resistente del edificio no forman parte de la misma, es decir, no contribuyen a aumentar la resistencia de la estructura sino que gravitan sobre ella.⁴

² HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

³ Ing. Adolfo Gálvez Villacorta, MSc. - Ing. Walter Sheen Paoli. 2007. Análisis y diseño de Muros cortina.

⁴ Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas.

1.2.2. Características más importantes.

De acuerdo al texto del C.D.T. (2007) “Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas”, las características que posee este sistema constructivo son:

- **Liviandad:** En general no superan los 100 kg/m² y no sobrecargan a la estructura principal de hormigón, colaborando a reducir el peso propio del edificio.
- **Rapidez de ejecución:** La fachada liviana es como un gran mecano, lo que posibilita que una obra sea ejecutada más rápidamente que una obra tradicional, ya que estas son prearmables en la fábrica e instaladas en obra.
- **Concepto de envoltente:** El curvado de perfiles y cristales, la incorporación de techos y cubiertas vidriadas permiten crear una envoltente única y con esto una imagen para el edificio.
- **Concepto modular:** Conceptos como modulo, prefabricación e industrialización son fundamentales en estos sistemas. Las tolerancias de los componentes deben ser consideradas para no incurrir en errores que encarecen la obra con paños de ajustes y soluciones especiales que además, en algunos casos, le restan valor estético al edificio.
- **Multiplicidad de diseño:** Existen diversos diseños, tanto en los entramados de la estructura del muro cortina, como así en los cristales a utilizar.
- La implementación de un muro cortina, ya sea en la remodelación de la fachada de un edificio o de una nueva estructura, transforma en forma radical el entorno que lo rodea.

1.2.3. Ventajas y desventajas del sistema⁵.

En comparación de este sistema de fachada con otros sistemas tradicionales se puede diferenciar lo siguiente:

⁵ Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas. - HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico. - Construmática. Fachadas Ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

1.2.3.1. Ventajas

- Mejor control del aislamiento térmico.
- Ganancias de energía solar en invierno con la posibilidad de reducir las cargas de calefacción.
- Ahorro energético en climatización y refrigeración.
- Posibilidad de incorporación de elementos generadores de sombra.
- Posibilidad de aumentar su durabilidad.
- Permite ventilación natural en los edificios de altura.
- Control de aislamiento acústico.
- Mayor confort interior.
- Control de iluminación interior.
- Participación y contacto de las vistas del exterior.
- Reducción de uso de iluminación artificial. El aumento de luminosidad natural puede aumentar hasta un 90%.
- Rapidez de ejecución.

1.2.3.2. Desventajas

- La alta complejidad técnica para soluciones particulares requiere mayor información desde el fiscalizador hasta el constructor.
- Todas las fachadas son prototipos pero deben ser controladas con métodos estándar.
- Riesgo de sobrecalentamiento especialmente en verano por falla del sistema o mal uso.
- Requieren mantenimiento especializado durante su vida útil.
- Riesgo de puentes acústicos en vertical y en horizontal (por montantes).
- Riesgo de condensación de las pieles exteriores.
- Necesidad de medidas adicionales de protección al fuego y al humo.
- Mayor plazo de estudios y ensayos para una correcta utilización.
- No existen soluciones estandarizadas debido a la gran cantidad de variables.

- Las propiedades térmicas, pueden variar de acuerdo a la zona climática donde se aplique la solución constructiva.

1.2.4. Elementos que componen un muro cortina.

A continuación se describen las partes de un muro cortina, primero la parte resistente de la estructura, para luego hablar sobre los elementos de rellenos, elementos de los elementos de fijación.

1.2.4.1. Elementos resistentes⁶

- **Parrilla metálica:** Los elementos utilizados son generalmente secciones rectangulares (pueden ser de acero o de aluminio). Se componen por montantes y travesaños.
- **Montantes (Mullions):** son los elementos verticales fijados a los anclajes, que los unen a la estructura del edificio. Los montantes están destinados a soportar su propio peso y el de las acciones de los elementos que se fijan a ellos, así como la carga del viento que incide sobre la fachada ligera.
- **Travesaños:** son los elementos horizontales, que generalmente van anclados a los montantes, y dimensionados de tal forma que puedan aguantar la carga de los elementos de relleno que gravitan sobre ellos.

1.2.4.2. Elementos de relleno⁷

En una fachada ligera, las superficies de los entrepaños son finalmente rellenas con dos elementos básicos: el vidrio y el panel opaco.

- **Paneles de Vidrio:** existe una gran variedad de vidrios, y con distintas propiedades físicas. Prefiriéndose mayormente las propiedades de resistencia, térmica y acústica.

⁶ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

⁷ Juan Company Salvador. 2000. Carpintería de Aluminio.

- **Paneles opacos:** se destinan a las zonas sin visión, como los antepechos, los cantos de losas y vigas.

1.2.4.3. Elementos practicables

Se entiende por elemento practicable a cualquier tipo de apertura al exterior, que permita crear en la fachada un hueco temporal para conseguir la ventilación del edificio, el mantenimiento de la fachada, etc. Asimismo estos elementos practicables también pueden contribuir a la seguridad en el caso de evacuación de humos y en el caso de acceso de emergencia (bomberos).⁸

1.2.4.4. Elementos de fijación

La misión de estos elementos es inmovilizar entre sí el resto de los elementos que forman la fachada y al mismo tiempo unirla a los elementos resistentes de la estructura general del edificio.

Se distinguen dos tipos de fijaciones:

- **Anclajes** (de la fachada ligera al edificio): los anclajes son los elementos constructivos que conectan la fachada ligera con la estructura portante del edificio y a través de los cuáles se transmitirán las correspondientes cargas. Los anclajes deben ser deslizantes en alguna de sus tres direcciones espaciales, habitualmente aquella que coincide con la mayor dimensión del perfil para así absorber las posibles dilataciones. En el mercado existen diferentes tipos de anclajes, dependiendo del tipo de estructura principal de la cuál cuelga el muro cortina. Una vez se han realizado las regulaciones necesarias para alinear en el espacio el elemento portante principal de la fachada ligera, éste se debe fijar a la estructura del edificio mediante un sistema de anclaje que lo inmovilice y garantice la transmisión de las cargas. Para efectuar simultáneamente la correspondiente regulación en el espacio y al mismo tiempo garantizar la transmisión de cargas, el elemento de anclaje debe estar bien diseñado. Cada fabricante tiene sus propios diseños y normalmente están

⁸ Juan Company Salvador. 2000. Carpintería de aluminio.

realizados en acero o bien en aluminio. Otro problema fundamental de los anclajes reside en su durabilidad. En el contacto directo acero-aluminio se puede provocar un fenómeno de corrosión por acción del par-galvánico. Por ello se recomienda colocar entre las dos piezas un producto de continuidad que los aíse eléctricamente. Pero por otra parte, los tornillos que se utilizan son habitualmente de acero por lo que el contacto resulta inevitable.⁹

- **Uniones** (de los elementos de la fachada ligera entre sí): las uniones también pueden ser fijas o deslizantes según si permiten un cierto grado de movimiento entre los elementos unidos. Las uniones fijas se utilizan normalmente para anclar los travesaños a los montantes. La única excepción a esta regla son las uniones deslizantes para anclar los travesaños a los montantes en los módulos próximos a las juntas de dilatación de la fachada o al edificio. Según se trate de muros cortina o fachadas panel, la aplicación de cada uno de los dos tipos de unión es distinta: En los muros cortina se utiliza un anclaje fijo, bien en el forjado superior o en el inferior, y una unión deslizante en el extremo opuesto. En las fachadas panel se utilizan indistintamente anclajes fijos o deslizantes, combinándolos alternativamente, es decir, si se coloca fijo en el forjado superior, debe ser deslizante en el inferior o viceversa.¹⁰

1.3. Materiales componentes.

Los materiales componentes de la estructura se describirán sus principales propiedades y sus características más importantes; que contribuyen al diseño y funcionamiento del muro cortina.

⁹ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

¹⁰ Construcción. Fachadas Ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

1.3.1. El aluminio¹¹.

Este es el principal metal que destaca en un muro cortina, ya que es muy liviano y muy dúctil. Su proceso de elaboración es muy complejo, ya que se requieren 2 toneladas de alúmina, y a su vez se requieren 5 toneladas de bauxita para poder producir una tonelada de aluminio.

1.3.1.1. Propiedades básicas del aluminio:

- Es un metal liviano, en comparación con el acero el aluminio pesa la tercera parte de este.
- El aluminio puro tiene propiedades mecánicas limitadas, pero sus aleaciones le permiten alcanzar valores adecuados para el uso en la construcción.
- Es resistente a los agentes atmosféricos. El aluminio y la mayor parte de sus aleaciones no se corroe. En el caso de hacerlo es en pequeña cantidad puesto que en su proceso de oxidación se autoprotege por medio de una capa o lámina estable de alúmina que se forma fruto de la oxidación.
- El aluminio presenta buena plasticidad y formabilidad. No sólo puede ser sometido a variados tipos de transformaciones plásticas, como por ejemplo el plegado, sino que también pueden elaborarse en diferentes tipos de fundición, extrusión, laminado, etc.
- Tiene una buena conductividad térmica.

En el caso de las fachadas ligeras, y en general en el campo de la construcción, sólo se utiliza la serie 6000 y más concretamente la aleación 6063 por reunir los requisitos adecuados tanto por sus propiedades mecánicas como por sus posibilidades en acabados superficiales desde un punto de vista estético. También se utiliza, aunque en menor medida, la aleación 6060.

¹¹ Indalum. 2006. Catálogo.

1.3.2. El vidrio¹²

El Vidrio es una disolución sólida de varios silicatos de sodio, calcio, plomo, etc. obtenidos por fusión a elevada temperatura. Una vez enfriada la masa adquiere el estado amorfo, es dura, transparente o traslúcida, frágil y resistente mecánica y químicamente.

1.3.2.1. Tipos de vidrio¹³:

- Vidrio Armado
- Vidrio Coloreado en Masa
- Vidrio Doble o Vidrio con Cámara
- Vidrio Impreso
- Vidrio Laminar
- Vidrio Moldeado
- Vidrio Plano
- Vidrio Prensado
- Vidrio Serigrafiado
- Vidrio Templado
- Vidrio Termoendurecido
- U Glass

1.3.2.2. Características Mecánicas¹⁴

Una plancha de vidrio insertada en una Fachada Ligera puede estar sometida a esfuerzos mecánicos de diferentes tipos: axiales, torsiones, impactos y penetraciones.

¹² Lirquen. 2007. Catálogo de productos.

¹³ Construmática, “Enciclopedia de la construcción Construpedia”

¹⁴ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

La resistencia real de cada luna de Vidrio presenta una gran dispersión de resultados respecto la resistencia teórica debido a la importancia de los defectos microscópicos del material.

Los ensayos estadísticos proporcionan sin embargo los siguientes resultados orientativos:

- **Resistencia a compresión**

La rotura del vidrio a compresión es prácticamente imposible ya que su resistencia es muy elevada (10.000 Kgf / cm²).

- **Resistencia a tracción**

Los tratamientos térmicos posteriores del vidrio inciden notablemente sobre esta propiedad: -

Vidrio recocido: 400 Kgf /cm² - Vidrio templado: 1.000 Kgf /cm²

- **Resistencia a flexión**

En este caso se tiene una cara sometida a tensiones de tracción y la otra a tensiones de compresión. La resistencia a rotura será la de la resistencia menor, que es la de tracción: - Vidrio recocido sin defectos visibles: 400 Kgf /cm² - Vidrio templado: 1.000 d Kgf /cm²

- **Tensiones de trabajo admisibles según la posición de la luna y el tipo de luna**

Las tensiones de trabajo admisibles se expresan en Kgf /cm²

Tabla N° 1, Tensiones de trabajo para los vidrios.

	Posición vertical	Posición inclinada	Posición horizontal	Posición horizontal
	Vidrio no sometido a tensiones permanentes	Vidrio sometido parcialmente a tensiones permanentes	Vidrio sometido a tensiones permanentes (Ambiente no húmedo)	Vidrio sometido a tensiones permanentes (Ambiente húmedo-Piscinas)
Recocido	200	150	100	60
Templado	500	375	250	250
Semi-templado	350	260	175	175
Templado-Serigrafiado	350	260	175	-
Laminado	200	150	100	100
Colado recocido	180	135	90	90
Colado templado	400	300	200	200
Armado	160	120	80	-

Fuente: HYDRO 2005

Tabla N° 2, propiedades del vidrio.

Características	Símbolo	Valor numérico y unidad
Densidad (a 18°C)	ρ	2500 daN/m ³
Dureza		6 unidades (escala de Mohr)
Módulo de Young	E	6,6x10 ⁸ daN/cm ²
Índice de Poisson	μ	0.2
Calor específico	c	0.72 x10 ³ J/(kg.K)
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 y 300°C	α	9x10-6 K ⁻¹

Fuente: HYDRO 2005

1.3.2.3. Selección del tipo de Vidrio Adecuado¹⁵

El proyectista debe considerar los siguientes aspectos:

- **Dimensiones:** Máxima y mínima posible. Cálculo de espesores del acristalado según teoría de placas de Timoshenko.
- **Aspecto:** Reflexión luminosa. Color e intensidad en reflexión; vidrios parasoles, vidrios de capa superficial y vidrios serigrafiados.

¹⁵ Construmática. Vidrio en fachadas ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia

- **Illuminación:** Transmisión luminosa. Color e intensidad en transmisión. Parasoles, Vidrios de capa superficial y Vidrios Serigrafiados.
- **Seguridad:** Protección de personas y bienes. Vidrios Laminados y Vidrios Templados.
- **Confort:** Temperatura de la cara interior (control de condensaciones); Vidrio con Cámara y Vidrios de Baja Emisividad. Atenuación acústica y protección ultravioleta: Vidrios Laminados.
- **Ahorro Energético:** Factor solar. Vidrios Parasoles, Vidrios de Capa Superficial y Vidrios Serigrafiados. Coeficiente de transmisión térmica: Vidrios con Cámara y Vidrios de Baja Emisividad.

1.3.2.4. Propiedades Ópticas y Energéticas del Vidrio¹⁶

Un Vidrio se aprecia por su máxima transparencia, aunque en ningún caso ésta llega a ser total. Parte de la energía es reflejada y parte absorbida por el propio acristalamiento. Es necesario por tanto a la hora de cualificar un Vidrio conocer los siguientes parámetros:

- **Factor de transmisión luminosa:** cociente entre el flujo de radiación visible transmitida al atravesar el **Vidrio** y la radiación visible incidente.
- **Factor de reflexión luminosa:** cociente entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente sobre el vidrio medido para una incidencia luminosa casi normal al plano del Vidrio.
- **Transmisión de energía directa:** porcentaje de la energía solar que atraviesa el Vidrio en relación con la energía solar incidente.

¹⁶ Construmática. Vidrio en fachadas ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

- **Absorción energética:** parte del flujo de la energía solar incidente que resulta absorbida por el Vidrio.
- **Factor de transmisión total de la energía solar o Factor Solar:** cociente entre la energía total que pasa a través de un acristalamiento y la energía solar incidente.
- **Coefficiente de transmisión térmica:** parámetro que determina si es o no un buen aislante (un valor pequeño indica que es buen aislante térmico). Dicho coeficiente depende de las características intrínsecas del material, de su espesor, de la existencia de cámara de aire, así como del tratamiento superficial del vidrio. La simbología que utiliza el Código Técnico de la Edificación es UH,V y en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) se expresa en W/m²K.

1.3.3. Silicona Estructural.

La silicona es un polímero inodoro e incoloro hecho principalmente de silicio. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, como lubricantes, adhesivos, impermeabilizantes, y en aplicaciones médicas, como prótesis valvulares cardíacas e implantes de mamas.

1.3.3.1. Requisitos técnicos de la silicona estructural.¹⁷

El sellado estructural debe ser ensayado para resistir las sollicitaciones físicas y químicas (agua, radiación solar, temperatura, polución atmosférica, agentes de limpieza).

- Fallo de adhesión. Se considera que hay fallo de adhesión cuando la extensión de la fractura supera el 10% de la superficie de soporte.

¹⁷ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

- Cambio de volumen. No debe sobrepasar un 10%.
- Recuperación elástica. Como mínimo debe ser un 85%.
- Resistencia al desgarre. No puede ser peor que la resistencia al desgarre inicial.
- Tensión de tracción y módulo de elasticidad. El valor característico de la tensión de tracción $R_{t,5}$ a 23°C no puede ser inferior a 0,5 MPa. El valor característico de la tensión de tracción a 80°C y a -20°C no puede ser inferior al 70% del valor característico de la tensión de tracción a 23°C. El módulo de Young E_0 no excederá de 3 MPa a 80°C, 23°C y -20°C.
- Deformación a cizalladura. La deformación máxima en servicio es de un 15%.
- Carga mecánica cíclica. El valor medio de la tensión de tracción de las muestras tensionadas alternativamente no puede ser inferior al 70% del valor medio de la tensión de tracción.
- Radiación solar e inmersión en el agua. Después del ensayo, el valor de la tensión de tracción debe ser superior al 70% del valor de la tracción de tensión media.
- Niebla salina. Después del ensayo, el valor de la tensión de tracción debe ser superior al 70% del valor de la tracción de tensión media.
- Atmósfera de SO₂. Después del ensayo, el valor de la tensión de tracción debe ser superior al 70% del valor de la tracción de tensión media.
- Agentes de limpieza. Después del ensayo, el valor de la tensión de tracción debe ser superior al 70% del valor de la tracción de tensión media.
- Alta temperatura. Después del ensayo, el valor de la tensión de tracción debe ser superior al 70% del valor de la tracción de tensión media.

- Compatibilidad con materiales adyacentes u otros sellantes. No debe producirse decoloración alguna (cambio de aspecto). El valor de la tensión media puede verse afectada por la presencia del otro objeto.
- Formación de burbujas. No se admite la presencia de burbujas.

1.3.3.2. Solicitaciones

El acristalamiento de silicona estructural debe resistir con garantía suficiente todas las sollicitaciones a las que está sometido. Para ello se debe realizar un cálculo numérico de comprobación de su dimensionado tal como indica la normativa vigente: en primer lugar se determinan las cargas a las que será sometido y posteriormente se procede a su dimensionado.

1.3.3.3. Piezas de seguridad

En el mercado español existe un vacío legal en cuanto a la necesidad de colocar unas piezas adicionales de seguridad pasiva para este sistema de fijación del vidrio. La garantía de durabilidad mínima de producto en servicio que ofrecen los principales fabricantes de silicona estructural es de 10 años y se refiere a la adherencia de su producto al acristalamiento. Estas piezas deben mantener sujeto mecánicamente el vidrio a la perfilería sólo en caso de desprendimiento accidental del vidrio, pero al mismo tiempo deben permanecer ocultas una vez colocadas. En países europeos, como por ejemplo Francia y Alemania, la utilización de estas piezas de seguridad ya es obligatoria. Ello permite que al desaparecer con el tiempo la adherencia de la silicona estructural, la luna no caiga sino que se mantenga en su posición hasta la reposición del cordón de silicona estructural.¹⁸

¹⁸ Construmática. Silicona estructural. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

1.4. Clasificación.

En base a los materiales anteriormente señalados, se puede obtener una gran variedad de combinaciones posibles de fachadas (según su forma estructural). De las cuales podemos apreciar dos formas de clasificación, las cuales se detallarán a continuación.

1.4.1. Según su arquitectura.¹⁹

La fachada ligera es una tecnología muy flexible y completa que permite al proyectista personalizar su estilo arquitectónico y así expresar de forma concreta su creatividad.

Los principales aspectos arquitectónicos que suelen adoptar las fachadas ligeras son:

- **Trama reticular:** La composición arquitectónica se caracteriza por el predominio simultáneo de las líneas horizontales y verticales gracias a los módulos visualmente muy marcados y a las tapas exteriores, que pueden ser de distintas profundidades o colores. Se pueden obtener ritmos distintos y variados entre sí según la modularidad adoptada y los perfiles concretos elegidos.
- **Trama horizontal:** La utilización predominante de perfiles horizontales, incluso de mayor sección aparente, combinada con unas juntas verticales muy poco marcadas, otorga un mayor protagonismo visual a la horizontalidad. Con ello se consigue también fragmentar la imagen reflejada por el vidrio y dar un aspecto más dinámico al edificio.
- **Trama vertical:** Tiene la misma finalidad que la trama horizontal, pero a diferencia de aquella se resaltan las líneas verticales creando una sensación dominante de esbeltez.
- **Silicona estructural:** En este caso la estructura metálica auxiliar de la fachada ligera permanece totalmente oculta detrás del vidrio puesto que las lunas no se hallan sujetas

¹⁹ Construmática. Vidrio en fachadas ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia. – HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico. - Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de muros cortinas.

mecánicamente entre los perfiles sino pegadas encima de ellos mediante un adhesivo específico: la silicona estructural. De esta forma la fachada adquiere un mayor aspecto de inmaterialidad al predominar las reflexiones que proporciona el vidrio.

- **Vidrio abotonado:** El vidrio adquiere un comportamiento mecánico autoportante y por ello puede ser sujetado solamente de forma puntual (botones) sin necesidad de un recercado total. La sujeción del vidrio a la estructura auxiliar, situada en un plano excéntrico, se realiza mediante una pieza metálica articulada en forma de araña. La estanqueidad del plano de la fachada corresponde en este caso al vidrio y se consigue mediante el sellado a testa de las lunas de vidrio. Estas fachadas crean una sensación de máxima transparencia y luminosidad gracias a este original sistema de sujeción del vidrio.
- **Vidrio enmarcado:** Este tipo de fachadas se caracterizan por formar retículas de acristalados independientes, enmarcadas por un expresivo perfil perimetral, creando así un ritmo repetitivo de estructuras suspendidas.

1.4.2. Según su fabricación o montaje.²⁰

Atendiendo a su proceso de construcción, fabricación y montaje las fachadas ligeras se agrupan en dos grandes procedimientos o sistemas aunque implícitamente también se admite un tercero, constituido por un sistema híbrido entre los dos anteriores:

- **Sistema modular:** este procedimiento de ejecución consiste en fabricar en el taller unos módulos totalmente acabados, es decir, que incorporan los paneles ciegos de la fachada, las ventanas y su correspondiente acristalamiento. Generalmente, la altura de estos módulos coincide con la distancia entre las losas por lo que cada módulo posee su propio anclaje y es constructivamente independiente del resto de módulos.

²⁰ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

- **Sistema convencional:** este procedimiento de ejecución consiste en fabricar en taller los perfiles montantes y travesaños, con sus elementos de fijación y parte de los accesorios. En obra se realiza principalmente el ensamblaje de los perfiles para formar posteriormente la retícula donde se incorpora el acristalamiento, las ventanas y/o los paneles.
- **Sistema semi-modular:** es un sistema híbrido entre los dos anteriores.

Capítulo II

2. Requisitos técnicos que debe cumplir.

Como todo elemento constructivo, el muro cortina de cumplir con la reglamentación técnica impuesta tanto por INN y la ordenanza municipal correspondiente. Estos requisitos técnicos podemos agruparlos en 4 grupos, tales como:

- Requisitos estructurales
- Requisitos de confort
- Requisitos de prevención de riesgos
- Requisitos de uso.

Y los cuales se detallan los elementos puntuales que intervienen o que influyen en el diseño de un muro cortina.²¹

2.1. Requisitos estructurales

Si planeamos acristalar una fachada por sobre las losas, veremos en primer lugar que el vidrio no puede mantener su luz típica sin que la presión del viento ocasione una excesiva deformación por flexión, produciendo pérdida de prestaciones a corto plazo o con la pérdida de estanquidad de sus juntas, incluso con la rotura del propio vidrio. Podemos apoyar el vidrio o suspenderlo pero en ambos casos se requiere reducir al máximo posible la flexión.

Esta deformación se reducirá sensiblemente si el panel de vidrio apoya entre sus cuatro lados reduciendo las luces y actuando como una placa. Una de las soluciones más clásica es la de apoyar el panel de vidrio sobre una estructura de perfiles livianos, capaces de soportar el peso del

²¹ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico. - Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas.

panel y las cargas de viento. Esta estructura descansara sobre las losas a través de un mecanismo capaz de transmitir las cargas tanto horizontales como verticales que actúan sobre él.

Las acciones que puede afectar el comportamiento estructural de un muro cortina son la acción del viento, la nieve, la carga sísmica y la estanquidad. Estas acciones se deben considerar durante todo el proceso diseño del muro cortina, aunque se pueden presentar durante el proceso de fabricación (cuando es en obra) y sellado final.

2.1.1. Cargas de viento.

Este es unos de los efectos naturales más recurrentes que pueden afectar a cualquier elemento constructivo, es por ello que la norma NCH 432 “Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones” es pieza fundamental en el diseño. En los muros cortinas o fachadas ligeras, la acción del viento influye en forma perpendicular a ella. A raíz de esto, los efectos que produce el viento sobre las placas de vidrio son de presión y en las caras opuestas succión.

Por lo general esto determina, el espesor del vidrio y las dimensiones de los elementos de la parrilla, así como las dimensiones de las juntas de la silicona estructural. El viento contribuye además al movimiento relativo de los componentes del muro, afectando principalmente los sellos climáticos y los anclajes.

La determinación de la carga de viento o más bien la presión básica del viento se obtiene según la norma NCH 432:

$$q = \frac{u^2}{16} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Donde u es la velocidad máxima que puede alcanzar el viento, la cual varía de acuerdo la zona geográfica donde este emplazado el edificio. Para considerar las velocidades se recomienda un periodo de retorno de 20 años para edificios de mediana altura, pero para edificios de altura se

recomienda un periodo de retorno de 50 años, basado en normativas internacionales, como lo es la norma española UNE-ENV 1991-2-4 “Eurocódigo estructural”²².

También es importante saber cómo se comporta la presión viento a distintas alturas desde que fue medida, donde tenemos la siguiente ecuación:

$$P_x = P_h \left(\frac{x}{h} \right)^{2\alpha} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Donde:

P_x : es la presión a la altura x .

h : es la altura que se midió la presión P_h .

α : es el coeficiente de rugosidad, a campo abierto se considera 0,16 y en la ciudad 0,28.

Para proyectos de gran envergadura se recomienda realizar estudios de campo, como el ensayo del túnel de viento, debido a que las máximas establecidas en la norma no representan a las velocidades de la actualidad. En el caso que la velocidad del viento nos de por debajo de un 85%, se deberá considerar la velocidad que la norma señale. También es importante señalar que en zonas urbanas donde se produzcan cuellos de botellas o efecto venturi se deberá trabajar con un grado de seguridad alto, para que no se forme una deformación excesiva, disminuyendo las prestaciones al corto plazo o la pérdida de la estanquidad de sus juntas, incluso con la rotura del propio vidrio.

El funcionamiento del vidrio en el muro se considera como una placa, es por ello que hay que considerar las áreas sobre las cuales se ejerce la acción del viento la que se denomina “Superficie de cálculo”.

²² Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de muros cortinas.

Determinación del factor de forma: es la fuerza del viento por unidad de superficie se obtendrá del producto de la presión básica por el factor de forma C . De acuerdo a la norma NCh. 432 para superficies perpendiculares a la dirección del viento el valor de $C = 1,2$ y para superficies perpendiculares a la dirección del viento con altura 5 o más veces el ancho medio, medio perpendicularmente al viento $C = 1,6$. A su vez para superficies inclinadas en un ángulo α con relación a la dirección del viento $C = 1,2 \text{ sen } \alpha$ y superficies inclinadas con altura 5 o más veces el ancho medio, perpendicularmente al viento $C = 1,6 \text{ sen } \alpha$.

Por otro lado en las zonas próximas a las esquinas de las fachadas paralelas a la dirección del viento se producen las máximas cargas de succión, por lo que es necesario elevar la presión del viento en un 50%.

Teniendo en conocimiento esta información, se puede señalar que la forma en que actúan las fuerzas del viento es distribuida rectangular para los muros cortinas que pasan por delante de las losas y para aquellos elementos (Fachada ligera) que van desde losa a losa será de forma distribuida trapezoidal.

2.1.2. Carga sísmica.

Este es uno de los puntos más sensibles, ya que este tipo de fachada no es un elemento estructural, debido a que todas las fuerzas ejercidas sobre ella son transmitidas (a través de los anclajes) en forma directa a la estructura resistente del edificio. Esto produce una simplificación en la problemática del análisis.

Según los textos consultados concuerdan que el diseño sísmico es fundamental en todo tipo de estructuras, además de la simplicidad del problema ya que se puede resolver en forma analítica, aun que otros autores indican que al ser elementos livianos los que conforman los muros cortinas, la fuerza sísmica actúa como presión sobre estos y resulta ser menor que las exigencias o

requerimientos impuesto por las presiones del viento. Aunque el cálculo debe realizarse en forma independiente al Cálculo del edificio, se deben tener presente las disposiciones generales usadas en el diseño sísmico del edificio.

Basado en esta información se utilizarán las fórmulas impuestas por la norma NCh. 433 “Diseño sísmico de edificios”. Dada la naturaleza de cómo se componen las fachadas ligeras es necesario señalar que se deben considerar que la fuerza sísmica actúa en dos sentidos, uno vertical y el otro horizontal.

2.1.2.1. Disposiciones generales de diseño.

- Zona sísmica donde se construirá el edificio. Zona I, II, III.
- Clasificación del edificio según su importancia, uso y riesgo de falla. Categoría A, B, C o D.
- Tipo de suelo de fundación.
- Método usado en el dimensionamiento de elementos estructurales.
- Sistema estructural.
- Modelo estructural del edificio.
- Método de análisis sísmico.

2.1.2.2. Parámetros usados en el análisis.

- Factor de modificación de respuesta “R”.
- Parámetros relativos al tipo de suelo (T' , n , S , T_0 , p).
- Aceleración efectiva (A_0).

- Coeficiente que depende de la categoría del edificio.
- Coeficiente sísmico “c”.
- Resultados principales del análisis: Periodos fundamentales, esfuerzo de corte basal en cada una de las dos direcciones, fuerza sísmica, momentos de torsión.
- Deformaciones máximas absolutas y de entrepiso.
- Periodo de vibración del edificio.

2.1.2.3. Determinación de las fuerzas sísmicas.

La estructura y los anclajes deben ser analizados, para acciones sísmicas independientes en dos direcciones: horizontales perpendiculares y aproximadamente perpendiculares. Los criterios de cálculo descritos son los recomendados por la NCh 433 denominada "Diseño sísmico de edificios".

2.1.2.3.1. Fuerza sísmica horizontal.

El muro cortina se debe diseñar con la siguiente fuerza sísmica horizontal actuando en cualquier dirección:

$$F = Q_p C_p K_d$$

En donde:

Q_p : Esfuerzo de corte que se presenta en la base del elemento secundario de acuerdo con un análisis del edificio en que el elemento se ha incluido en la modelación.

C_p : Coeficiente sísmico para elementos secundarios. (Muros cortina = 2)

K_d : Factor de desempeño asociado al comportamiento sísmico de elementos secundarios.
(Superior, bueno, mínimo)

Los valores del factor K_d dependen de la categoría del edificio.

Tabla N° 3, Determinación de Kd

Categoría del edificio	Muro cortina
A	1,35
B	1
C	0,75

Fuente: C.D.T. 2007

Alternativamente, el diseño se puede realizar con la siguiente fuerza sísmica horizontal actuando en cualquier dirección, para el caso que el peso del elemento secundario sea menor que el 20% del peso sísmico del piso en el que se encuentra ubicado:

$$F = \left(\frac{F_k}{P_k} \right) K_p C_p K_d P_p$$

En donde:

K_p : Factor de amplificación dinámica para el diseño de elementos secundarios.

F_k : Fuerza horizontal aplicada en el nivel K.

P_k : Peso asociado al nivel K.

P_p : Peso total del elemento secundario. Incluyendo la sobrecarga de uso y el contenido cuando corresponda.

En caso de que se use el método de análisis estático no debe utilizarse un valor de F_k/P_k inferior a A_0/g .

Tabla N° 4, determinación de la A_0

Zona Sísmica	A_0
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

Fuente: C.D.T. 2007

El factor de amplificación dinámica K_p se determinara alternativamente mediante uno de los dos procedimientos siguientes:

$$K_p = 2,2$$

$$K_p = 0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (0,3 * \beta)^2}}$$

En que:

$$\beta = 1 \text{ para } 0,8 * T^* \leq T_p \leq 1,1 * T^*$$

$$\beta = 1,25 \left(\frac{T_p}{T^*} \right) \text{ para } T_p < 0,8 * T^*$$

$$\beta = 0,91 \left(\frac{T_p}{T^*} \right) \text{ para } T_p > 1,1 * T^*$$

En donde:

T_p : Periodo de tiempo del modo fundamental de vibración del elemento secundario, incluyendo su sistema de anclaje.

T^* : Periodo del modo con mayor masa trasnacional equivalente del edificio en la dirección que puede entrar en resonancia el elemento secundario.

β : Coeficiente que interviene en la determinación de K_p . Para determinar β no podrá utilizarse un valor de T^* menor que 0,06 s.

2.1.2.3.2. Fuerza sísmica vertical

La fuerza sísmica vertical debe tener una magnitud igual a:

$$0,67 * \left(\frac{A_0 P_p}{g} \right)$$

Donde:

A_0 : Aceleración efectiva máxima del suelo. Depende de la zonificación sísmica.

P_p : Peso total del elemento secundario, incluyendo la sobrecarga de uso y el contenido cuando corresponda.

g : Aceleración de la gravedad.

Debe considerarse hacia arriba o hacia abajo según cual de estas situaciones sea la más desfavorable.

2.1.2.3.3. Combinaciones de carga.

La combinación de solicitaciones sísmicas con las cargas permanentes y los distintos tipos de sobrecargas se debe hacer utilizando reglas de superposición establecidas en la Nch 2369 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”.

Cuando el diseño se haga por el método de tensiones admisibles:

$$CP + a \cdot SC + SO + SA \pm SismoHorizontal \pm SismoVertical$$

$$CP + SA \pm SismoHorizontal \pm SismoVertical$$

Cuando el diseño se haga por el método de cargas ultimas:

$$1,2 \cdot CP + a \cdot SC + SO + SA \pm b \cdot SismoHorizontal \pm b \cdot SismoVertical$$

$$0,9 \cdot CP + SC + SA \pm b \cdot SismoHorizontal \pm 0,3 \cdot SismoVertical$$

Donde:

CP: Carga permanente.

SC: Sobrecarga de uso.

SO: Sobrecarga especial de operación.

SA: Sobrecarga accidental de operación.

a: Factor de reducción de sobrecarga.

Tabla N°5, Valores de “a”

Recinto	a
Bodegas y en general zonas de acopio con baja tasa de rotación	0,50
Zonas de uso normal, plataformas de operación	0,25
Diagonales que soportan cargas verticales	1,00
Pasarelas de mantención y techos	0,00

Fuente: Nch 2369, Tabla N° 3.

b: Factor de mayoración de cargas

Tabla N° 6, Valores de “b”

Tipo de estructura	b
Estructuras o equipos de acero	1,1
Estructuras o equipos de hormigón	1,4

Fuente: Nch 2369, Tabla N° 4.

Las cargas SO y SA se combinan con sismo solo si se verifica alguna de las dos condiciones siguientes:

- La acción SA se deriva de la ocurrencia del sismo.
- La acción SO esta ocurriendo al momento de iniciarse el sismo y no se detiene debido a la presencia de este.

Se debe tener presente que la sollicitación sísmica es una carga eventual que no se debe superponer a otras cargas eventuales.

Por otro lado es necesario verificar específicamente para el caso de los anclajes los esfuerzos de corte y tracción a los que serán sometidos.

Los actuales códigos sísmicos en los países desarrollados definen un requerimiento específico respecto de la capacidad máxima de desplazamiento del panel de cristal en los sistemas de muros cortinas. Dicho requerimiento se define de modo de que el cristal pueda absorber los desplazamientos de los pisos del edificio sin generar un riesgo sobre la seguridad de las personas.

El modo más simple para evitar el daño de los cristales en su interacción con los perfiles del muro cortina (considerando que estos se deforman lateralmente durante los terremotos), es proveer una holgura suficiente entre el borde del panel vidriado y el perfil de aluminio. Otras soluciones empleadas para mejorar la performance sísmica incluyen el uso de cristal templado, cristal laminado y film plástico. Las dos primeras soluciones aplicables en los nuevos diseños, mientras que el film plástico esta reservado para la reparación de cristales existentes.

2.1.3. Estanqueidad²³

Si el comportamiento frente al agua es un aspecto determinante del diseño de cualquier fachada, lo es mucho más en el muro cortina, debido a su reducido espesor característico y a su carácter heterogéneo y discontinuo (gran cantidad de uniones y traslapes en los que además se reúnen diversos materiales).

En los muros cortina se presenta el problema de estanquidad al agua, al vapor y en los drenajes. Aunque los materiales componentes son todos impermeables, el problema radica en las juntas, tanto como las de la estructura (del muro cortina) con el vidrio.

2.1.3.1. Sistema de Drenaje Interno

Consiste en la disposición de conductos para evacuar al exterior el agua infiltrada o condensada en la cara interna del muro cortina. Estos conductos deben tener una sección igual o superior a 50 mm² por cada m² de fachada, deben tener forma ovalada o triangular, esto debido a que con estas formas se asegura de no producir la rotura de la tensión superficial del agua, véase la norma NCh. 888 “Arquitectura y construcción – Ventanas – Requisitos básicos”. Además la ubicación de los drenajes debe estar en la zona inferior de los paños de vidrios para que de esa forma se produzca la evacuación del agua acumulada. Este es el sistema más tradicional que se utiliza en la gran mayoría de puerta y ventanas.

Existen otros métodos más sofisticados como el sistema de ecualización de presiones, en la norma americana AAMA 1/96 “the rain screen principle an pressure-equalized wall design” se describe la forma de aplicación de este sistema.

2.1.3.2. Tolerancias

Se establece que en los paños fijos del muro cortina la infiltración de agua y aire debe ser nula, para los paños con sistema practicables (ventanas) o móviles la norma NCh. 888 “Arquitectura y

²³ Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas.

construcción – Ventanas – Requisitos básicos” establece que deben ser estanca a caudales de agua de $750 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ a las presiones indicadas en la tabla 12.

Tabla N° 7, Requisitos de estanquidad

Tipo	Presión Estática Pa
4e (mínima)	40
15e (normal)	150
30e (especial)	300
50e (reforzada)	500

Fuente: NCh. 888, Tabla N° 12.

También la infiltración de viento a través de las juntas está regulada por la norma NCh. 888, la cual puede ser menor o igual a los que se indican en la tabla 13, para una diferencia de presión entre el exterior y interior de 100 Pa, debiendo cumplirse con el requisito menos exigente.

Tabla N° 8, Infiltración máxima

Tipo	Caudal máximo de aire, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, por superficie de hoja	Caudal máximo de aire, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$, por metro lineal de junta	Presión de prueba, Pa
60a (mínimo)	60	12	100
30a (normal)	30	6	100
10 ^a (especial)	10	2	100
7a (reforzado)	7	1,4	100

Fuente: NCh. 888, Tabla N° 13.

2.2. Requisitos de confort.

2.2.1. Comportamiento térmico.

El muro cortina debe ser considerado como un elemento determinante en el balance energético de un edificio completo. Lo es en cualquier tipo de fachada y lo es más en este caso por el carácter activo derivado de su transparencia. Las ganancias y pérdidas de calor no pueden evaluarse en su valor absoluto, sino en relación a la forma, tamaño, orientación, uso y ubicación geográfica del edificio.

El balance energético de un edificio debe calcularse integrando las ganancias y pérdidas por transmisión y radiación, evaluadas por fachadas y a lo largo del año, de tal forma que se puedan separar las épocas de calefacción y las de refrigeración en las que varía el signo de las aportaciones. Un muro cortina suele requerir un alto aislamiento por conducción (puentes térmicos). Con los primeros diseños, el principal fracaso era el balance energético global, hoy en día gracias a los diferentes tipos de vidrios y composiciones de los vidrios, cámaras de aire, tratamientos de capas de baja emisividad, láminas, etc.²⁴

2.2.1.1. Elementos sobrepuestos para el control solar

El control solar no implica siempre un trabajo de diseño complejo. En algunos casos, los sistemas de pantallas interiores y exteriores permiten entregar una efectiva protección para reducir las ganancias de calor a través de los cristales.

Los elementos de protección deben adaptarse tanto a la latitud del sitio, que define la trayectoria y ángulo solar a lo largo del año, como a la orientación de las fachadas. Estos factores ayudan a definir el tipo de protector más adecuado.

Uno de los elementos que permite limitar el ingreso de energía solar es el quebravsol. Su eficacia es mayor mientras menor calor absorba y mayor sea su área de enfriamiento. Debe tener un diseño adecuado, disponerse de manera horizontal y/o vertical, y ubicarse a una

²⁴ Ramón Araujo – Xavier Ferrés. 2004. Muro Cortina.

distancia mínima de 20 - 30 cm de la fachada. En la actualidad existen diversos diseños, los cuales dependen de la arquitectura del edificio y de las condiciones de asolamiento a las que están sometidas las fachadas.

Por otro lado, existen sistemas de control solar tales como pantallas, cortinas, toldos y películas solares, los cuales protegen de los rayos del sol, pero no siempre impiden que se produzca recalentamiento de los paños vidriados con riesgo de rotura por estrés térmico. A continuación se describe brevemente los sistemas de control mencionados: Pantallas y cortinas interiores: Es la opción más utilizada para el control solar y control del brillo para los recintos interiores, deben disponerse como mínimo a 100 mm del cristal. Pantallas y cortinas exteriores: Instaladas paralelas al plano vertical de la fachada permiten detener la acción directa de los rayos del sol sobre el revestimiento exterior para evitar decoloraciones y desecamiento. Deben estar ubicadas como mínimo a 100 mm de la fachada y ser de colores claros para no calentar el cristal.

- Toldos: Se inclinan directamente sobre una sección de la fachada bloqueando el paso de la luz del sol y reduciendo el calentamiento de los recintos interiores.
- Películas de control solar: Laminas de poliéster que permiten reducir el calor solar, haciendo los ambientes más agradables y permitiendo reducir el uso de aire acondicionado, lo que genera un ahorro en electricidad y mantención,

Si bien los dispositivos externos son aproximadamente un 50% más eficaces que los dispositivos internos para bloquear el calor solar, en algunos casos pueden afectar la estética de la construcción y ser más costosos. Es importante instalar éstas soluciones a una distancia adecuada de la fachada para permitir la circulación del aire, debido a que pueden existir potenciales riesgos de choque térmico. Cuando una zona del cristal está en la sombra y otra expuesta al sol, se presentan fuertes diferencias de temperatura en zonas contiguas de la superficie, la cual provoca el llamado estrés térmico presentando como consecuencia la rotura del cristal. Lo expuesto anteriormente se puede evitar utilizando el proceso de termoendurecido en cristales. Sin

embargo, un tratamiento de bordes y la colocación de silicona estructural permiten evitar el tratamiento térmico en muchas ocasiones.²⁵

2.2.1.2. Solución de doble fachada.

Otro sistema de control solar es la "doble fachada", la cual consiste en la construcción de dos sistemas o "pieles" separadas por un espacio intermedio ventilado.

En general, la fachada exterior es totalmente vidriada y se construye como protección a los agentes climáticos. Se puede utilizar el sistema de sujeción "suspended glass", para otorgar una imagen de transparencia.

El espacio entre fachadas se comunica con el exterior por medio de entradas y salidas de aire. La ventilación puede ser natural, aprovechando el efecto chimenea, o forzada. En este espacio generalmente se pueden alojar dispositivos de control solar fijos o regulables. O utilizar sistemas simples debido a que se encuentran en un ambiente interior. También sirve para alojar otras instalaciones tal como la iluminación de las fachadas.

Por último, la fachada interior tiene las características típicas de una fachada estándar, y puede ser total o parcialmente vidriada. Al estar protegida tiene mayor libertad de elección de acabados y materiales. El interior del edificio puede ser ventilado hacia el espacio intermedio y/o exterior por medio de aberturas comunes o diseñadas especialmente a tal efecto. Los motivos de su uso responden a las siguientes ventajas que presenta:

- Disminución de las ganancias solares en verano (con el consecuente ahorro en refrigeración) al incorporar sistemas de protección solar como persianas (en general móviles) que se encuentran protegidos en el espacio intermedio.

²⁵ Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de muros cortinas.

- Genera un "colchón térmico" en invierno para reducir las pérdidas y contribuir al ahorro energético en calefacción.
- Mejora la iluminación natural reduciéndose la dependencia en la iluminación artificial.
- Mejora las condiciones de confort en la proximidad de la fachada al evitar los efectos de pared fría o pared caliente.
- Mejora las condiciones acústicas del edificio.

2.2.1.3. Vidrios como elemento de control solar y luminosidad

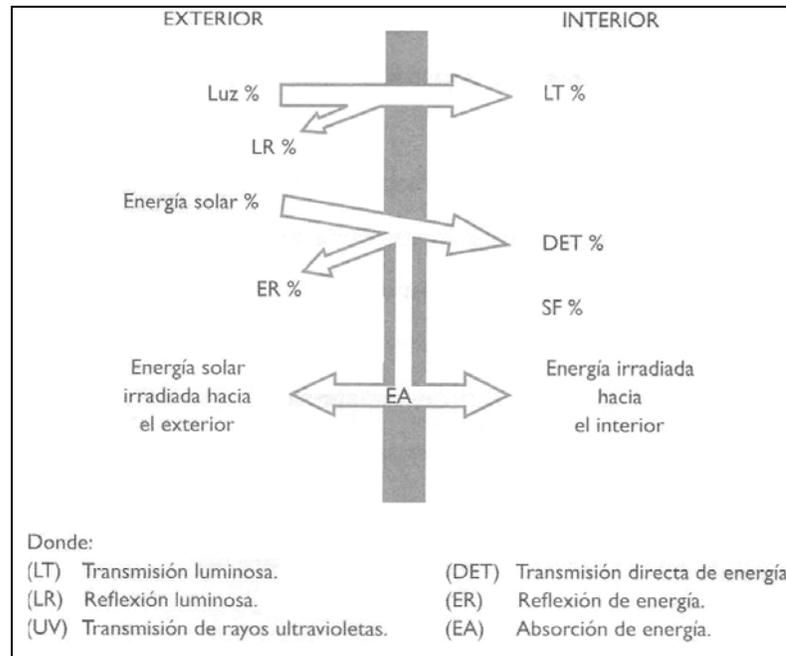
Debido a la importancia que tienen en relación al control solar y a la luminosidad interior, es necesario seleccionar el tipo de cristal reconociendo su comportamiento y analizando el lugar de emplazamiento del edificio con respecto a la topografía, condiciones atmosféricas, construcciones adyacentes y vegetación en general.

De manera general, cuando la radiación solar incide sobre un cristal, una parte de la misma es reflejada hacia el exterior, otra parte pasa directamente hacia el interior y la restante es absorbida por la masa del cristal, de la cual cierto porcentaje es irradiado hacia el exterior y el resto pasa hacia el interior. Dicha transmisión de calor solar varía con el espesor, color y tipo de capa del cristal

Caso similar sucede con la luz visible, donde incidiendo en forma normal, pasa directamente a través del cristal y cierto porcentaje es reflejado hacia el exterior.

Lo anteriormente expuesto se puede observar en el diagrama que se presenta a continuación:

Figura N° 1, Diagrama de la radiación solar que incide en un cristal



Fuente: C.D.T. 2007

Todos los factores mencionados sumados al coeficiente de sombra son necesarios reconocer antes de optar por una u otra solución de cristal.

Se entiende por coeficiente de sombra al calor solar radiante que pasa a través de un cristal hacia el interior deriva de comparar un cristal con uno incoloro de 3 mm.

Con respecto a los cristales monolíticos de color, éstos reducen el paso de la luz visible controlando así la ganancia de calor. Al ser más oscuros, el cristal absorbe más energía, filtra mejor los rayos UV, pero deja pasar menos luz. Si se aumenta el espesor, se puede aumentar la capacidad de absorción y mejorará el factor solar del cristal, sin embargo se disminuye la iluminación interior, lo que impone un límite. Por ende, en casos particulares de fuerte exposición al sol se hace necesario aplicar otro tipo de tecnología.

Por otro lado, existen en el mercado cristales monolíticos de alto rendimiento, los cuales presentan, según sea el color, elevados índices de transmisión de luz visible y transparencia, con un menor coeficiente de sombra. De manera general entre los cristales de color gris y bronce, no existen diferencias significativas en lo que respecta a los factores presentados en las tablas.

En relación a los cristales reflectivos, la capa reflectiva puede llegar a reducir a la mitad la energía total que pasa a través del cristal. Si se compara con un cristal incoloro, existe menos transmisión de luz, dado que aproximadamente el 30% de ella se ve reflejada hacia el exterior. Dependiendo de la posición de la cara reflectiva presenta distintas características, si se coloca dicha capa en la posición 1 (lado exterior), la luz se refleja en la cara reflectiva, dando un aspecto espejado. Si se coloca en la posición 2 (lado interno), permite a la luz teñirse en la masa del cristal antes de ser reflejada.

A pesar de tener un mejor comportamiento que el cristal monolítico de color, el cristal reflectivo presenta limitaciones. Las exigencias cada vez mayores en la filtración de la energía solar para edificios de muros cortina han motivado a los fabricantes a mejorar sus técnicas y ofrecer cristales más sofisticados, productos de un proceso de fabricación distinto.

El sistema de doble vidriado hermético al estar constituido por un cristal antisolar en el exterior, mejora significativamente el factor solar y el coeficiente de sombra. Presenta mayor capacidad para aislar el calor, dado por la presencia del espacio de aire o gas entre ambos cristales. Con su empleo pueden vidriarse extensas superficies, sin incidir en el confort ni en el consumo de energía.

Con respecto a los cristales de baja emisividad, éstos son utilizados exclusivamente en componentes de doble vidriado con el propósito de mejorar la prestación térmica. Cuando se emplea en unidades de DVH compuestas por un cristal exterior de control solar, de color o reflectivo, también mejora la performance de control solar de las mismas en aproximadamente un 15%. La cara revestida con la capa de baja emisividad siempre debe quedar expuesta mirando hacia la cámara de aire de un DVH.

Por otra parte, el cristal laminado proporciona una de las más altas reducciones de luz ultravioleta (UV) entre los productos de cristal comercial disponibles en el mercado. La presencia de la lámina de PVB filtra más del 99% de la radiación ultravioleta, causante de la decoloración prematura de tejidos y tapizados y del envejecimiento acelerado de ciertos materiales expuestos a la luz solar.

De manera general, se recomienda considerar la clasificación de valores de coeficiente de sombra, presentados en la Tabla siguiente:

Tabla N° 9, Clasificación coeficientes de sombra

Clasificación	Coeficiente de sombra
Excelente	$\leq 0,30$
Muy Bueno	0,35
Bueno	0,40
Max. Aceptable	0,45

Fuente: C.D.T. 2007

Sin embargo, se observa que los edificios que actualmente están en servicio tienen coeficientes de sombra mayores debido a la falta de documentos normativos del tema. Adicionalmente es conveniente considerar que en el país las fachadas norte y poniente suelen ser las más problemáticas, por su exposición al sol directo.

Para comparar cristales entre sí, existe el **ÍNDICE DE SELECTIVIDAD** que mide el porcentaje de luz sacrificado para minimizar el porcentaje de transmisión solar. La industria de los cristales llega con sus productos más sofisticados a un índice cercano a 2 (ejemplo: transmisión de luz del 52% con Factor solar del 26%).

2.2.2. Comportamiento Acústico.

En el diseño acústico de un muro cortina nos encontramos con el problema de asilamiento con el exterior, ya que debido a su composición (de bajo espesor, bajo peso, la gran cantidad de juntas y los materiales tanto vidrio como aluminio que son buenos conductores de vibraciones) dificultan

el asilamiento al tratar de hacerlos coincidir con las fachadas convencionales. Otras de las dificultades que se presentan es la aislación acústica entre los niveles del edificio.

Tabla N° 10, Intensidad de sonidos típicos.

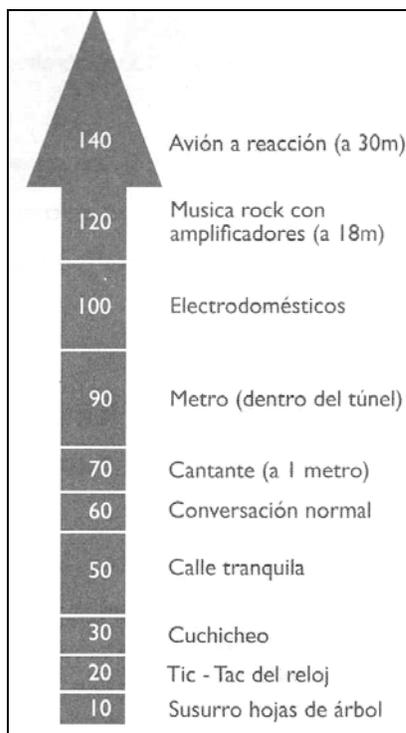
Intensidad del sonido	Presión sonora (dB)	Sonidos Típicos
1.000.000.000.000	120	Umbral de dolor
100.000.000.000	110	Martillo neumático
10.000.000.000	100	Fabrica de calderas
1.000.000.000	90	Calle ruidosa
100.000.000	80	Oficina ruidosa
10.000.000	70	Tránsito en calle promedio
1.000.000	60	Oficina poco ruidosa
100.000	50	Conversación promedio
10.000	40	Oficina privada
1.000	30	Un auditorio promedio
100	20	Conversación susurrando
10	10	Local a prueba de ruidos
1	0	Umbral de audición

Fuente: C.D.T. 2007

Para comprender mejor las propiedades de aislación acústica del cristal, es preciso primero comprender cuál es el significado práctico del decibel (dB). El decibel es la unidad con que se mide la presión sonora) entrega una idea relativa de su intensidad. A diferencia: de otras unidades de uso común, el decibel (dB) varía en forma logarítmica. Esto quiere decir que cada vez que la presión sonora aumenta 10 (dB), la intensidad del sonido se eleva a la décima potencia.

Cuanto mayor es la presión sonora mayor son las dificultades para aislar el paso del ruido. Los ruidos graves (bajas frecuencias) son más difíciles y costosos de aislar con cristal que los sonidos agudos (alta frecuencia). En términos generales, contar con un cristal con capacidad de ablación acústica promedio de 30/33 (dB) implica tener un buen nivel de control acústico.

Figura N° 2, Niveles sonoros de distintas actividades.



Fuente: C.D.T. 2007

Para determinar el desempeño acústico del cristal, es importante considerar el uso de la propiedad, el entorno y el uso de construcciones vecinas, así como también el sistema de enmarcado del cristal. A pesar de que, por naturaleza, los cristales no ofrecen un buen desempeño cuando se toman en consideración sus características de atenuación, hay combinaciones de éstos

que pueden reducir eficientemente las transmisiones acústicas. Como en todo material, la atenuación acústica del cristal depende de las características de su masa, rigidez y absorción. En relación a lo anterior, si se considera un cristal monolítico como solución de fachada la única manera eficiente de incrementar su desempeño es aumentando su grosor, ya que su rigidez y atenuación no pueden ser alteradas.

Tabla N° 11, Niveles de ruido permisibles por recinto

Lugar	Nivel recomendado ruido
Dormitorio	30 – 45
Living	40 – 45
Oficina	40 – 45
Salas de clases	40
Salas de hospital	40

Fuente: C.D.T. 2007

Para alcanzar los valores de aislamiento acústico presentadas es imprescindible que el cristal tenga un cierre hermético al paso del aire. Un ajuste defectuoso con la carpintería y los sellos puede producir una merma en la capacidad aislante del modulo. Si se analizan los valores anteriores para el caso del cristal monolítico, se puede decir que el acristalamiento aumenta en 4 (dB) cuando se dobla el espesor del cristal. Se obtienen mayores atenuaciones acústicas si se usa DVH. Sin embargo en aquellos casos que se requiera alcanzar un alto nivel de aislamiento, se recomienda considerar el uso de cámaras de aire mayores a 100 mm. Por ultimo, es posible alcanzar un mejoramiento adicional de los DVH, ocupando cristales laminados en su composición y rellenando la cámara interior con gases inertes (argón o SF6).

Por otro lado, para catalogar el aislamiento sonoro de diferentes materiales y estructuras, incluyendo al cristal se utilizan los siguientes parámetros obtenidos mediante ensayos:

- R_w : Este parámetro representa el valor de aislamiento acústica de un elemento constructivo, tomando como referencia la respuesta del oído humano. Se expresa en (dB). Numéricamente puede ser hasta 5 (dB) más alto que el valor de R_m promedio.
- R_{tra} : Este parámetro representa la reducción en (dBA) que puede obtenerse de un material para mitigar el ruido del tránsito.
- R_m : Este parámetro representa la reducción acústica promedio. Es la medida aritmética entre los valores de aislamiento acústico de un elemento constructivo en el rango de frecuencias entre 100 – 3150 Hz.

Por último, en el diseño acústico de muros cortina, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Identificar la fuente de ruido que se quiere atenuar y establecer los valores de atenuación acústica que se desea alcanzar al interior del edificio.
- Especificar y evaluar el sistema más idóneo para cada situación en función de los parámetros de atenuación acústico R_w , R_m y R_{tra} .
- Especificar los detalles de encuentros entre los elementos de la carpintería, usando sellos correctamente dimensionados y aplicados.
- Realizar la fabricación y montaje de perfiles y cristales según especificaciones técnicas del fabricante y/o proyectista.
- Realizar inspección técnica de obra para asegurar la correspondencia entre las especificaciones técnicas y los productos instalados en la obra.

2.2.3. Luz natural y visual

Uno de los puntos que es más característicos de los muros cortinas es el poder aumentar al máximo la luz natural y tener una mejor visual del entorno que rodea al edificio. Es por ello que para poder alcanzar una iluminación uniforme en las zonas amplias del edificio y/o disminuir el uso de luz artificial, lo cual implica una relación entre altura de fachada versus fondo de la edificación.²⁶

Monito.

2.2.4. Ventilación

Los elementos abatibles (llámense ventanas) plantean grandes problemas técnicos y formales de difícil solución. Ya que poder lograr que elementos que están suspendidos por un par de puntos, cuyas juntas estancas al agua y viento, sean móviles; se requieren de perfiles más complejos, que necesariamente tiendan a aumentar de sección rompiendo la continuidad del enrejado del muro.²⁷

Encontrándose diversas soluciones constructivas como:

- Ventana practicable oscilo-batiente, de perfil visto, acoplada al sistema clásico de muro cortina con tapetas.
- Ventana practicable deslizo-proyectante hacia el exterior, de perfil oculto desde el exterior, con acristalamiento pegado al marco con silicona estructural, acoplada al sistema clásico de muro cortina con tapetas.
- Ventana practicable deslizo proyectante hacia el exterior, de perfil oculto desde el exterior y desde el interior, con acristalamiento pegado a marco, acoplada al sistema de muro cortina con silicona estructural.

²⁶ Ramón Araujo – Xavier Ferrés. 2004. Muro Cortina.

²⁷ Construmática. Fachadas Ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

2.3. Requisitos de Prevención de riesgo

2.3.1. El fuego.

Cada día la prevención de incendio es fundamental en el diseño de edificios y siempre hay que preocuparse de realizar una planeación estratégica global de protección desde el comienzo del proyecto, ya que las fachadas cumplen un rol muy importante.

La aplicación de las normativas de prevención de riesgos pueden causar un efecto negativo en el proyecto; sino sean tomado las consideración para que el diseño cumpla con la reglamentación técnica vigente, que para este caso son validas la norma Nch. 935/1 “Prevención de incendios en edificios. Ensayos de resistencia al fuego” y la “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción”.

Los objetivos que se busca cumplir en los diseños de edificios son:

- Evitar la propagación del fuego en vertical como en horizontal.
- Vías de evacuación para las personas dentro del edificio.
- Reducir el daño material y estructural, producido por el fuego y humo.

2.3.2. Descargas eléctricas

Las fachadas ligeras contienen abundantes elementos metálicos, interconectados entre sí y con el resto de la estructura. El viento, los cambios de temperatura y el contacto con instalaciones eléctricas (iluminación, ventilación, seguridad, etc.) pueden llegar a ocasionar que estos elementos metálicos se carguen eléctricamente y puedan ocasionar disfunciones al uso del edificio y molestias a los usuarios. El proyectista deberá acordar con el instalador de la fachada la puesta a tierra de la misma.²⁸

²⁸ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

2.3.3. Seguridad de las dependencias.

No se tiene que desconsiderar en el diseño de la fachada ligera la posibilidad de ser penetrada con la intención del robo. Ello es particularmente posible en zonas de la fachada fácilmente accesibles desde la calle o edificios próximos. Las alternativas más comunes consisten en aumentar la resistencia a la penetración del acristalamiento (laminado) o la instalación de dispositivos electrónicos.²⁹

2.4. Requisitos de uso.

2.4.1. Funcionalidad.

Se exige a la fachada ligera que cumpla las funciones para las que está prevista y que además estas funciones puedan ser reguladas fácilmente, bien de forma automática o bien de forma manual.

2.4.2. Dilataciones térmicas.

Las fachadas ligeras están sometidas constantemente a unas variaciones dimensionales (dilataciones y contracciones) originadas por los cambios de temperatura. La magnitud de estas variaciones es función del coeficiente de dilatación térmica del material, α , y de las diferencias de temperatura, y originan en los perfiles un esfuerzo σ (kg/cm^2).

Según la ley de Hooke:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

σ : la tensión [Kgf/cm^2]

ε : el alargamiento unitario, en el caso de variaciones dimensionales de origen térmico = $\alpha\Delta t$

E: el módulo de elasticidad [Kgf/cm^2]

α : el coeficiente de dilatación

Δt : la variación térmica

²⁹ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

Entonces:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Si aumenta la temperatura de un perfil de aluminio y éste no puede expandirse libremente, se produce sobre los elementos perimetrales que le impiden la expansión una acción que viene estimada por la fórmula anterior, acción que acaba ocasionando una deformación en el elemento más débil. Es decir, si el montante es más débil que el travesaño, se producirá una falta de verticalidad. Si por el contrario es el travesaño el más débil, se originan pandeos con flechas importantes.

Para evitar este fenómeno de las dilataciones impedidas deben disponerse periódicamente juntas de dilatación que permitan que la perfilería se dilate libremente.

El empuje transmitido por la dilatación térmica de un perfil vendrá expresado por:

$$\text{EMPUJE [Kgf]} = \sigma \text{ [Kgf/cm}^2\text{]} \times \text{SECCIÓN DEL PERFIL [cm}^2\text{]}$$

La magnitud de la máxima contracción o dilatación que hay que prever para dimensionar con seguridad las juntas de dilatación (d) por causas térmicas viene expresada por:

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$$

$$\Delta l < d$$

Donde:

Δl : el alargamiento absoluto

ε : el alargamiento unitario

l: la longitud del perfil

d: la dimensión de la junta de dilatación

α : el coeficiente de dilatación lineal del aluminio (23×10^{-6} m/m)

Δt : la variación térmica

Es por ello que, a efectos de dimensionado de juntas, será suficiente con prever 1 mm por cada metro de perfil, puesto que con ello se podrán absorber las posibles dilataciones, independientemente de la época del año en que se mecanice, monte y acabe la obra. Por lo que se refiere al vidrio, “el Manual del Vidrio” postula el principio de independencia: “Los productos vítreos, recocidos o templados, deben estar colocados (insertados en el marco) de forma tal que en ningún momento puedan sufrir otros esfuerzos adicionales a los esfuerzos ya previstos (peso propio y viento) como los debidos a:

- Contracciones o dilataciones del propio vidrio.
- Contracciones, dilataciones o deformaciones de los propios perfiles de aluminio que lo enmarcan.
- Deformaciones aceptables y previsibles de la propia obra, como pueden ser las flechas de los elementos resistentes de la estructura principal.

Por todo ello, las lunas de vidrio, jamás han de tener contacto entre sí, evitándose igualmente el contacto directo vidrio – metal. En general, los contactos vidrio – vidrio, vidrio – metal y vidrio – hormigón están técnicamente prohibidos.³⁰

2.4.3. Durabilidad.

Se debe conocer la capacidad de comportamiento de una fachada ligera ante las diversas acciones actuantes sino también la durabilidad esperada. La durabilidad de cada producto, el mantenimiento de los sistemas de protección y la agresividad del entorno son aspectos a no desconsiderar y que también se debe conocer al programar su inversión.³¹

³⁰ Construmática. Fachadas Ligeras. Enciclopedia de la construcción Construpedia.

³¹ HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

Capítulo III

3. Metodología de análisis.

El método para diseñar los muros cortinas es un análisis convencional lineal estático, hay que tener presente las siguientes cargas y solicitaciones: presión del viento, peso propio del vidrio, carga sísmica.

Hay que tener en cuenta que para diseños complejos (para edificios de gran altura) se recomienda utilizar el método de elementos finitos ya que es un sistema más sofisticado y se usa principalmente para verificar el comportamiento del muro ante la solicitación de deformación relativa entre pisos. Se modela una proporción representativa del muro cortina en el cual están considerados todos los elementos que lo conforman, de ese modo se considera la acción de conjunto. Si consideramos que el aluminio es un metal con un punto de fluencia dado según la aleación utilizada, a partir del cual es material fluye pero sin dejar de tomar carga y además tiene un endurecimiento por deformación; que la silicona tiene una curva de comportamiento no lineal y que el vidrio es un material frágil, el análisis debe ser no lineal para tomar en cuenta el comportamiento real de los materiales. Usualmente no se realiza esta verificación dado que el esfuerzo de cómputo requerido es grande, pero por otro lado, dado que el costo de reposición de estas estructuras es muy alto, es indispensable minimizar la probabilidad de falla a fin de obtener un riesgo aceptable. Es interesante notar que en este tipo de análisis se aprecia la importancia de la silicona en el desempeño del muro, absorbiendo las deformaciones a fin de que el vidrio permanezca a niveles de esfuerzo con un índice de confiabilidad estructural apropiado. Este tipo de análisis está ligado a un análisis de la Confiabilidad Estructural del muro cortina, dado que el diseño de los paneles de vidrio es probabilístico. El vidrio es un material frágil, por lo cual su esfuerzo de rotura no puede precisarse con exactitud, éste sigue una distribución normal con un coeficiente de variación del 20%, lo cual hace necesario considerar la característica aleatoria de este valor, el concepto de factor de seguridad no es aplicable a los vidrios. Finalmente, se

determina el Estado Límite de interés, ya sea de resistencia o de servicio y se evalúa la Confiabilidad y los riesgos inherentes al sistema.

3.1. Cálculo del espesor del vidrio.

3.1.1. Método Timoshenko³²

El cálculo del espesor de un vidrio se asimila al cálculo estructural de una placa sometida a una carga uniforme y se efectúa mediante la formulación elaborada por Timoshenko.

En realidad, el acristalamiento se trata de una placa rígida dispuesta sobre unos apoyos elásticos, de rigidez mucho menor que la placa, ya que los esfuerzos a que se somete el acristalamiento se transmiten principalmente a través de la junta situada entre el vidrio y el marco.

En el caso particular de los muros cortina, el vidrio va apoyado siempre en unos calzos, dispuestos únicamente en 4 puntos (2 en cada travesaño superior e inferior), situados a una distancia $L/10$ de los apoyos extremos, siendo L la longitud del travesaño.

En el capítulo 2 ya se han citado las resistencias mecánicas características del vidrio. Cabe destacar que la luna de vidrio está sometida siempre a flexión, por lo que es necesario comprobar primordialmente su resistencia ante este esfuerzo.

Existen dos posibilidades para aumentar el nivel de seguridad del vidrio en el caso de los muros cortina:

- Templar el vidrio: se aumenta el nivel de resistencia para evitar la rotura
- Laminar el vidrio: adhesión de varias láminas de vidrio, garantizando la impenetrabilidad del conjunto aunque se produzca la rotura del vidrio exterior. Se destacan los vidrios de seguridad física, antiagresión o antirrobo y antibala.

Para el procedimiento de cálculo del espesor del vidrio se adoptan las siguientes hipótesis:

³² HYDRO. 2005. DISEÑO DE FACHADAS LIGERAS Manual de introducción al proyecto arquitectónico.

- La carga es uniforme en toda la superficie del vidrio.
- La tensión máxima admisible (σ_{adm}) debe ser adoptada según corresponda al tipo de vidrio que se desee utilizar.
- Para el cálculo del peso propio del vidrio, el espesor a tener en cuenta es la suma del espesor nominal y de la tolerancia en el espesor del producto.
- El resultado obtenido del cálculo es el espesor mínimo que debe tener el vidrio.

El espesor de vidrio se determina mediante la siguiente ecuación:

$$e = \beta * a * \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{adm}}}$$

Donde:

e: el espesor del vidrio [mm]

β : el coeficiente de forma

a: la distancia más corta entre apoyos [mm]

b: la distancia más larga entre apoyos [mm]

Q: la carga total de viento [Kgf / m^2], establecida por la Nch 432, “Cálculo de la acción del viento sobre construcciones”

σ_{adm} : la tensión admisible del vidrio [Kgf / m^2]

Tabla N° 12, Determinación del coeficiente de forma.

COEFICIENTE DE FORMA β			
b/a	4 apoyos	3 apoyos	2 apoyos
1,0	0,54	0,82	0,87
1,1	0,58	0,84	0,87
1,2	0,61	0,85	0,87
1,3	0,64	0,86	0,87
1,5	0,70	0,88	0,87
1,7	0,74	0,89	0,87
2,0	0,78	0,89	0,87
3,0	0,84	0,89	0,87
5,0	0,86	0,89	0,87

Fuente: Hydro 2005

Mediante estas fórmulas se halla el espesor de cálculo del vidrio, el cual debe estar multiplicado por un factor corrector de equivalencia para determinar finalmente el espesor mínimo del vidrio real. Para los vidrios más habituales se utilizan los siguientes correctores de equivalencia:

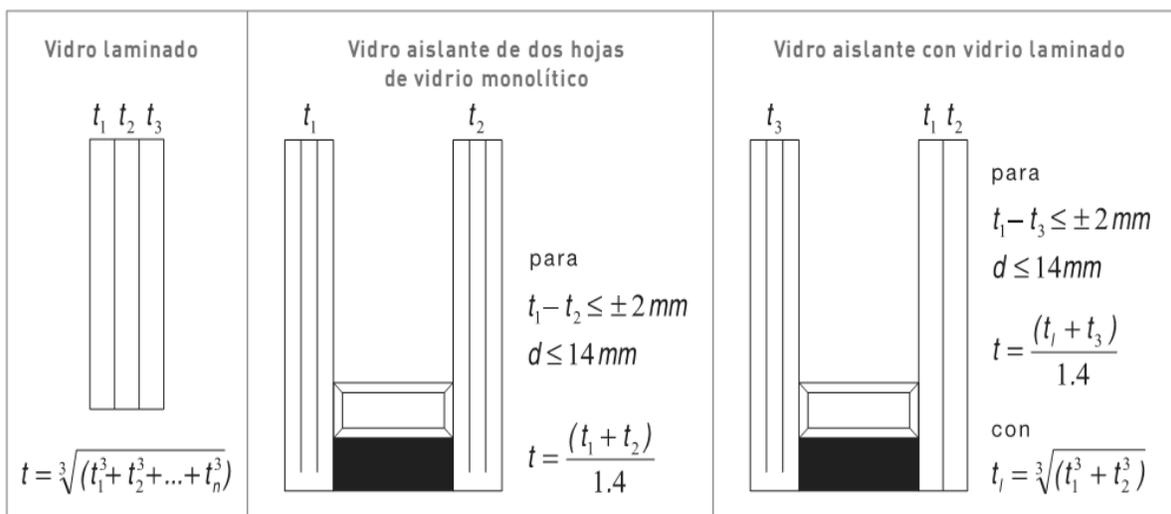
Tabla N° 13, Factor de corrección

Clase de vidrio		
Vidrio armado		1.2
Vidrio templado	$P \leq 900 \text{ Pa}$	0.8
	$P > 900 \text{ Pa}$	0.7
Vidrios Laminados	Dos hojas del mismo e	1.3
	Tres hojas del mismo e	1.6
Doble acristalamiento		1.5

Fuente: Hydro 2005

De acuerdo con la norma europea EN 13022-1 el espesor equivalente de un vidrio múltiple se calcula de la siguiente manera:

Figura N° 3, Diagrama para determinación del espesor equivalente.



Fuente: Hydro 2005

Donde:

t : espesor equivalente

t_n : espesor de cada vidrio monolítico o de cada hoja del vidrio laminar

d : espesor de la cámara de aire

t_l : espesor equivalente del vidrio laminar

Los valores obtenidos a partir de la aplicación de las ecuaciones anteriores más conservadores que los indicados en los manuales de predimensionado.

3.1.2. Método del Ábaco. Nch. 135/3

Otra forma para determinar el espesor de vidrio es por el método de ábacos, es en función de la superficie del vidrio y la presión del viento que ejerce sobre este. Habiendo nueve tipos de ábacos según el tipo de vidrio a usar.

3.1.2.1. Tipo de ábacos.

- 1 Vidrio transparente recocido, flotado o estirado.
- 2 Vidrio recocido, impreso.
- 3 Vidrio armado.
- 4 Doble vidriado hermético - Unidad simétrica compuesta por
 - vidrios recocidos, flotados o estirados.
- 5 Doble vidriado hermético - Unidad asimétrica compuesta por
 - vidrios recocidos, flotados o estirados.
- 6 Vidrio templado.

- 7 Doble vidriado hermético - Unidad simétrica compuesta por ambos paños de vidrio templado.
- 8 Vidrio laminado con PVB - Unidad simétrica compuesta por ambos vidrios de igual espesor.
- 9 Doble vidriado hermético - Unidad simétrica compuesta por ambos paños de vidrio laminado con PVB.
- NOTA - PVB es polivinilbutiral.
- NOTA – Abacos en ANEXOS

3.2. Cálculo de la perfilaría del Muro Cortina.

3.2.1. Mullions o Montantes.

Los montantes van de losa a losa y se sujetan a éstas mediante los anclajes. Por lo general, se suele dejar libre el anclaje en la dirección longitudinal del perfil inferior (para absorber así las dilataciones del metal), consiguiendo así que las cargas verticales provoquen tracciones y nunca compresiones en los perfiles.

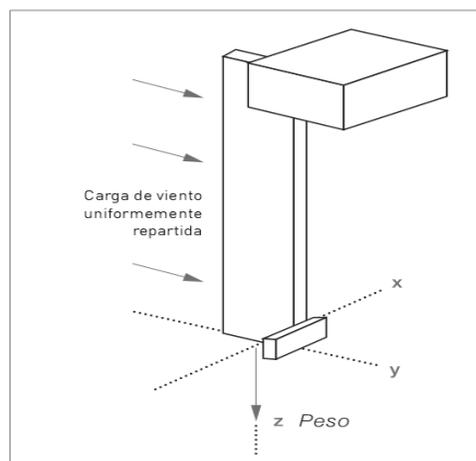
El montante está sometido principalmente a la acción horizontal del viento, uniformemente repartida a lo largo de toda su longitud, y a la acción vertical provocada por su peso propio y las cargas de vidrios y paneles, tal y como se indica en la figura adjunta.

Según las normas Nch 888 “Arquitectura y Construcción – Ventanas – Requisitos Básicos” y la Nch 523 “Carpintería de Aluminio – Puertas y Ventanas – Requisitos”, bajo la acción del viento, la flecha frontal máxima de los elementos resistentes de la fachada ligera no debe sobrepasar el

menor de los valores $L/175$ o 19mm , para el caso de vidrios monolíticos y para el caso de vidrios herméticos la flecha frontal máxima debe ser menor o igual $L/225$.

Para comprobar la resistencia de la sección, se verifica que la σ_{adm} del aluminio, y que la flecha inducida al aplicar dichas cargas no sobrepase los valores establecidos por las normas.

Figura N° 4, Diagrama de carga del viento sobre el montante.



Fuente: Hydro 2005

Tabla N° 14, Formulación para el diseño de perfiles montantes.

	Caso 1	Caso 2
A Comprobación de la resistencia de la sección	Se condiciona el cálculo de la flecha y se comprueba la sección (caso 2A)	$\sigma_{calc} = \frac{N'}{A} + \frac{M'}{W} \leq \frac{\sigma_{admAl}}{\gamma_M}$
B Aptitud al servicio (flecha)	$I_{min} \geq \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f_{m\acute{a}x}} (*)$	$f_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{min}} (*)$

(*) Formulación válida únicamente en el caso de muro cortina.

Fuente: Hydro 2005

Siendo:

N^* : esfuerzo normal mayorado [Kgf], debido al peso propio y peso de vidrios y paneles.

A: área de la sección [cm^2]

M^* : momento flector mayorado [$\text{cm} \cdot \text{Kgf}$], debido a la acción del viento

W: módulo resistente de la sección [cm^3]

σ_{calc} : tensión de cálculo del aluminio [Kgf/cm^2]

σ_{admAl} : tensión admisible del aluminio [Kgf/cm^2], depende del tipo de aleación

$\gamma_M=1,05$: coeficiente de minoración del material

q: carga del viento uniformemente repartida [Kgf/cm], calculada según la Nch 432, “Cálculo de la acción del viento sobre construcciones”

L: longitud del montante [cm]

E: módulo de elasticidad [Kgf/cm^2]

I: momento de inercia de la sección según el eje x considerado [cm^4]

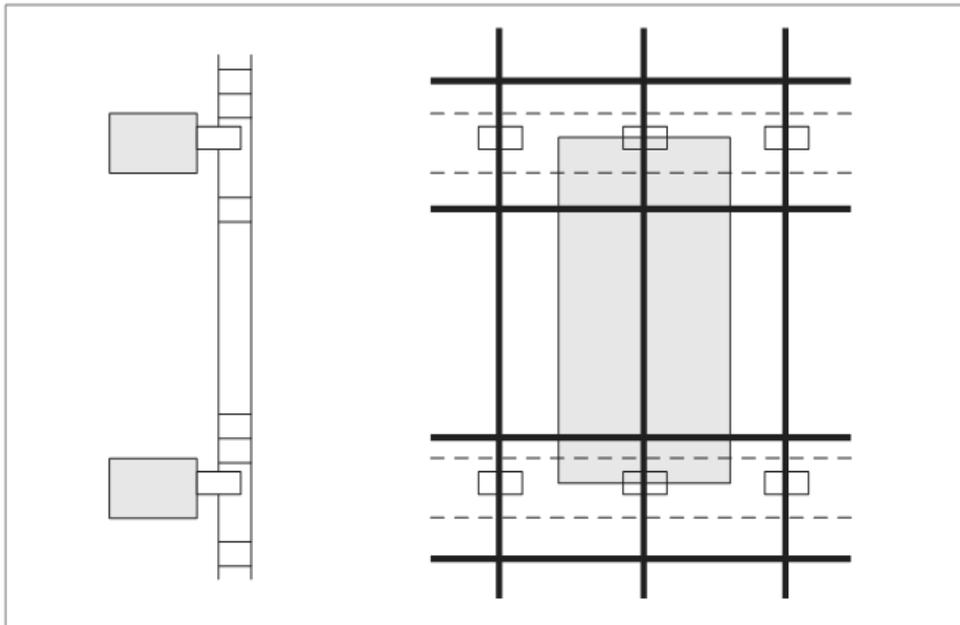
$f_{\text{máx}}$: flecha frontal máxima admisible [cm]

En el caso 1, una vez conocida la inercia y el tipo de sección, ésta debe ser comprobada a resistencia.

En el caso 2, la sección ya elegida previamente se debe verificar según los dos criterios (resistencia y deformación).

En el caso de las fachadas ligeras tipo MURO CORTINA, es decir, las pasantes por delante de las losas, los montantes deben aguantar, según lo expuesto anteriormente, una carga de viento aplicada a una superficie rectangular tal como se muestra en la figura siguiente:

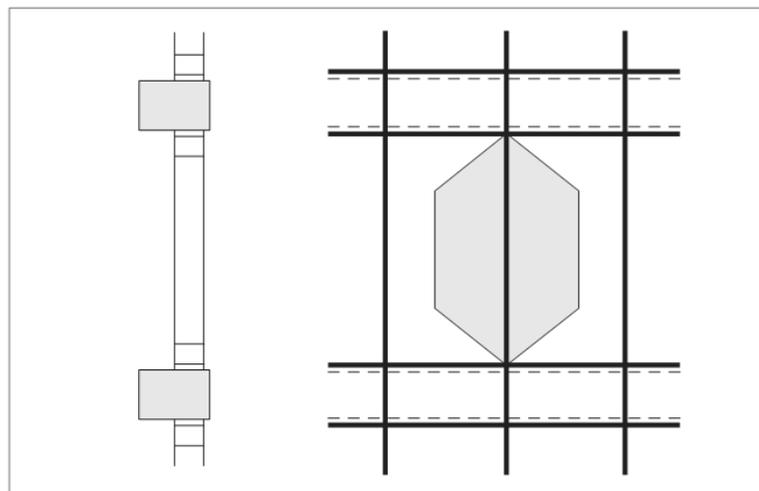
Figura N° 5, Diagrama de esfuerzo del muro.



Fuente: Hydro 2005

En el caso de las fachadas ligeras tipo FACHADA PANEL, es decir, las insertadas entre las losas, los montantes deben aguantar, según lo expuesto anteriormente, la carga de viento aplicada a una superficie trapezoide como se indica en la figura siguiente:

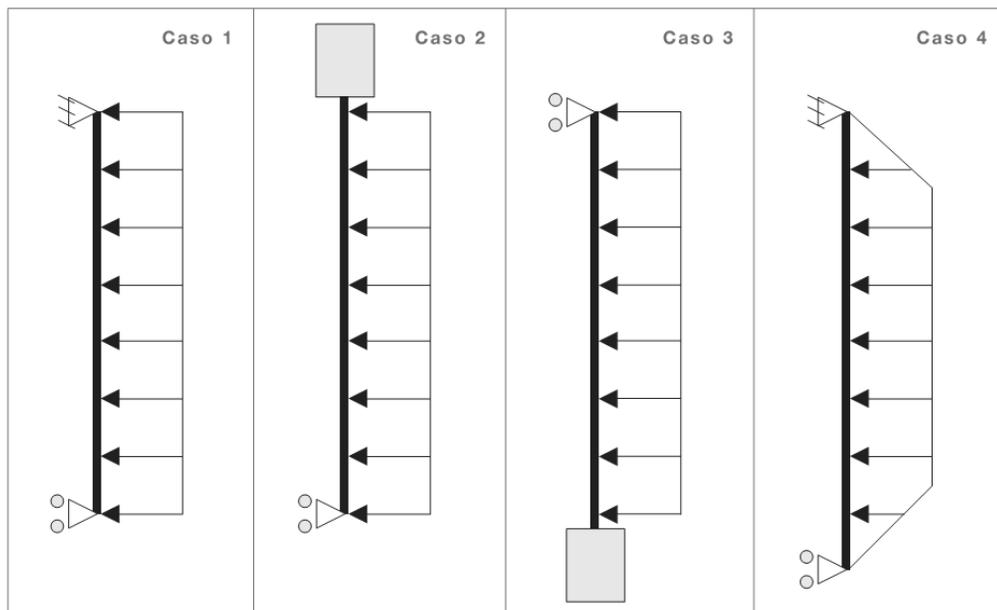
Figura N° 6, Diagrama de esfuerzo del muro panel.



Fuente: hydro 2006

En general, se asimila una fachada ligera a un módulo estructural formado por un entramado situado en un plano vertical (montantes y travesaños) en el que descansan unas láminas (vidrios y paneles) que, en su conjunto tienen que resistir las solicitaciones normalizadas. Básicamente, las gravitatorias, el viento, los terremotos y los impactos, frente a las cuáles todos los elementos tienen que ser estables, resistentes y ofrecer unas deformaciones compatibles con su servicio.

Figura N° 7, Diagrama de carga del montante.



Fuente: Hydro 2005

A la vez, la fachada ligera tiene que estar soportada por una estructura que, en sus bordes, tenga unas flechas limitadas y compatibles con la estructura de la fachada o bien que entre ellas existan suficientes grados de libertad como para que, aún manteniéndose estable, la fachada no entre en carga por causa de tales deformaciones.

En lo que a cálculos estáticos se refiere, los montantes pueden asimilarse a una viga con sus extremos simplemente apoyados, o con un extremo empotrado y otro apoyado, sometidas a una distribución de carga. Dicha distribución de cargas será rectangular si se trata de un muro cortina

y trapezoidal si se trata de una facha panel, puesto que los travesaños en este caso si que contribuyen al reparto de la carga al estar sujeto a las losas. En cualquier caso siempre se considera que se permite la libre dilatación del montante.

Ante la dificultad constructiva de llevar a cabo un empotramiento real (casos 2 y 3) próximo al “empotramiento teórico” (esta condición se debería verificar en un laboratorio de ensayo), sistemáticamente se opta por realizar el cálculo considerando el montante bi-apoyado (casos 1 y 4)

3.2.2. Travesaños.

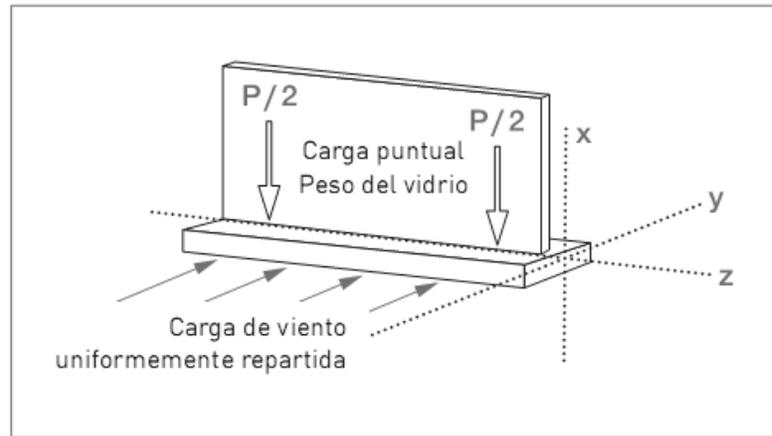
El travesaño está sometido a un esfuerzo de flexión biaxial. En primer lugar, por las cargas actuantes en el plano vertical derivadas de su peso propio y del peso de las placas de vidrio o paneles que debe soportar. En segundo lugar por las cargas actuantes en el plano horizontal derivadas de la acción del viento.

Como en el caso de los montantes, se debe verificar, en primer lugar, la resistencia de la sección del perfil, comprobando que la σ_{total} sea menor que la σ_{adm} y posteriormente controlar la flecha máxima.

Según la norma NTE - ECV, la flecha frontal máxima admisible de los travesaños, bajo las cargas debidas al viento, no debe sobrepasar $L/200$ o 15mm. Y la flecha vertical máxima admisible, bajo cargas de pesos propios, no debe sobrepasar $L/500$ o 3mm. Debido a la falta de referencias

La limitación de la deformabilidad debe ser muy estricta pues, aunque su flecha sea pequeña es suficiente para distorsionar la estética global de la fachada y para alterar la estanqueidad de la fachada.

Figura N° 8, Diagrama de carga sobre el travesaño.



Fuente: Hydro 2005

Tabla N° 15, Formulación para el diseño de perfiles travesaño.

	Caso 1	Caso 2
A Comprobación de la resistencia de la sección	Se condiciona el cálculo de la flecha y se comprueba la sección (caso 2A)	$\sigma_{\text{calc}} = \frac{N'}{A} + \frac{M'}{W} \leq \frac{\sigma_{\text{admAl}}}{\gamma_M}$
B Aptitud al servicio (flecha)	Acción del viento: $I_x \geq \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f_{\text{máx}}} (*)$ Peso de vidrio: $I_y \geq \frac{q \cdot b}{48 \cdot E \cdot f_{\text{máx}}} (3 \cdot L^2 - 4 \cdot b^2)$	Acción del viento: $f_{\text{máx}} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} (*)$ Peso de vidrio: $f_{\text{máx}} = \frac{P \cdot b}{48 \cdot E \cdot I_y} (3 \cdot L^2 - 4 \cdot b^2)$

(*) Formulación válida únicamente en el caso de muro cortina.

Fuente: Hydro 2005

siendo:

M'_x : el momento flector mayorado debido a la carga de viento [cm*Kgf],

M_y^* : el momento flector mayorado debido al peso del vidrio [$\text{cm} \cdot \text{Kgf}$]

W_x : el módulo resistente de la sección del perfil según el eje x [cm^3]

W_y : el módulo resistente de la sección del perfil según el eje y [cm^3]

σ_{calc} : la tensión admisible del aluminio [Kgf/cm^2]

$\gamma_M = 1,05$: coeficiente de minoración de la resistencia del material

q: carga del viento uniformemente repartida [Kgf/cm], calculada según la Nch 432, “Cálculo de la acción del viento sobre construcciones”

P: peso total del vidrio [Kgf]

L: longitud del travesaño [cm]

b: la distancia de los calzos de apoyo de los vidrios respecto a los extremos [cm].

Según la norma UNE 85-222 esta distancia es $L/10$.

E: el módulo de elasticidad [Kgf/cm^2]

I: el momento de inercia de la sección según el eje x considerado [cm^4]

$f_{\text{máx}}$: flecha frontal máxima admisible [cm]

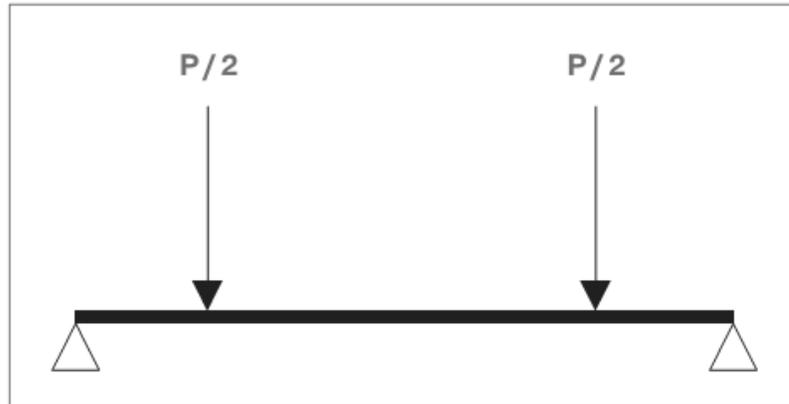
Después de realizar las dos comprobaciones (A y B) en el caso 1 se elige siempre la sección de mayor inercia.

En el caso 2, la sección previamente elegida debe verificar simultáneamente los dos criterios.

Tal y como ya se ha dicho con anterioridad, se considera que los travesaños sólo aguantan la carga vertical de los elementos que gravitan sobre ellos. En consecuencia se puede considerar el

travesaño como una viga simplemente apoyada por sus extremos, y la situación de las cargas es coincidente con los calzos de apoyo, de los vidrios o paneles, o con las fijaciones de los elementos practicables.

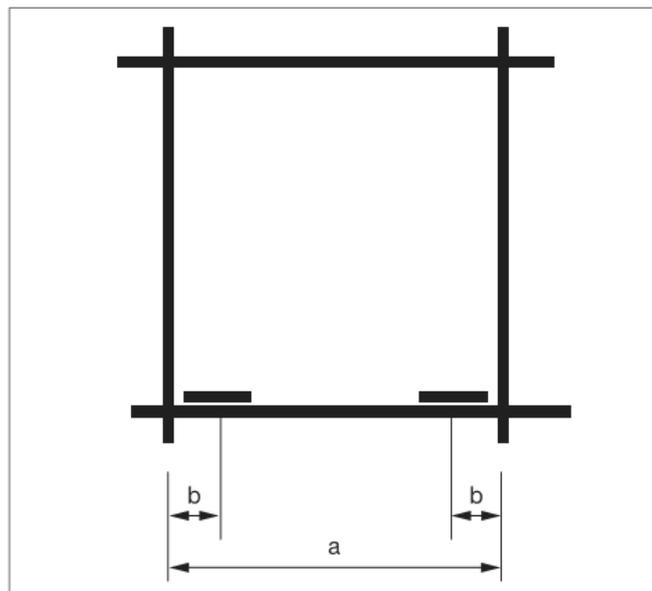
Figura N° 9, diagrama de carga final sobre los calzos y travesaño.



Fuente: Hydro 2005

La situación de dichos calzos o fijaciones se considera a una distancia b de los extremos de los travesaños. El valor de dicha distancia b corresponde a $1/10$ de la longitud total a del travesaño, según especifica la norma europea UNE 85-222.

Figura N° 10, Distribución de calzos.



Fuente: Hydro 2005

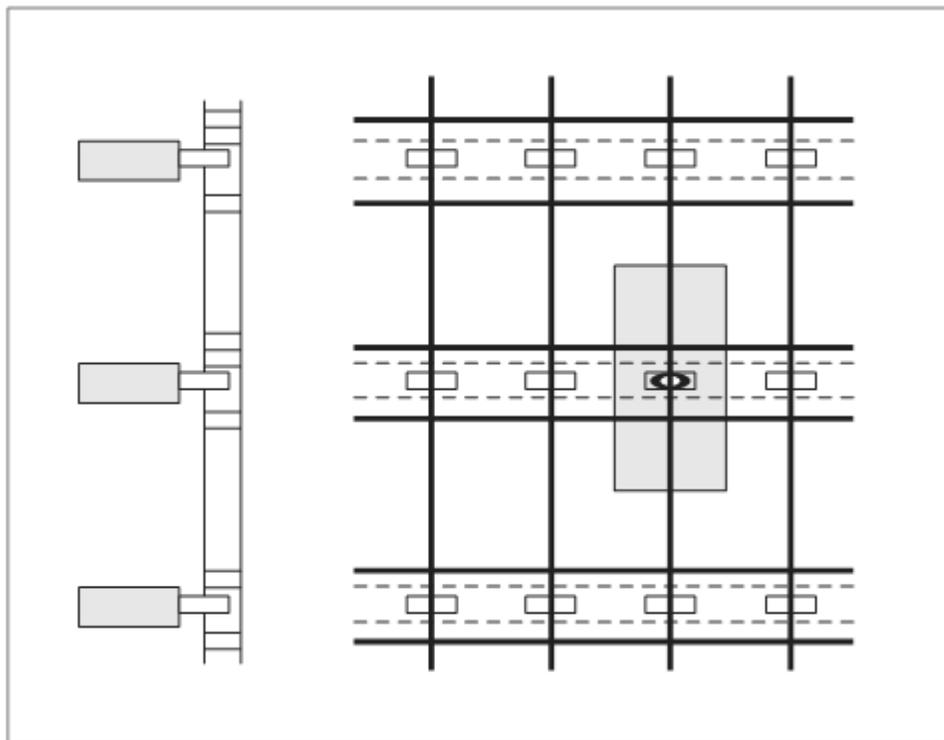
3.2.3. Esfuerzos transmitidos:

Los esfuerzos que las fachadas ligeras transmiten, a través de los anclajes, a las losas o estructuras portantes generales del edificio de las que se suspenden y apoyan son:

3.2.3.1. Cargas gravitatorias.

Paralelas al plano de fachada y correspondientes al peso propio total de un módulo completo de fachada y aplicado puntualmente en el anclaje.

Figura N° 11, Diagrama de carga gravitatoria que actúa en el anclaje

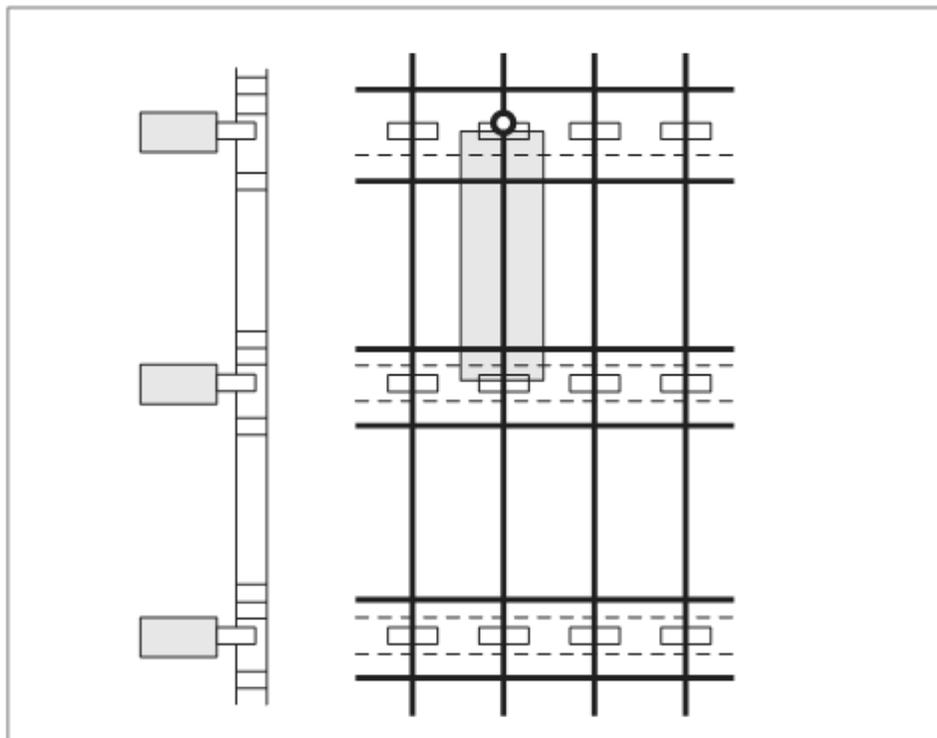


Fuente: Hydro 2005

3.2.3.2. Cargas de viento.

Perpendiculares al plano de la fachada y correspondientes a la carga de viento total que actúa sobre un módulo completo de fachada y aplicada puntualmente en el anclaje.

Figura N° 12, Esquema de carga del viento sobre el muro.



Fuente: Hydro 2005

3.3. Cálculo de silicona estructural.³³

La silicona estructural es de alta resistencia y módulo alto, con capacidad de movimiento +/- 12,5%. En esta aplicación, la silicona es utilizada para retener los paneles de cristal al edificio. El sellador debe ser lo suficientemente resistente como para transferir la carga de viento a la estructura, sin una deformación excesiva, y a la vez con la suficiente flexibilidad a fin de adaptarse a la expansión térmica entre el cristal y el aluminio.

Los selladores de silicona son virtualmente inalterables ante la luz UV, el frío y el calor. Por lo tanto, sólo las siliconas pueden garantizar una prolongada vida útil. Las siliconas que pueden ser usadas para aplicaciones estructurales deben cumplir con la norma técnica ASTM C1 184 ("A structural sealant for SSG / structural sealant glazing application"). De acuerdo a esta norma, para los fines del cálculo, la industria adoptó para los selladores estructurales de silicona una

³³ Corporación de desarrollo tecnológico. 2007. Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas.

resistencia de diseño de 20 psi, en todas sus aplicaciones, tanto en los sistemas de 2 como de 4 caras y siempre se deberán utilizar selladores estructurales de cura neutra certificados por su fabricante para aplicaciones de sellado estructural.

Desde el punto de vista de la instalación del producto, el sellador retiene al cristal contra los mullions de la fachada. En cuanto a las condiciones del diseño de la junta estructural, obviamente, la junta debe ser accesible, a fin de instalar el sellador. Es necesario precisar que el aluminio crudo no es una superficie aceptable para vidriado estructural, debido a temas relativos a la adherencia y a la durabilidad superficial.

El ancho de contacto con el cristal y con el aluminio, debe ser como mínimo igual al espesor de la línea de pegado y menor que 3 veces dicho espesor. El ancho requerido para sostener el cristal depende de las dimensiones del cristal y de la carga de viento de diseño para el edificio en particular.

El ancho de contacto del cordón de silicona puede ser calculado usando la fórmula siguiente:

$$b = \frac{P_v * l_c}{T_{ADM}}$$

Donde:

P_v : Carga de viento de diseño (kg/m^2)

T_{ADM} : Tensión de Cálculo, recomendada 20 psi o 14.000 (kgf/m^2)

L_c : mayor lado menor del panel (mm)

b : bite ancho de contacto (mm)

También se debe verificar que:

El espesor mínimo de la línea de pegado, es decir la distancia entre el cristal y el mullion, para todos los sellos estructurales debe ser como mínimo $\geq 3 \text{ mm}$ (1/4").

Esto es necesario para absorber los movimientos en el plano, usualmente impuestos sobre el sellador por las dilataciones y contracciones del cristal debido a los cambios de temperatura.

Pero también pueden ser generados por movimientos del edificio, entre otras sollicitaciones presentes.

Se debe usar calzos para proveer apoyo completo al cristal interior y al menos al 50% del cristal exterior (en caso de DVH). Calzos de un material diferente de la silicona (como por ejemplo: Epdm, Neoprene, Sanioprene, etc.) requieren de un ensayo de laboratorio para confirmar su compatibilidad con la silicona.

Se deben tomar todas las medidas para prevenir la acumulación de agua en la interfaz entre la silicona estructural y el sustrato al cual está adherido. Muchos sistemas usan desagües o calzos especialmente diseñados para permitir que el agua y el vapor puedan ser evacuados fácilmente del sistema.

Todos los materiales que intervienen en la fabricación del muro cortina (perfiles en contacto con el sellador, cristales, DVH, cinta estructural, calzos, burletes, cordón de respaldo) deben ser sometidos a ensayos de adhesión y compatibilidad en el laboratorio técnico del proveedor de sellos.

Durante la aplicación del sello se deberá ejecutar una limpieza previa adecuada de todos los sustratos, a objeto de eliminar contaminantes, polvos o partículas sueltas de fácil limpieza y aceites o lubricantes que requieren limpiezas con agentes más agresivos,

En la etapa de instalación se deberán seguir todas las recomendaciones de buenas prácticas entregadas por La industria de muros cortina, con particular énfasis en lo referido a las condiciones de fraguado del sellador y a las temperaturas de aplicación del sello.

Otras aplicaciones de silicona estructural incluyen los vidriados inclinados, revestimientos y los sistemas de muro de presión ecualizada. La construcción de muros inclinados esta cada vez más generalizada. El vidriado de silicona estructural es ideal para estas aplicaciones dado que permite un escurrido limpio y sin obstrucciones del agua. Las siliconas también han sido ampliamente

utilizadas para adherir otros materiales distintos del cristal como piedra, o paneles de aluminio, simplificando los sistemas constructivos.

3.3.1. Utilización de los Selladores de Silicona en Doble Vidriado Hermético.

Una gran variedad de materiales han sido utilizados para doble vidriado hermético. En esta aplicación, los selladores cumplen con dos funciones:

- Retener los paños de cristal entre sí.
- Evitar el ingreso de humedad al interior de la cámara.
- Las siliconas poseen una alta transmisión de vapor de agua y por lo tanto, sólo deben ser usadas en unidades de doble sello, según la norma ASTM C 1249-93 (00) se debe utilizar silicona neutra estructural.

3.3.2. Sello Climático

Existen muchos puntos en los cerramientos donde el sistema debe ser sellado a fin de evitar la infiltración de agua. Los sellos climáticos incluyen: las juntas de expansión, las a tope, las de estanquidad y las de reparación. En otras palabras, cualquier aplicación en donde se encuentren dos componentes y se requiera de un sello para evitar el ingreso de agua o aire a través de los intersticios, absorbiendo los movimientos diferenciales.

3.3.3. Burletes y Calzos

EL burlete es un elemento extruído de plástico o de goma (sintética o natural) o cualquier material que se considere adecuado para los requerimientos de la obra, que cumple la función de asentar el cristal dentro del perfil, además sella y absorbe Los movimientos propios entre el cristal y los perfiles, ya sean de: madera, PVC o aluminio, según las estructuras donde se utilicen.

Según la norma argentina IRAM I 1539, los componentes de la fachada integral liviana, debe tener una vida útil mínima de 10 años.

Los calzos son aquellos elementos que permiten transmitir las cargas entre los cristales y la perfilaría de aluminio, especialmente peso propio.

En general los calzos deben ser de material compatible con los selladores y tener una dureza entre 85 y 95 shores A.

Capítulo IV

4. Análisis de los muros cortinas seleccionados.

Los edificios fueron seleccionados con motivo de probar la eficiencia del diseño, tanto como los cristales seleccionados como los perfiles que conforman la estructura y además de ver el cumplimiento de otros requisitos, tales como: estanquidad, propiedades térmicas, comportamiento acústico y requisitos de seguridad.

4.1. Análisis edificio Multimedia 7000.

Este es uno de los edificios más nuevos que cuenta el campus Miraflores, con una estructura principal de hormigón, de cuatro pisos, está equipado para prestar servicios como salas de clases multimedia y 2 laboratorios de computación. La fachada principal cuenta con la fachada en análisis.

4.1.1. Descripción del muro.

Tipo De muro: Enmarcado con elementos practicables.

Características de los perfiles de aluminio: Color natural.

Características del vidrio: Incoloro normal, de 4 mm de espesor, de una sección de 1 x 2 m, con una área de 2 m².

Sección de los perfiles:

- Montantes : 45 x 110 mm.
- Travesaño : 45 x 55 mm.
- Distancia entre Montantes (b) : 2000 mm.
- Distancia entre travesaños (a) : 1000 mm.
- Distancia entre losas : 4000 mm.
- Espesor de losa : 200 mm.

- Diagrama de la Fachada.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Análisis de diseño del muro.

4.1.2.1. Determinación del espesor de vidrio.

- **Método Timoshenko**

La carga de viento que elegiremos es de acuerdo a las condiciones a las cuales se encuentra el edificio, (Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora, según la Nch 432, Tabla N° 1) y la altura del edificio (se estimó 13 m de altura). Lo cual nos da que la carga de diseño será de 75 Kg/m^2 . La tensión admisible del vidrio es $1,6 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$. El coeficiente de forma a utilizar para cristales con cuatro apoyos

perimetales $b/a = 2/1 = 2$ (según tabla N° 12, Determinación del coeficiente de forma) es de $\beta = 0,78$.

Usando la formulación de timoshenko obtenemos que:

$$e = \beta * a * \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{adm}}}$$

$$e = 0,78 * 1 * \sqrt{\frac{75}{1,6 \cdot 10^6}}$$

$$e = 5,3 \approx 5mm$$

El peso total de la placa de vidrio es de:

$$(0,005 \times 2 \times 1) \times 2500 = 25 \text{ Kg}$$

Así pues, para el futuro cálculo de los travesaños se tendrá que considerar que el peso del acristalamiento ocasiona dos cargas puntuales de 13 kg sobre cada travesaño.

- **Método Nch.**

Dado las dimensiones del cristal (2 x 1m) nos da una superficie de 2 m² y con una presión de viento estimada en 75 kg/m² y equivale a 735 Pa.

Para poder determinar el espesor, debemos utilizar los ábacos Nos 1 a 9 que aparecen en el anexo A (Nch 135/3).

El espesor que se requiere es de 4 mm. para un vidrio monolitico y según el grafico de doble vidriado hermético el espesor minino es 3 + 3 mm.

La formulación de timoshenko nos dice que el espesor mínimo del vidrio a usar es de 5 mm. Pero de acuerdo con la Nch, nos indica que el espesor mínimo es de 4 mm, por lo tanto cumple con lo existente que es de 4 mm.

Se recomienda un doble vidriado hermético de 3 + 3 mm, con una cámara de 12 mm. Debiendo considerar la utilización de membranas que aseguren en el caso de una rotura del cristal los pedazos no comprometan la seguridad de las personas que circulan por los pasillos del edificio y además la implementación de elementos generadores de sombra o membranas que puedan reducir el factor solar y mejorar el coeficiente de sombra.

4.1.2.2. Cálculo de los montantes.

La distancia entre los anclajes consecutivos es de 4000 mm.

La Flecha máxima admisible, según la Nch 523 “Carpintería de aluminio – Puertas y Ventanas – Requisitos Básicos”, bajo la acción del viento, es de $L/175$ ó 19 mm, Para el caso de vidrios monolíticos y de $L/225$ para vidrios herméticos.

- La carga del viento es $Q = 75 \text{ kg/m}^2$
- La determinación de la flecha máxima es:

$$f_{\text{máx.}} = L/175 = 4000/175 = 22,8 \text{ mm} = 2,3 \text{ cm} \longrightarrow 1,9 \text{ cm.}$$

- Carga ejercida sobre el montante.

$$q = Q \times a = 75 \times 2 = 150 \text{ kg/m} = 1,5 \text{ kg/cm}$$

- Módulo de elasticidad del aluminio = 700000 kg/cm^2
- Inercia del perfil

$$I \geq \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f}$$

$$I \geq \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 400^4}{384 \cdot 700000 \cdot 1,9}$$

$$I \geq 376 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10255 según Anexo B (Tabla de montantes), cuyos valores son:

$$W_{xx} = 44,64 \text{ cm}^3 \qquad I_{xx} = 403,44 \text{ cm}^4 > 376 \text{ cm}^4$$

Comprobando los estados límite de servicio (ELS) y los estados límite últimos (ELU).

- ELS: se cumple puesto que se ha partido de la flecha aceptada como imposición previa. Con la inercia definitiva ($403,44 \text{ cm}^4$) la flecha máxima prevista es de $1,86 \text{ cm} < L/175$.
- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M^* = \gamma_S \cdot M = 1,07 * \frac{q \cdot L^2}{8} = 1,07 * \frac{(1,5 \cdot 400^2)}{8} = 32100 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1,05} = 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

γ_S = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{32100}{44,64} = 719,09 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 845,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

4.1.2.3. Cálculo de los travesaños.

Como se ha indicado en el punto 4.1.2.1, Cálculo de espesor del vidrio, el peso del acristalamiento es de 30 Kg por unidad.

El dimensionado de la inercia del perfil tiene que obtenerse a partir de esta limitación de flecha.

$$I = \frac{P * b}{48 * E * f} * (3 * L^2 - 4b^2) = \frac{30 * 20}{48 * 700000 * 0,3} * (3 * 200^2 - 4 * 20^2) = 7,05 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10165, según el Anexo B (Tabla de travesaños), cuyos valores resistentes son:

$$I_{yy} = 8,52 \text{ cm}^4 \qquad W_{yy} = 3,27 \text{ cm}^3$$

Por último debemos comprobar los estados limites de servicio (ELS) y los estados de limites últimos (ELU).

Debido que en Chile no hay normativa con respecto a la deformación de los perfiles utilizados como travesaños, se usará como de referencia la norma europea EN 13830, la cual limita la flecha máxima de los perfiles a 3 mm ó 0,3 cm.

- ELS: se cumple puesto que el dimensionamiento ha partido de la flecha máxima aceptada como imposición. Con la inercia del perfil adoptado, la deformación producida será de 2,1 mm.
- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M = \frac{P}{2} * a$$

$$M^* = \gamma_s \cdot M = 1.07 * \frac{P}{2} * a = 1.07 * 13 * 20 = 278 \text{Kg} \cdot \text{cm}$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1.05} = 848,57 \text{kg} / \text{cm}^2$$

γ_s = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{278}{3,27} = 85,02 \text{Kg} / \text{cm}^2 < 848,57 \text{kg} / \text{cm}^2$$

4.1.3. Cumplimiento de otros requisitos.

- Estanquidad : En las épocas de intensas lluvias no se detectan filtraciones hacia el interior de la fachada.
- Sistema de drenaje Interno : La fachada si posee sistema de drenajes internos, los cuales se aprecian en las zonas donde hay elementos practicables.

- Propiedades térmicas : La fachada presenta un vidriado monolítico, el cual aporta solo resistencia térmica superficial. Además no posee elementos para el control solar y a continuación se describen las propiedades térmicas del vidrio utilizado.

Resistencia térmica del muro	:	0,20 m ² *k/w
Coefficiente de ganancia térmica	:	0,82
Coefficiente de sombra	:	0,98
Transmitancia térmica	:	5,80 m ² *k/w
Luz visible transmisión	:	89 %
Luz visible reflexión	:	8 %
UV transmisión	:	67 %

Para mejorar la resistencia térmica se debió utilizar un doble vidriado hermético, de características 3 + 3, con una cámara de aire 12 mm.

- Comportamiento Acústico : Dado el vidrio existente, la atenuación es de 13 (DB) para ruidos generales y 18 (DB) ruidos de tráfico; como la fachada es la envolvente del pasillo de las salas de clases y laboratorio, a su vez cumple la función de sala de estar, la intensidad de ruidos recomendados en el interior debiera estar entre los 40 a 45 (DB), como la calle con la que colinda el edificio es de tránsito en calle promedio es de 70 (DB). Obtenemos que la cantidad de (DB) que pasan a través del vidrio es de 52 (DB).
- Requisitos de seguridad : Dada su superficie vidriada, el edificio es susceptible de recibir el impacto accidental de personas y/o que en caso de rotura impliquen un riesgo físico a las mismas. Este edificio no cuenta con medidas de seguridad ya que posee vidrio sin ningún tratamiento especial.

4.2. Análisis edificio Telefónica del Sur.

Este edificio fue remodelado y ampliado en algunas zonas, con una estructura principal de hormigón, de tres pisos, todo el edificio presenta como envolvente la fachada en análisis.

4.2.1. Descripción del muro.

Tipo De muro: Silicona estructural

Características de los perfiles de aluminio: Pintado color café oscuro.

Características del vidrio: Vidrio doble hermético, templado, de 3 + 3 mm de espesor, con cámara de 12 mm, la mayor sección es de 3,3 x 2,4 m, con un área de 7,92 m².

Sección de los perfiles:

- Montantes : 55 x 113 mm.
- Travesaño : 55 x 113 mm.
- Distancia entre Montantes : 3300 mm. (La distancia mayor y mas desfavorable)
- Distancia entre travesaños : 2400 mm. (La distancia mayor y mas desfavorable)
- Distancia entre losas : No se puedo comprobar
- Espesor de losa : No se puedo comprobar

- Diagrama de la Fachada.



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis de diseño del muro.

4.2.2.1. Determinación del espesor de vidrio.

- **Método Timoshenko**

La carga de viento que elegiremos es la mas desfavorable que se puede aplicar (Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora, según la Nch 432, Tabla N° 1) y la altura del edificio (se estimó 7 m de altura). Lo cual nos da que la carga de diseño será de 64 Kg/m^2 . La tensión admisible del vidrio es $1,6 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$. El coeficiente de forma a utilizar para cristales con cuatro apoyos perimetrales, $b/a = 3,3/2,4 = 1,375$ (según tabla N° 12, Determinación del coeficiente de forma) es de $\beta = 0,64$.

Usando la formulación de timoshenko obtenemos que:

$$e = \beta * a * \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{adm}}}$$

$$e = 0,64 * 2,4 * \sqrt{\frac{64}{1,6 \cdot 10^6}}$$

$$e = 9,71 \approx 10mm$$

- **Método Nch.**

Dado las dimensiones del cristal (3,3 x 2,4 m) nos da una superficie de 7,92 m² y con una presión de viento estimada en 64 kg/m² y equivale a 628 Pa.

Para poder determinar el espesor debemos utilizar los ábacos Nos 1 a 9 que aparecen en el anexo A.

El espesor que se requiere es de 10 mm. para un vidrio monolito y según el grafico de doble vidriado hermético el espesor minino es 4 + 4 mm.

La formulación de timoshenko nos dice que el espesor minino del vidrio a usar es de 10 mm, según la Nch, nos indica que el mínimo es de 10 mm (para un vidrio monolítico incoloro). De acuerdo a lo existente es un doble vidriado hermético de 3 + 3 mm, el cual no cumple con lo exigido por la norma.

Se recomienda un doble vidriado hermético de 4 + 4 mm, con una cámara de 12 mm. Los cálculos se desarrollaran en base a la recomendación.

El peso total de la placa de vidrio es de:

$$(0,008 \times 3,3 \times 2,4) \times 2500 = 158 \text{ Kg}$$

Así pues, para el futuro cálculo de los travesaños se tendrá que considerar que el peso del acristalamiento ocasiona dos cargas puntuales de 79 kg sobre cada travesaño.

4.2.2.2. Cálculo de los montantes.

La distancia entre los anclajes consecutivos es de 3500 mm.

La Flecha máxima admisible, según la Nch 523 “Carpintería de aluminio – Puertas y Ventanas – Requisitos Básicos”, bajo la acción del viento, es de $L/175$ ó 19 mm, Para el caso de vidrios monolíticos y de $L/225$ para vidrios herméticos.

- La carga del viento es $Q = 64 \text{ kg/m}^2$
- La determinación de la flecha máxima es:

$$f_{\text{máx.}} = L/175 = 3500/175 = 20 \text{ mm} = 2,0 \text{ cm} \longrightarrow 1,9 \text{ cm.}$$

- Carga ejercida sobre el montante.

$$q = Q \times a = 64 \times 2,4 = 154 \text{ kg/m} = 1,54 \text{ kg/cm}$$

- Módulo de elasticidad del aluminio = 700000 kg/cm^2
- Inercia del perfil

$$I \geq \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f}$$

$$I \geq \frac{5 \cdot 1,54 \cdot 350^4}{384 \cdot 700000 \cdot 1,9}$$

$$I \geq 226 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10158, según Anexo B (Tabla de montantes), cuyos valores son:

$$W_{xx} = 37,36 \text{ cm}^3$$

$$I_{xx} = 298,30 \text{ cm}^4 > 226 \text{ cm}^4$$

Comprobando los estados límite de servicio (ELS) y los estados límite últimos (ELU).

- ELS: se cumple puesto que se ha partido de la flecha aceptada como imposición previa. Con la inercia definitiva ($298,30 \text{ cm}^4$) la flecha máxima prevista es de $1,56 \text{ cm} < L/175$.
- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M^* = \gamma_S \cdot M = 1,07 * \frac{q \cdot L^2}{8} = 1,07 * \frac{(1,54 \cdot 350^2)}{8} = 25232 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1,05} = 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

γ_S = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{25232}{37,36} = 675,38 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

4.2.2.3. Cálculo de los travesaños.

Como se ha indicado en el punto 4.2.2.1, Cálculo de espesor del vidrio, el peso del acristalamiento es de 158 Kg por unidad.

El dimensionado de la inercia del perfil tiene que obtenerse a partir de esta limitación de flecha.

$$I = \frac{P * b}{48 * E * f} * (3 * L^2 - 4b^2) = \frac{158 * 33}{48 * 700000 * 0,3} * (3 * 330^2 - 4 * 33^2) = 135,077 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10158, según Anexo B (Tabla de travesaños); en este caso debe ser perfil de inercia reforzada, cuyos valores resistentes son:

$$I_{yy} = 142,5 \text{ cm}^4$$

$$W_{yy} = 54,8 \text{ cm}^3$$

Por último debemos comprobar los estados limites de servicio (ELS) y los estados de limites últimos (ELU).

Dado que en Chile no hay normativa con respecto a la deformación de los perfiles utilizados como travesaños, se usará como de referencia la norma europea EN 13830, la cual limita la flecha máxima de los perfiles a 3 mm ó 0,3 cm.

- ELS: se cumple puesto que el dimensionamiento ha partido de la flecha máxima aceptada como imposición. Con la inercia del perfil adoptado, la deformación producida será de 2,1 mm.
- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M = \frac{P}{2} * a$$

$$M^* = \gamma_S \cdot M = 1.07 * \frac{P}{2} * a = 1.07 * 79 * 33 = 2789,49 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1,05} = 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

γ_S = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{2789,49}{54,8} = 50,90 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

4.2.2.4. Cálculo de la silicona estructural.

Pv : 75 Kg/m²

T_{adm} : 14.000 Kgf/m²

Lc : 2400 mm

$$b = \frac{P_v * l_c}{T_{Adm}}$$

$$b = \frac{75 * 2400}{14000}$$

$$b = 12,8 \approx 13 \text{ mm}$$

El ancho de la silicona estructural calculada es de 13 mm, pero existente tiene 17 mm. Lo cual es permitido debido a las posibles dilataciones térmicas que pueda tener la fachada en tiempo de verano.

4.2.3. Cumplimiento de otros requisitos.

- Estanquidad : En las épocas de intensas lluvias no se detectan filtraciones hacia el interior de la fachada.
- Sistema de drenaje Interno : La fachada no posee sistema de drenajes internos.
- Propiedades térmicas : La fachada presenta un vidriado doble hermético, aun que es vidrio incoloro. Además posee elementos para el control solar, que consiste en una membrana autoadhesiva y un sistema interno de parasol. A continuación se describen las propiedades térmicas del vidrio utilizado.

Resistencia térmica del muro : 0,20 m²*k/w

Coefficiente de ganancia térmica : 0,74

Coefficiente de sombra : 0,86

Transmitancia térmica : 2,80 m²*k/w

Luz visible transmisión : 80 %

Luz visible reflexión : 15 %

UV transmisión : 52 %

- Comportamiento Acústico : Dado el vidrio existente, la atenuación es de 35 (DB) para ruidos generales y 32 (DB) ruidos de tráfico; como la fachada es la envolvente del edificio, los cuales tiene oficinas, la intensidad de ruidos recomendados en el interior debiera estar entre los 45 a 50 (DB), como la calle con la que colinda el edificio

es de calle ruidosa, la presión sonora es de 90 (DB). Obtenemos que la cantidad de (DB) que pasan a través del vidrio es de 58 (DB).

- Requisitos de seguridad : Dada su superficie vidriada, el edificio es susceptible de recibir el impacto accidental de personas y/o que en caso de rotura impliquen un riesgo físico a las mismas. Este edificio cuenta con medidas de seguridad ya que posee una membrana sobre el vidrio, que en caso de impacto retiene los trozos de vidrio y además es un filtro solar que reduce el calor solar radiante.

4.3. Análisis edificio Corte de apelaciones.

Debido a la aplicación de la reforma procesal penal, fue necesaria la construcción de este edificio, con una estructura principal de hormigón, de cinco pisos, fachada principal cuenta con la fachada en análisis.

4.3.1. Descripción del muro.

Tipo De muro: Silicona estructura

Características de los perfiles de aluminio: Pintado color blanco.

Características del vidrio: Incoloro normal, de 3 + 3 mm de espesor con cámara de aire de 12 mm, de una sección de 1,09 x 2,3 m, con una área de 2,51 m².

Sección de los perfiles:

- Montantes: 60 x 101 mm.
- Travesaño: 60 x 101 mm.
- Distancia entre Montantes: 2300 mm.
- Distancia entre travesaños: 1090 mm.
- Diagrama de la Fachada.



Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Análisis de diseño del muro.

4.3.2.1. Determinación del espesor de vidrio.

- **Método Timoshenko**

La carga de viento que elegiremos es de acuerdo a las condiciones a las cuales se encuentra el edificio, (Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora, según la Nch 432, Tabla N° 1) y la altura del edificio (se estimó 13 m de altura). Lo cual nos da que la carga de diseño será de 75 Kg/m^2 . La tensión admisible del vidrio es $1,6 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$. El coeficiente de forma a utilizar para cristales con cuatro apoyos perimetrales $b/a = 2,3/1,09 = 2,1$ (según tabla N° 12, Determinación del coeficiente de forma) es de $\beta = 0,78$.

Usando la formulación de timoshenko obtenemos que:

$$e = \beta * a * \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{adm}}}$$

$$e = 0,78 * 1,09 * \sqrt{\frac{75}{1,6 \cdot 10^6}}$$

$$e = 5,8 \approx 6 \text{ mm}$$

- **Método Nch.**

Dado las dimensiones del cristal (2,3 x 1,09 m) nos da una superficie de $2,51 \text{ m}^2$ y con una presión de viento estimada en 75 kg/m^2 y equivale a 735 Pa.

Para poder determinar el espesor debemos utilizar los ábacos Nos 1 a 9 que aparecen en el anexo A.

El espesor que se requiere es de 4 mm. para un vidrio monolito y según el gráfico de doble vidriado hermético el espesor mínimo es 3 + 3 mm.

La formulación de timoshenko nos dice que el espesor mínimo del vidrio a usar es de 6 mm, pero de acuerdo a la Nch, nos indica que el mínimo es de 4 mm, y lo existente corresponde a un doble vidriado hermético de 3 + 3 mm.

El peso total de la placa de vidrio es de:

$$(0,006 \times 2,5 \times 1,09) \times 2500 = 41 \text{ Kg}$$

Así pues, para el futuro cálculo de los travesaños se tendrá que considerar que el peso del acristalamiento ocasiona dos cargas puntuales de 21 kg sobre cada travesaño.

4.3.2.2. Cálculo de los montantes.

La distancia entre los anclajes consecutivos es de 4000 mm.

La Flecha máxima admisible, según la Nch 523 “Carpintería de aluminio – Puertas y Ventanas – Requisitos Básicos”, bajo la acción del viento, es de $L/175$ ó 19 mm, Para el caso de vidrios monolíticos y de $L/225$ para vidrios herméticos.

- La carga del viento es $Q = 75 \text{ kg/m}^2$
- La determinación de la flecha máxima es:

$$f_{\text{máx.}} = L/175 = 4000/175 = 22,9 \text{ mm} = 2,3 \text{ cm} \longrightarrow 1,9 \text{ cm.}$$

- Carga ejercida sobre el montante.

$$q = Q \times a = 75 \times 2,3 = 173 \text{ kg/m} = 1,7 \text{ kg/cm}$$

- Módulo de elasticidad del aluminio = 700000 kg/cm^2
- Inercia del perfil

$$I \geq \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f}$$

$$I \geq \frac{5 \cdot 1,73 \cdot 400^4}{384 \cdot 700000 \cdot 1,9}$$

$$I \geq 434 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10157, según anexo B (Tabla de montantes), con perfil de inercia reforzada, cuyos valores son:

$$W_{xx} = 77,98 \text{ cm}^3$$

$$I_{xx} = 528,96 \text{ cm}^4 > 434 \text{ cm}^4$$

Comprobando los estados límite de servicio (ELS) y los estados límite últimos (ELU).

- ELS: se cumple puesto que se ha partido de la flecha aceptada como imposición previa. Con la inercia definitiva ($528,96 \text{ cm}^4$) la flecha máxima prevista es de $1,86 \text{ cm} < L/175$.
- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M^* = \gamma_S \cdot M = 1,07 * \frac{q \cdot L^2}{8} = 1,07 * \frac{(1,73 \cdot 400^2)}{8} = 37022 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1,05} = 848,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

γ_S = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{37022}{77,98} = 474,76 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 845,57 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

4.3.2.3. Cálculo de los travesaños.

Como se ha indicado en el punto 4.3.2.1, Cálculo de espesor del vidrio, el peso del acristalamiento es de 60 Kg por unidad.

El dimensionado de la inercia del perfil tiene que obtenerse a partir de esta limitación de flecha.

$$I = \frac{P * b}{48 * E * f} * (3 * L^2 - 4b^2) = \frac{41 * 23}{48 * 700000 * 0,3} * (3 * 230^2 - 4 * 23^2) = 14,64 \text{ cm}^4$$

Se selecciona un perfil N° 10252, según anexo B (Tabla de travesaños), cuyos valores resistentes son:

$$I_{yy} = 16,87 \text{ cm}^4$$

$$W_{yy} = 6,49 \text{ cm}^3$$

Por último debemos comprobar los estados límites de servicio (ELS) y los estados de límites últimos (ELU).

Dado que en Chile no hay normativa con respecto a la deformación de los perfiles utilizados como travesaños, se usará como de referencia la norma europea EN 13830, la cual limita la flecha máxima de los perfiles a 3 mm ó 0,3 cm.

- ELS: se cumple puesto que el dimensionamiento ha partido de la flecha máxima aceptada como imposición. Con la inercia del perfil adoptado, la deformación producida será de 2,1 mm.

- ELU: se debe comprobar la tensión a la que se ve sometida la sección del perfil y verificar que la tensión de Cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

Donde:

M^* = el momento de servicio de diseño. cm·kg.

σ^*_{adm} = la tensión admisible de diseño.

W = el momento resistente. cm^3

$$M = \frac{P}{2} * a$$

$$M^* = \gamma_S \cdot M = 1.07 * \frac{P}{2} * a = 1.07 * 21 * 23 = 516,81 Kg \cdot cm$$

Siendo:

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{891}{1,05} = 848,57 kg / cm^2$$

γ_S = coeficiente de mayoración de las cargas.

γ_M = coeficiente de minoración del material.

Entonces, con los datos anteriores se produce a comprobar si se cumple la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{516,81}{6,49} = 76,63 Kg / cm^2 < 848,57 kg / cm^2$$

4.3.2.4. Cálculo de la silicona estructural.

Pv : 75 Kg/m²

T_{adm} : 14.000 Kg/m²

Lc : 1090 mm

$$b = \frac{P_v * l_c}{T_{Adm}}$$

$$b = \frac{75 * 1090}{14000}$$

$$b = 5,8 \approx 6mm$$

El ancho de la silicona estructural calculada es de 6 mm, pero existente tiene 12 mm. Lo cual es permitido debido a las posibles dilataciones térmicas que pueda tener la fachada en tiempo de verano.

4.3.3. Cumplimiento de otros requisitos.

- Estanquidad : En las épocas de intensas lluvias no se detectan filtraciones hacia el interior de la fachada.
- Sistema de drenaje Interno : La fachada posee sistema de drenajes internos.
- Propiedades térmicas : La fachada presenta un vidriado doble hermético, aun que es con vidrio incoloro. Además posee elementos para el control solar, que consiste en un sistema de parasol. A continuación se describen las propiedades térmicas del vidrio utilizado.

Resistencia térmica del muro : 0,20 m²*k/w

Coefficiente de ganancia térmica : 0,78

Coefficiente de sombra : 0,91

Transmitancia térmica : 2,80 m²*k/w

Luz visible transmisión : 82 %

Luz visible reflexión : 15 %

UV transmisión : 56 %

- Comportamiento Acústico : Dado el vidrio existente, la atenuación es de 36 (DB) para ruidos generales y 32 (DB) ruidos de tráfico; como la fachada es la envolvente del pasillo de oficinas y salas de la corte, y a su vez cumple la función de sala de estar, la intensidad de ruidos recomendados en el interior debiera estar entre los 40 a 45 (DB), como la calle con la que colinda el edificio con calle ruidosa, la intensidad sonora es de 90 (DB). Obtenemos que la cantidad de (DB) que pasan a través del vidrio es de 58 (DB).
- Requisitos de seguridad : Dada su superficie vidriada, el edificio es susceptible de recibir el impacto accidental de personas y/o que en caso de rotura impliquen un riesgo físico a las mismas. Este edificio no cuenta con medidas de seguridad ya que posee vidrio sin ningún tratamiento especial.

Capítulo V

Conclusiones

En el ámbito de las conclusiones se puede afirmar que ninguna de las fachadas analizadas cumple en su totalidad con los requisitos impuestos en esta memoria. Lo cual nos indica la necesidad de una normativa que regule el diseño de Muros Cortina, ya que se pueden hacer diversos diseños, pero todos deben cumplir con ciertos requisitos básicos.

Para los análisis realizados se procede a concluir por separado, según los resultados obtenidos de cada edificio analizado.

- **Edificio 7000 Multimedia.**

De acuerdo al análisis, la fachada presenta diversos puntos débiles en cuanto a estructura y seguridad. Su diseño es muy precario ya que los perfiles deberían ser más macizos y los vidrios utilizados no son los más adecuados, dada la envergadura de la fachada. En el caso de rotura de uno de ellos las consecuencias podrían ser fatales. Por lo cual, la utilización de vidrio templado hubiese sido lo ideal, ya que este, se astilla en pequeños fragmentos.

En el aspecto térmico, el edificio no posee generadores de sombra, lo cual podría ser peligroso por el stress térmico que se podría producir en los vidrios, induciendo al fallo y rotura del vidrio, además de aportar hacia el interior del edificio altas temperaturas en verano.

En la parte estructural, los perfiles no cumplen con la regla de diseño, tampoco cumplen con los requisitos de anclaje capaces de absorber una carga sísmica, lo cual no permite el desplazamiento vertical y horizontal. Es por esto que en la realidad, la fachada no es independiente de la estructura resistente.

Finalmente con todo esto, se puede concluir que la fachada no cumple en ningún punto de los planteados en esta memoria.

- **Edificio Telefónica del Sur**

Según los resultados obtenidos, el diseño de esta fachada está hecho según las exigencias estructurales, a pesar de esto, las dimensiones de los cristales, hacen poco rentable su diseño, ya que se requiere de perfiles reforzados para aumentar su inercia. Cabe destacar, que el acristalamiento no es el más óptimo, ya que no cumple con los espesores mínimos requeridos por la norma vigente.

Este edificio presentó una falla de exceso de acumulación de calor en época de verano, lo cual obligó a la aplicación de una membrana o película que reduzca el ingreso de calor solar, además de la implementación de un nuevo sistema de refrigeración.

En los pisos dos y tres se colocó un sistema de control solar de madera, cuya ubicación no es la ideal, ya que debería haber sido ubicado por fuera de la fachada.

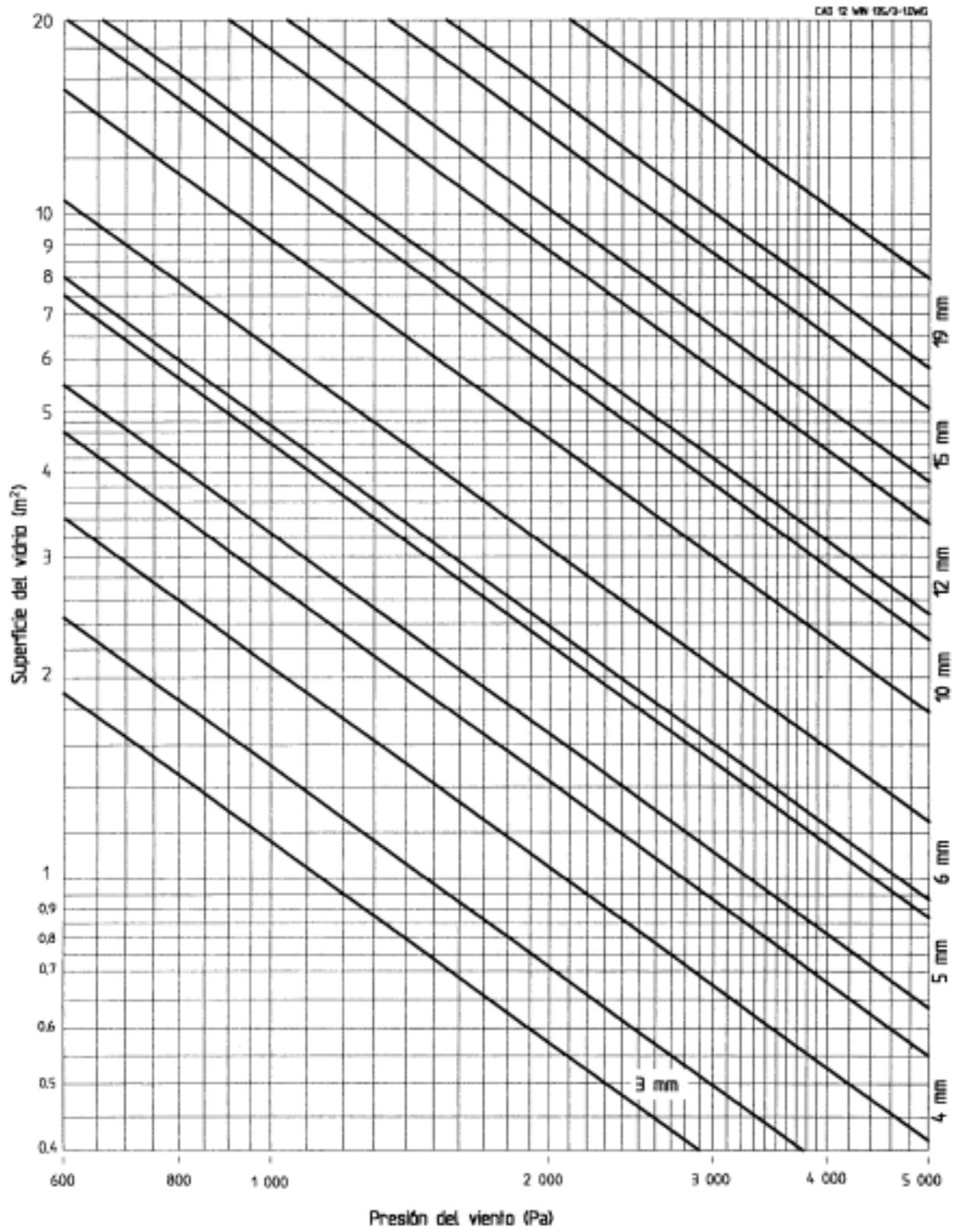
- **Edificio Corte de Apelaciones**

Los resultados del análisis nos indican que el diseño cumple con las exigencias estructurales. La falencia de esta fachada es su vidriado incoloro, dado que el servicio que presta el edificio, la coloridad en su vidriado, hubiese permitido un aumento en el coeficiente de sombra y templado, ya que para el caso de rotura de uno de los vidrios, no exista riesgo para la integridad de las personas que circulan por el edificio.

Anexos

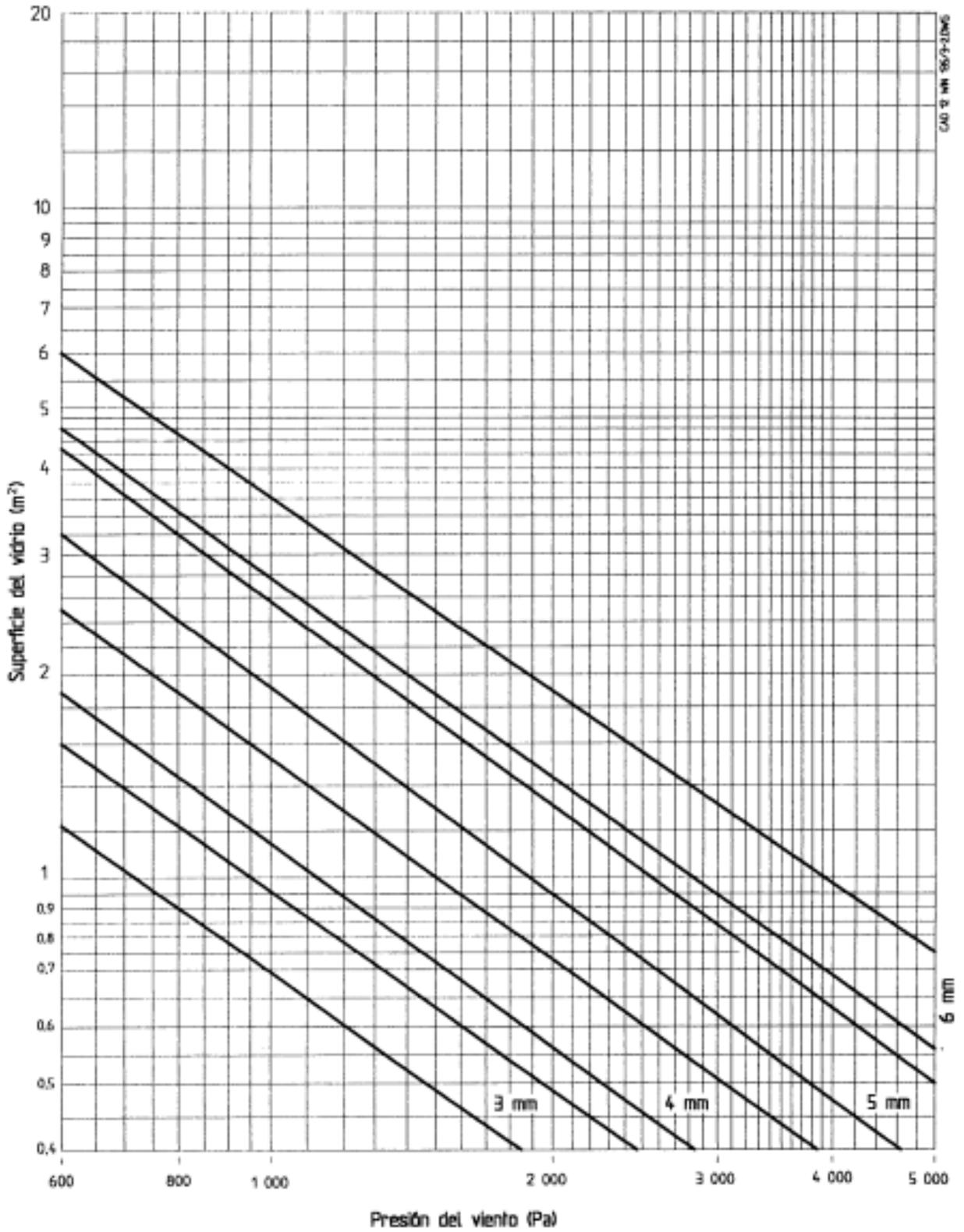
Anexos A

Ábaco N° 1, Vidrio transparente recocido, flotado o estriado



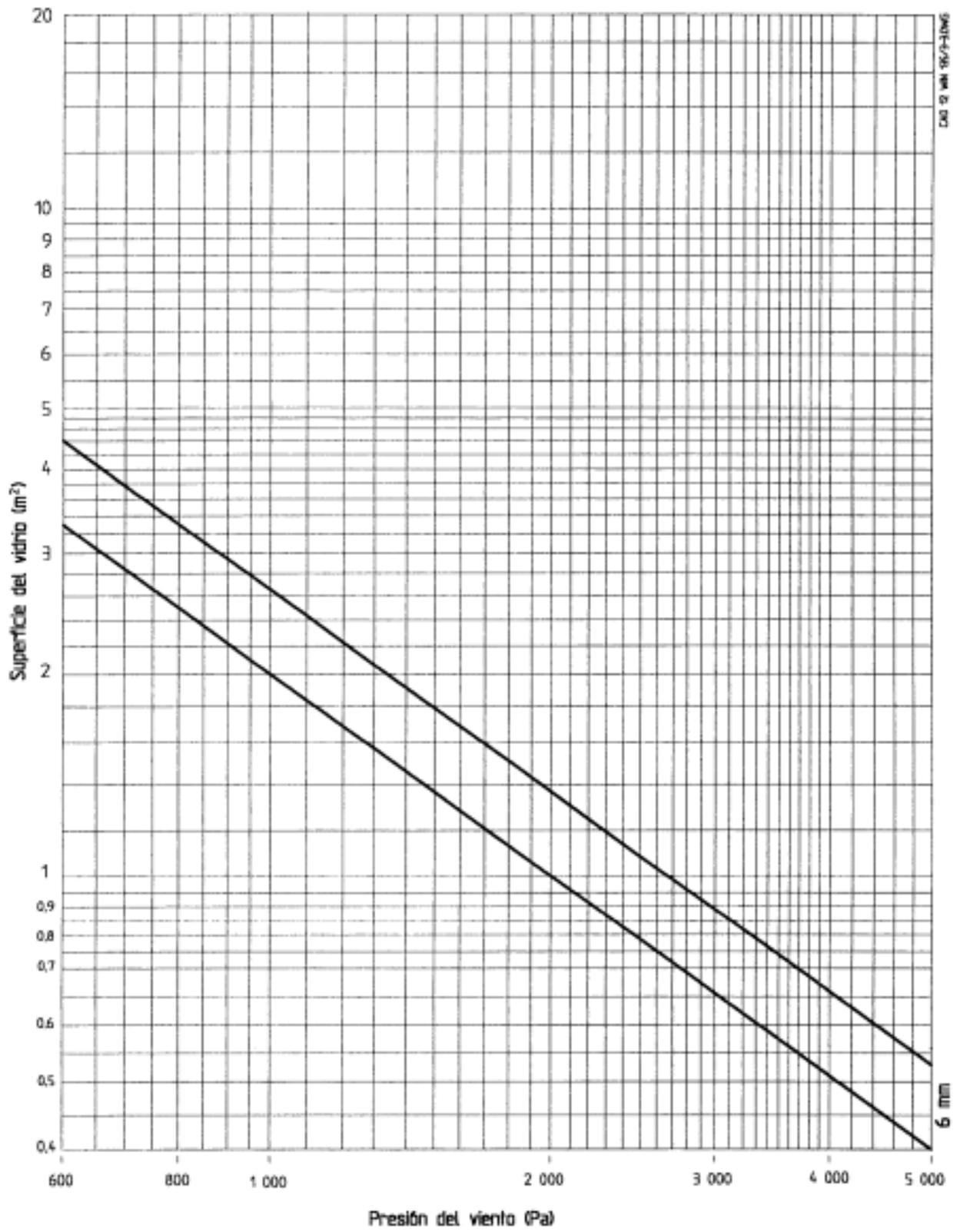
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 2, Vidrio recocido, impreso.



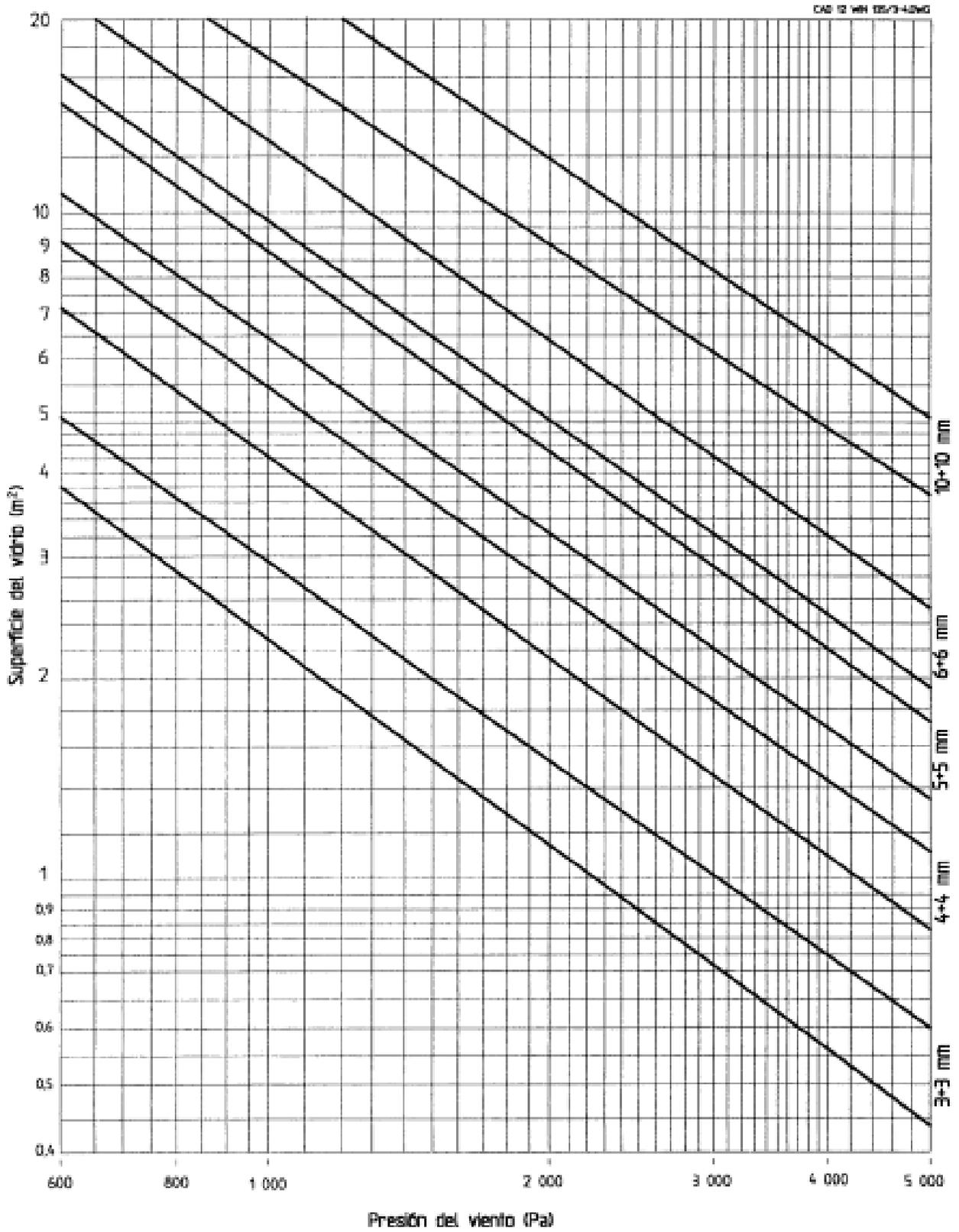
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 3, Vidrio armado.



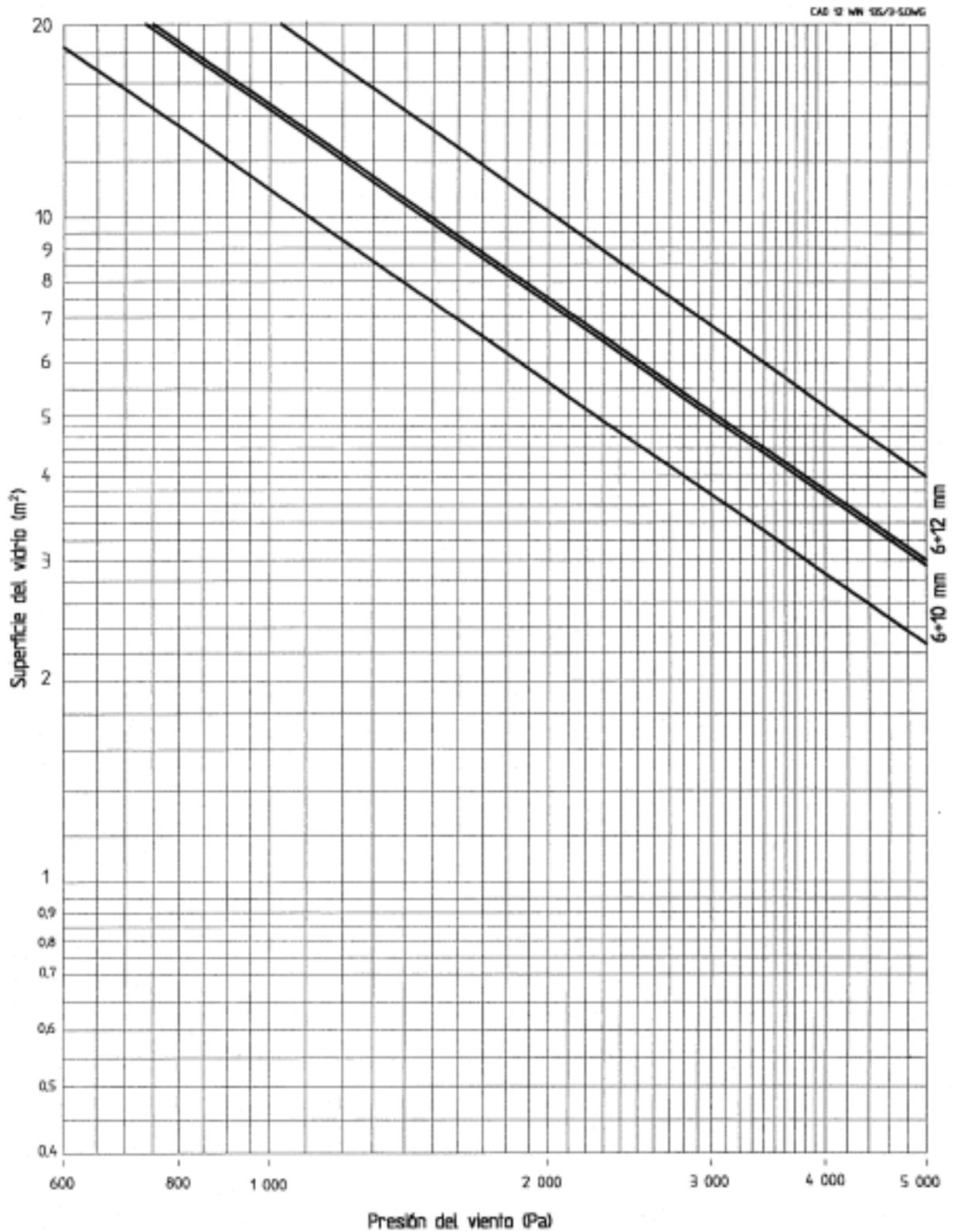
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 4, Doble vidriado hermético – Unidad asimétrica compuesta por vidrios recocidos, flotados o estirados.



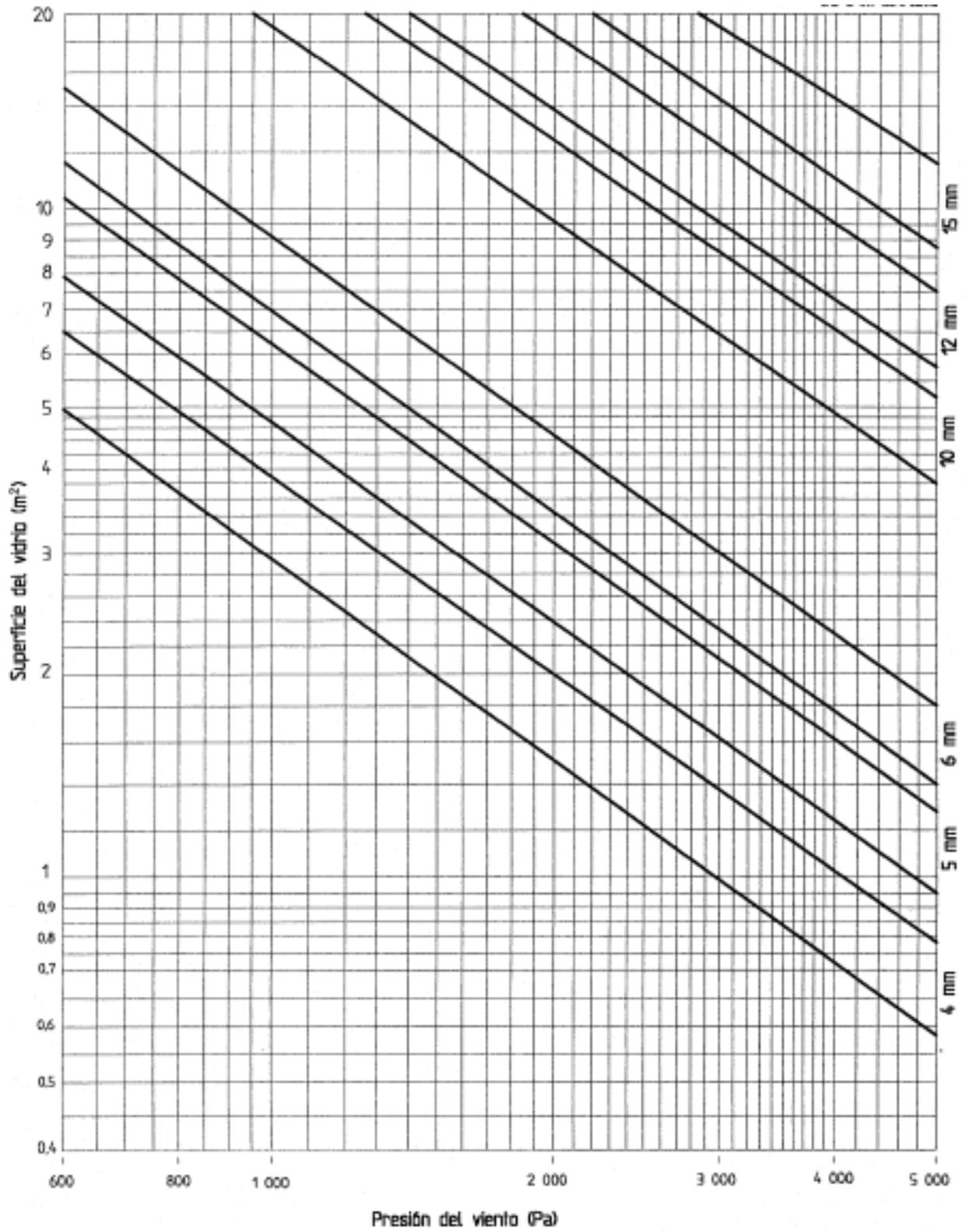
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 5, Doble vidriado hermético – Unidad asimétrica compuesta por vidrios recocidos, flotados o estirados.



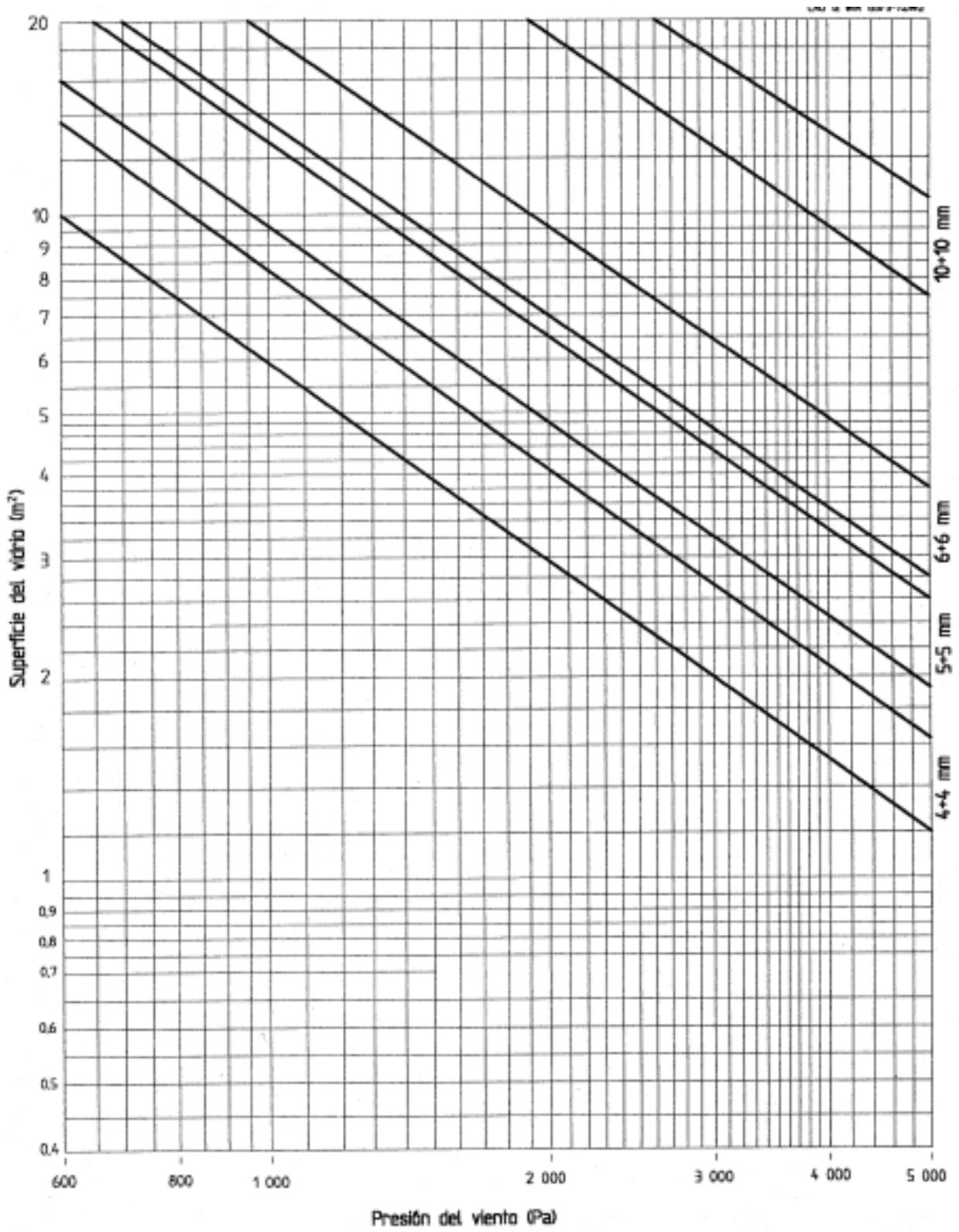
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 6, Vidrio templado.



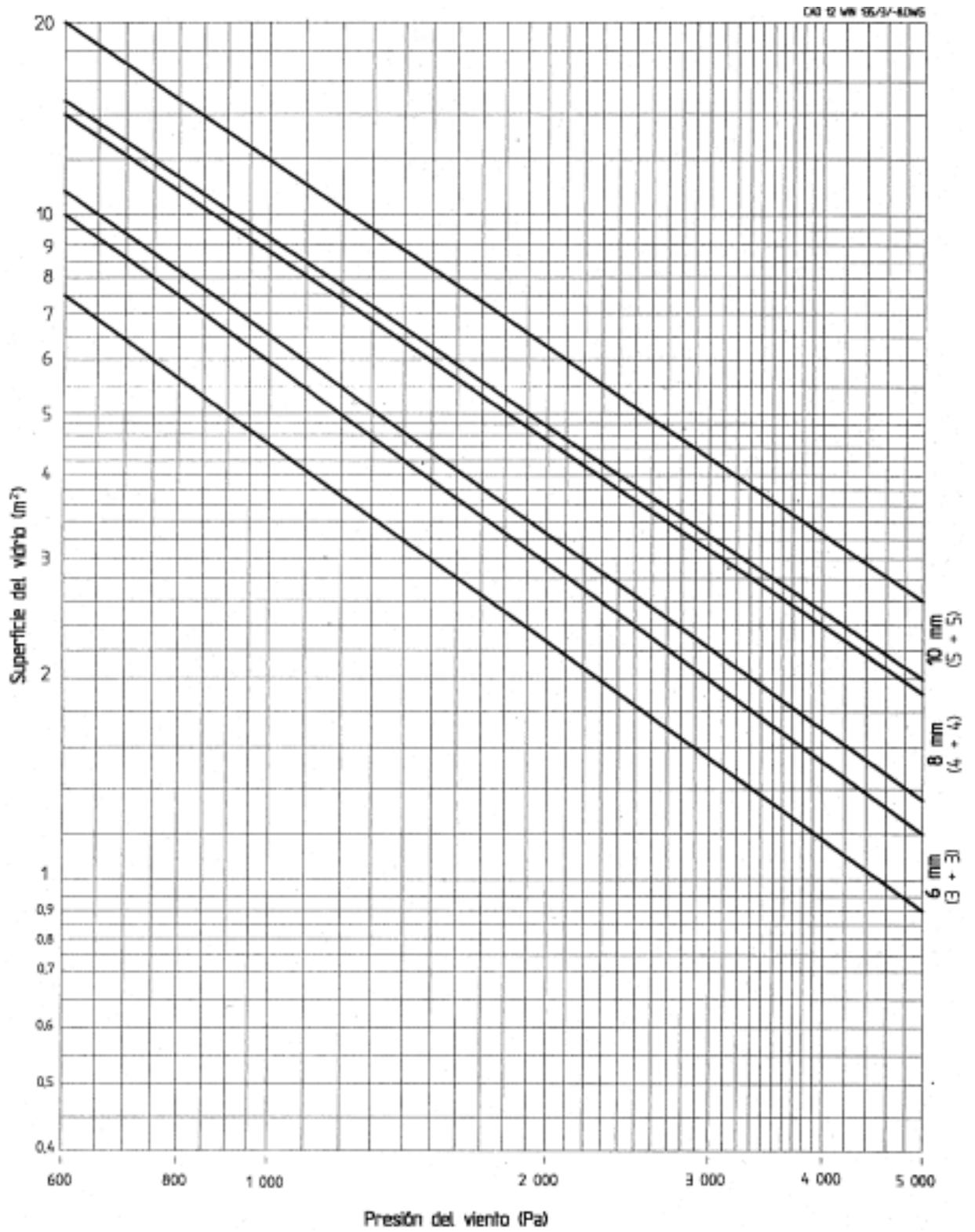
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 7, Doble vidriado hermético - Unidad simétrica compuesta por ambos paños de vidrio templado.



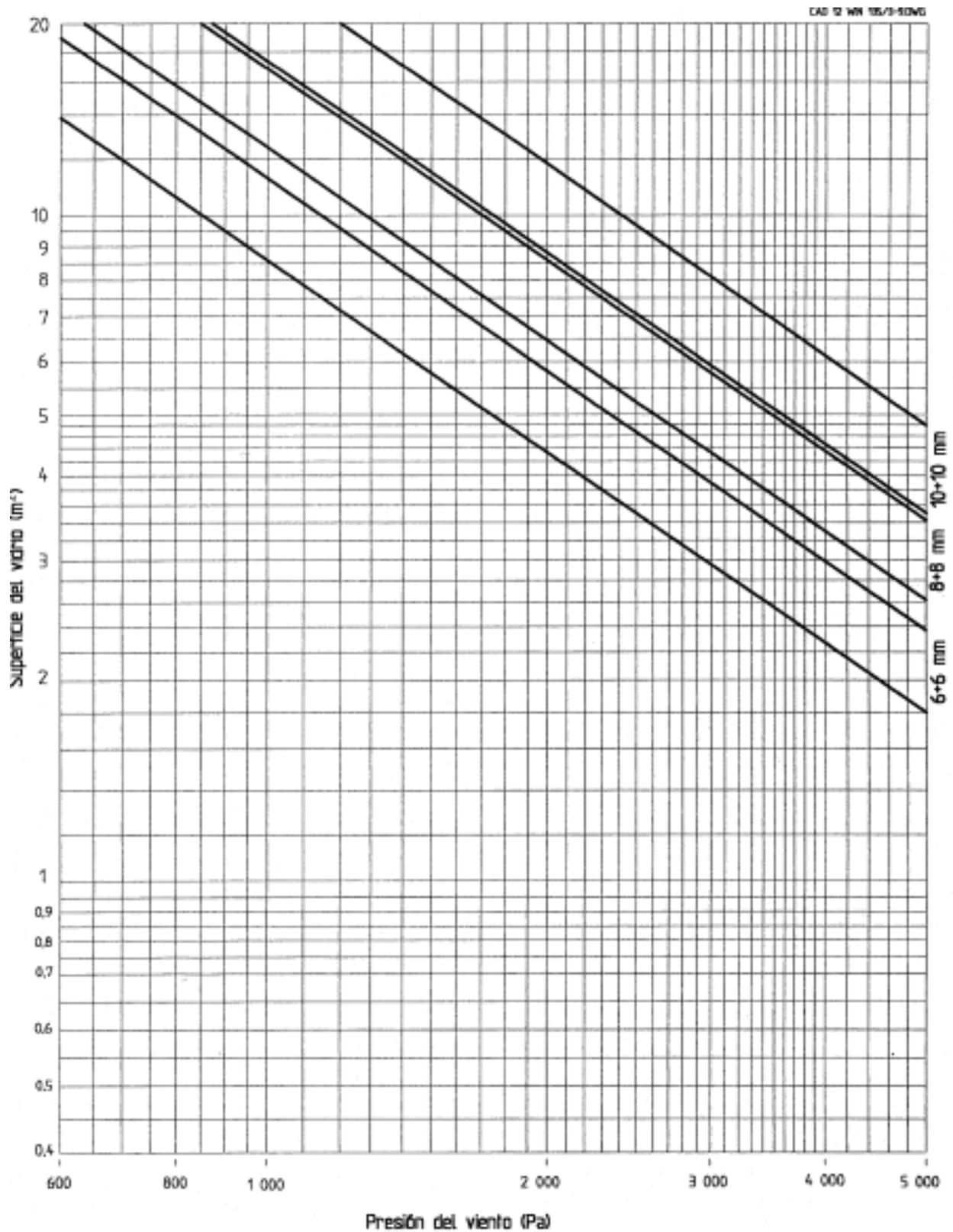
Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 8, Vidrio laminado con PVB - Unidad simétrica compuesta por ambos vidrios de igual espesor.



Fuente: Nch 135/3

Ábaco N° 9, Doble vidriado hermético - Unidad simétrica compuesta por ambos paños de vidrio laminado con PVB.

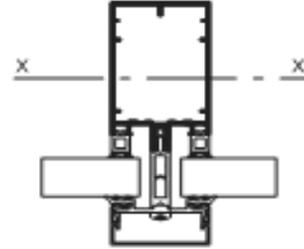
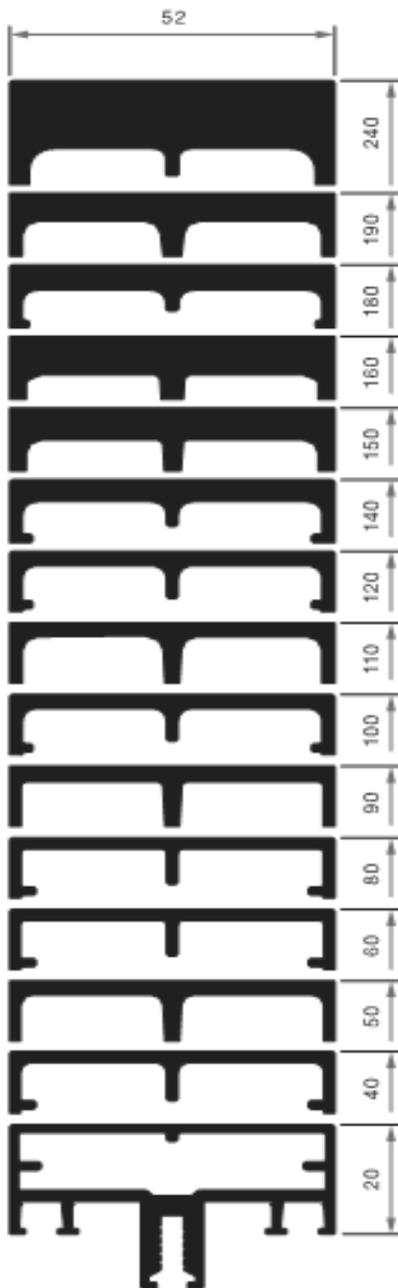


Fuente: Nch 135/3

Anexos B

Tablas de perfiles de aluminio, producidas por HYDRO España.

Tabla de montantes

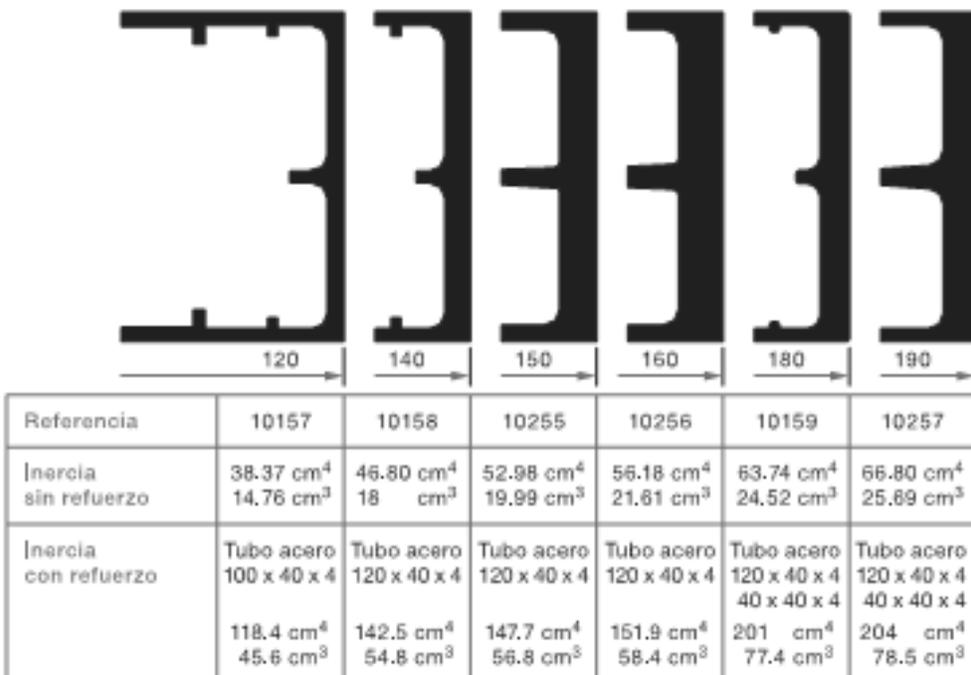
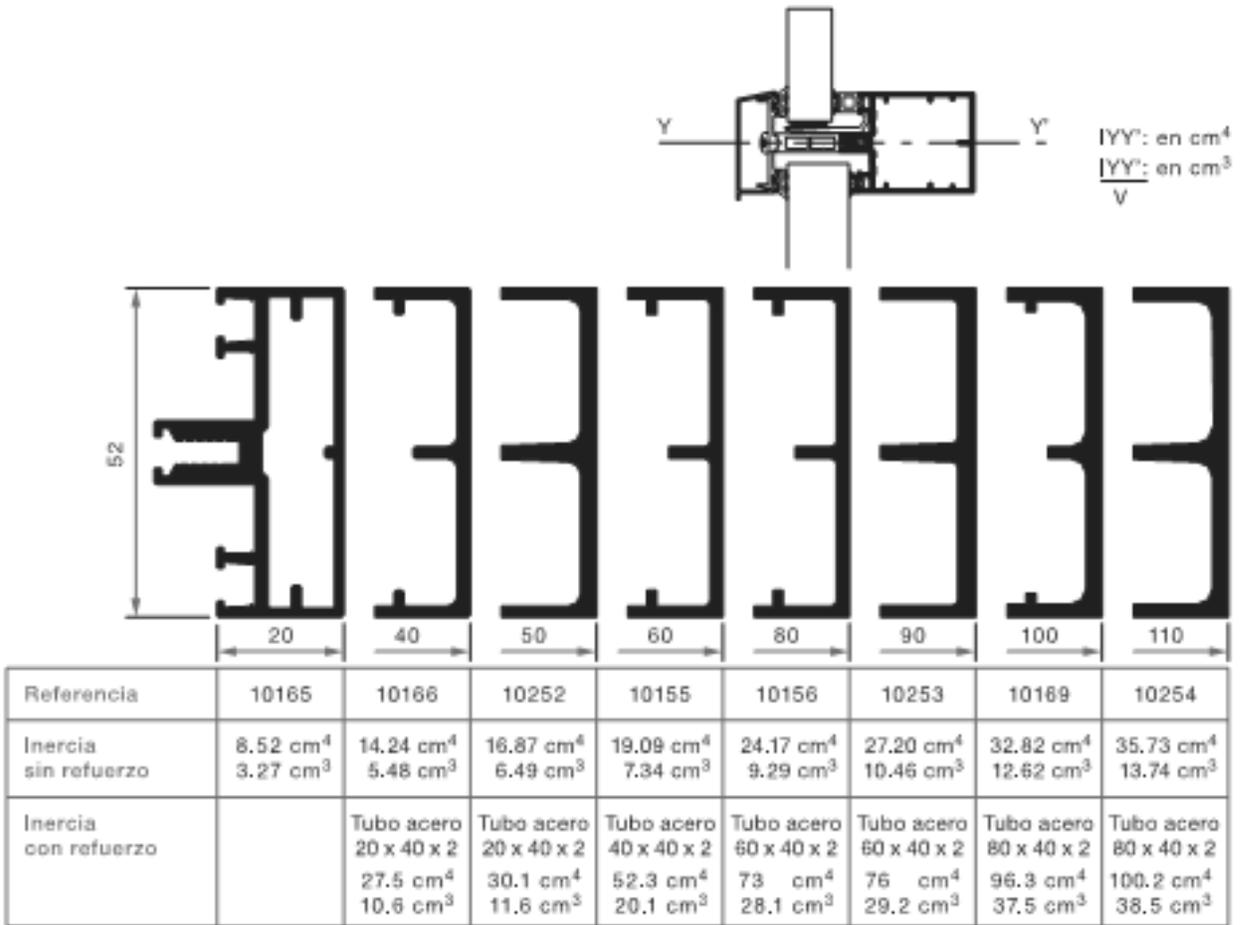


$I_{XX'}$: en cm^4
 $I_{XX'}$: en cm^3
 V

Referencia	Perímetro	Inercia sin refuerzo	Inercia con refuerzo	
10160	0.690 ml	1698.8 cm^4 114.7 cm^3	Tubo acero 140 x 40 x 4 70 x 40 x 4	4439.99 cm^4 336.45 cm^3
10257	0.590 ml	706.12 cm^4 65.58 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4	2092.57 cm^4 202.19 cm^3
10159	0.570 ml	589.52 cm^4 58.87 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4	1974.97 cm^4 197.41 cm^3
10256	0.530 ml	504.95 cm^4 50.64 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	1065.62 cm^4 117.69 cm^3
10255	0.510 ml	403.44 cm^4 44.64 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	964.11 cm^4 113.04 cm^3
10158	0.490 ml	298.30 cm^4 37.56 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	858.97 cm^4 107.75 cm^3
10157	0.450 ml	181.89 cm^4 27.87 cm^3	Tubo acero 100 x 40 x 4	528.96 cm^4 77.98 cm^3
10254	0.430 ml	152.65 cm^4 24.69 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 4	347.02 cm^4 56.98 cm^3
10169	0.410 ml	116.05 cm^4 20.95 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 4	310.42 cm^4 53.70 cm^3
10253	0.390 ml	93.13 cm^4 17.80 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 4	186.07 cm^4 36.37 cm^3
10156	0.370 ml	61.65 cm^4 13.41 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 4	154.59 cm^4 32.13 cm^3
10155	0.330 ml	30.99 cm^4 8.84 cm^3	Tubo acero 40 x 40 x 4	64.20 cm^4 17.12 cm^3
10252	0.310 ml	22.42 cm^4 6.83 cm^3	Tubo acero 20 x 40 x 2	26.71 cm^4 8.34 cm^3
10166	0.290 ml	12.11 cm^4 4.53 cm^3	Tubo acero 20 x 40 x 2	16.40 cm^4 5.85 cm^3
10165	0.250 ml	2.24 cm^4 1.28 cm^3		

Fuente: Hydro 2005

Tabla de travesaños



Fuente: Hydro 2005

Tablas de perfiles de aluminio, producidas por INDALUM Chile.

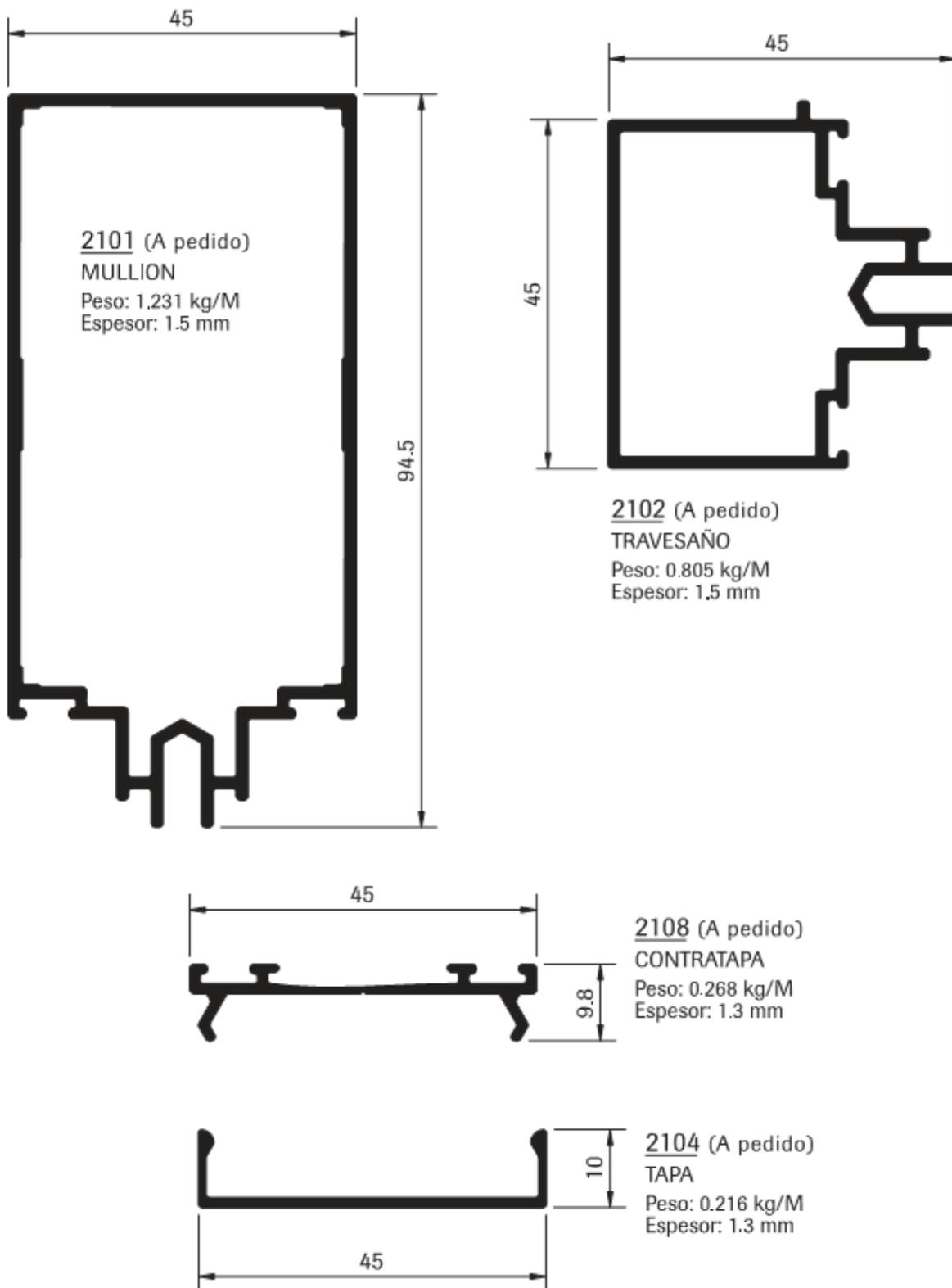
Serie 21 Stick

Perfil 2106 Inercia: 0,87 cm⁴ Tapa redonda

Perfil 2104 Inercia: 0,06 cm⁴ Tapa plana

Perfil 2102 Inercia: 6,34 cm⁴ Travesaño

Perfil 2101 Inercia: 47,36 cm⁴ Mullion



Serie 22 Stick

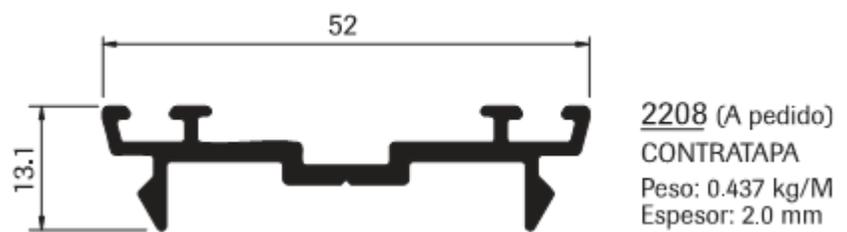
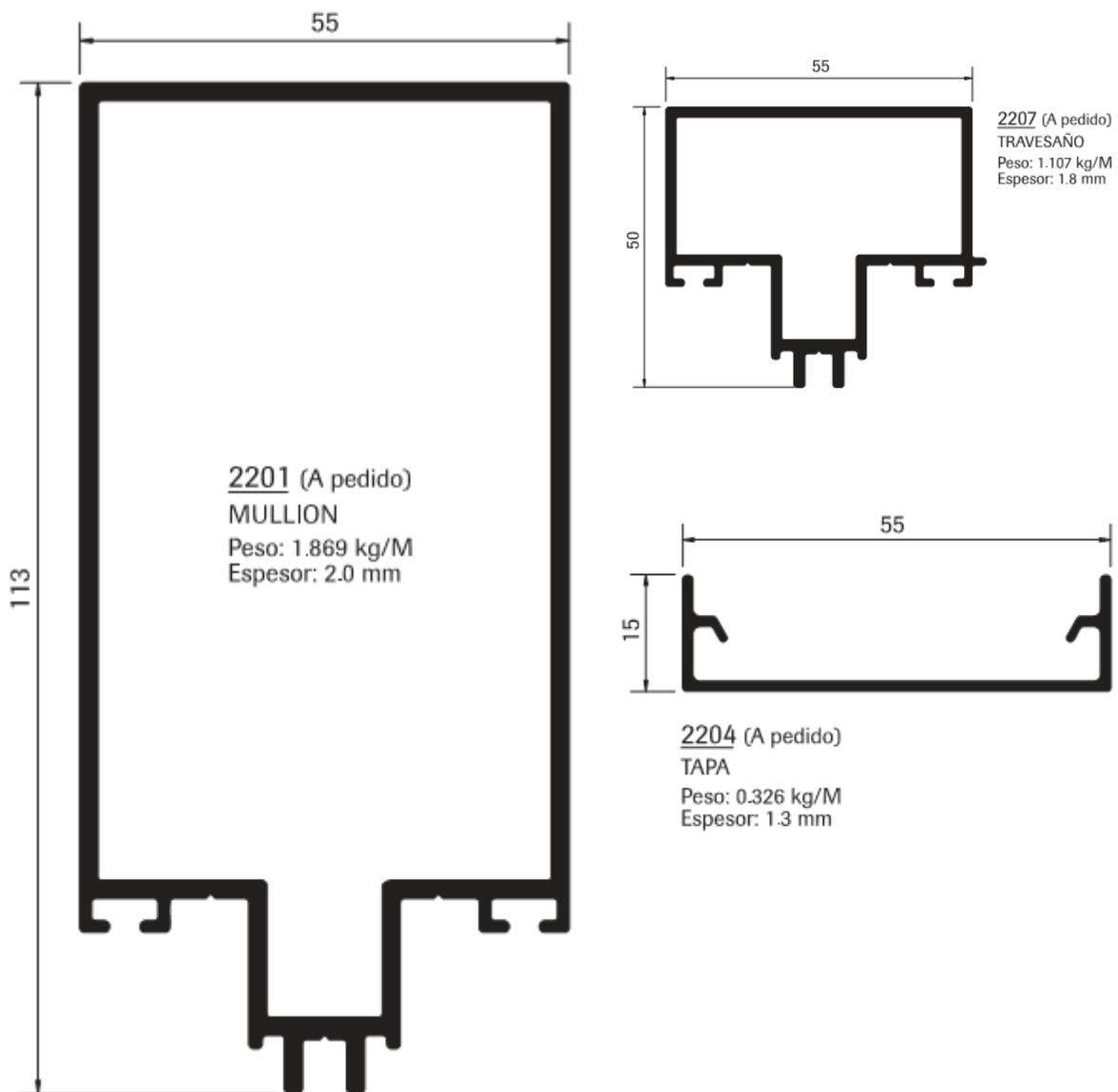
Perfil 2208 Inercia: 0,12 cm⁴ Contratapa

Perfil 2207 Inercia: 10,06 cm⁴ Travesaño

Perfil 2206 Inercia: 17,06 cm⁴ Tapa nariz

Perfil 2204 Inercia: 0,27 cm⁴ Tapa plana

Perfil 2201 Inercia: 100,14 cm⁴ Mullion

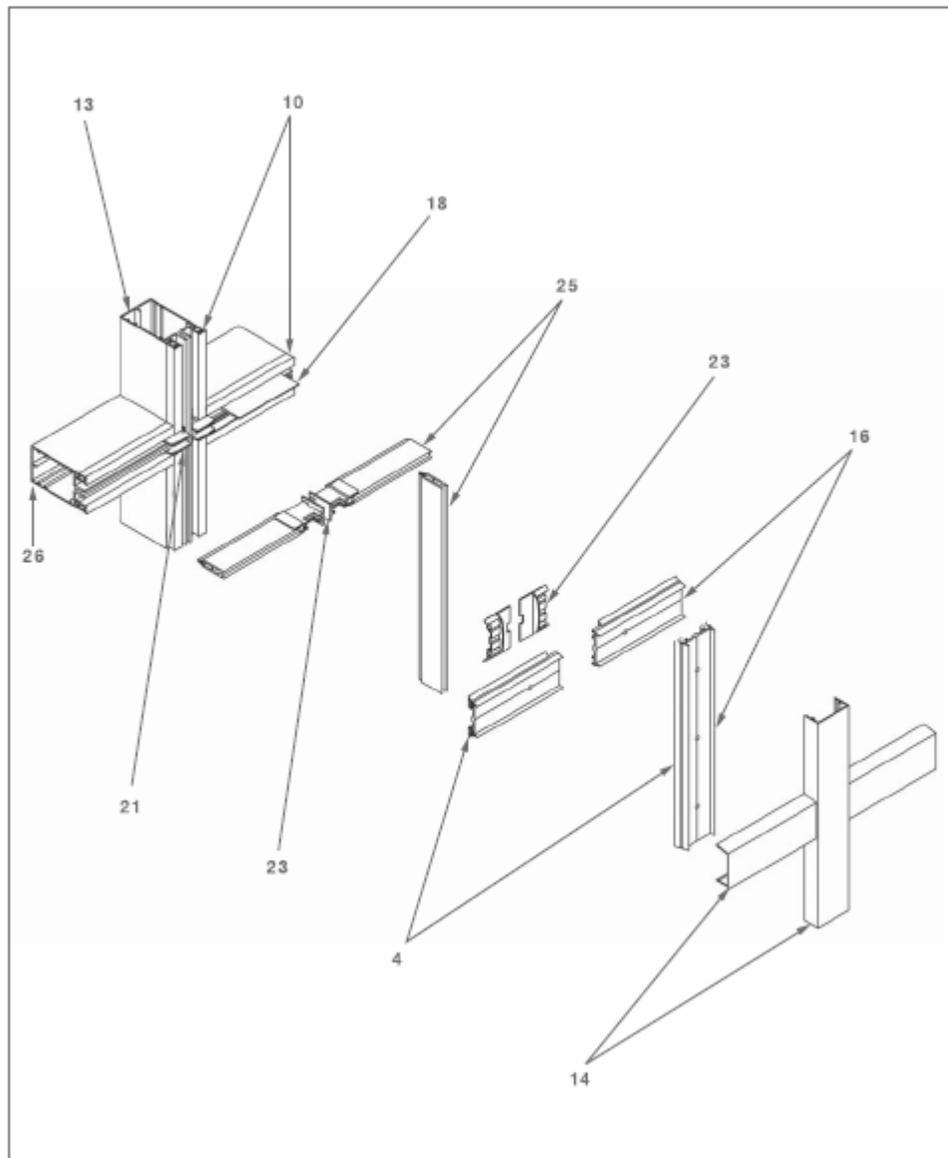


Anexo C

Glosario

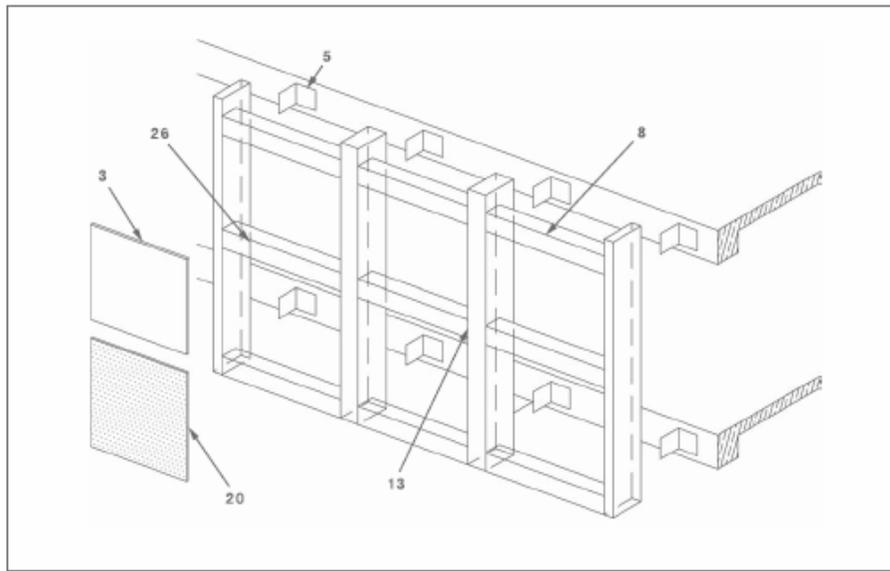
Las diversas partes y conceptos de una **Fachada Ligera** deben denominarse de la siguiente forma:

Figura N° 13, Esquema de partes de un muro cortina



Fuente: Construpedia

Figura N° 14, Elementos que conforman un muro cortina



Fuente: Construpedia

1 - Travesaño Inferior

Elemento horizontal que forma parte del armazón secundario de la fachada, y que se halla situado en la base inferior de la fachada ligera. Por lo general soporta los elementos de la fachada de la hilera más inferior (ventanas, vidrios, paneles).

2 - Guía Base

Perfil de uso específico, continuo, bien entrante o en voladizo (con respecto a la alineación de la fachada), instalado integrado o fijo sobre los montantes, y que permite el paso de un cable de instalaciones por su interior.

3 - Acristamiento Aislante

Ensamblaje de una o varias hojas de vidrio, encoladas entre sí o bien selladas perimetralmente de forma hermética para delimitar una cámara de aire, para asegurar mejores prestaciones tanto térmicas como acústicas.

4 - Burlete Exterior de Estanqueidad

Perfil de estanqueidad de material elastómero, situado entre la cara más exterior del elemento ciego de relleno y el marco que lo rodea.

5 - Anclaje

Pieza metálica fabricada específicamente para asegurar la conexión mecánica entre la estructura de la fachada ligera y la estructura principal del edificio.

6 - Fachada Panel Modular

Sistema de fachada ligera formado por paneles pre-ensamblados y acristalados en taller, que alcanza una altura de uno o más pisos.

7 - Calzo

Pieza de metal, madera o polímero que se coloca puntualmente en la perfilería para ajustar en su marco el acristalamiento o cualquier otro panel de relleno.

8 - Travesaño Superior

Elemento horizontal que forma parte del armazón de la fachada, y que se halla en la parte más alta de la fachada ligera por encima de la última hilera de elementos de la fachada (acristalamientos, ventanas, elemento de relleno, etc.).

9 - Elemento Ciego de Fachada

Panel ciego de la fachada compuesto por uno o más componentes (multicapas) y que se coloca en el interior de los marcos formados por la retícula del armazón de la fachada ligera.

10 - Burlete Interior de Estanqueidad

Perfil de estanqueidad, elastómero, situado entre la cara más interior del elemento ciego de la fachada y el marco que lo rodea.

11 - Jamba - Montante de Borde

Elemento vertical que forma parte del armazón de la fachada, y que se halla colocado en un lateral extremo de la fachada ligera, coincidiendo con la última columna de elementos de la fachada (acristalamientos, ventanas, rellenos o puertas).

12 - Manguito

Trozo de perfil fabricado específicamente para asegurar la unión por ensamblaje entre dos perfiles de armazón tubulares.

13 - Montante Principal

Elemento vertical que toma parte del armazón secundario de la fachada el cuál separa, y por lo general también soporta, los elementos de la fachada (ventanas, acristalamientos, rellenos y puertas adyacentes).

14 - Tapa de Montante

Perfil extruido de revestimiento exterior, que se coloca a presión sobre los montantes para asegurar un mejor aspecto arquitectónico.

15 - Equilibrado de Presión

Principio que consiste en la puesta en comunicación del aire exterior con el aire de las cámaras formadas en el interior de la fachada ligera. Para ello, los burletes de estanqueidad interior aseguran la estanqueidad al aire y los exteriores más bien funcionan como pantalla paraguas. Un conjunto de orificios de ventilación y de recorridos de salida en zig-zag aseguran este equilibrado de presiones minimizando los efectos del viento sobre el burlete exterior.

16 - Cubrejuntas a Presión (Tapajuntas)

Pieza metálica, por lo general de aluminio extruído, colocada en la periferia de los elementos de la fachada (acristalamientos o paneles ciegos) con el fin de permitir la transmisión de esfuerzos por medio de los burletes de estanqueidad.

17 - Pantalla Paraguas

Elemento específico que forma parte del diseño constructivo de una junta exterior. Su diseño permite eliminar las posibles infiltraciones de agua, mediante dispositivos de equilibrado de la presión de una y otra parte de la piel exterior. Este elemento de pantalla al agua funciona en combinación con el uso de burletes de estanqueidad y de recorridos de salida en zig-zag, para drenar las gotas de agua.

18 - Calzo de Asiento

Pieza de neopreno, plomo, madera u otro material adecuado, que se coloca bajo el canto inferior de una hoja de vidrio para su mejor acomodación en el marco.

19 - Antepecho

Tramo de una fachada ligera comprendida entre dos elementos horizontales consecutivos.

20 - Panel de Antepecho

Elemento de cerramiento colocado en un antepecho.

21 - Espiga o Enchufe

Pieza fabricada para permitir el ensamblaje mecánico de un perfil de travesaño tubular y un montante.

22 - Fachadas con Montantes y Travesaños

Sistema de fachada ligera, montado en obra, ensamblando “in situ” entre sí los distintos elementos del armazón y los elementos de cerramiento.

23 - Elemento de Fijación

Pieza metálica diseñada para transmitir a la estructura del edificio las cargas propias y las cargas aplicadas a la fachada ligera.

24 - Sistema de Acristalamiento Estructural

Técnica de puesta en obra de un cerramiento acristalado que resuelve la fijación de las hojas de vidrio que se solapan sobre su marco mediante un sellado posterior adhesivo (se coloca una fijación mecánica oculta adicional de seguridad). Se obtiene así una fachada con aspecto enteramente de vidrio.

25 - Rotura del Puente Térmico

Técnica consistente en insertar un puente de ensamblaje entre el perfil exterior y el perfil interior de aluminio. Dicho puente está formado por un compuesto sintético de muy baja conductividad térmica. Su objetivo consiste en reducir los flujos térmicos a través de dos materiales en contacto que tienen una alta conductividad térmica.

26 - Travesaño Central

Elemento horizontal que forma parte del armazón de la fachada, el cual separa y por lo general también soporta los elementos de cerramiento (ventanas, acristalamientos, rellenos o puertas adyacentes).

27 - Embellecedor o Tape de Travesaño

Perfil extruído de revestimiento exterior que se clipa por abrochamiento sobre los travesaños para asegurar un mejor aspecto arquitectónico.

28 - Coeficiente k

Coeficiente de transmisión térmica global, entre el aire interior y el aire exterior, de uno o varios elementos de fachada, expresado en W/m^2K .

29 - Barrera de Vapor

Película de material suficientemente resistente a la transmisión del vapor de agua como para retrasar apreciablemente el paso de dicho gas entre ambientes con distinta humedad relativa.

30 - Junta Periférica

Burlete de estanqueidad, aplicado entre el elemento extremo de la fachada ligera y la estructura principal del edificio.

31 - Orificio de Drenaje

Pequeña abertura practicada en una pared o en un marco de ventana, a través de la cual el agua que haya podido acumularse en el interior es drenada hacia el exterior del edificio.

32 - Flecha

Deformación o combadura que sufre una estructura, relativa a la línea recta que une los apoyos, debido a las cargas que inciden sobre ella.

Bibliografía

- HYDRO BUILDING SYSTEMS. 2005. **“Diseño de Fachadas Ligeras - Manual de Introducción al proyecto arquitectónico”**.
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. 2007. **“Recomendaciones técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas”**.
- FERNANDO CORTÉS PIZANO. 2001. **“Breve historia de las aplicaciones del vidrio plano en la construcción”**.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2006. **Manual de Aplicación Reglamentación Térmica - Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones – Artículo 4.1.10.**
- CONSTRUMÁTICA. **Enciclopedia de la construcción Construpedia**. (Disponible en: www.construmatica.com/construpedia/Portada, Consultado el: 20 de Agosto de 2008)
- EDICIONES PUC. 2001. **“Elementos constructivos”**.
- TECHNAL. 2005. **“Catálogo de Muros Cortina”**.
- LIRQUEN. 2006. **“Catálogo de Productos Vidrios”**.
- ANEXPA. **“Manual de carpintería de aluminio”**. Asociación Nacional de Extruidores de Perfiles de Aluminio (ANEXPA). (Disponible en: www.anexpa.org/edificacion.asp, Consultado el: 20 de Septiembre de 2008)
- JORGE CHOLAKY. INDALUM. 2006. **“Criterios de diseño y Cálculo de muros cortinas”**.
- RAMÓN ARAUJO – XAVIER FERRÉS. 2004. **“Muro Cortina”**.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1996. **“Terminología y clasificación general”**. (nch 132. of 96)

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1996. **Vidrios planos para arquitectura y uso industrial, espesores nominales normales y tolerancias.** (NCh 133. of 96)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos. Características físicas.** (NCh 134. of 97)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos. Ensayos Parte 1: Determinación de la transmisión de la luz, transmisión directa solar, transmisión de la energía solar total y transmisión ultravioleta, y factores de acristalamiento relacionados.** (NCh 134/1. Of 97)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos. Ensayos Parte 3: Resistencia a la acción de temperaturas extremas.** (NCh 134/3. of 97)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos. Ensayos Parte: Rotura por flexión.** (NCh 134/4. of 97)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos de seguridad para uso en arquitectura. Clasificación y requisitos.** (NCh135. of 97)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1998. **Uso en la arquitectura. Parte 1: Práctica recomendada para su empleo.** (NCh 135/1)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Uso en la arquitectura. Parte 2: Especificación y aplicación en áreas susceptibles a impacto humano.** (NCh 135/2)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos de seguridad para uso en arquitectura. Parte 3: Vidrios que se emplean en posición vertical, sustentados en sus cuatro bordes. Práctica recomendada para el cálculo de espesor.** (NCh 135/3)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos. Ensayos Parte 4: Inspección visual.** (NCh 135/4)

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1998. **Vidrios planos. Ensayos Parte 5: Roturas por impacto de una esfera de acero.** (NCh 135/5)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1998. **Vidrios planos de seguridad. Ensayos Parte 6: Rotura por impacto de una bolsa de lastre.** (NCh 135/6)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos de seguridad Ensayos Parte 7: Fragmentación por impacto de un punzón.** (NCh 135/7)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1997. **Vidrios planos de seguridad, laminados. Ensayos Parte 8: Resistencia a la temperatura y humedad.** (NCh 135/8)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1999. **Doble vidriado hermético Parte 1: Características de diseño y construcción.** (NCh 2434/1)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2001. **Vidrios laminados planos para la arquitectura. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.** (NCh 2620)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1977. **Construcción sobre cargas de nieve.** (NCh 431 of. 77)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1971. **Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.** (NCh 432 of 71)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2000. **Arquitectura y construcción puertas y ventanas. Terminología y clasificación.** (NCh 446)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2000. **Carpintería, modulación de ventanas y puertas exteriores.** (NCh 447)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2001. **Carpintería de aluminio, puertas y ventanas. Requisitos.** (NCh 523)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2000. **Arquitectura y construcción ventanas. Requisitos básicos.** (NCh 888)

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2001. **Arquitectura y construcción ventanas. Ensayos mecánicos.** (NCh 889)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2000. **Arquitectura y construcción ventanas. Ensayos de resistencia al viento.** (NCh 890)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2000. **Arquitectura y construcción puertas y ventanas. Ensayo de estanqueidad al agua.** (NCh 891)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 2001. **Arquitectura y construcción ventanas. Ensayo de estanqueidad al aire.** (NCh 892)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). **Diseño estructural de edificios. Cargas permanentes y sobrecargas de uso.** (NCh 1537)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). **Arquitectura y construcción ventanas. Instalación en obra.** (NCh 2496)