Recomendaciones Técnicas para Muros Cortina

"Recomendaciones Técnicas para Muros Cortina" es el trigésimo octavo documento publicado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico y tiene por objetivo entregar antecedentes fundamentales en los ámbitos relacionados a Muros Cortina, como lo son: consideraciones para el diseño, aspectos estructurales, acondicionamiento interior, atenuación acústica, protección contra el fuego, sellos, recomendaciones de instalación, recepción y mantención, entre otros aspectos.

El presente manual, esta la vez, la actualización del documento "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortina", publicado por la CDT el año 2006.

De esta forma, se espera que este documento técnico se constituya en un aporte y referente de consulta técnica para los profesionales del sector construcción.

www.cdt.cl

NAVC 2014 NÚMERO 38
RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA MUROS CORTINA
WWW.CDT.CL

DOCUMENTOS TÉCNICOS
CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

Nº 38

Recomendaciones Técnicas para Muros Cortina

Recomendaciones Técnicas para Muros Cortina

DOCUMENTO DESARROLLADO POR:
Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción

COMITÉ DE REDACCIÓN:
Jorge Cholaky (Secretario Técnico)
Patricia Enríquez (Corporación de Desarrollo Tecnológico)
María de los Ángeles Infante (Corporación de Desarrollo Tecnológico)
Carlos López (Corporación de Desarrollo Tecnológico)
Felipe Toledo (Redactor Técnico)

COMITÉ TÉCNICO:
Nelson Aguilera (GLASSTECH S.A.)
Cristian Alcota (3M Chile S.A.)
Álvaro Barriuso (GLASSTECH S.A.)
Francisco Bastidas (SIKA S.A. Chile)
Cristian Berenguer (Surplast S.A.)
Manuel Brunet (Cámara Chilena de la Construcción)
Mónica Budge (Vidrios Liquen S.A)
Luis Carrasco (Compañía Industrial EL VOLCAN S.A.)
Verónica Catoni (Hunter Douglas Chile S.A.)
Francisco Compan (Indalum)
Bernardo de la Peña (SIKA S.A. Chile)
Daniel Díaz (SIKA S.A. Chile)
Alejandro Eliash (Cámara Chilena de la Construcción)
Enrique Hepner (Compañía Industrial EL VOLCAN S.A)
Javier Moya (Hunter Douglas Chile S.A.)
Edith Pacci (Hilti Chile Ltda.)
Juan Pablo Salinas (Ispolast S.A.)
Patricia Sepúlveda (Venteko)
Guillermo Silva (Archival)
Richard Wagner (Comercial Soluex Spa)

COMITÉ EXPERTOS:
La Corporación de Desarrollo Tecnológico agradece a las siguientes personas que contribuyeron en la revisión técnica de los contenidos de este documento.
Capítulo 2: Luis Corvalán, Arquitecto
Capítulo 3: Tomas Guendelman, Ingeniero Civil
René Lagos, Ingeniero Civil
Capítulo 4: Mariela Gárate, Arquitecto; Pablo Sills, Arquitecto
Capítulo 5: Claudio Poo, Ingeniero Acústico
Capítulo 6: Miguel Bustamante, Ingeniero Civil
Capítulo 10: Héctor Hidalgo, Ingeniero Civil;
Gabriel Retamal, Constructor Civil

EDICIÓN PERIODÍSTICA:
Área Comunicaciones CDT
Marcelo Casares, Subgerente de Comunicaciones
Ignacia Saavedra, Periodista

DISEÑO:
Alejandro Esquivel
Eduardo Romero (Ilustraciones)

IMPRESIÓN:
Trama Impresores S.A.

ISBN: 978-956-7911-28-8
Registro de Propiedad Intelectual: 239876
1ª Edición, Mayo 2014, 1.000 ejemplares
Consulta Pública: Diciembre 2013

Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT
Marchant Pereira 221 Of.11, Providencia. Santiago de Chile
Fono: (56 2) 2718 7500
cdt@cdt.cl / www.cdt.cl

Los contenidos del presente documento consideran el estado actual del arte en la materia al momento de su publicación. CDT no escatima esfuerzos para procurar la calidad de la información presentada en sus documentos técnicos. Sin embargo, advierte que es el usuario quien debe velar porque el personal que va a utilizar la información y recomendaciones entregadas esté adecuadamente calificado en la operación y uso de las técnicas y buenas prácticas descritas en este documento, y que dicho personal sea supervisado por profesionales o técnicos especialmente competentes en estas operaciones o usos. El contenido e información de este documento puede modificarse o actualizarse sin previo aviso. CDT puede efectuar también mejoras y/o cambios en los productos y programas informativos descritos en cualquier momento y sin previo aviso, producto de nuevas técnicas o mayor eficiencia en aplicación de habilidades ya existentes. Sin perjuicio de lo anterior, toda persona que haga uso de este documento, de sus indicaciones, recomendaciones o instrucciones, es personalmente responsable del cumplimiento de todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos necesarias frente a las leyes, ordenanzas e instrucciones que las entidades encargadas imparten para prevenir accidentes o enfermedades. Asimismo, el usuario de este documento será responsable del cumplimiento de toda la normativa técnica obligatoria que esté vigente, por sobre la interpretación que pueda derivar de la lectura de este documento.

muro cortina.indd 1 4/1/14 9:57 AM

CARLOS ZEPPELIN H.
Presidente

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Cámara Chilena de la Construcción

Sin lugar a duda, la incorporación de los muros cortina a la arquitectura nacional se ha ido transformando en un elemento constructivo cada día más importante en nuestras ciudades. Desde sus primeras experiencias en Chile, hace ya algunas décadas, su utilización en edificación en altura ha cobrado una notoria relevancia. En la actualidad, con las nuevas preocupaciones por generar envolventes eficientes y sustentables, el muro cortina representa un elemento de suma relevancia para la arquitectura, capaz de generar mejores respuestas climáticas, ahorro en el uso de energía y uso inteligente de recursos.Si bien, a raíz del terremoto del 27 de febrero de 2010, se constató un desempeño muy destacable por parte de los muros cortina, siempre es relevante transmitir las mejores prácticas en término de recomendaciones técnicas, especificaciones, instalaciones calificadas y elementos de control, que permitan evitar condiciones y efectos indeseados a causas de solicitaciones sísmicas, vientos u otros eventos.

Atendiendo a lo anterior, y al desarrollo de este segmento a nivel nacional que ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años, la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, desarrolló ya en el año 2006 la publicación "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortinas". Este documento, muy valioso por cierto, ya ha cumplido ocho años desde su lanzamiento, y es así como se ha modernizado incorporando algunas temáticas relevantes de reciente aparición, como la nueva generación de edificios más altos y más flexibles, las nuevas disposiciones para el diseño sísmico de edificios, nuevos materiales como paneles, láminas, entre otros aspectos.

Considerando estos antecedentes y la opinión de expertos en la materia que han hecho ver la necesidad de profundizar en estas recomendaciones técnicas, la CDT convocó nuevamente a las empresas relacionadas con esta temática a constituir un nuevo grupo de trabajo, que durante los últimos 15 meses ha laborado para desarrollar los contenidos técnicos adecuados a esta publicación.

Con lo anterior, nuestra Corporación presenta este documento de "Recomendaciones técnicas en Muros Cortina", que esperamos se constituya en un nuevo aporte al sector, favoreciendo la información y conocimientos para arquitectos, ingenieros, constructores, inspectores técnicos de obra, entre otros.

Agradezco sinceramente a los profesionales y al equipo técnico que ha trabajado en los contenidos de este nuevo documento, así como a las empresas que han participado y a los expertos en muros cortina, quienes han contribuido significativamente con su revisión y validación de contenidos.

Finalmente, invito a todos los profesionales del sector a utilizar este nuevo documento técnico y a conocer la gran variedad de información que nuestra Corporación pone a su disposición para contribuir con las buenas prácticas en el sector.

muro cortina.indd 3 4/1/14 9:39 AM

La Corporación de Desarrollo Tecnológico
agradece la colaboración de las siguientes empresas e instituciones
en la publicación de este documento técnico.

EMPRESAS ASOCIADAS

• VIDRIOS LIRQUEN S.A. • GLASSTECH S.A.
• VENTANAS DE TECNOLOGÍAS TERMO ACÚSTICA S.A.
• ASOCIACIÓN GREMIAL CHILENA DE VIDRIO, ALUMINIO Y PVC (ARCHIVAL)

muro cortina.indd 5 4/1/14 9:39 AM

Prólogo para Lectores en Latinoamérica

Estimado lector,

La primera versión del Manual de Muros Cortina fue elaborada en el año 2006, y ahora presentamos la nueva versión 2014, mejorada y aumentada en todos sus capítulos.

Inicialmente, este documento técnico nació como una respuesta a la necesidad de contribuir a la consolidación de esta especialidad en Chile, donde las aplicaciones de muros cortina han alcanzado un notable nivel de desarrollo, a lo largo de todo el país. Además, la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, de la Cámara Chilena de la Construcción, CChC, ha querido proponer un documento técnico que fuese referencia para los profesionales y las empresas contratistas y constructoras de la industria de fachadas y muros cortina.

Para la elaboración de la nueva versión del Manual de Muros Cortina, CDT convocó a un Comité Técnico (formado por alrededor de quince importantes empresas nacionales e internacionales), además creó un Panel de Expertos (constituido por nueve destacados profesionales, de reconocida trayectoria en cada uno de los temas cubiertos). Tanto el Comité Técnico, como el Panel de Expertos fueron coordinados (desde el punto de vista técnico) por el Secretario Técnico del Manual de Muros Cortina.

El presente Manual abarca temas muy amplios relacionados con el diseño, instalación y mantención de los muros cortina. Su tratamiento ha sido de carácter general, lo cual permite que la gran mayoría de las recomendaciones contenidas en él puedan ser aplicadas en cualquier país. Aun cuando, para algunos tópicos de importancia para Chile, se ha hecho un análisis específico de las necesidades y las prescripciones normativas chilenas.

Por ejemplo, en el capítulo 3 se presentan las Recomendaciones de Diseño Estructural, incluyendo las lecciones aprendidas durante el sismo del 27 Febrero del 2010 en Chile. El lector de los países de la costa pacífica de nuestro continente (Perú, Ecuador, Colombia, Costa Rica, Guatemala y México) podrá encontrar útiles recomendaciones para mejorar el desempeño sísmico de los muros cortina. En el mismo capítulo descubrirá información relevante respecto de la flexibilidad de los edificios y de sus capacidades de deformación de entrepiso.

En los capítulos 4 y 7 se indican los criterios de control solar y aislación térmica, tanto para edificios nuevos como para fachadas existentes. Este puede ser resultar útil en la mayoría de los países del continente, dada la situación energética por la que atraviesan, así como la nueva sensibilidad de los usuarios hacia la edificación sustentable.

En los capítulos 2, 3 y 8 se entregan recomendaciones para los elementos de sello de las fachadas comparando las alternativas disponibles: siliconas, empaques / burletes y cintas. Luego se hace un análisis de desempeño en diferentes condiciones de presiones de viento. Estos temas resultarán de importancia significativa para países de la costa atlántica (Argentina y Uruguay) que están sometidos a cargas de viento muy elevadas.

En los capítulos 5 y 6 se tratan temas emergentes, como la aislación acústica y la protección contra el fuego. El lector podrá incorporar nuevas recomendaciones técnicas en el diseño de sus sistemas de fachadas.

El proyecto de muro cortina reviste una complejidad creciente en todos los países, por ello en el capítulo 13 se ha enfatizado la importancia de las Especificaciones Técnicas, que definen sus requerimientos funcionales y estéticos.

Para aquellos lectores que deseen seguir profundizando las temas del muro cortina, se ha presentado (en los capítulos 11, 15 y 16) normas técnicas, glosarios técnicos y referencias bibliográficas.

Luego de dos años de trabajo, nos ha parecido que el presente manual dispone de contenidos completos y actualizados que podían ser de interés de profesionales y empresas de los otros países de Latinoamérica.

Esperamos que su lectura sea provechosa

muro cortina.indd 7 4/1/14 9:39 AM

Tabla de Contenidos

1. Introducción **15**

1.1. Significado Cultural de las Fachadas de los Edificios 15
1.2. Definición de los Sistemas de Fachadas Ligeras 16
1.3. Clasificación de los Sistemas de Fachadas 17
1.4. Características del Sistema Constructivo de Fachadas 20
1.5. Marco Legislativo de la Edificación en Chile 23

2. Consideraciones Generales para el Diseño de Muros Cortina **24**

2.1 El Muro Cortina como "Filtro Selectivo" del Edificio 24
2.2. Aspectos Arquitectónicos del Muro Cortina 24
2.3. Solicitaciones de la Naturaleza 25
2.4. Aperturas en la Fachada 27
2.5. Aprovechamiento de Materiales de la Fachada 27
2.6. Consideraciones Técnicas Básicas de Diseño del Muro Cortina 27
2.7. Diseño de Juntas 31
2.8. Tratamiento de Uniones 31
2.9. Tolerancias, Holguras y Coordinación Dimensional con Otras Especialidades 33
2.10. Recomendaciones Finales del Diseño del Muro Cortina 34

3. Consideraciones Estructurales del Muro Cortina **35**

3.1. Alcance 35
3.2. Generalidades 35
3.3. Bases de Cálculo 35
3.4. Solicitaciones 35
3.5. Cálculo Estructural 37

muro cortina.indd 8 4/1/14 9:39 AM

3.6. Información Relevante del Terremoto del 27 de febrero de 2010 37
3.7. Consideraciones de Diseño de Muros Cortina ante Desplazamiento de Entrepiso 40
3.8. Recomendación para la Estructuración de la Estructura Principal del Muro Cortina 41
3.9. Efecto del Ancho del Cordón en la Capacidad de Deformarse por Corte 41
3.10. Efecto de la Deformación de Entrepiso en los Tipos de Vidrio a Usar 41
3.11. Desempeño de los Selladores con Alta Velocidad de Aplicación de Cargas 42
3.12. Últimas Tendencias en las Rigideces de los Nuevos Edificios 43
3.14. Anexos de Normas Técnicas Chilenas Relevantes para el Diseño Estructural de Muros Cortina 44

4. Acondicionamiento Interior – Control Solar y Aislación Térmica 57

4.1. El Confort Térmico o Termohigrométrico 57
4.2. Conceptos Generales de Transmisión de Energía en las Fachadas Vidriadas y "Efecto Invernadero" 57
4.3. Estrategias de Diseño Pasivo (Del Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, Dirección Arquitectura MOP) 63
4.4. Control Solar y Lumínico en Fachadas 66
4.5. Cristales como Elemento de Control Solar y Lumínico 67
4.6. Algunas Recomendaciones para Conseguir una Iluminación Natural Eficiente 68
4.7. Vidrios de Baja Emisividad (o, Low-E) 69
4.8. Contribución del Doble Vidriado Hermético (DVH) 69
4.9. Aislación Térmica 70
4.10. Transmitancia Térmica (Uw) de la Ventana o del Módulo de Muro Cortina 71

muro cortina.indd 9 4/1/14 9:39 AM

4.11. Vidrios De Antepecho: Una Opción Arquitectónica que tiene Beneficios de Ahorro Energético 72
4.12. Puente Térmico en la Fachada 73
4.13. Puente Térmico de los Elementos Quiebrasoles 74
4.14. Implicancias de las Infiltraciones de Aire en la Fachada y Recomendaciones de la Norma NCh888.Of2000 (Del Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, Dirección Arquitectura MOP) 75
4.15. Contribución de los Muros Cortina a la Sustentabilidad del Edificio (Según LEED) 77
4.16. Datos Estadísticos de Radiación Solar en Edificios 78
4.17. Definiciones de Términos Técnicos para el Control Solar y la Aislación Térmica 86

5. Consideraciones Técnicas para la Atenuación Acústica 87

5.1. Ruido y Salud de las Personas 87
5.2. Sinia - Sistema Nacional de Información Ambiental (Ministerio Medio Ambiente) 87
5.3. Ruidos Permisibles por Recinto (Confort Acústico) 88
5.4. Aislamiento Acústico de la Fachada 88
5.5. Unidad de Medida del Sonido 88
5.6. Conceptos Básicos de Acústica Arquitectónica 88
5.7. Ensayo de Laboratorio para la Determinación de la Reducción Acústica de una Ventana 90
5.8. Espectro de Atenuación de Diferentes Tipos de Cristales 91
5.9. Aislamiento Acústico Comparado de Diferentes Tipos de Vidrio 92
5.10. Importancia de las Fugas Acústicas 92
5.11. Influencia del "Llenado con Gas" en las Propiedades Acústicas 92
5.12. Definición de STC 93
5.13. Recomendaciones para el Diseño Acústico de una Fachada 94
5.14. Normativa y Reglamentación Acústica Relevante para el Sector Edificación 94

muro cortina.indd 10 4/1/14 9:39 AM

6. Consideraciones para la Protección contra el Fuego y el Humo 96

6.1. Etapas de Desarrollo de un Incendio 96
6.2. Definición de Resistencia al Fuego según la Norma Chilena NCh 935/1.Of97 96
6.3. Objetivos Fundamentales de la Protección al Fuego en la OGUC 97
6.4. Protección Pasiva Contra el Fuego y Clases de Resistencia 97
6.5. Protección al Fuego en los Muros Cortina 97
6.6. Problema de Estabilidad Estructural de Perfiles de Aluminio (o, Acero) 99
6.7. Certificación de la Solución Constructiva 99

7. Reacondicionamiento Energético de Fachadas Existentes 100

7.1. Soluciones Disponibles 100

8. Sellos Estructurales y Climáticos 102

8.1. Silicona Estructural 102
8.2. Juntas y Uniones con Burletes 112
8.3. Cinta Doble Contacto Estructural de "Alto Pegado" (CAP) 116
8.4. Ejemplo de Cálculo de Cordones de Sello Estructural 120

muro cortina.indd 11 4/1/14 9:39 AM

9. Materiales del Muro Cortina y Fachada Ventilada **122**

9.1. Materiales del Muro Cortina 122
9.2. El Cristal en la Fachada 126
9.3. Paneles de Aluminio Compuesto (o, Paneles ACM) 129
9.4. Quincallerías del Muro Cortina 131
9.5. Insumos del Muro Cortina 132
9.6. Sub Capítulo: Fachadas Ventiladas 133

10. Recomendaciones de Instalación en Obra **138**

10.1. Partes Involucradas en la Instalación del Muro Cortina 138
10.2. Coordinación y Planificación Inicial de Obra 138
10.3. Colocación de Insertos en la Obra Gruesa 140
10.4. Instalación de los Anclajes de Acuerdo a los Planos de Especialidad 140
10.5. Transporte a Obra, Recepción de Materiales y Acopio en Obra 141
10.6. Montaje de Paneles, Vidrios y Materiales en la Fachada 142
10.7. Ejecución de Acabados y Remates Exteriores 144
10.8. Realización de Ensayo en Obra del Muro Cortina 144
10.9. Entrega del Muro Cortina al Mandante o Contratante 144
10.10. Prevención de Riesgos en Obra 145

Sub-Capítulo 10. Aspectos a Considerar para la Prevención de Riesgos 145
Anexo Capítulo 10. Listas de Chequeo para la Recepción del Muro Cortina Final o por Etapas 149

A 10.1. Chequeo Documental 150
A 10.2 Chequeo de Muestras y Prototipos 151
A 10.3. Chequeo en Obra 152

muro cortina.indd 12 4/1/14 9:39 AM

11. Normas Técnicas –Requisitos, Ensayos y Desempeños 153

11.1. Listado de Normas Técnicas Chilenas 153
11.2. Listado de Normas Técnicas ASTM 155
11.3. Listado de Normas Técnicas AAMA (American Architectural Manufacturers Association) 155
11.4. Normas Técnicas ISO (International Standard Organisation) 156
11.5. Detalle de Norma Chilena de Ensayo en Obra - NCh2808.Of2003 157
11.6. Presentación Detallada de algunas Normas Técnicas Relevantes 158
11.7. Referencias de Otras Normas Técnicas 159

12. Casos Relevantes de Edificios con Muros Cortina 160

13. Especificaciones Técnicas del Proyecto de Muro Cortina 164

13.1. Consideraciones Generales desde la Arquitectura 164
13.2. Conceptos Básicos de Especificación Técnica del Proyecto 164

14. Requisitos de Mantención del Muro Cortina 166

14.1. Rol del Proyecto de Arquitectura y del Sistema de Muro Cortina 166
14.2. Mantención y Limpieza de Cristales 166
14.3. Mantención de los Perfiles de Aluminio 168
14.4. Recomendaciones de Inspección Periódica del Muro Cortina 169
14.5. Procedimientos Ante Eventos Específicos 169

15. Glosario Técnico 171

16. Referencias Bibliográficas 176

muro cortina.indd 13 4/1/14 9:39 AM

1. Introducción

1.1. SIGNIFICADO CULTURAL DE LAS FACHADAS DE LOS EDIFICIOS

Una envolvente protectora

El presente manual se refiere a la construcción de fachadas de edificios sobre todo desde un punto de vista funcional y técnico. Sin embargo, antes de entrar en sus detalles vale la pena considerar brevemente cuál es el significado cultural de las fachadas.

Desde la antigüedad, la envolvente de un edificio provee protección contra el tiempo inclemente y contra un medio exterior hostil, y también para el almacenamiento de las provisiones. A diferencia de otras estructuras, como los puentes, represas y torres; los edificios contienen espacios cuya creación y utilización deben ser entendidos como elementos intrínsecos de la civilización humana, estrechamente relacionados con las necesidades que el ambiente nos presenta.

Resulta claro que cuando el edificio se inserta en una región, donde las condiciones climáticas externas son muy similares a las condiciones ambientales que los humanos encuentran confortables, entonces el desafío técnico es reducido. Sin embargo, cuando dichas diferencias son muy grandes, entonces se requerirá un mayor esfuerzo técnico para crear las condiciones adecuadas para ocupar los espacios interiores.

Durante buena parte del siglo XX, la gran mayoría de los muros exteriores constituyeron no solo cierres perimetrales de los edificios, sino que una parte significativa de la estructura resistente de las cargas que solicitan a los edificios (como cargas impuestas, peso propio, cargas muertas, cargas de viento, sísmicas, etc.), por lo cual dichos muros se presentaban como elementos masivos que conferían robustez y solidez a los edificios.

Materiales y Construcción

El espacio creado dentro de los muros exteriores debe cumplir con las demandas y funciones derivadas del uso y de los niveles de confort deseados para cada edificio. Para lograr esto, inicialmente se deben establecer en detalle las condiciones locales y los requerimientos de los usuarios; y luego a través de un proceso de construcción apropiado, ejecutar el proyecto hasta su realización.

La solución técnica del muro deriva del contexto específico de los materiales, de las técnicas constructivas, de las uniones, de la secuencia de producción, etc. usados en una región. La decisión a favor de un material, por ejemplo, no está dictada puramente en consideración a las cargas y tensiones a que estará sometido; sino que más bien en relación a las características del proceso de producción considerado.

Figura 1.1. Sección Vertical de Muro Cortina.

Es evidente, entonces, que el exterior de un edificio refleja el progreso tecnológico de una región, y por tanto también una parte sustancial de la cultura local.

La forma

En contraste con las funciones fundamentales ya comentadas (protección del clima exterior y control del ambiente interior), otro aspecto del muro exterior que cobra gran importancia es la percepción del edificio por medio de "su cara" (o superficie exterior).

Las superficies formadas por los humanos han servido siempre para transmitir información, ya sea dirigida a retratar las cosas que gobiernan la vida social, a proveer visiones religiosas, rituales, batallas, etc.; todo lo cual ha ocurrido mucho antes que la escritura estuviera disponible como una forma abstracta de comunicación.

Solamente los humanos crean edificios con una forma personal diferenciada. Esto es hecho a través de las proporciones en el uso del espacio y de los volúmenes, siempre

muro cortina.indd 15 4/1/14 9:39 AM

en relación al ambiente existente. Las características de las fachadas en término de los efectos de los materiales, colores, proporciones, volúmenes indican sus funciones y la importancia asignadas a ellas.

Ambiente social cultural

Las circunstancias locales, el tipo de sociedad presente en una región, la historia, la etnografía, el clima local, la disponibilidad de recursos locales han jugado un rol muy importante en el diseño de las envolventes de los edificios.

La elevación exterior de un edificio debe ser vista como un elemento vital basado en la comunicación con su comunidad. Quien construye un edificio anuncia al mundo exterior de su intención, y por tanto anuncia su propia identidad.

Sin embargo, las elevaciones exteriores de los edificios de una ciudad adquieren un significado especial que va más allá del efecto de un edificio en particular; pues en su conjunto logran configurar el modo de usar el espacio público.

Mucho más allá de su aspecto técnico o utilitario, la fachada ha jugado también un rol como vehículo de impacto arquitectónico. Así es como las fachadas "multimedia" de hoy son posibles en todo el mundo gracias a la integración de nuevas formas de diseño y de las tecnologías de comunicación.

Es posible ver como nuevas formas gráficas y efectos de color en vidrios transparentes y translúcidos continúan la tradición de la envolvente del edificio como un "gran cartel publicitario". De hecho, existen fachadas con efectos extremadamente intensivos que utilizan cambios constantes (como es el caso de Times Square en New York) para aumentar el atractivo de dichos espacios urbanos. En este caso extremo, el significado estético de la fachada del edificio se refugia en un segundo plano.

1.2. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE FACHADAS LIGERAS

Se define un muro cortina como una fachada integral y liviana consistente en una estructura metálica portante en la cual se insertan paños vidriados o placas opacas que, conjuntamente, logran cerrar exteriormente un edificio; y que permiten cumplir con los requerimientos funcionales y de protección deseados por los usuarios.

Tal como vimos anteriormente, la fachada es una capa que separa y filtra el exterior del interior del edificio, y entre el medio natural y los espacios interiores ocupados por personas. En términos históricos, la creación de la fachada responde al deseo de otorgar una protección contra un medio exterior hostil y condiciones climáticas inclementes. Diversos otros requerimientos han sido agregados a estas funciones protectivas: luz en el interior, un recambio de aire adecuado, una relación visual con el entorno, pero también un límite entre la esfera privada y la pública. Es decir, se han agregado funciones regulatorias y de control, a las funciones protectivas previas.

Condiciones externas e internas

Las condiciones externas de emplazamiento del muro cortina son únicas y específicas de cada lugar, y no pueden ser modificadas por el diseño. Deben ser consideradas atentamente en la etapa de diseño, pues varían en su naturaleza e intensidad. Así es como las condiciones de lluvia, de humedad, de viento, de nieve, de ruidos, etc. requieren medidas especiales en el diseño de la fachada.

Por otro lado, las condiciones internas son definidas durante la fase de diseño a través de la definición de los requerimientos, que deberán tener en cuenta la destinación de uso de los locales interiores. Los requerimientos deberán permitir alcanzar las condiciones de confort deseadas por los usuarios, pero también deberán incluir otras demandas, como por ejemplo la seguridad y la protección antivandalismo.

Un conocimiento acabado de dichos requerimientos es crítico para el buen éxito del diseño, que influenciará toda la etapa de construcción.

Si miramos a la fachada como la "tercera piel" del cuerpo humano (después de la piel del cuerpo, y de la ropa que usamos) una analogía para entender el objetivo del diseño es: las fluctuaciones de las condiciones climáticas externas en nuestro cuerpo tienen que ser atenuadas por cada una de estas capas funcionales, para lograr una temperatura del cuerpo constante de aprox. 37 °C. Sin embargo, las condiciones climáticas también dan origen a requerimientos que no pueden ser ubicados en el lado "exterior" o "interior"; sino que responden a diferencias entre el interior y el exterior. Principalmente se trata de temperaturas, humedades y presiones diferenciales que imponen cargas en los materiales de la fachada y en los detalles de construcción. Esas cargas son típicamente acomodadas por medios adecuados, como ser: juntas de expansión y conexiones flexibles.

Conceptos arquitectónicos y urbanísticos

El concepto de "desacoplar" los revestimientos de las estructuras primarias data desde hace más de 130 años. La necesidad de construcciones rápidas y la incorporación de esqueletos de acero generaron a su vez requerimientos múltiples a las pieles de los edificios desarrollándose masivamente el concepto de separación de "roles" en cada parte de las obras. Asimismo el avance en las tecnologías de cristales arquitectónicos complementó la idea.

muro cortina.indd 16 4/1/14 9:39 AM

Figura 1.2. Vista panorámica de edificio con muro cortina.

Desde el punto de vista sistémico, se define a las pieles como uno de los sistemas más tecnológicos del edificio. La arquitectura actual, con los mecanismos y herramientas de diseño permite crear múltiples expresiones y transmitir la idea arquitectónica de manera tal que los revestimientos pasan a ser el vehículo que expresa y se contacta con el medio en donde se emplaza la obra. Asimismo permite reflejar el status y avance científico de una época[1].

Aparición de los Muros cortina modernos

Los muros cortina modernos se originaron alrededor de la mitad del siglo XX en EE.UU. Los factores cruciales para su desarrollo fueron, además de los factores arquitectónicos y estéticos, sobre todo los económicos. En ese entonces el costo del trabajo era más alto en EE.UU. que en Europa, por lo cual se desarrolló una marcada tendencia hacia la prefabricación en la industria de la construcción.

La mayoría de los muros cortina habituales durante ese periodo incluían el acristalamiento de vidrios y paneles a un marco de soporte, constituido por postes y rieles conectados a una estructura primaria. Uno de los muros cortina más influyentes de esa época es la fachada del edificio Lever en Nueva York, realizado por los arquitectos SOM (Skidmore, Owings & Merril) en el 1952.

Entre los primeros muros cortina totalmente prefabricados se cuenta el edificio de la General Motors "Technical Center" in Warren, Michigan, cerca de Detroit, realizado por el arquitecto fines – americano Eero Saarinen, entre el 1949 – 56.

1. Arquitecto Luis Corvalán Veliz

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FACHADAS

Las fachadas son estructuras verticales y planas (es decir, bi-dimensionales), que pueden ser clasificadas según cuatro criterios:

- Sistema de diseño (estándar, o especial)
- Funcionalidad
- Sistema de fabricación y montaje
- Apariencia estética exterior (prevalente)

■ Clasificación de las fachadas según su sistema de diseño

1. Sistema estándar

Son todas aquellas fachadas que se diseñan a partir de los sistemas estándares desarrollados por los extrusores de aluminio, y que están disponibles en sus catálogos comerciales para todos los clientes.

En general, este tipo de fachadas suele corresponder a edificios comerciales, pequeños o medianos, que no presenten dificultades técnicas importantes, ni que requieran un diseño especial.

2. Sistema especial

Se aplica a las fachadas que requieren un desarrollo de soluciones específicas y puntuales para cada proyecto. En este caso es necesario desarrollar planos y especificaciones muy detalladas, por lo cual necesita más tiempo de desarrollo.

En general, este tipo de sistemas corresponde a los edificios de mayor complejidad y relevancia arquitectónica.

■ Clasificación de las fachadas según su función

1. Fachada típica

En este caso, la fachada ligera constituye la única separación entre el exterior y el interior. En consecuencia debe ser auto-soportante, lo que significa que soporta tanto el peso propio como las cargas de presión y succión derivada del viento.

Este tipo de fachada ligera puede ser diseñada para que pase por delante de las losas de piso, denominándose muro cortina, o colocándose entre losas de piso y entonces se la denomina fachada panel.

muro cortina.indd 17 4/1/14 9:39 AM

2. Fachada ventilada

Doble piel del edificio que deja una cámara de aire que actúa bajo el principio bioclimático llamado efecto chimenea, donde su función principal es mejorar el confort en el interior de las edificaciones a un bajo costo.

La característica básica y diferencial de este tipo de fachadas es que con su concepción de fachada integrada, se crea una cámara de aire interna entre las dos pieles separadas de acuerdo al proyecto, materialidad y geometría del producto a instalar como doble piel. Este distanciamiento está dado por el fabricante del producto.

Una fachada ligera dinámica bien diseñada reduce notablemente los requerimientos en relación al aire acondicionado, durante el verano. Reduce el calentamiento de los muros, evitando la transferencia de calor directa hacia el interior del edificio y aumentando el confort de las personas que los habitan . Además contribuye a evitar el rápido envejecimiento de los muros del edificio protegiéndolos de la acción de los rayos UV y efectos climáticos.

3. Fachada doble

En este caso, la solución de fachada del edificio se ejecuta con dos fachadas típicas separadas entre 500 mm y 1,000 mm. Esta solución, además de conseguir las máximas prestaciones en los diferentes requisitos prescritos, permite diseñar la fachada exterior en función de los requerimientos estéticos y de diseño. Mientras que la fachada interior se podrá diseñar considerando los requerimientos funcionales del edificio, desde el punto de vista de uso y de destino.

■ Clasificación de las fachadas según su sistema de fabricación

Las estructuras en aluminio utilizadas para la realización de las fachadas livianas son normalmente identificadas en función del modo en que son fabricadas en taller e instaladas en obra:

1. Sistema Stick
(fachada con montantes y travesaños)

En este caso la estructura portante es un reticulado compuesto de montantes verticales y travesaños horizontales que delimitan los espacios donde sucesivamente se insertan los vidrios, o paneles. La secuencia de instalación requiere que se monte la estructura vertical primero y luego la horizontal, para después proceder a instalar el cerramiento, paños tanto fijos como móviles. En general, los mullions se colocan de arriba hacia abajo y los paños y travesaños de abajo hacia arriba, cuidando muy bien el plomo y los niveles del sistema con respecto a la estructura.

Este tipo de estructura facilita el transporte de los materiales y su manipulación en obra, pero requiere el acceso exterior a la fachada. Necesita mayor tiempo en su armado y mayores detalles para las terminaciones.

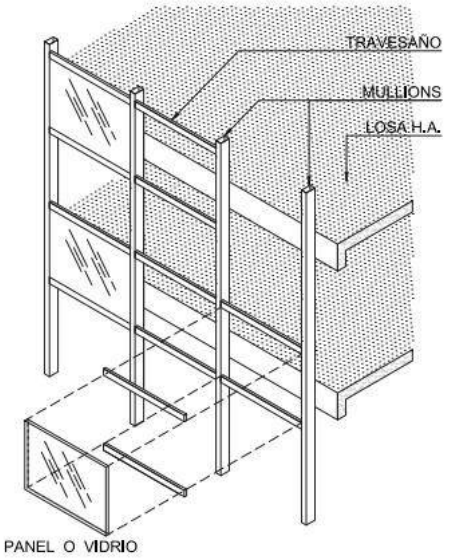


Figura 1.3. Sistema de Muro Cortina Tipo Stick.

Existen diferentes tamaños de muro cortina stick, con mullions de diferentes dimensiones: 100x50 mm, 60x120 mm, 50x50 mm.

Este montaje es el que se utiliza en la mayoría de los edificios de baja altura. Requiere continuos controles de obra y permite una mayor flexibilidad, lo que en algunas obras puede ser una ventaja. Este sistema permite hasta el doble de altura y tiene un porcentaje de transparencia menor ya que su estructura es mayor.

2. Sistema Frame (o Unitized)

Este sistema de fabricación y montaje en obra podríamos considerarlo como la última generación. En este sistema, el módulo compuesto por montantes, travesaños y todos los elementos de relleno es manufacturado y pre montado en fábrica.

Los módulos pueden ser diseñados con el criterio de machihembrado, o bien neutros con una junta específica perimetral que asegure la estanquidad al agua y la permeabilidad al aire.

El módulo completo se recibe en obra con mullions, travesaños y paños incluidos, y se fija a los anclajes existentes. Su característica más relevante es que una gran parte del control de calidad de la fabricación se realiza en taller, y la gran velocidad que se puede conseguir en el montaje en obra. Es un sistema que requiere una mejor definición de ingeniería y

muro cortina.indd 18 4/1/14 9:39 AM

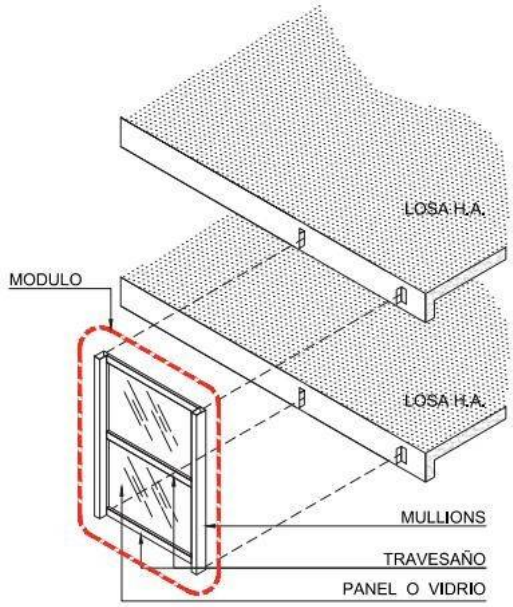


Figura 1.4. Sistema de Muro Cortina Tipo Frame.

de planos de fabricación en taller, así como un gran nivel de precisión en cuanto a tolerancias de la obra húmeda y de la carpintería propiamente dicha.

Este sistema, como se desprende de su proceso, tiene una mayor garantía de buen funcionamiento, dado que toda su producción es realizada en un ambiente más controlado, como es la fábrica. Esto minimiza y simplifica los trabajos que se deben realizar en obra. En este caso, los problemas que se deben enfrentar son: el transporte a obra y el traslado al piso; pero normalmente esta estructura se puede montar desde el interior sin andamios exteriores.

3. Sistema Spandrel

Es una solución de fachada liviana que combina el sistema de montaje stick y los módulos prefabricados en taller.

4. Sistemas con silicona estructural

En este sistema, tanto los vidrios simples como los DVH (o, termopaneles) en zona de visión y los paneles opacos están fijados a una estructura ligera de metal (o, bastidor) mediante silicona estructural. De esta forma, los vidrios y/o paneles unidos con el marco perimetral a través de la silicona estructural pueden ser fijados mecánicamente a la retícula del sistema stick en obra, o bien incorporados a los módulos prefabricados en el sistema unitized.

Desde el punto de vista estructural, la forma de efectuar los paneles con el sistema de silicona estructural está concebida para que las cargas de viento por succión o presión se transfieran directamente a los montantes resistentes tanto en el sistema stick como en el unitized. En relación al peso propio pueden existir dos casos:

- Vidrio o panel encolado en el bastidor perimetral, y a su vez apoyado en el travesaño estructural. Puede llevar o no, un clip exterior de seguridad.
- Vidrio o panel encolado directamente al travesaño perimetral. Puede llevar o no un clip de seguridad.

5. Sistemas abotonados (con uniones y conectores)

Es muy importante destacar que, en este sistema de fachadas, el vidrio trabaja mecánicamente como elemento resistente por sí mismo, no actúa como transmisor de esfuerzos como ocurría en los casos anteriores. Debido a esta situación, es importante calcular con programas computacionales las tensiones y dimensiones de los paneles de vidrio, de los puntos de anclaje y de la estructura resistente.

Crean una sensación de transparencia y luminosidad, gracias al sistema de cristal suspendido, alejado del montaje y sin la necesidad de travesaños.

Consiste en soportar mecánicamente al cristal con pernos en agujeros realizados en cada una de las esquinas del panel; dicho perno vincula la fachada a una estructura metálica, la cual está fijada al miembro estructural principal del edificio.

Finalmente, se utiliza un sellador de silicona de alta calidad para el sellado climático entre los elementos del vidriado.

Para esta aplicación el cristal debe ser templado, recomendándose además una solución con cristal laminado templado.

■ Clasificación de las fachadas según su apariencia estética exterior

El uso de perfiles por el lado exterior de la fachada confiere una apariencia estética diferenciada, que puede ser clasificada en:

1. Reticulado ortogonal tradicional

Permite múltiples soluciones, diferentes a las demás, según la modulación y los perfiles elegidos. Se caracteriza por formar módulos marcados (con líneas horizontales y verticales) por las tapas exteriores que pueden ser de distintas profundidades o colores, permitiendo la creación de ritmos distintos.

2. Trama Horizontal

La utilización de perfiles, de gran sección, combinado con juntas verticales menos marcadas, crea un mayor protagonismo de sus líneas horizontales que fragmentan la imagen reflejada y da un aspecto longitudinal al edificio.

En este caso las uniones verticales de los vidrios son rea-

muro cortina.indd 19 4/1/14 9:39 AM

lizadas con silicona, por lo que estos sistemas reciben el nombre de silicona 2-lados.

3. Trama Vertical

Tiene la misma finalidad que trama horizontal, pero a diferencia de la anterior se resaltan las líneas verticales creando una sensación de esbeltez en la fachada del edificio.

En este caso las uniones horizontales de los vidrios son realizadas con silicona, por lo que estos sistemas reciben el nombre de silicona 2-lados.

4. Pieles de vidrio

En la fachada piel de cristal, el aluminio está totalmente oculto y deja protagonismo al cristal que puede reflejar todo su entorno. Su unión es con silicona estructural dando a la fachada una sensación de liviandad.

La aplicación de la silicona estructural se realiza en los 4 lados de cada paño.

1.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE FACHADAS

1.4.1. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Actualmente para las empresas constructoras, las labores de terminación de las fachadas que están conformadas con muros cortinas son más simples que aquellas tradicionales. Ello debido a que se trata de un proceso de instalación de elementos prefabricados.

Esta instalación es una faena seca, lo que no produce ningún tipo de interferencia con otras partidas de terminación que se realizan en el edificio en forma paralela. En general, se realiza desde el interior de los diferentes pisos y por lo tanto, no se requiere andamios de fachadas. Las faenas que requieran ser realizadas por el exterior, como por ejemplo, el sellado y limpieza, se pueden realizar utilizando los equipos empleados para limpieza de fachadas.

Este sistema de fachada se arma, como su nombre lo indica, colgando a manera de "cortina" el revestimiento. Lo cual implica conectar la estructura del sub-sistema a la estructura principal por medio de conectores adicionales, los cuales a su vez pueden estar apoyados en la estructura primaria o definitivamente "colgarse" de ella.

La elección del modo de conectar las estructuras es el resultado del análisis particular de la obra desde el punto de vista económico o de la técnica que sugiere el fabricante del sistema.

Se hace notar los múltiples modos que se derivan de este armado, tanto en como colgar la "cortina" como en la materialidad.

En Chile, los muros cortina, 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 son parte del sistema sismo resistente, si no que gravitan sobre ésta.

En todo caso las fachadas deben estar diseñadas para resistir por si mismas las diferentes solicitaciones que incidan sobre ellas.

1.4.2. COMPONENTES DEL SISTEMA

1.4.2.1. Elementos Resistentes (estructurales)

• MULLIONS O COLUMNAS

Son los elementos verticales de la estructura portante del sistema de fachada liviana, y son fijados a los anclajes y están destinados a soportar su peso propio, las acciones de los elementos que se fijan a ellos y la carga de viento que incide sobre la fachada.

Estos pueden ser de aluminio, de acero, de acero inoxidable o de PVC con refuerzos de acero, con sus respectivas ventajas y desventajas.

Existen diferentes tipos, en cuanto a forma y a espesor, que se encuentran disponibles en el mercado. La diferencia está dada por su diseño, por los momentos de inercia que ofrecen cada uno de ellos y la forma como se anclan a la estructura del edificio. Se recomienda disponer protección galvánica en aquellos casos en que se usen diferentes metales.

• TRAVESAÑOS

Son los elementos horizontales de la estructura portante del sistema, y normalmente van anclados a los montantes y dimensionados de tal forma que puedan soportar la carga de los elementos de relleno que gravitan sobre ellos.

Forman, junto a los mullions, la retícula que contiene a los paños vidriados. Según las dimensiones del paño a colgar, pueden o no llevar refuerzos metálicos en su interior, lo que garantiza la no deformación de los mismos por el peso propio del cristal.

1.4.2.2. Elementos de relleno

En una fachada de estructura clásica, las superficies son cerradas por dos elementos básicos: el cristal y el panel o elemento opaco.

Así el cerramiento con uno de estos dos elementos puede ser total o combinación de ambos, ya que la utilización de cristal está destinado principalmente a las zonas de visión, en cambio, los paneles se destinan a zonas de antepecho y zonas cerradas visualmente.

El vidrio es un elemento básico en las fachadas ligeras,

muro cortina.indd 20 4/1/14 9:39 AM

ya que por sus características intrínsecas de transparencia, destaca como elemento de relleno. La gran diversidad de posibilidades que hoy ofrece este material hace que puedan combinarse prestaciones y apariencias muy diferentes.

El panel es el elemento de relleno destinado a zonas de antepecho y al paso de la losa. Su misión es ocultar aquellos elementos o partes interiores de la fachada ligera que no se quieren visibles desde el exterior o simplemente por consideraciones estéticas.

1.4.2.3. Elementos de Fijación

• ANCLAJES

La estructura de aluminio del muro cortina es fijada a la estructura principal del edificio, mediante el uso de elementos de anclaje que, además de permitir el correcto alineamiento de la fachada en los tres ejes, transmiten a la estructura resistente la solicitaciones inducidas por el peso propio, por el viento, por la temperatura, etc. Aunque quedan ocultos, los anclajes son una parte fundamental de los sistemas.

Si una fachada integral liviana no está correctamente anclada, de nada sirve calcular momentos de inercia y presiones de vientos.

Los anclajes deben calcularse en función de las solicitaciones que reciben y deben ser fabricados con materiales inalterables en el tiempo. Los anclajes están sometidos a cargas verticales y horizontales (peso de la estructura y de paneles o vidrios, carga del viento, carga sísmica, golpes, etc.).

Las diversas posiciones que los anclajes pueden asumir en los bordes de las losas son: sobre la losa, en el frente de la losa, o bajo la losa; cada una de esas posiciones presenta ventajas y desventajas.

Independientemente de la posición escogida, la fijación del anclaje a la losa se puede realizar mediante: espárragos de anclaje, con anclajes mecánicos de expansión o químicos, con placas soldadas a la armadura o con sistema "cast-in".

En general, en los muros cortina se utiliza un anclaje fijo en la losa superior o inferior y una unión deslizante en la zona de junta de dilatación.

En las fachadas panel, se utiliza un anclaje fijo o deslizante en la losa superior e inferior, combinándolos alternativamente, es decir, si se coloca fijo en la losa superior, debe ser deslizante en el inferior o viceversa.

1.4.2.4. Sello Estructural

El desarrollo de la aplicaciones de silicona estructural data desde mediados de los años 60, y el primer proyecto de muro cortina (4-lados) realizado en el mundo, corresponde al Chicago Art Institute, que fue construido entre 1973 y 1975.

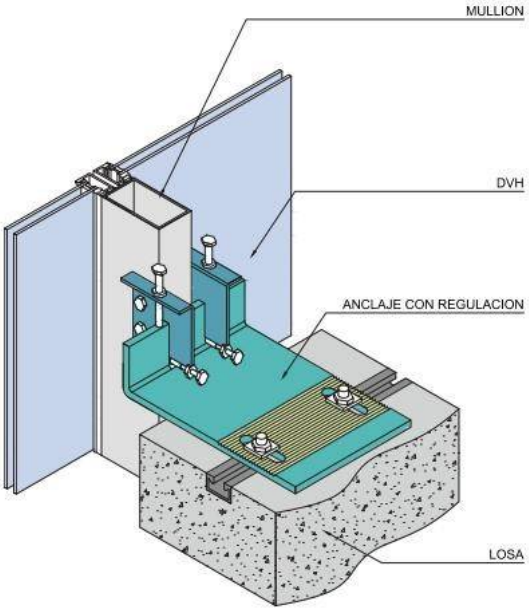


Figura 1.5. Sistema de anclaje del muro cortina a losa.

Es decir, se trata de una tecnología consolidada en todo el mundo desde hace más de 40 años.

En el caso de Chile, las primeras aplicaciones partieron en el año 1980-82; es decir hace 30 años y durante el mega terremoto, de intensidad 8.5° Richter en Santiago, ocurrido el 27 de febrero de 2010, mostraron un excelente desempeño en cientos de muros cortina examinados.

Las propiedades de los selladores de silicona han hecho posible que los arquitectos diseñen fachadas y estructuras cada vez más esbeltas; eliminando en forma creciente el uso de fijaciones mecánicas y de los reticulados de la estructura de aluminio.

El sello estructural cumple una función fundamental en los vidrios estructurales, ya que fijan el cristal, o panel, a la estructura portante; y además resisten las cargas eventuales de viento, de temperatura y sísmica, transmitiéndolas luego a la estructura principal.

No se ven desde el exterior ni mullions ni travesaños, ni los marcos metálicos de paños fijos y aberturas. Esto significa que el metal no se ve desde el exterior. La imagen que se obtiene es la de una "caja de cristal" sostenida por una estructura portante que solo se ve desde el interior. Dependiendo del espesor de la estructura se podrán realizar paños de menos o de mayor dimensión. Los cristales van adheridos con el sello estructural.

muro cortina.indd 21 4/1/14 9:39 AM

1.4.2.5. Elementos de Estanqueidad

• SELLO CLIMÁTICO

Ayuda a obtener la estanqueidad al agua y la hermeticidad al aire del muro cortina. Actualmente, existen en el mercado una amplia variedad de selladores que permiten conectar cristal con aluminio, aluminio con mampostería, cristal con cristal, etc.

• BURLETES

Se utilizan para fijar el cristal (o, "acristalar") en la perfilería perimetral de los vanos y para el contacto de estos con la estructura portante del mismo. El diseño del burlete se debe ajustar al diseño del perfil y de los vidrios, o paneles, a utilizar en el muro cortina.

Para su fabricación se usan diferentes materias primas, que exhiban una vida útil adecuada y que aseguren la compatibilidad con el resto de los materiales con que tendrá contacto, por ejemplo con silicona.

1.4.2.6. Elementos Móviles

Se entiende por elementos móviles, aquellos sistemas que permiten la apertura del elemento de relleno, de manera que introducen a la fachada una abertura a través del cual se puede ventilar o facilitar el mantenimiento. Asimismo, contribuye a la seguridad para el caso de evacuación de humos y servicios para la entrada de emergencias.

1.4.2.7. Elementos de remate

Como su nombre lo indica, estos elementos se usan para todos aquellos rincones donde hay que rematar la fachada con el fin de no tener ningún problema de estanquidad de aguas, ni similar.

1.4.3. VENTAJAS DE LAS FACHADAS LIGERAS RESPECTO DE LAS TRADICIONALES

Las características más importantes de este tipo de fachadas están asociadas a los conceptos de:

• 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 rápida que una obra con una solución de fachada tradicional, ya que estas son pre armadas en la fábrica e instaladas en la obra.

• CONCEPTO DE ENVOLVENTE

La incorporación de techos y cubiertas vidriadas, en adición a la fachada liviana, permiten crear una envolvente completa para el edificio y con esto una imagen muy reconocible en la arquitectura contemporánea.

• 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 ajuste y soluciones especiales que además, en algunos casos, le restan valor estético al edificio.

Por otro lado, al comparar una fachada liviana del tipo muro cortina con una tradicional se pueden observar las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS

- Mayor iluminación natural de los espacios interiores, con la consiguiente reducción de la iluminación artificial.
- Disponible soluciones para mejorar el aislamiento térmico.
- Ganancias de energía solar en invierno con la posibilidad de reducir las necesidades de calefacción.
- Ahorro energético en aire acondicionado, cuando se usan cristales o láminas apropiadas.
- Posibilidad de incorporar elementos quiebrasoles en la fachada.
- Posibilidad de aumentar la durabilidad del sistema y componentes.
- Posibilidad de ventilación natural en los edificios en altura.
- Control de aislamiento acústico.
- Mayor confort al interior del edificio.
- Imagen moderna y "transparente" del usuario / cliente.
- Mayor rapidez de instalación en obra.

DESVENTAJAS

- La alta complejidad técnica para soluciones particulares, las cuales requieren un mayor control y supervisión, desde el inspector hasta el constructor.
- La mayoría de las fachadas son prototipos; sin embargo su producción debe ser controlada con métodos estándares.
- Riesgo de sobrecalentamiento en verano, por diseño inadecuado o por mal uso.
- Riesgo de puentes acústicos en vertical y horizontal (por mullions).
- 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 totalmente estandarizadas debido a la gran cantidad de variables involucradas en su diseño, fabricación e instalación.

muro cortina.indd 22 4/1/14 9:39 AM

1.5. MARCO LEGISLATIVO DE LA EDIFICACIÓN EN CHILE

En los últimos años hemos visto un gran desarrollo en todo el país de la solución del muro cortina, y de la introducción de soluciones técnicas de creciente complejidad.

Sin embargo, no ha ocurrido al mismo tiempo la implementación de una nueva normativa técnica que permita acompañar este desarrollo.

Es importante entonces revisar el marco legal actual en el país y la disponibilidad de normas técnicas; para orientar el desarrollo de las recomendaciones contenidas en el presente manual.

1.5.1. MARCO LEGISLATIVO DE LA EDIFICACIÓN EN CHILE[2]

· Ley General de Urbanismo y Construcciones.

· Ley General de Urbanismo y Construcciones en relación a la calidad y responsabilidades por fallas y defectos establece en el artículo N° 18:

- El propietario primer vendedor de una construcción será responsable por todos los daños y perjuicios que provengan de fallas o defectos en ella, sea durante su ejecución o después de terminada, sin perjuicio de su derecho a repetir en contra de quienes sean responsables de las fallas o defectos de construcción que hayan dado origen a los daños y perjuicios. En el caso de que la construcción no sea transferida, esta responsabilidad recaerá en el propietario del inmueble respecto de terceros que sufran daños o perjuicios como consecuencia de las fallas o defectos de aquélla.
  Las acciones para hacer efectivas las responsabilidades a que se refiere este artículo prescribirán en los plazos que se señalan a continuación:
  En el plazo de cinco años, cuando se trate de fallas o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones.

1.5.2. REGLAMENTACIÓN

· Ordenanza general de Urbanismo y Construcciones

· La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones establece lo siguiente:

- Artículos 1.2.14, y 1.5.7. Se establece la necesidad de ejecutar las edificaciones, y sus partes, conforme a un proyecto de cálculo estructural, elaborado y suscrito por un ingeniero civil o por un arquitecto. En la memoria de cálculo se debe considerar las normas de solicitaciones (viento, sismo, nieve, etc.) y sus combinaciones de carga.
- Artículo 4.1.4. Se establecen algunas condiciones mínimas a cumplir en relación a la ventilación de locales habitables de carácter industrial o comercial, como tiendas, oficinas, etc. Y en el artículo 4.5.5 se indican los requisitos de ventilación e iluminación para colegios.
- Artículo 4.1.10 Establece requerimientos térmicos y de superficie de ventanas en el caso de edificaciones habitacionales.
- Artículo 4.2.7: Se establece la instalación de baranda o antepecho con altura no inferior a 95 cm. en todas las aberturas de pisos, mezaninas, costados abiertos de escaleras, descansos, pasarelas, rampas, balcones, terrazas, y ventanas de edificios que se encuentren a una altura superior a 1m por sobre el suelo adyacente.
- Artículo 4.3.6 "De las condiciones de seguridad contra incendio". Se define muro cortina y se establecen los requisitos para la protección contra incendios.

NORMATIVA

Existen normas internacionales, nacionales y extranjeras que regulan los proyectos de muros cortinas y sus componentes. Estas se detallan en el capítulo N° 11 de este documento.

Las normas en Chile son de uso voluntario, excepto las que se hacen obligatorias por algún reglamento oficial, como por ejemplo: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. También el cumplimiento de una norma puede ser obligatorio por estar indicado en los documentos que forman parte de un contrato entre mandante y contratista.

2. Depto. de Estudio, CChC.

muro cortina.indd 23 4/1/14 9:39 AM

2. Consideraciones Generales para el Diseño de Muros Cortina

2.1. EL MURO CORTINA COMO "FILTRO SELECTIVO" DEL EDIFICIO

Como hemos visto en el capítulo 1, el muro cortina puede ser conceptualizado como un sistema de cierre perimetral de la envolvente del edificio ("enclosure system") que funciona como filtro, y que selectivamente impide o controla los flujos hacia el exterior, el interior, o en ambas direcciones.

La transparencia que se puede conseguir con el muro cortina da a la fachada un efecto de continuidad en lugar de formar una barrera. Por ello, algunos arquitectos definen el muro cortina como la conexión del espacio exterior e interior, con una piel que se repite y al mismo tiempo rompe su monotonía con el reflejo de lo que le rodea, sea esto un edificio o el cielo y las nubes, consiguiendo una variabilidad que no es posible lograr con ningún otro cerramiento.

2.2. ASPECTOS ARQUITECTÓNICOS DEL MURO CORTINA

El diseño arquitectónico del muro cortina es crucial no sólo para determinar el aspecto estético exterior del edificio, sino también para:

- proveer protección adecuada a las personas y bienes,
- suministrar buenas condiciones interiores de confort,
- asegurar un adecuado nivel de servicio, durabilidad, costos y consumo eficiente de energía.

Los requerimientos de diseño de la fachada cambian de acuerdo a la ubicación de emplazamiento del edificio y a la destinación de uso. En Chile tenemos una gran variedad de climas, de condiciones pluviométricas y de viento, térmicas, acústicas, etc.; las cuales modifican las variables que controlan el diseño del muro cortina.

Otros factores que influencian su diseño son la forma y la altura del edificio, pero también la distribución de las áreas y locales interiores, así como las funciones a realizar por los usuarios.

Todo lo anterior entrega al arquitecto, y al mandante, múltiples términos de referencia para definir tanto la modulación de la fachada como la organización del layout interior del edificio. Adicionalmente, el arquitecto, o proyectista, deberá también considerar las restricciones impuestas por la normativa técnica referida a las solicitaciones de carga (viento, sismo, temperaturas, etc.) y por las recomendaciones técnicas que cubren diversos temas, como: aislación térmica, protección solar, atenuación acústica, protección del fuego, iluminación natural, etc.

Algunas áreas especiales de la fachada, como los remates superior e inferior, así como las esquinas verticales y horizontales (internas y externas) requieren especial atención para asegurar la correcta prestación durante la vida útil del muro cortina.

Los aspectos de hermeticidad, estanquidad, prestación térmica y acústica, control del fuego, protección contra la radiación solar y el deslumbramiento, uso de la iluminación natural deben generalmente ser tratados como un todo unitario, y luego optimizados tomando en consideración las condiciones del proyecto. Esto ocurre porque cada medida individual adoptada va a influenciar las otras variables. Las diferentes soluciones potenciales del diseño a menudo exhiben ventajas y desventajas en cada situación.

El arquitecto debe elegir materiales y componentes, que sean compatibles mecánica y químicamente entre ellos, y que además aseguren una durabilidad de largo plazo. Toda vez que los materiales no se adapten bien entre ellos se podrán generar "puntos débiles" en la fachada, que luego podrán disminuir su prestación y aumentar los riesgos de falla. Un ejemplo de esto son los encuentros entre las tabiquerías interiores y la fachada; o las uniones de las celosias exteriores con la fachada.

En síntesis, durante el proceso de diseño el arquitecto, o proyectista, deberá tener en cuenta una gran cantidad de condiciones (ver Tabla 2.1.) para definir cuál es el tipo de muro cortina que se elegirá para la fachada del edificio (o, para cada una de las zonas que lo componen).

El diseño del muro cortina se caracteriza por cumplir tres características fundamentales:

1. Es una fachada ligera. Los muros cortina suelen tener un peso que oscila entre 30-70 kg/m^2 y un espesor de 10-15 cm. Como dato comparativo, una fachada tradicional pesa entre 250 y 300 kg/m^2 con espesores de 30 a 40 cm.
2. En la mayoría de los casos las zonas acristaladas desempeñan un papel dominante dentro de la composición de la fachada.
3. Los elementos que constituyen el cerramiento se sobreponen a la estructura del edificio, sin interrumpirse en las losas, quedando la fachada independizada del resto de la construcción.

muro cortina.indd 24 4/1/14 9:39 AM

TABLA 2.1
FACTORES EXTERNOS E INTERNOS DEL DISEÑO DEL MURO CORTINA

EXTERIOR

- Condiciones específicas dependientes de la ubicación
- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad
- Lluvias
- Vientos
- Fuentes de contaminación acústica exterior
- Entorno urbanístico
- Recursos locales
- Contexto socio-cultural

INTERIOR

- Requerimientos de los usuarios
- Rangos confortables de temperatura y humedad
- Cantidad y calidad de luz natural
- Recambio de aire fresco adecuado
- Nivel acústico confortable
- Seguridad ante solicitaciones
- Relación visual con el entorno exterior
- Demarcación entre zonas públicas y privadas
- Protección contra daños
- Protección al fuego

2.3. SOLICITACIONES DE LA NATURALEZA

Todos los muros exteriores, de cualquier material, están sometidos a solicitaciones de la naturaleza, y deben diseñarse para resistirlas adecuadamente durante su vida útil. Entre estas solicitaciones se deben considerar: radiación solar, temperatura, agua, viento, gravedad, sismos, salinidad del aire. Todas ellas varían de una región a otra, y deben ser consideradas en el diseño del muro cortina. Ellas pueden actuar sobre el muro individualmente, o en conjunto, pero para entender sus impactos en los requerimientos de diseño sus efectos deben ser examinados por separado.

Radiación solar

La radiación solar genera deterioro de los materiales orgánicos, como pigmentos de colores, plásticos y algunos sellos orgánicos. Los rayos UV producen cambios químicos que originan descoloramiento, degradación de materiales. Es esencial entonces que los materiales y revestimientos vulnerables a dichas acciones sean investigados acuciosamente antes de ser usados.

Otro problema que se genera cuando la luz solar pasa sin control a través de la fachada es la pérdida de confort por deslumbramiento y brillo excesivo; así como la degradación de los bienes interiores (cuadros, alfombras, pisos, muebles, etc.). Convencionalmente, esos efectos se han combatido con dispositivos de sombreado, interiores o exteriores. Pero en la actualidad han ido ganando terreno el uso de vidrios y láminas de tipo reflectivos o con reducción de deslumbramiento; los cuales atenúan los problemas sin restringir la visión (Figura 2.1).

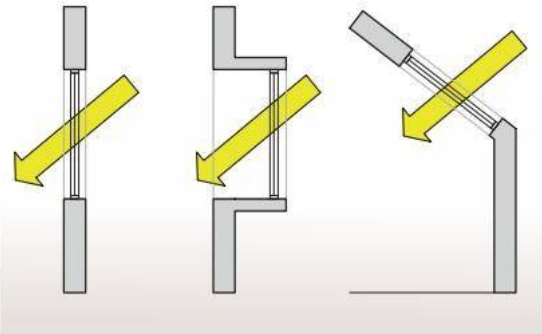


Figura 2.1. Ganancias de radiación solar en diferentes soluciones arquitectónicas.

TABLA 2.2
COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL DE MATERIALES

MATERIAL	DILATACIÓN TÉRMICA mm/mm/°C x 10-6
Vidrio	9
Aluminio	23,2 - 23,8
Mármol	6,7 - 22,1
Concreto	9,0 - 12,6
Acero inoxidable	10,4 - 17,3
PVC	80
Acrílico	74
Policarbonato	68,4

Temperatura

Genera dos tipos de problemas en el diseño de muros cortina: 1) expansión y contracción de materiales, y 2) la necesidad de controlar el paso de calor a través de la fachada.

Efectivamente el calor solar sobre la fachada genera uno de los mayores problemas en esta. Son las fluctuaciones de temperatura (durante el día, y entre las estaciones) las que afectan los detalles del muro. Todos los materiales se expanden y contraen con los cambios de temperatura, y en el caso del aluminio la deformación por temperatura es importante; aun cuando es mucho menor que los plásticos (policarbonatos, acrílicos, pvc), según se indica en la Tabla 2.2.

muro cortina.indd 25 4/1/14 9:39 AM

Agua

El agua en cualquiera de sus estados es probablemente la causa más persistente de problemas potenciales. En particular la lluvia en presencia de fuertes vientos, puede entrar por aberturas muy pequeñas, luego desplazarse al interior del muro y aparecer en la cara interior en un punto muy alejado de su ingreso. En la forma de vapor puede penetrar por poros microscópicos, luego condensar en presencia de puntos fríos y, si está "atrapada" dentro del muro, podrá causar severos daños que serían observables sólo después de un largo tiempo.

Las infiltraciones pueden ser un problema en un muro construido con cualquier material. Pero los materiales usados en los Muros Cortina son impermeables al agua, y las infiltraciones quedan restringidas a las juntas y a las aberturas. Aun cuando esto limita significativamente las áreas de vulnerabilidad, por otro lado evidencia la importancia del correcto diseño de juntas y sellos.

En la Figura 2.2. se muestran las causas que pueden determinar las infiltraciones de agua en una fachada; por el cual el arquitecto, o proyectista, deberá evaluar las medidas de control que usará en cada proyecto.

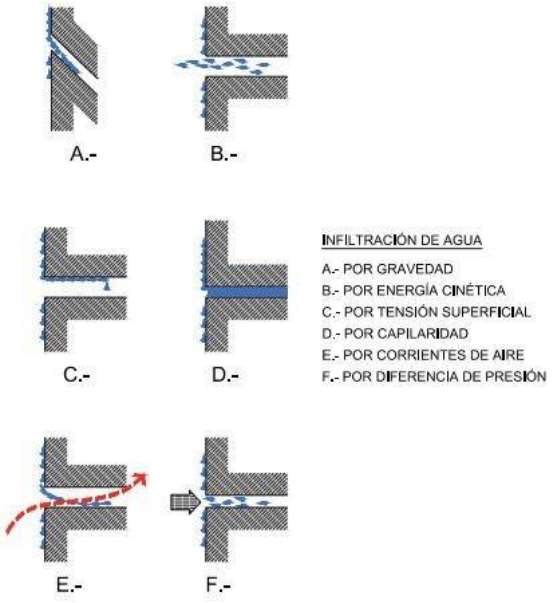


Figura 2.2. Causas de infiltración de agua.

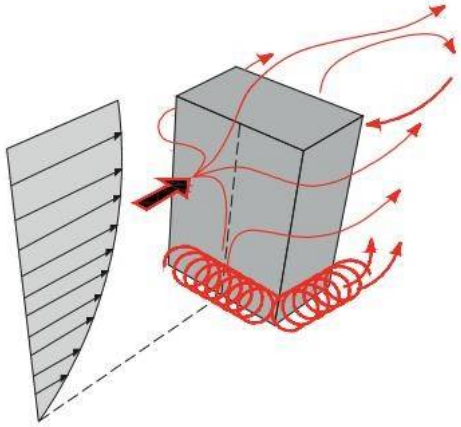


Figura 2.3. Diferencias de presión producidas por el viento.

Viento

Esta solicitación actúa directamente sobre las fachadas del edificio, y en gran medida controlan el dimensionamiento estructural de sus elementos. En los edificios más altos, las propiedades estructurales del reticulado metálico soportante, los paneles y el espesor de los vidrios son determinados con las máximas cargas de viento.

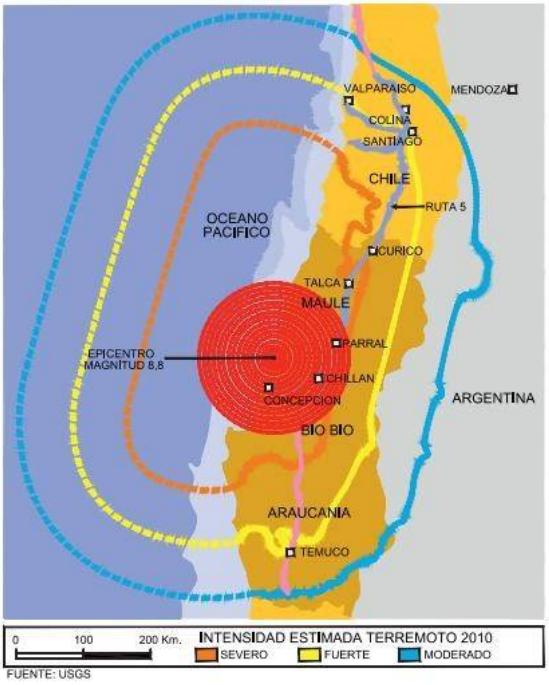
Los vientos también contribuyen al movimiento del muro, afectando los sellos y los anclajes del muro. Los vientos elevados generan alternadamente presiones y succiones en la fachada, que reversan los puntos de máximos esfuerzos en las estructuras, paneles y vidrios; pero también hace que la lluvia desafíe a la gravedad, y permita que el agua se desplace en cualquier dirección sobre la superficie del muro. Por tanto, el viento debe ser reconocido también como uno de los factores principales que contribuyen a la infiltración de aguas en las fachadas (Figura 2.3).

Sismo

Chile es un país con elevada y permanente actividad sísmica en todo su territorio, por lo cual se deben considerar las interacciones del sismo con la estructura resistente y el muro cortina. En el capítulo 1, indicamos como la gran mayoría de muros cortina exhibieron un excelente desempeño durante el terremoto del 27 de febrero de 2010 (ver figura 2.4). Sin embargo vemos también que en el país se están construyendo edificios cada vez más altos y más flexibles, lo cual hace aumentar las deformaciones de entrepisos. Adicionalmente, los diseños arquitectónicos muchas veces buscan eliminar vigas de borde, dejando solo losas en el perímetro del edificio.

Entre las exigencias de diseño entregadas por la norma sísmica chilena, NCh 433, destaca la necesidad de proveer holguras adecuadas en los elementos secundarios respecto de la estructura resistente, a objeto de absorber las defor-

muro cortina.indd 26 4/1/14 9:39 AM



FUENTE: USGS

Figura 2.4. Intensidades estimadas del terremoto de Chile 2010

maciones inducidas por el sismo. Adicionalmente, de la experiencia recogida con los sismos vividos en Chile, también se recomienda que en los anclajes se restrinja el desplazamiento vertical para evitar el "desencaje" de los elementos de apoyo (es muy importante en caso de sismos con componentes de aceleraciones verticales importantes).

Gravedad

A diferencia de las otras fuerzas, ésta es estática y constante en su acción sobre los objetos. Considerando el peso liviano de los materiales usados en el muro cortina, es una fuerza de importancia secundaria, que raramente controla el diseño de los elementos. Esta fuerza causa deflexiones en los miembros horizontales que reciben cargas (como las originadas por planchas de grandes dimensiones), pero como el peso de la fachada es transferido en intervalos frecuentes a la estructura resistente del edificio, entonces las fuerzas de gravedad son pequeñas en comparación a las cargas de viento.

Se debe tener en cuenta que en la mayoría de los casos la descarga de los pesos propios de los elementos de fachada se realiza sobre las vigas y losas de borde del edificio, a través de los puntos de anclaje del muro cortina. Estas cargas pueden causar deflexiones y desplazamientos en vigas y losas, por lo cual es necesario diseñar las conexiones para proveer suficiente movimiento relativo para asegurar que dichos desplazamientos no impongan cargas verticales en el muro cortina.

2.4. APERTURAS EN LA FACHADA

Hasta ahora hemos considerado la envolvente del edificio como si fuera una superficie continua. Sin embargo dichas superficies son finitas y presentan bordes, entendidos como zonas de transición entre superficie continua y apertura. Las aperturas son aquellas partes de la envolvente del edificio que resultan permeables al flujo de energía y de materiales, tales como las ventanas y los lucernarios. Las aperturas resultan indispensables para suministrar luz y aire al interior de un edificio de manera pasiva.

Las aperturas son puntos de discontinuidad material de la fachada, donde como se menciona en el punto anterior, están sujetas a posibles infiltraciones; por lo cual requieren un diseño muy cuidadoso de los detalles.

Gran parte de la prestación (o, desempeño") de la fachada quedará definida por la calidad del diseño en las zonas de transición "superficie-apertura".

2.5. APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE LA FACHADA

Tal como se ha indicado anteriormente, la modulación del muro cortina y la distancia entre mullions y entre travesaños, queda definida por las exigencias de arquitectura, exterior e interior, y de aprovechamiento de materiales.

Hoy es posible encontrar dimensiones estandarizadas (que se derivan de las medidas comerciales disponibles de los cristales, y que están en el rango de 1200 a 1800 mm) para módulos de muros cortinas. Sin embargo, para proyectos específicos se puede trabajar con "medidas a pedido", con las cuales se puede optimizar el consumo de material significativamente. En general el uso de paños de medidas no estandarizadas obedece al diseño arquitectónico u otros.

Como resultado del proceso de diseño se define la modulación del edificio, la cual es usada (entre muchas otras cosas) en la determinación de los puntos de anclaje del muro cortina.

2.6. CONSIDERACIONES TÉCNICAS BÁSICAS DE DISEÑO DEL MURO CORTINA

La experiencia acumulada en el análisis de los efectos de las solicitaciones de la naturaleza revela que las cuestiones más importantes a ser consideradas en el diseño de los muros cortinas son las siguientes:

Integridad estructural

Desde el punto de vista estructural, los requerimientos de

muro cortina.indd 27 4/1/14 9:39 AM

rigidez más que de resistencia son los que generalmente controlan las deformaciones excesivas de los elementos, y que pueden llevar a situaciones de daños de los componentes del muro cortina.

Dado que una falla estructural puede poner en peligro la vida humana, la integridad estructural de un muro puede decirse que es la preocupación esencial en su diseño (ver figura 2.5). El diseño estructural del muro cortina se realiza con procedimientos similares a los usados con otros tipos de muros, y en general una falla estructural es menos probable que se verifique que una falla por movimiento o por estanquidad y hermeticidad; cuyos requerimientos presentan problemas únicos en la construcción metálica liviana.

Dado que las cargas verticales del sistema son relativamente livianas, el diseño estructural está dirigido esencialmente a proveer una adecuada capacidad a las cargas laterales de viento. Este es un procedimiento de rutina en los edificios bajos y medianos, considerando que el tipo y magnitud de las cargas de viento son conocidas. En el caso de algunos edificios altos, ha sido necesario desarrollar estudios con túneles de viento, dado que la norma chilena de viento NCh432.Of71 no permite definir completamente las solicitaciones y su sectorización en las caras del edificio.

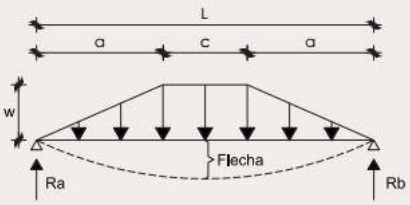
Es bien conocido que las máximas velocidades del viento, y consecuentemente las cargas de diseño al viento, varían no sólo con la ubicación geográfica pero también con al altura del suelo, y con las condiciones del entorno (o, "rugosidad") como ser: campo abierto, ciudad, mar, etc.

En los edificios más altos dichas presiones negativas son usualmente máximas cerca de las esquinas de los edificios, donde puede llegar a haber más del doble de la presión positiva que se ejerce en las zonas centrales del muro cortina. Esto explica porque la falla estructural más recurrente es la inadecuada resistencia en los detalles de anclaje para la succiones del viento en las zonas de esquina.

Proveer capacidad de movimiento

Proveer una amplia capacidad de movimiento es clave en el diseño de los muros cortina. En muchas ocasiones cuando no se logra eso, es común observar fallas por prestación inadecuada (o, desempeño del muro cortina). Ningún edificio es una cosa estática y tampoco el muro cortina. El movimiento se verifica en cada instante del edificio (movimiento dentro de los componentes, movimiento entre los componentes, y movimiento relativo entre el muro cortina y la estructura resistente del edificio. Estos movimientos son causados no

Figura 2.5.
Análisis estático para el dimensionamiento estructural.



L = 224
a = 85,5
c = 60
w = 0,79

Ra = Rb = w ° (a+c) /2
M max. = w ° (3°L ˆ2-4° aˆ2) /24
Flecha = w ° (5°L ˆ4-8° a ˆ2°L ˆ2+3,2° a ˆ4) /384°E°I

TABLA 2.3.
VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS POR DEFORMACIÓN Y POR RESISTENCIA

VERIFICACIÓN DE DEFORMACIÓN

Máx. deformación corredera	=	1,91	= 3/4"	} Mínimo valor
Deformación admisible	=	1,28	L / 175	
Momento inercia traslapo	=	7,97	(cm⁴)	---Traslapo reforzado
Inercia deformación máxima	=	7.761.567.719 / 268.800.000	28,87	
I req	**=**	**28,87 / 1,28**	**22,56**	**(cm⁴)**

VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA

Tensión admisible	=	891	Kg/cm²	
Momento máximo	=	95.817 / 24	3.992	
W req	**=**	**3.992 / 891**	**4,48**	**(cm³)**

muro cortina.indd 28 4/1/14 9:39 AM

solamente por los cambios de temperatura, sino también por la acción del viento, de la gravedad y por las deformaciones y desplazamientos del edificio.

El efecto de la temperatura es importante debido al elevado coeficiente de dilatación térmica del aluminio (ver tabla anterior). Una regla fácil de recordar indica que el aluminio dilata aproximadamente 1 mm por metro de longitud. En una conexión vidrio-aluminio el movimiento diferencial será casi la mitad.

Podemos decir que el problema de proveer capacidad de movimiento, se reduce a un problema de diseño de juntas, porque es en las juntas donde el movimiento debe ser absorbido. Es un axioma entonces que el funcionamiento exitoso de un muro cortina reside en el diseño de sus juntas. Lo anterior no significa necesariamente que si se usan elementos más largos (o, grandes) entonces al haber menos juntas el problema se resuelve automáticamente. Por el contrario, la experiencia indica que la presencia de elementos más grandes requerirá que cada junta pueda absorber mucho más movimiento; lo cual tiende a complicar el diseño de las juntas.

Estanquidad a la intemperie

En este caso debemos entenderla como la protección contra la infiltración de agua y las infiltraciones de aire. También este tema depende en gran medida de las holguras para absorber movimiento, y por tanto está íntimamente ligado al correcto diseño de juntas.

Vientos intensos causan que las aguas lluvias fluyan en todas las direcciones de las superficies a barlovento del muro, y en las superficies de materiales impermeables la mayoría de ellas tienden a concentrarse en las juntas –que son los puntos de mayor vulnerabilidad.

En la historia de los muros cortina se ha visto que no es fácil tener juntas exteriores con sellos permanentemente estancos. Por ello se han desarrollado otros dos métodos que buscan evitar las infiltraciones en los muros. Uno es llamado de "drenaje interno" (internal drainage) o de "defensa secundaria" (ver figura 2.6). El otro sistema es conocido como "ecualización de presiones" (pressure equalization) (ver figura 2.7).

El método de drenaje interior está basado en la filosofía que es difícil eliminar totalmente cualquier punto de infiltración en la fachada exterior de un muro cortina; y que por el contrario es posible aceptar el ingreso de infiltraciones menores al interior del muro. Esto se logra a través del uso de sistemas de flashing y de dispositivos de recolección de agua; complementados con elementos de drenaje (weepholes, drainage spots) y deflectores (baffles) para devolver el agua hacia la cara exterior del muro cortina.

El método de la ecualización de presiones está basado en el principio de "pantalla de lluvia" (rain screen), y es una solución más sofisticada; pero es considerada como "infalible"

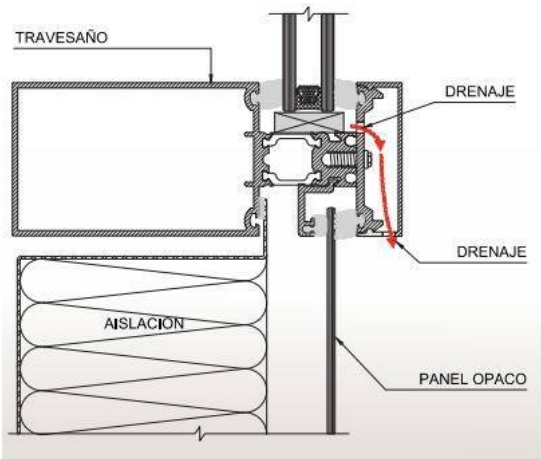


Figura 2.6. Sistema de drenaje de aguas lluvias de muro cortina.

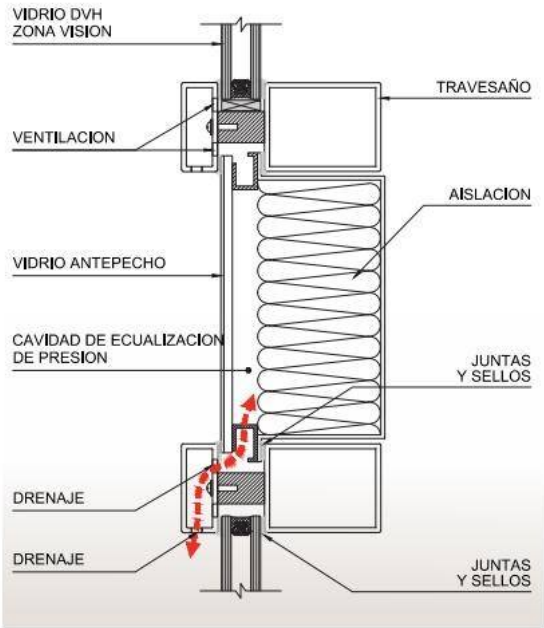


Figura 2.7. Sistema de muro cortina con ecualización de presiones.

muro cortina.indd 29 4/1/14 9:39 AM

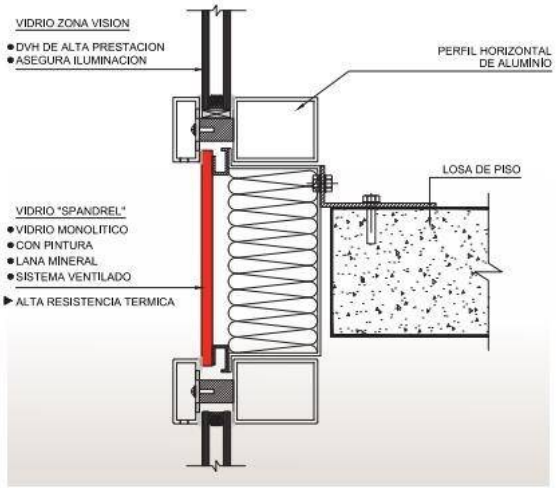


Figura 2.8. Muros cortina con vidrios de antepecho aislados térmicamente.

por sus adherentes cuando es correctamente aplicada. Brevemente, requiere disponer de un muro exterior ventilado, seguido por una cavidad de aire en la cual las presiones son mantenidas iguales a las presiones exteriores del muro cortina. El muro interior es sellado adecuadamente para controlar las infiltraciones de aire.

Control de Humedad

Dado que los metales y el vidrio son impermeables a la humedad (es decir, son barreras de vapor eficientes), pero además presentan una capacidad de retención de calor baja (dado que tienen masas livianas), el control de la condensación es esencial en el diseño de los muros cortinas.

Aislación Térmica

En algunos casos los valores de aislación térmica pueden ser uno de las principales preocupaciones del diseño de la fachada. Un alto valor de resistencia térmica permitirá reducir significativamente las pérdidas de calor en invierno, pero también ayudará a reducir los episodios de condensación. En cambio, en los climas más calientes, el aumento del valor de resistencia térmica para la reducción de las ganancias de calor y de los costos de aire acondicionado, es una inversión de más largo plazo.

Los metales y el vidrio son materiales que exhiben baja resistencia al flujo de calor, pero usando algunos detalles es posible mejorar sensiblemente su prestación térmica. Algunas de las acciones que se recomiendan son: reducir la proporción de perfiles metálicos expuestos al exterior para eliminar los "puentes térmicos"; usar Doble Vidrio Hermético (o, DVH) y usando en las zonas opacas de antepecho (o, spandrel) una aislación térmica elevada. (Figura 2.8)

Transmisión del ruido

Bajo condiciones normales, aún en áreas urbanas densamente construidas, los muros cortina se comparan favorablemente con otras construcciones que usen sistemas de finestración equivalentes como barrera para la atenuación acústica de los ruidos aéreos exteriores. Sin embargo, hay una preocupación creciente con la polución acústica en las ciudades, lo cual ha llevado a seguir desarrollando soluciones para mejorar la aislación acústica de los muros cortina.

De acuerdo a los principios físicos del sonido, la transmisión del ruido a través de una barrera es inversamente proporcional a la masa de la barrera, y por tanto cualquier fachada metálica liviana no puede presentar ventajas naturales como una barrera de sonido. Pero con un proyecto detallado, basado en los principios de la transmisión del sonido, los muros cortina han sido diseñados para proveer una envolvente (o, carcasa) acústica.

Debe ser recordado que la eficiencia de una barrera acústica depende, en gran medida, de su eslabón más débil, y el punto más débil de las fachadas son las zonas vidriadas y las aperturas, incluso por pequeñas que sean. En aquellos casos en que se requiera un alto nivel de aislación acústica, se requiere minimizar las infiltraciones de aire a través de la fachada. En estos casos, un DVH correctamente diseñado y sellado, es usualmente esencial (ver figuras 2.9 y 2.10).

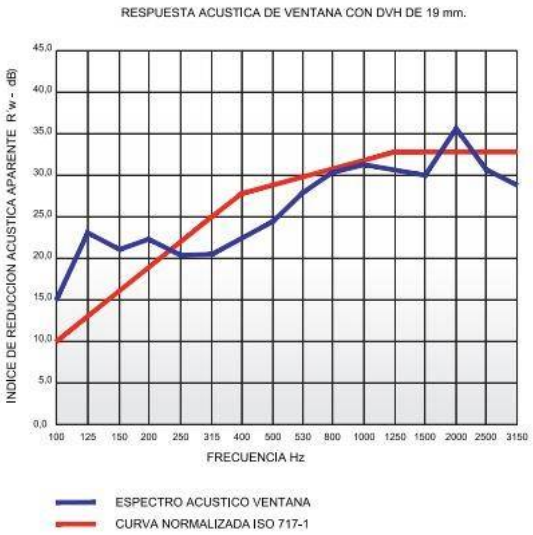


Figura 2.9. Espectro de respuesta acústica de ventana con DVH de 19 mm.

muro cortina.indd 30 4/1/14 9:39 AM

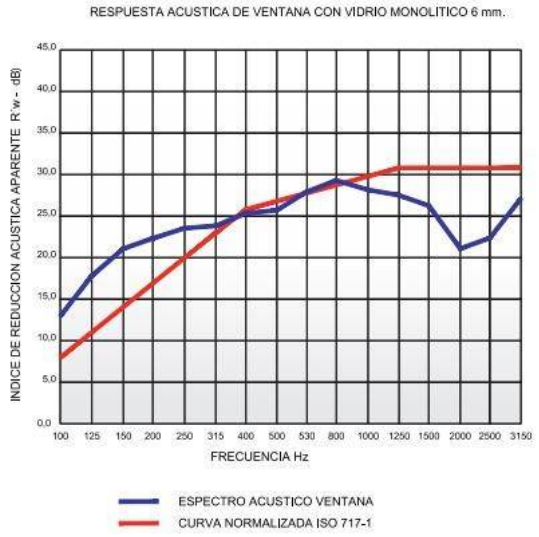


Figura 2.10. Espectro de respuesta acústica de ventana con vidrio simple de 6mm.

2.7. DISEÑO DE JUNTAS

Como dicho anteriormente, la calidad de un muro cortina depende fundamentalmente de la realización de las uniones y las juntas que sirven para ensamblar los diferentes elementos que los constituyen (ver figuras 2.11 y 2.12). El problema de las variaciones dimensionales juega un papel decisivo en el diseño constructivo y en la concepción de las juntas.

La imposibilidad de fabricar, transportar y montar una fachada continua nos obliga a la formación de juntas que resuelven la unión entre los distintos paneles.

Los problemas que tiene que resolver la junta, son:

- En primer lugar, los que se refieren al propio panel: planeidad, dimensiones máximas, aislamiento térmico y acústico, permeabilidad al agua, gradiente térmico, resistencia a agentes ambientales, etc.
- En segundo lugar los que se refieren al sistema de anclaje: facilidad de alineación, aplomado y nivelación, posibilidad de montaje desde el interior, anclaje posterior de nuevas piezas, necesidad de sobrestructura para la fijación de los anclajes, etc.
- En tercer lugar, los que se refieren propiamente a las juntas: geometría, sellado, estanqueidad, tolerancias dimensionales, capilaridad, mantenimiento, movilidad, aislamiento térmico y acústico, etc.
- En cuarto lugar, los que se refieren al sistema de montaje, mantenimiento y reparación que tiene que ver con lo liviano que puedan ser los paneles, con el diseño de la junta y con el sistema de fijación.

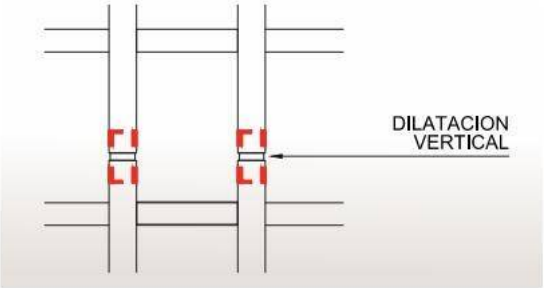


Figura 2.11. Dilatación vertical de mullions.

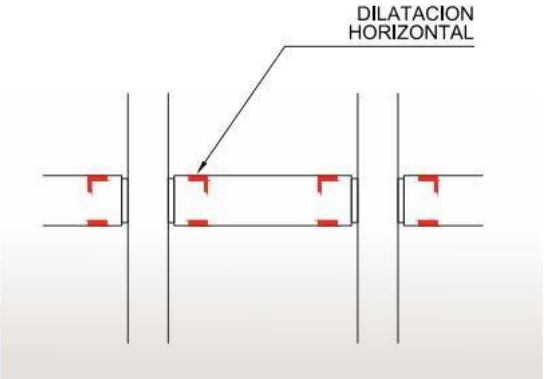


Figura 2.12. Dilatación horizontal de travesaños.

2.8. TRATAMIENTO DE UNIONES

Las uniones, al igual que los anclajes, pueden ser fijas o deslizantes. Las fijas se utilizan para anclar los travesaños a los montantes y generalmente son perfiles en forma de U extruidos en una aleación de aluminio.

Las uniones deslizantes, tienen su aplicación en las juntas de dilatación y acostumbran a ser perfiles tubulares de aluminio (Figuras 2.13 y 2.14).

■ Elementos de remate

Son elementos conformados, por lo general de chapa de aluminio o acero galvanizado, cuya misión es dar el acabado entre el muro y la obra. Entre ellos apreciamos los siguientes:

1. Exteriores

- REMATE DE CORONACIÓN. Es el acabado superior del muro. Normalmente cubre el conjunto formado por el muro perimetral de la cubierta y la fachada. Suele realizarse con chapa de aluminio, acabada con el mismo color del resto del muro (Figura 2.15).

muro cortina.indd 31 4/1/14 9:39 AM

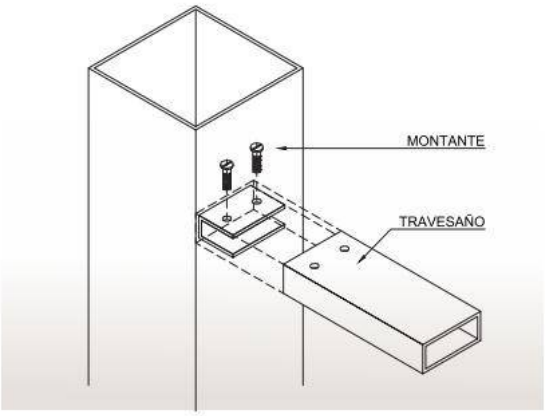


Figura 2.13. Unión fija de travesaño a montante.

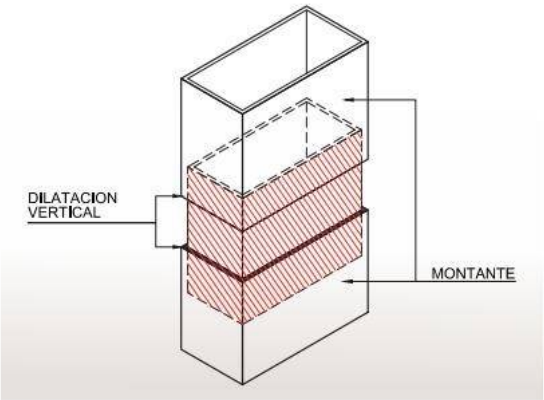


Figura 2.14. Deslizante de montante a montante.

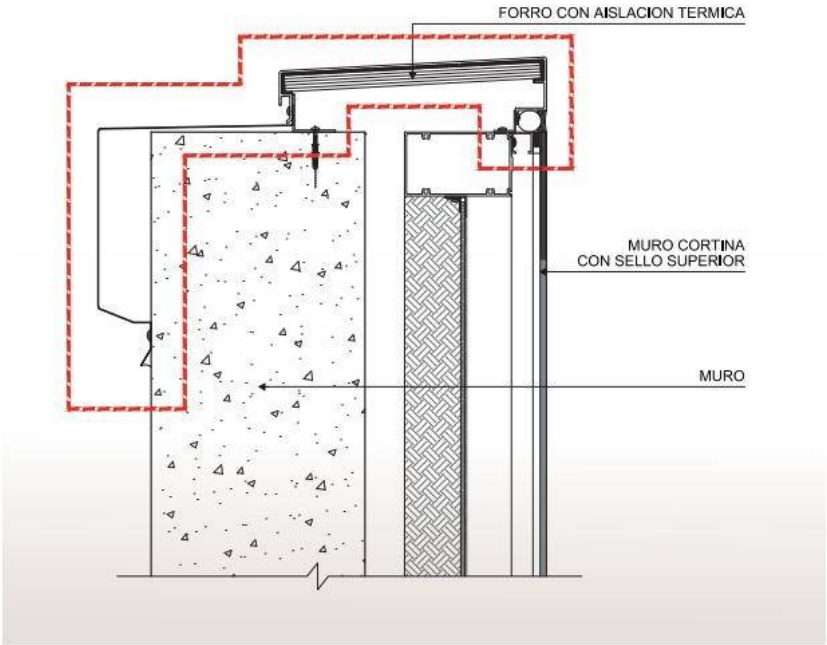


Figura 2.15. Remate exterior de coronación.

muro cortina.indd 32 4/1/14 9:39 AM

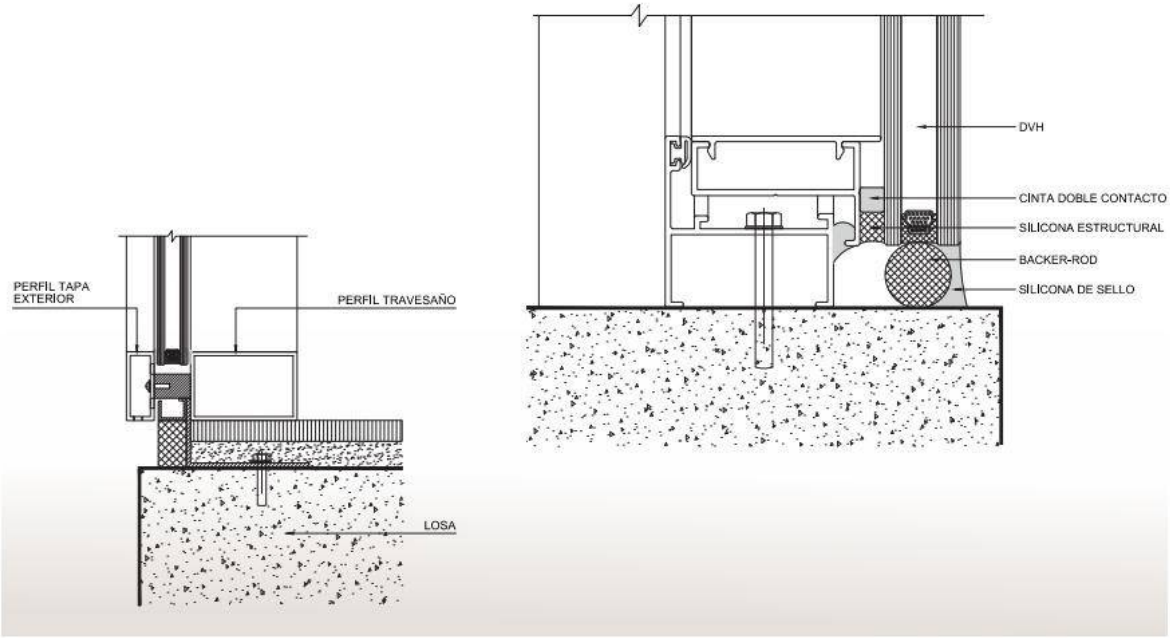


Figura 2.16. Remate arranque inferior.

- REMATE LATERAL. Es el destinado a unir dos fachadas en ángulo o recibir el edificio vecino en el caso de medianeras.
- REMATE INFERIOR. Se utiliza en los cuerpos volados de la fachada.
- REMATE ARRANQUE INFERIOR. Se utiliza en el arranque de la fachada desde el nivel del suelo (Figura 2.16).

■ **2. Interiores**

- REMATE DE LOSA. Es el que tiene la misión de cerrar el hueco que se crea entre la losa y la fachada. Normalmente consta de perfil angular, chapas superiores e inferiores y cortafuegos.
- CHAPAS SUPERIOR E INFERIOR: molduras de acabado que cierran el hueco existente entre el muro cortina y la obra.
- CORTAFUEGOS: conjunto o sistema formado por panel de doble chapa de acero galvanizado y aislante intermedio. Se aloja, normalmente, entre la losa y el muro cortina. También puede realizarse depositando aislante entre la chapa inferior de la losa (que deberá ser de acero galvanizado) y la superior. No es posible utilizar el aluminio debido a que no presenta un buen comportamiento frente al fuego.

2.9. TOLERANCIAS, HOLGURAS Y COORDINACIÓN DIMENSIONAL CON OTRAS ESPECIALIDADES

Dado que los conceptos de tolerancias y holguras pueden estar relacionados, a veces se produce una confusión que es bueno aclarar. Una **tolerancia** es una cantidad permitida de desviación respecto una característica específica, o nominal, que puede ser una dimensión, un color, una forma, composición, etc.

En este manual la principal preocupación es con las tolerancias dimensionales. Una **holgura** es un espacio o distancia provista a propósito entre partes adyacentes, ya sea para permitir movimientos o para variaciones esperadas de dimensiones, etc.

La adopción de tolerancias dimensionales y la incorporación de holguras adecuadas son de importancia crítica en muchos aspectos del diseño de los muros cortina de aluminio. Uno de tales aspectos es el detalle de los marcos de acristalamiento, donde una amplia holgura de borde y un bite (o, mordida) del cristal son factores muy significativos para asegurar la prestación del vidrio. Otro aspecto de aún mayor preocupación es la cuestión de tolerancias en la estructura resistente primaria y las holguras consideradas

muro cortina.indd 33 4/1/14 9:39 AM

entre dicha estructura y el muro cortina.

Es posible ver proyectos donde se falla en reconocer la importancia crítica de controlar estrictamente el alineamiento de la estructura resistente. No es difícil encontrar especificaciones técnicas en las cuales no se hace mención a la tolerancia que debe ser considerada en la construcción a la cual la fachada será montada; así como holguras dimensionales indicadas en los planos (o, drawings) que realmente no permiten el uso de dicha tolerancia, aun cuando se espera que el muro sea instalado completamente nivelado y aplomado. Por otro lado, la identificación de las responsabilidades para errores en estas situaciones es siempre frustrante, y a veces imposible de resolver; por ello se sugiere que en todos los proyectos, las tolerancias deben ser razonables y reales.

Es igualmente importante que el diseñador entregue holguras adecuadas en el detalle del muro cortina y en su relación con la estructura primaria resistente. Es una práctica común que las Especificaciones Técnicas (EETT), indiquen que el muro cortina debe ser instalado "aplomado y nivelado" dentro de tolerancias relativamente pequeñas; entonces el fabricante del muro cortina deberá hacer su mejor trabajo para lograrlo dentro de las "limitaciones impuestas" por el diseño y por las condiciones de trabajo en obra. Sin embargo debe ser entendido claramente que el muro cortina puede ser instalado dentro de las tolerancias solamente si: (1) la estructura resistente primaria es construida dentro de las tolerancias específicas para el proyecto y (2) las holguras dimensionales indicadas en los planos permiten espacios de trabajo adecuados; de lo contrario el alineamiento del muro cortina según especificado podría implicar atrasos y mayores costos.

La holgura necesaria para la instalación del muro cortina depende del diseño del muro y de los límites de ajuste aceptados por los sistemas de anclajes.

Es posible encontrar recomendaciones técnicas de tolerancias en los siguientes documentos:

- American Institute of Steel Construction, Code of Standard Practice. Section 7, Erection, Paragraph 7.11, Frame Tolerances
- American Concrete Institute, Recommended Practice for Concrete Formwork, ACI 347, Section 2.4.1

Otros aspectos a tener en consideración serán: la coordinación dimensional con otras especialidades, las interdependencias de construcción y las secuencias de instalación.

2.10. RECOMENDACIONES FINALES DEL DISEÑO DEL MURO CORTINA

Ya sea que el proyecto del muro cortina se refiera a un edificio pequeño, o monumental, en general es recomendable pedir la asesoría técnica del fabricante del muro cortina antes de terminar el diseño. Aún en los casos de edificios más pequeños, en los cuales se pueda usar un sistema de muro cortina "estándar", hay siempre algunos detalles que requieren clarificaciones, o limitaciones prácticas que deben ser explicadas. Por el contrario, si el muro cortina será especial (custom designed), es aún mayor la importancia de una asesoría de un fabricante calificado, independientemente si la fachada es grande o pequeña.

Gracias a su experiencia y a su conocimiento de los procesos de producción y a los métodos de instalación, el fabricante del muro cortina puede analizar el concepto general del diseño propuesto, y entregar recomendaciones que van a ayudar al diseñador, a facilitar la producción y, a la fin, permitirán un ahorro de costos.

muro cortina.indd 34 4/1/14 9:39 AM

3. Consideraciones Estructurales del Muro Cortina

3.1. ALCANCE

En este capítulo se definen criterios y requisitos mínimos a considerar en el diseño estructural del muro cortina del edificio. Estos requisitos son complementarios a los requerimientos funcionales establecidos en las especificaciones técnicas de arquitectura.

3.2. GENERALIDADES

El diseño de muro cortina deberá contemplar una memoria de cálculo que deberá ser aprobada por el ingeniero estructural del edificio, así como los planos de fabricación. Esta memoria deberá ser preparada y venir firmada por un ingeniero estructural, y será su responsabilidad asegurar que dicho proyecto está dentro de la calidad exigida por las especificaciones técnicas y por las normas de diseño.

Deberán justificarse todos los componentes, apoyos y elementos de anclajes entre otros. Se deberán incluir las deformaciones de todos los elementos (perfiles verticales) y el análisis de las conexiones.

La responsabilidad del ingeniero del proyecto estructural del edificio se limita a revisar y aprobar las bases de diseño emitidas por el ingeniero a cargo del diseño de muro cortina y a revisar que las cargas que el sistema de muro cortina transmite a la estructura principal del edificio puedan ser soportadas adecuadamente. Por lo mismo, se le exige al proyectista del muro cortina que entregue bases de diseño con las consideraciones generales, cálculo de los elementos principales y cuadro con las reacciones sobre la estructura principal.

Si los cálculos estructurales indican alguna deficiencia, el contratista deberá modificar los planos y detalles para cumplir con los requerimientos solicitados.

3.3. BASES DE CÁLCULO

3.3.1. NORMAS Y MANUALES DE DISEÑO

Se deberán cumplir como mínimo con las siguientes normas chilenas: NCh432.Of.2010: Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones, NCh433.Of96 - mod2009: Diseño sísmico de edificios, NCh431.Of.2010: Sobrecargas de nieve, ICHA. En ausencia de recomendaciones adicionales, se sugiere considerar las siguientes publicaciones extranjeras: AISC, AWS, NAAMM, AAMA, FGMA, AA, y los otros requerimientos más adelante establecidos.

- ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- ICHA: Instituto Chileno del Acero.
- AISI: "Specifications for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members".
- AWS: "Structural Welding Code".
- NAAMM: "National Association of Architectural Metal Manufacturers (NAAMM)
- AAMA: "Metal Curtain Wall, Window; Storefront and Entrance Guide Manual" and "Aluminum Curtain Wall, Design Guide Manual".
- FGMA: Fiat Glass Marketing Association, "Sealant Manual" and "Glazing Manual".
- AA: Aluminum Association "Specifications for Aluminum Structures", "Color Quality Standards for Painted Aluminum Sheet" and Standards for Quality Aluminum Products".

3.4. SOLICITACIONES

En el cálculo estructural del muro cortina se deberán considerar las cargas que solicitan a dicho sistema, de acuerdo a las recomendaciones de las normas chilenas respectivas. En particular se destacan las siguientes solicitaciones: **Peso Propio (PP), Sobrecarga de Viento (V), Sismo (S), Variación de Temperatura (DT), Nieve (N), Carro Limpia Fachadas (CLF).** A continuación se revisan en detalle cada una de ellas.

3.4.1. CARGAS DE VIENTO (V)

Se considerará una presión de viento según la norma NCh432 of.71 (ver extracto al final del presente capítulo).

Se considerará una sobrepresión de 2.0 veces en todos los bordes y esquinas en una franja de ancho igual al 10% del ancho del edificio. Para las formas irregulares (no contempladas en la norma), se deberán utilizar los factores de forma

muro cortina.indd 35 4/1/14 9:39 AM

apropiados y se deberá analizar para distintos ángulos de incidencia del viento. En particular, se recomienda también evaluar la información derivada de la experiencia, o incluso considerar la necesidad de hacer ensayos de túnel de viento.

El cálculo de las esquinas deberá efectuarse para dos casos:

a) 150% de la presión de diseño actuando en una cara y 0% de succión en la otra.

b) 100% de la presión de diseño sobre una cara y 150% de la succión en la otra.

3.4.2. CARGAS SÍSMICAS (S)

Se considerará las cargas sísmicas indicadas en las normas siguientes:

- NCh433.Of96 - mod2009: Diseño sismoresistentes de estructuras
- DS61: Decreto Supremo que modifica parcialmente la NCh433.Of96 - mod2009
- NTM01: Norma de Diseño sismoresistente de elementos no estructurales

El muro cortina debe aceptar la deformación de la obra gruesa en cualquier dirección, según lo exigido por las normas anteriores. Para tal efecto se deberán calcular las deformaciones reales de entrepiso, a partir de las deformaciones de cálculo amplificadas por el valor de R de cada edificio. Según indicado más adelante en el punto 5.3:

$$\Delta \text{ real esperado} = \Delta \text{ calculado} \times R^* / F.A.qmin.$$

El diseño de cualquier componente del muro cortina debe soportar la aceleración sísmica horizontal y vertical (simultánea) definida en la NCh433.Of96 - mod2009.

Por otro lado es necesario verificar específicamente para el caso de los anclajes los esfuerzos de corte y tracción a los que estarán 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 cortina. Dicho requerimiento se define de modo que el cristal pueda absorber los desplazamientos relativos 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 éstos 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 el desempeño sísmico incluyen el uso de cristal templado, cristal laminado y film plástico. Las dos primeras soluciones son aplicables en los nuevos diseños, mientras que el film plástico está reservado para la reparación de cristales existentes.

Actualmente, se han desarrollado métodos para reducir los daños sísmicos en los sistemas vidriados. Los muros cortinas aislados sismicamente (con sistemas de anclajes especiales al edificio) han sido recomendados para absorber los desplazamientos de entrepisos inducidos por el sismo. Otra solución que fue desarrollada por la Penn State University, EE.UU., consiste en emplear esquinas redondas en los cristales en vez de las tradicionales esquinas rectangulares.

3.4.3. VARIACIÓN DE TEMPERATURA (T)

Los componentes del muro cortina deberán estar diseñados para absorber las dilataciones y contracciones que se produzcan al variar la temperatura que, según la práctica usual, puede ser considerada entre -10°C y 71°C.

En el análisis de las temperaturas se deberá considerar los coeficientes de dilatación de cada material involucrado, y en el caso de las dilataciones diferenciales se deberá usar la diferencia de movimiento (caso: aluminio - vidrio).

3.4.4. SOBRECARGAS (SC)

Se considerará en los elementos inclinados las sobrecargas producidas por efecto de la acumulación de nieve (N) según la norma NCh431 of.77 y de la carga puntual de equipos (carro limpia fachada "CLF" u otro) o personas sobre el elemento.

3.4.5. COMBINACIONES DE CARGA

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

Se deberá considerar a lo menos las siguientes combinaciones de carga:

- PP
- 0.75 (PP + S)
- 0.75 (PP + V)
- CLF + 0.33 V
- PP + ΔT
- 0.75 (PP + N)

Para el análisis de deformaciones se omite el factor 0.75 dado que la verificación de deformaciones se realiza en condiciones de servicio.

muro cortina.indd 36 4/1/14 9:39 AM

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

3.4.6. CÁLCULO DE FIJACIONES

Los insertos embebidos en la obra gruesa deberán diseñarse para resistir las solicitaciones provenientes de las combinaciones de carga definidas en el punto 3.4.5.

Para la combinación más desfavorable de carga, el movimiento máximo de cada anclaje no deberá exceder de 1 /8» (3.2 mm) en cualquier dirección.

Los tornillos, remaches y pernos de fijación deberán dimensionarse para resistir las solicitaciones provenientes de las combinaciones de carga definidas en el punto 3.4.5.

En el caso de utilizar fijaciones mecánicas en la obra gruesa, se deberá usar los métodos y factores de seguridad recomendados por el fabricante de la fijación.

3.5. CÁLCULO ESTRUCTURAL

El cálculo de la estructura deberá cumplir con los siguientes criterios de resistencia y deformación de los elementos al ser sometidos a las cargas indicadas en el punto 3.3.

Dependiendo de la situación, deberán verificarse las tensiones, compresiones, flexiones, torsiones y pandeo de los elementos.

En dicho análisis y verificación, se podrá considerar un modelo estático con método de tensiones admisibles para los elementos verticales, horizontales, vidrios, termopaneles, anclajes, etc.

3.5.1. RESISTENCIA

Se usarán los valores de tensiones admisibles recomendados por la Asociación de Aluminio de USA ("Aluminum Construction Manual - Specification for Aluminum Structures").

3.5.2. DEFORMACIÓN

Ningún elemento del muro cortina deberá tener una deformación permanente mayor que L/500 cuando sea sometida a una carga de 1,5 veces la de diseño (siendo L la longitud del elemento).

La deformación de cualquier elemento, en dirección perpendicular al plano no excederá de L/175 o 3/4" (19 mm) (la menor de ambas cantidades). En mamparas se aceptará una deformación de hasta 1" (25 mm).

La deformación de cualquier elemento en sentido vertical, no excederá de L/360 ó 1/8" (3.2 mm) (la menor de ambas cantidades).

Los elementos horizontales a nivel de antepecho y las barandas de protección deberán soportar una carga concentrada de 90 kg al centro del elemento, sin deformación permanente.

La máxima deformación permitida de los elementos verticales de esquina es de ¼" (6.4 mm).

3.5.3. DEFORMACIONES ADMISIBLES

Elementos verticales y cristales:

$$\Delta h_{adm}\ (cm) = L/175$$

Elementos horizontales:

$$\Delta v_{adm}\ (cm) = \max(L/360;\ 0{,}32cm)$$

Los elementos que conforman la estructura del Muro Cortina no deben presentar deformaciones permanentes apreciables frente a la presencia de viento.

La NCh 888 "Arquitectura y construcción -Ventanas - Requisitos básicos" y la NCh 523 "Carpintería de aluminio - Puertas y ventanas - Requisitos" definen que la flecha frontal máxima de los elementos del armazón debe ser menor o igual a L/175 (siendo *L* la longitud mayor del elemento) o 19 mm, para el caso de utilizarse cristales monolíticos.

Para el caso de utilizarse doble vidriado hermético, la flecha máxima aceptada debe ser menor o igual a L/225.

3.6. INFORMACIÓN RELEVANTE DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010

3.6.1. RESULTADOS IMPORTANTES OBTENIDOS DEL ESTUDIO DEL TERREMOTO 27F

Al evaluar los espectros sísmicos medidos en Chile, se observa que el contenido de frecuencias del terremoto del 2010 (comparado con otros, como el de Llolleo del terremoto de 1985), el terremoto 27F presenta una mayor importancia relativa de los componentes sísmicos de baja frecuencia (asociadas a mayores períodos de la onda sísmica). Esta observación es congruente con la evidencia de mayor daño generalizado que se pudo observar en el 2010, en los elementos no estructurales (muros cortina excluidos) de los edificios de media y gran altura (entre 15 y 30 pisos aproximadamente). Mientras que los edificios más bajos (que tienen periodos de oscilación menores) no exhibieron daños significativos, dado que sus deformaciones de entrepiso son mucho menores.

muro cortina.indd 37 4/1/14 9:39 AM

A este propósito se recomienda la lectura del paper: *G. Rodolfo Saragoni, Marshall Lew, Farzad Naeim, Lauren D. Carpenter, Nabih F. Youssef, Fabian Rojas and Macarena Schachter Adaros, "Accelerographic Measurements of the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Struc. Design Tall Spec. Build. 19, 866-875 (2010), disponible en www.wileyonlinelibrary.com. DOI: 10.1002/tal.673.*

3.6.2. RIGIDECES DE LOS EDIFICIOS EN CHILE

En un extenso estudio realizado en 585 edificios, por Guendelman y Otros, de la oficina I.E.C. Ingeniería S.A., en Chile, se estableció que dichos edificios son muy rígidos y tienen deformaciones de entrepiso muy pequeñas (Figuras 3.1 y 3.2).

En el mismo estudio anterior, Guendelman y Otros midieron las rigideces de los edificios a través del siguiente parámetro: **Altura Total / Periodo del primer modo traslacional (H/T)** (Figura 3.3).

Donde los valores de H/T significan:

- de 20 a 40 m/s identifica edificios flexibles,
- entre 40 y 70 aquellos con rigidez normal, y
- de 70 hasta un máximo de 150, a los rígidos.

Considerando la limitación de los desplazamientos de entrepiso (con espectro de diseño reducido) impuesta por la NCh433.Of96 - mod2009, tenemos que las máximas deformaciones de entrepiso admitidas son igual al 3‰, de las cuales:

- 2‰ es debido a traslaciones de piso
- 1‰ es debido a efectos de torsión de piso

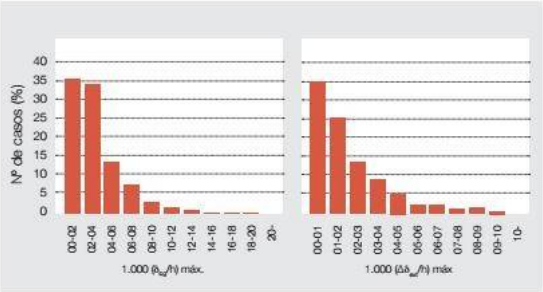


Figura 3.1. Máximo desplazamiento de entrepiso en C. de G.

Figura 3.2. Máximo desplazamiento adicional de entrepiso en borde.

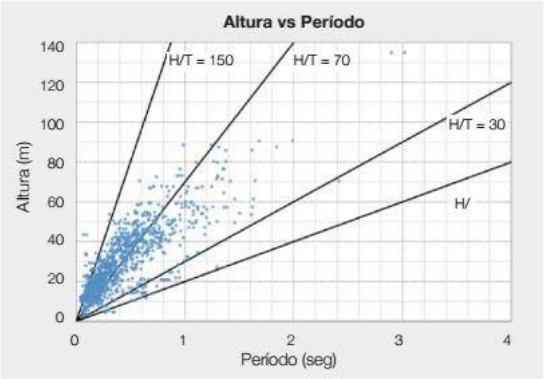


Figura 3.3. Distribución Altura Total Edificio respecto del periodo del primer modo traslacional (H/T).

Si comparamos los desplazamientos reales esperados para los edificios estudiados por Guendelman y Otros, se observa que **existe una significativa reserva de capacidad para absorber desplazamiento relativo de entrepiso** respecto del valor máximo admisible de la norma NCh433.Of96 - mod2009.

3.6.3. CÁLCULO DE DEFORMACIONES REALES ESPERADAS

Según NCh433.Of96 - mod2009, el cálculo de las deformaciones en los bordes de losa de un edificio se deben estimar de acuerdo a:

Δ real esperado = **Δ** calculado x R* / F.A.qmin .

En que F.A. qmin es el factor de reducción efectivo: R**

El valor de "**Δ** calculado" corresponde a la deformación de entrepiso calculada con un análisis lineal elástico, y que de acuerdo a NCh433.Of96 - mod2009 deberá limitarse a un máximo de 3‰.

Mientras que el valor R* corresponde al Factor de Modificación de la respuesta que, de acuerdo a la tipología de suelos establecida en el DS61, se puede calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R^* = 1 + T^*/(0.1T_0 + T^*/R_0)$$

Tipo de Suelo	T_0 (segundos)
A	0,15
B	0,30
C	0,40
D	0,75
E	1,20

Finalmente, el Factor de Amplificación del corte mínimo (**F.A.q**min) se puede calcular de acuerdo a:

muro cortina.indd 38 4/1/14 9:39 AM

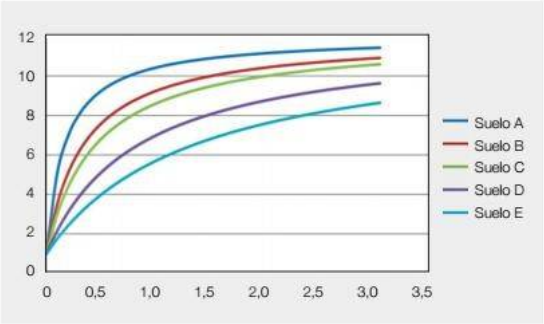


Figura 3.4. Factor de modificación de respuesta R* según tipología de suelos del DS61 (en el gráfico se ha considerado Ro=11).

Si la componente del esfuerzo de corte basal en la dirección de la acción sísmica resulta menor que IAoP/6g los desplazamientos y las rotaciones de los diafragmas horizontales y las solicitaciones de los elementos estructurales deben multiplicarse por un factor de manera que dicho esfuerzo de corte alcance el valor señalado como mínimo en la NCh433. Of96 - mod2009.

3.6.4. VALORES MEDIDOS DURANTE EL 27F EN UN EDIFICIO INSTRUMENTADO EN SANTIAGO

El edificio de la CChC está ubicado en la comuna de Providencia, cuenta con 22 pisos de oficina y 3 de subterráneos de estacionamiento. El sistema estructural consiste en un sistema estructural dual marco-muro de hormigón armado con predominancia del sistema de muros para la resistencia a cargas laterales.

Este edificio estaba instrumentado durante el terremoto 27F con un sistema de registro compuesto por 12 sensores uniaxiales de aceleración Kinemetrics FBA-11 conectados a una central de registro Kinemetrics ALTUS K2. Los sensores estaban distribuidos de manera de poder estudiar el movimiento espacial de la estructura, los desplazamientos, distorsiones de piso, torsión, rotación de muros a nivel de fundación entre otros aspectos. El edificio se reportó sin daños durante el Terremoto del 27 de febrero de 2010.

Con los registros obtenidos en forma preliminar se observa en la Tabla 3.1 que el edificio presentó un comportamiento dentro de los parámetros que se esperaba para un sismo de esta magnitud. En efecto los valores máximos medidos fueron:

- Aceleración máxima = 31% G
- Velocidad máxima = 71 cm/seg

Si comparamos dichas cantidades con los valores definidos por la Tabla 3.2, del USGS (United States Geological Survey) para un sismo de magnitud 8.8° Richter en el epicentro, y de 8.5° en Santiago; los valores esperados en la capital serían:

- Aceleración máxima = de 34 a 65% G
- Velocidad máxima = de 31 a 60 cm/seg

Figura 3.5. Edificio CChC, Santiago de Chile.

TABLA 3.1. VALORES EXTREMOS MEDIDOS EN EL EDIFICIO CChC DE SANTIAGO DURANTE EL TERREMOTO DE 2010 A LAS 3:34 AM

		ACELERACIÓN	VALORES CORREGIDOS			
UBICACIÓN	DIRECCIÓN	NO CORREGIDA (9)	ACELERACIÓN (cm/seg²)	VELOCIDAD (cm/seg)	DESPLAZAMIENTO (cm)	CANAL
SUBTERRÁNEO	ESTE	0.104	100.69	14.48	4.05	1
	NORTE	0.139	134.39	19.87	7.05	2
	VERTICAL	0.091	89.13	14.60	6.51	3
	VERTICAL	0.097	92.97	14.64	6.74	4
PISO 1	ESTE	0.125	121.91	14.65	4.15	5
	NORTE	0.181	175.03	20.64	7.19	6
PISO 12	ESTE 1	0.202	196.65	24.67	7.19	7
	NORTE	0.264	260.54	40.46	12.41	8
	ESTE 2	0.243	235.96	22.78	7.14	9
PISO 19	ESTE 1	0.238	230.82	34.90	9.66	10
	NORTE	0.308	302.33	71.17	18.73	11
	ESTE 2	0.219	212.59	38.31	10.81	12

Fuente: www.cec.uchile.cl/~dicesco/camara.html

muro cortina.indd 39 4/1/14 9:39 AM

TABLA 3.2. INTENSIDAD Y DAÑO DE TERREMOTOS, SEGÚN EL USGS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY)

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very ligth	Light	Moderate	Moderate-Heavy	Heavy	Very heavy
PEAK ACC.(Sg)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL (cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	**I**	**II-III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X +**

3.7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE MUROS CORTINA ANTE DESPLAZAMIENTO DE ENTREPISO

3.7.1. DILATACIONES DE LOS SISTEMAS DE MUROS CORTINA

Para absorber las deformaciones de entrepiso, resulta muy útil dotar de dilataciones horizontales y verticales a los sistemas de perfiles de aluminio (y sus refuerzos) del muro cortina. De esta manera, se evita que el sello quede trabajando solo, y la absorción de energía la podrán realizar conjuntamente el sistema dilatado y los sellos. Figuras 3.6 y 3.7.

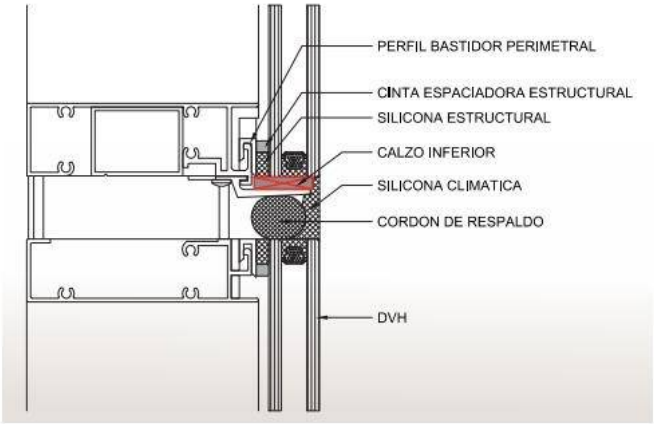


Figura 3.6. Calzos Inferiores.

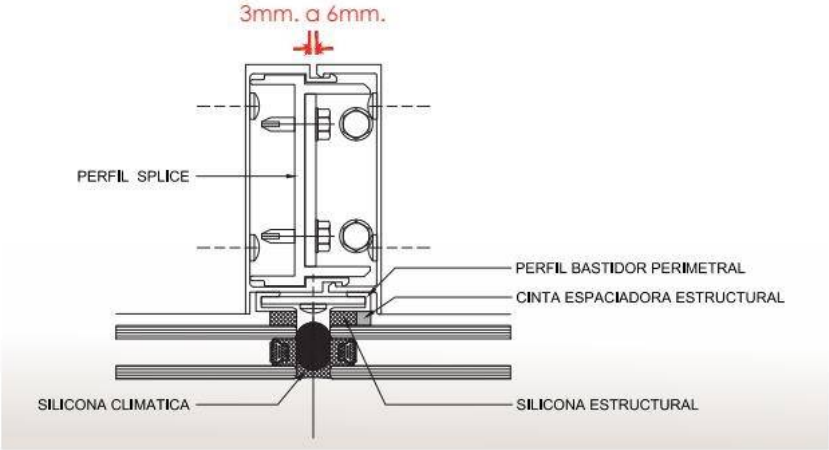


Figura 3.7.
Splice conectada al mullion macho.

muro cortina.indd 40 4/1/14 9:39 AM

3.8. RECOMENDACIÓN PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL MURO CORTINA

La práctica de algunas importantes oficinas de ingeniería, indica que resulta recomendable que los elementos verticales (mullions) se diseñen como elementos simplemente apoyados y no como elementos continuos. Dado que la continuidad de mullions está dada por tornillos o pequeño pernos (normalmente no más de 2), los cuales pueden quedar con un "juego" al hacer la perforación sobre el aluminio que es relativamente "blando" y de espesores delgados.

3.9. EFECTO DEL ANCHO DEL CORDÓN EN LA CAPACIDAD DE DEFORMARSE POR CORTE

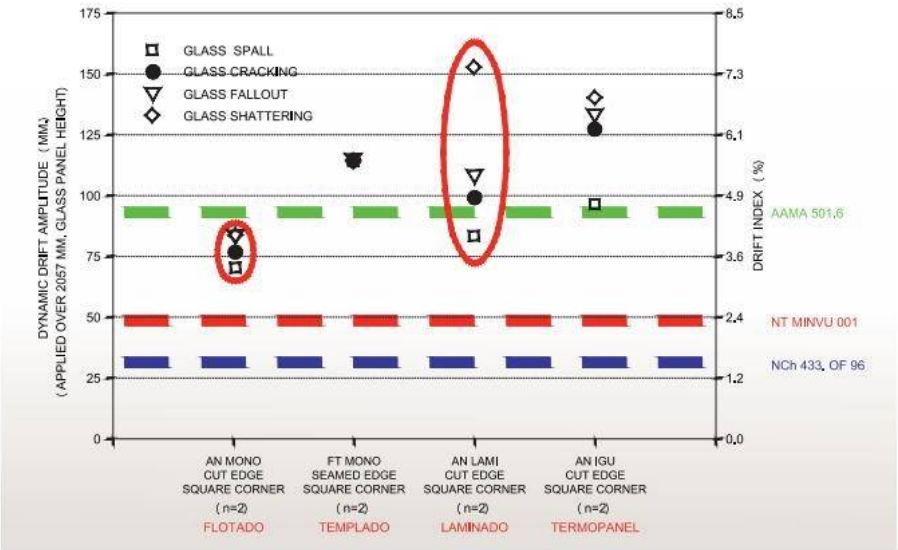
Tal como dicho anteriormente, los daños no estructurales de edificios ocurridos durante el terremoto del 27F se concentraron en los edificios de mediana a gran altura (15 a 30 pisos). Es importante destacar que la casi totalidad de los edificios en ese rango de altura tenían muros cortina con perfiles de aluminio y silicona estructural, con un cordón de ancho = ¼", y además usaban calzos inferiores para recibir el peso propio del vidrio.

El ancho de cordón de ¼" permitió que el vidrio y marco de aluminio puedan absorber mejor la deformación relativa entre ellos.

3.10. EFECTO DE LA DEFORMACIÓN DE ENTREPISO EN LOS TIPOS DE VIDRIO A USAR

De acuerdo a estudios sísmicos realizados por la Universidad de Pennsylvania, Usa, dependiendo del monto de la deformación de entrepiso de un edificio, se podría eventualmente requerir el uso de vidrios de seguridad que aumentan la reserva de capacidad entre el punto de aparición de la primera fisura (glass spall) en el vidrio y su punto de rotura (glass fallout o glass shattering).

En el caso de Chile, aún tenemos que evaluar las nuevas limitaciones de deformación de entrepiso que exigirá el anteproyecto de norma NT MINVU 001 y las rigideces de los nuevos diseños arquitectónicos de edificios. Se puede observar en la figura siguiente que dependiendo de la deformación relativa de entrepiso de un edificio, se podría o no requerir una solución de vidrio que exhiba una mayor reserva de capacidad de deformación (entre el punto de aparición de la primera fisura, y su punto de rotura).



Fuente:
Memari, A. M., Chen, X., Kremer, P. A., and Behr, R. A., (2005). "Seismic Performance of Structural Silicone Glazing Systems," Proceedings of the ASTM 2005-DBCSA Symposium on Durability of Building and Construction Sealants and Adhesives, Reno, Nevada, June 15-16, 2005, 18 pages.

Figura 3.8. Ensayos de absorción de deformación de entrepiso de paneles con silicona a ambos lados.

muro cortina.indd 41 4/1/14 9:39 AM

3.11. DESEMPEÑO DE LOS SELLADORES CON ALTA VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE CARGAS

De acuerdo al análisis anterior, sabemos que las velocidades de aplicación de las cargas (de tracción y corte) en las siliconas estructurales ocurren a una alta velocidad dinámica, de modo que es fundamental conocer el comportamiento de los selladores en rangos de velocidad de 50 a 70 cm/seg. Estos valores son muy diferentes de las velocidades de aplicación de carga, como ocurre con las solicitaciones térmicas, u otras cargas que se aplican muy lentamente.

Para este análisis se usarán los resultados de ensayo (con silicona estructural y con cintas de alto pegado), contenidos en el Informe de Ensayo de Laboratorio: "High velocity strain rate testing of structural silicone and acrylic bonding tape", realizado el año 2012 en la University of Dayton, Research Institute. Structures and Materials Evaluation Group. Dayton, Ohio - Usa.

Tal como indicado en el Manual de Muro Cortina, versión 2006, y reiterado en el capítulo 8 de la presente versión, las siliconas estructurales deben cumplir con la norma ASTM C1148.

Del gráfico tensión-deformación (figura 3.10) de la silicona estructural (obtenido de ensayos de laboratorio), se puede observar que al aumentar la velocidad de deformación durante el ensayo dinámico **aumenta** la carga y la elongación máximas de la silicona estructural. Es decir, la silicona estructural es capaz de absorber una mayor cantidad de energía cuando aumentan las velocidades de aplicación de la carga, parecidas a las que se verifican en un terremoto de gran intensidad.

En el caso de algunas cintas de alto pegado, se puede observar (del gráfico tensión-deformación) que al aumentar la velocidad de deformación durante el ensayo dinámico, la cinta de "alto pegado" **reduce** su elongación máxima, aun cuando aumenta la energía que es capaz de absorber. Por esto, resulta fundamental que el ingeniero calculista disponga de la documentación técnica referida al desempeño de las cintas para altas velocidades de aplicación de carga (ensayos dinámicos con velocidades de 50 a 70 cm/seg), y no use la información obtenida con ensayos de corte y tracción usando bajas velocidades (correspondiente a ensayos estáticos con velocidades de 12,7 mm/min).

Nota: la velocidad de 70 cm/seg es más de 3.000 veces mayor que 12,7 mm/min

Se observa que la silicona estructural a altas velocidades de aplicación de carga (sismo, huracanes y explosiones) muestra un incremento en sus deformaciones, lo cual incrementa su factor de ductilidad, y por ende, el factor de seguridad en el diseño.

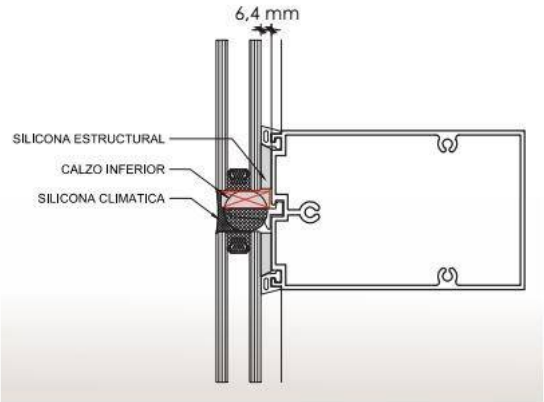


Figura 3.9. Detalle típico de muro cortina con silicona estructural cuatro lados, con DVH y calzo inferior.

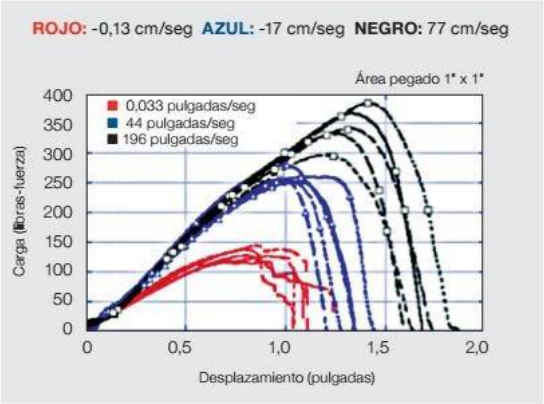


Figura 3.10. Curva tensión deformación de silicona estructural sometida a diferentes velocidades de aplicación de carga dinámica.

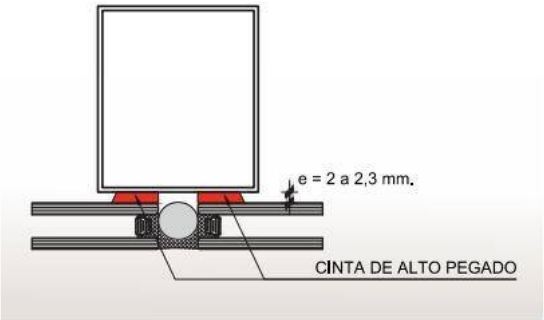


Figura 3.11. Detalle típico de panel vidriado con cinta de alto pegado (CAP) (Ver capítulo 8).

muro cortina.indd 42 4/1/14 9:39 AM

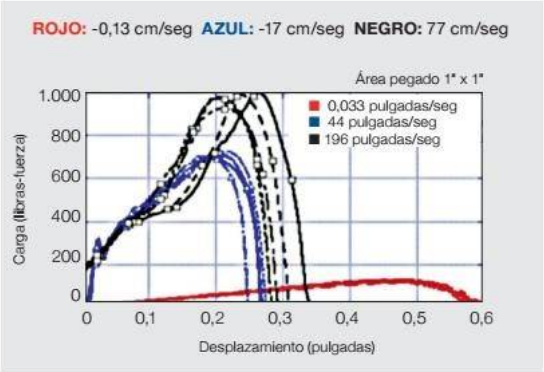


Figura 3.12. Curva tensión deformación de cinta acrílica CAP sometida a diferentes velocidades de aplicación de carga dinámica.

3.12. ÚLTIMAS TENDENCIAS EN LAS RIGIDECES DE LOS NUEVOS EDIFICIOS

De acuerdo a un reciente estudio realizado por Jorge Lindenberg, de la oficina I.E.C. Ingeniería S.A., sobre un total de 2,622 edificios en todo Chile, se observa mayor dispersión, con tendencia a una flexibilidad mayor (debido a menores espesores y a mayor altura mayor) de los edificios que se están construyendo hoy en día en el país.

Lo anteriormente expuesto lleva a recomendar que los ingenieros y arquitectos tengan presente las lecciones aprendidas en el terremoto del 27F cuando aborden el diseño sísmico de los Muros Cortina.

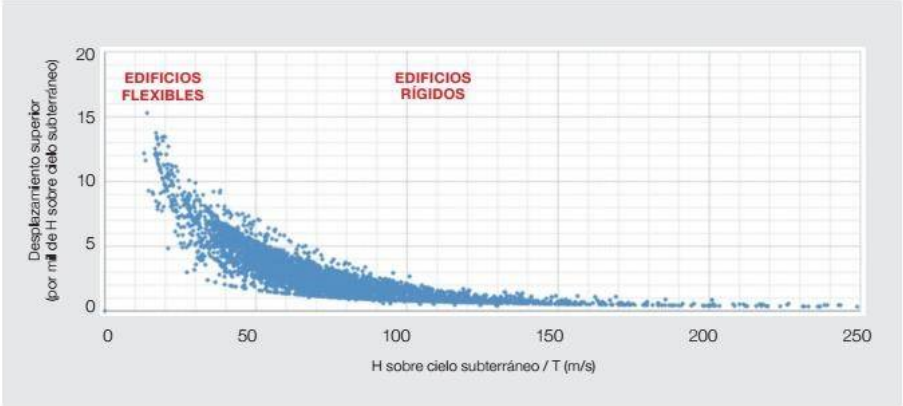
En particular, se puede concluir que el **factor de seguridad del diseño sísmico del muro cortina** aumenta en la medida que se usan:

1. Sistemas de perfiles que incorporan dilataciones adecuadas y estructuraciones de mullions apropiadas.
2. Soluciones de sello que aumentan su absorción de energía para grandes velocidades de aplicación de cargas (ejemplo: silicona estructural), como es el caso de los sismos de gran magnitud que ocurren en Chile.
3. Usar anchos de cordón estructural de ¼" de espesor para aumentar la capacidad de deformación relativa entre marco de aluminio y vidrio. Además incluir siempre calzos para tomar el peso propio de los vidrios y paneles.
4. Los estudios del terremoto 27F demostraron ampliamente que el diseño de MC exhibió un buen comportamiento de los mismos. Esto permitió concluir que los elementos no estructurales que tienen "ingeniería" se comportan bien y son compatibles con las normas que regulan el diseño estructural. En cambio, aquellos en los cuales generalmente no se invirtió en ingeniería ni se respetaron los requerimientos de la NCh433.Of96 - mod2009 o de los proveedores, ni se controló adecuadamente su ejecución, se observó un comportamiento deficiente (por ejemplo, los cielos falsos).

A este propósito se recomienda la lectura del paper ASTM:

Errol Bull, Jorge Cholaky, "A Review of the Behavior of Structural Glazing Systems Subjected to a Mega-Earthquake", Journal of ASTM International, 2012. Ver en sitio web ASTM:

www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/JAI/PAGES/JAI104151.htm



NOTA:
Esta figura es válida para DS117 y DS61, pues en ambos decretos se conserva el espectro de desplazamientos.

Figura 3.13. Desplazamiento de nivel superior en función de la rigidez (H/T).

muro cortina.indd 43 4/1/14 9:39 AM

CAPÍTULO 3
ANEXOS DE NORMAS TÉCNICAS CHILENAS RELEVANTES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS CORTINA

NOTA: ***más adelante se presenta un extracto de normas chilenas, y se ha mantenido la numeración que cada norma considera; a objeto de facilitar su lectura y comparación con el texto completo de cada norma.***

A) DETALLE DE LA NORMA DE VIENTO

La norma chilena de viento actualmente vigente es la NCh432.Of71. Se trata de una norma técnica que data desde hace más de 40 años. La División de Norma del Instituto Nacional de Normalización (INN) junto a un comité técnico elaboró, hace 2 años, una nueva propuesta de norma de viento, basada en la norma ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings" de Estados Unidos, la que aún hoy se encuentra en su etapa de aprobaciones preliminares.

■ Recomendación para el uso apropiado de la norma de viento

Se debe ser cuidadoso al usar la norma NCh432 en cuanto a la presión de viento que se determina considerando "campo abierto" o "ciudades o lugares de rugosidad comparable". Si bien en general los edificios están ubicados en la ciudad, muchas veces se da que estos se encuentran en lugares abiertos (frente a una plaza, dentro de un conjunto armónico que contempla espacios abiertos entre edificios, etc.) o bien que su altura supera la de los edificios vecinos y por lo tanto la "rugosidad" del lugar es cuestionable.

■ Resistencia al viento

Al considerar el Muro Cortina como parte del perímetro de una obra, en su cálculo se debe considerar la acción del viento según lo detallado en la NCh432 denominada "Cálculo de la Acción del Viento Sobre las Construcciones".

La presión del viento es unos de los efectos más importantes a considerar en el diseño de Muros Cortina, ya que la superficie del muro y sus componentes afectados por esta presión dinámica, deben ser capaces de soportar los esfuerzos de compresión, tracción o flexión.

Se considera que la dirección de la acción del viento que actúa sobre la superficie es perpendicular a ella. Se omite, en consecuencia, la consideración de acciones tangenciales. Las acciones perpendiculares sobre el muro producen un efecto de presión sobre la cara expuesta y uno de succión sobre la cara opuesta, por lo que la resultante de la presión de viento debe considerar la acción conjunta de dichos efectos.

Las presiones y succiones que actúan por las superficies envolventes de una construcción dependen de:

- La presión básica del viento
- La forma total del cuerpo y no sólo de la forma del costado que enfrenta directamente el viento

Por lo que la magnitud de la presión básica del viento es proporcional a los valores de las presiones y succiones.

a) Velocidad del viento

Como punto de partida se considera la determinación de la velocidad máxima del viento, la cual depende de la ubicación geográfica y de la altura a la que es medida. Dicha velocidad se debe obtener de estadísticas que abarquen un período no inferior a 20 años, según se detalla en la NCh 432. En normativas internacionales este período de medición presenta variaciones, tal es el caso de la norma ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings" de Estados Unidos, la que considera ráfagas de viento de tres segundos de duración, medidas a 10 metros de altura, e incorpora un periodo de retorno de 50 años.

De acuerdo a la norma ASCE/SEI 7-05, la presión de diseño del viento para elementos secundarios y de revestimientos de edificios no debe ser menor a una presión neta de 480 N/m² actuando en dirección normal a la superficie.

Actualmente no existen estadísticas oficiales respecto a la velocidad del viento para las distintas ciudades del país. Solo se puede encontrar información oficial respecto a las direcciones predominantes de viento según ubicación geográfica en la NCh 1079 "Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico" y velocidades medias en documentos publicados por la Dirección de Meteorología de Chile.

Adicionalmente, en ausencia de estadísticas de 20 años para algunas localidades, se sugiere también considerar los valores de presiones de viento indicados en el Estudio de Zonificación de Viento, realizado por la Universidad del Bio Bio, en el ámbito del proyecto "Guía técnica para la prevención de patologías en las viviendas sociales" (Instituto de la Construcción, 2005).

El método, cuyo enfoque es prestacional, se basa en parte en la Norma UNE 85-220-86 y fue desarrollado a través del proyecto Innova Chile NºC9CT-03.

En dicho documento se define la presión básica de viento, como la presión determinada por la velocidad máxima en intervalos de 10 min a 10 m de altura, en terreno abierto y llano, y cuyo valor no es superado en a lo menos 20 años. Tabla 3.3.

muro cortina.indd 44 4/1/14 9:39 AM

TABLA 3.3. CIUDADES DE CHILE Y ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

Ciudad	Estación de referencia	Intensidad pluviomètrica l/ m² h	Velocidad viento máxima Km/h	Velocidad viento media Km/h	Zona de presión viento máxima	Zona intensidad pluviomètrica ventanas	Zona de presión viento media
Arica	Arica-Chacalluta DMC	-	48	11.7	A	I	Y
Iquique	Iquique-Cavancha	-	33	6.5	A	I	X
Calama	Calama-DMC1	-	83	25.1	B	I	Z
Antofagasta	Antofagasta-U. Norte	-	67	14.3	B	I	Y
Copiapó	Copiapó-DMC1-DGA	3.8	48	10.6	A	I	Y
Vallenar	Vallenar-DMC1	4.9	65	4.4	B	I	X
Ovalle	Ovalle Aeródromo	10.6	89	6.8	C	II	X
La Serena	La Serena-DMC1	9.1	65	5.8	B	II	X
Valparaíso (PA)	Valparaíso-Pta. Ángeles	11.7	83	10.8	B	II	Y
Valparaíso (BE)	Valparaíso-Belloto	S.I.	65	10.8	B	-	Y
Santiago (AMB)	Santiago-A. Merino	S.I.	83	3.2	B	-	X
Santiago (QN)	Santiago-Q. Normal	11.4	46	3.2	A	II	X
Santiago (CER)	Santiago-Cerrillos	S.I.	33	3.2	A	-	X
Rancagua	Rancagua-DMC1	8.2	46	S.I.	A	II	-
Curicó	Curicó-General Freire	13.6	82	8.9	B	II	X
Linares	Linares-DOS	14.8	67	S.I.	B	II	-
Constitución	Constitución	22.7	83	7.0	B	III	X
Chillán	Chillán	18.2	78	9.1	B	III	X
Concepción	Concepción-Carriel Sur	20.0	110	18.2	C	III	z
Temuco	Temuco-Manquehue	15.6	102	12.4	C	III	Y
Valdivia	Valdivia-Pichoy	16.5	83	S.I.	B	III	-
Osorno	Osorno	S.I.	74	10.3	B	-	Y
Puerto Montt	Puerto Montt	13.1	120	16.2	D	II	Y
Ancud	Ancud	22.4	115	19.5	D	III	Z
Puerto Aysén	Puerto Aysén-DGA2	33.0	74	4.8	B	III	X
Coyhaique	Coyhaique-Tte. Vidal	12.9	93	S.I.	C	II	-
Punta Arenas	G.C. Ibáñez del Campo	10.3	120	19.3	D	II	z

muro cortina.indd 45 4/1/14 9:39 AM

b) Presión básica

A partir de la velocidad máxima instantánea del viento es posible determinar la presión básica, utilizando la fórmula:

$$q = \frac{u^2}{16}$$

en donde:

q = Presión básica, en kg/m²

u = Velocidad máxima instantánea del viento, en m/s

Para establecer la presión básica a distintas alturas a la que fue medidad, se puede usar la siguiente ecuación:

$$P_x = P_h^* \left(\frac{x}{h}\right)^{2\alpha}$$

en donde:

P_x = Presión a la altura x

h = Altura a la que se midió P_h

α = Coeficiente de rugosidad:

· Campo abierto α = 0,16

· Ciudad α = 0,28

TABLA 3.4. PRESIÓN BÁSICA DE VIENTO PARA DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL SUELO, SEGÚN NCH 432 1971

Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora		Construcciones situadas en campo abierto, ante el mar, o en sitios asimilables a estas condiciones, a juicio de la Autoridad Revisora	
Altura sobre el suelo (m)	**Presión básica q* (kg/m²)**	**Altura sobre el suelo (m)**	**Presión básica q* (kg/m²)**
0	55	0	70
15	75	4	70
20	85	7	95
30	95	10	106
40	103	15	118
50	108	20	126
75	121	30	137
100	131	40	145
150	149	50	151
200	162	75	163
300	186	100	170
		150	182
		200	191
		300	209

* Para valores intermedios se interpola.

Por otro lado, se considera de gran importancia realizar un estudio del entorno inmediato donde se emplaza el proyecto, ya que se pueden presentar casos en que la disposición de las construcciones u otros elementos cercanos a éste o la geografía del lugar provoquen efectos de succiones o venturi sobre el futuro Muro Cortina, lo que condiciona a realizar un estudio más acabado y elevar las presiones del viento establecidas para esa localidad.

Se recomienda que en lugares tales como Punta Arenas, Talcahuano y Puerto Montt se realicen ensayos (tipo túnel de viento) para determinar las velocidades reales para dichas localidades, debido a que se han presentado velocidades de viento mayores y por ende presiones mayores que las establecidas en la NCh 432.

Superficie de cálculo

El empuje del viento también depende de la forma y dimensiones de la estructura, siendo proporcional a la superficie de la estructura expuesta Las áreas sobre las cuales se ejerce la presión del viento se tomaran en cuenta en la forma que se indica en la tabla 3.5.

La fuerza del viento por unidad de superficie se obtendrá multiplicando la presión básica q por un factor de forma C. Los valores de C se determinan a partir de la NCh 432, en donde se recomienda para el caso de superficies planas perpendiculares a la acción del viento utilizar C= 1.2 y para superficies perpendiculares a la dirección del viento con altura 5 o más veces el ancho medio, medido perpendicularmente al viento utilizar C= 1.6.

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%. Figura 3.14.

Sin embargo es necesario que la determinación del factor de forma sea analizada y definido por el proyectista.

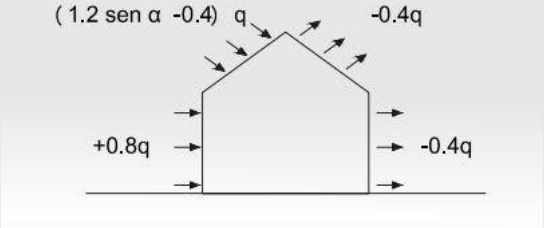


Figura 3.14. Factor de forma para cálculo de presiones de viento según NCh 432Of.1971.

muro cortina.indd 46 4/1/14 9:39 AM

TABLA 3.5. AREAS A CONSIDERAR EN LA ACCIÓN DEL VIENTO, SEGÚN NCH 432 1971

Elementos sobre los cuales se ejerce la acción	Areas a considerar
a) Para cuerpos limitados por superficies planas.	Areas verdaderas
b) Para cuerpos de construcción con sección transversal circular, o aproximadamente circular, ya sean de eje horizontal o vertical.	Las áreas correspondientes a la sección axial perpendicular a la dirección del viento.
c) Para varias superficies de techo yuxtapuestas de un mismo edificio.	Se considerará el área total de la primera superficie que sea chocada por el viento, y el 50% de las 5) superficies siguientes.
d) Para banderas y lonas con telas firmemente fijadas.	Se considerará el área verdadera.
e) Para banderas y lonas sueltas.	El 25% del área verdadera.
f) Para enrejados, ya sean compuestos de barras perfiladas o tubulares.	Se usarán las superficies de las barras del enrejado proyectadas sobre un plano vertical.

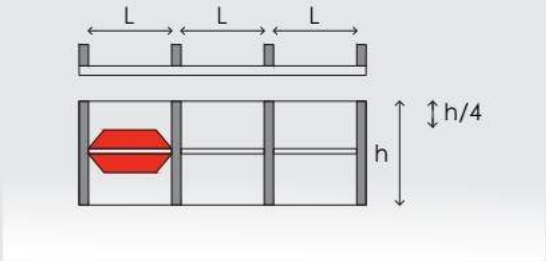


Figura 3.15. Grafico de distribución de carga para panel flexible.

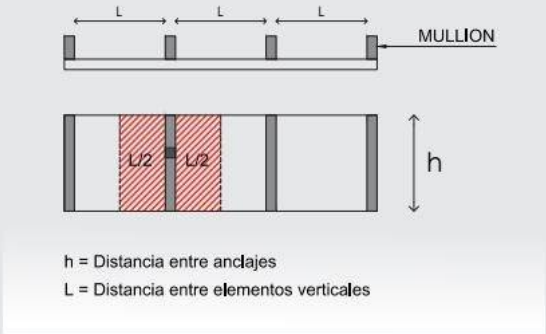


Figura 3.16. Grafico de distribución de carga para panel rígido.

Distribución de cargas

Luego de identificar la presión de viento, es necesario conocer la forma de distribución de la carga de viento para el diseño de elementos verticales (mullions o montantes) y horizontales (palillos horizontales o travesaños) del Muro Cortina, para posteriormente calcular las tensiones de trabajo y tensiones admisibles para cada elemento, tanto para compresión como para flexión.

Se recomienda considerar una distribución trapezoidal de cargas para diseño de elementos horizontales, y una distribución rectangular para diseño de elementos verticales (Figuras 3.15 y 3.16).

B) DETALLES DE LA NORMATIVA SÍSMICA

Debido al terremoto de gran intensidad, ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010, las autoridades nacionales solicitaron a un grupo de expertos la elaboración de nuevas recomendaciones técnicas, tanto para las estructuras resistentes de la edificación, como para los elementos no estructurales. Dichas normas están contenidas en los siguientes documentos:

- NCh433.Of96 - mod2009: Diseño sismoresistentes de estructuras.
- NTM001: Anteproyecto de Norma de Diseño sismoresistente de elementos no estructurales.

B.1) Norma de sismo NCh433.Of96 - mod2009: Diseño sismoresistente de estructuras

2.2.1. RESISTENCIA

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones define al muro cortina como un muro de fachada no sopor-

muro cortina.indd 47 4/1/14 9:39 AM

tante, constituido por elementos unidos entre ellos y a su vez fijados a la estructura del edificio.

Por otro lado, a partir de la NCh 433 denominada "Diseño sísmico de edificios", es posible definir el muro cortina como un elemento secundario permanente, que no forma parte de la estructura resistente pero que es afectado por sus movimientos y que eventualmente interactúa con ella.

Esto lleva a considerar que el cálculo sísmico del muro cortina se debe realizar de manera independiente al cálculo del edificio, sin embargo, se deben considerar las disposiciones de aplicación general utilizadas en el diseño sísmico del edificio.

Las fuerzas resultantes generadas por temblores o fuerzas sísmicas, pueden producir potencialmente grandes fuerzas sobre los anclajes del Muro Cortina. La acción de dichas fuerzas sobre el Muro a través de los anclajes es el resultado del rápido movimiento del edificio de lado a lado durante el temblor.

Se debe tener presente que el análisis para determinar los esfuerzos internos debidos a la acción sísmica debe basarse en el comportamiento lineal y elástico de la estructura, o en los métodos de diseño de rotura, método plástico u otro. El análisis de los efectos de otras cargas que pueden combinarse con los efectos de la acción sísmica, también deben basarse en la teoría lineal-elástica del comportamiento estructural.

2.2.2 CÁLCULO

Como punto de partida se deben reconocer las disposiciones de aplicación general utilizadas en el diseño sísmico del edificio del que forma parte el muro cortina, tales como:

De acuerdo a versión final del D.S. 61, se deben considerar los siguientes parámetros:

- Zonificación sísmica: zonas 1, 2 o 3.
- Clasificación de edificio según importancia y riesgo de falla: categorías A, B, C o D.

Tipo de suelo de fundación: tipo de suelo A, B, C, D, E, F (siendo A el mejor suelo, y F un suelo especial,

Por otro lado, se debe considerar las disposiciones generales sobre diseño y métodos de análisis:

- Método utilizado en el dimensionamiento de elementos estructurales: tensiones admisibles o factores de carga y resistencia.
- Sistema estructural: Sistemas de muros y otros sistemas arriostrados, sistema de pórticos y sistemas mixtos.
- Modelo estructural del edificio.
- Método de análisis sísmico: Estático, modal espectral.

Parámetros utilizados en el análisis:

- Factor de modificación de la respuesta "R".
- Parámetros relativos al tipo de suelo (T^1, n, S, T_0, p).
- Aceleración efectiva (A_0).
- Coeficiente que depende de la categoría del edificio (I).
- Coeficiente sísmico "c".
- Resultados principales del análisis: Periodos fundamentales, esfuerzo de corte basal en cada una de las dos direcciones, fuerzas sísmicas, momentos de torsión.
- Deformaciones máximas absolutas y de entrepiso.
- Separaciones entre edificios o cuerpos de edificios.
- Período de vibración del edificio.

Generalmente las consideraciones descritas forman parte de los planos y memorias de cálculo del proyecto.

2.2.2.1 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".

a) 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:

Qp 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.

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

Cp Factor de desempeño asociado al comportamiento sísmico de elementos secundarios (superior, bueno, mínimo).

Los valores del factor dependen de la categoría del edificio.

TABLA 3.6. FACTOR K_d, SEGÚN NORMA NCH 433.OF96 MODIF 2009

Elemento secundario	Factor de desempeño Kd Categoría del edificio		
	A	B	C
Muro cortina	1,35	1,0	0,75

muro cortina.indd 48 4/1/14 9:39 AM

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 que se encuentra ubicado:

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

En donde:

- ***K*** Factor de amplificación dinámica para el diseño de elementos secundarios.
- ***Fk*** Fuerza horizontal aplicada en el nivel k
- ***Pk*** Peso asociado al nivel k
- ***Pp*** 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 3.7. VALOR DE AO, SEGÚN LA NORMA NCH 433.OF96 MODIF 2009

Zona sísmica	Ao
1	0,20g
2	0,30g
3	0,40g

El factor de amplificación dinámica Kn se determina 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:

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

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

$$\beta = 0{,}91 \left(\frac{T_p}{T^*}\right) \; para \; T_p > 01{,}1T^*$$

En donde:

- ***Tp*** Período propio del modo fundamental de vibración del elemento secundario. Incluyendo su sistema de anclaje.
- ***T**** Periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente del edificio en la dirección que puede entrar en resonancia el elemento secundario.
- β Coeficiente que interviene en la determinación de Kp. Para determinar pno podrá utilizarse un valor de T* menor que 0.06 s

B) FUERZA SÍSMICA VERTICAL

La fuerza sísmica vertical debe tener una magnitud igual a:

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

- ***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 gravedad.

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

B.2) NTM001: ANTEPROYECTO DE NORMA DE DISEÑO SISMORESISTENTE DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

A continuación se presenta un extracto del anteproyecto de norma de MINVU NTM 001 2010, se advierte al lector que la numeración utilizada en este extracto es la misma que se emplea en la norma y guarda relación con la numeración utilizada en este manual.

Estructuras: Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales

En el punto 8.9.1 de este anteproyecto de norma, se establece que los vidrios en muros cortina transparente, fachada transparentes y divisiones transparentes deben cumplir con los requisitos de desplazamientos relativos de la ecuación 12:

$$\Delta_{fallout} \geq 1{,}25ID_p$$

(Ecuación 12), donde cada término significa:

$\Delta_{fallout}$ = desplazamiento sísmico relativo, medido entre los extremos del componente, para el cual se produce el

muro cortina.indd 49 4/1/14 9:39 AM

desprendimiento del muro cortina, la fachada o la división, según se define en la sección 8.9.2

D_p = el desplazamiento sísmico relativo para el cual debe ser diseñado para concordar con la sección 6.2.1

I = factor de importancia de la estructura determinado de acuerdo a la norma chilena NCh433.Of96.Mod2009

En el párrafo 6.2.1 se indica que Dp no debe ser inferior a:

$$D_p = 0{,}0085\ (h_x - h_y)$$

Entonces el límite máximo de desplazamiento sísmico que produce desprendimiento del muro cortina sería:

$$\Delta_{fallout} \geq 1‰\ \ (h_x - h_y)$$

Como se observa, el nuevo anteproyecto podrá requerir que se suministre al muro cortina una mayor capacidad de absorber deformaciones relativas de entrepiso, comparado con la normativa anterior. Sin embargo, en el mismo punto 8.9.1 se establecen algunas condiciones (como ser: el uso de vidrio templado, de vidrio laminado, de silicona estructural) para las cuales es posible no cumplir con el requisito definido por la ecuación 12.

Finalmente, el anteproyecto indica que la deformación lateral que causa el desprendimiento del vidrio del muro cortina, la fachada o la división debe ser determinada de acuerdo con AAMA 501.6 o por un análisis de ingeniería desarrollado por un profesional competente.

A CONTINUACIÓN SE REVISAN ALGUNOS CAPÍTULOS DE INTERÉS PARA LOS MUROS CORTINA

6. Demandas sísmicas en componentesno estructurales

6.1. FUERZA SÍSMICA DE DISEÑO

La fuerza sísmica horizontal de diseño, Fp, debe ser aplicada en el centro de gravedad del componente y distribuida de acuerdo a la distribución de masa del componente, y debe ser determinada de acuerdo con la ecuación 1:

$$F_p = \frac{0{,}4\ \alpha_p\ \alpha_a A\ W_p}{g\left(\frac{R_p}{I_p}\right)}\left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

No se requiere que F_p sea mayor que:

$$F_p = \frac{1{,}6\ \alpha_A\ A\ I_p\ W_p}{g} \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

F_p no debe ser menor que:

$$F_p = \frac{0{,}3\ \alpha_A\ A\ I_p\ W_p}{g} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

F_p = fuerza sísimica de del componente no estructural.

$\alpha_A A$ = parámetro del espectro de pseudo-aceleración de diseño, definido en el DS61: Decreto Supremo que modifica parcialmente la NCh433.Of96 – modif.2009 que modifica la norma NCh433.Of96.Mod2009.

α_p = factor de amplificación dinámica, el cual varía entre 1,0 y 2,5, Tabla 2 o 3.

I_p = factor de importancia del componente, el cual varía entre 1,0 y 1,5, sección 5.0.

W_p = peso del componente, en condiciones de operación.

R_p = factor de modificación de respuesta, el cual varía entre 1 y 8, Tabla 2 o 3.

z = altura del punto de fijación del componente en la estructura con respecto a la base.

muro cortina.indd 50 4/1/14 9:40 AM

Para componentes ubicados al nivel de la base o bajo ella, se debe considerar $z = 0$. No es necesario considerar valores de z/h mayores que 1,0.

h = altura promedio del nivel de techo de la estructura con respecto a la base.

g = aceleración de la gravedad, en cm/s²

La fuerza sísmica horizontal de diseño, fp, debe ser aplicada de manera independiente en al menos dos direcciones ortogonales en combinación con las cargas de servicio del componente. Adicionalmente, el componente debe ser diseñado para una fuerza vertical concurrente, F_{pv}, igual a $\pm (0{,}24\ a_{\alpha} A\ W_p) / g$.

Excepción: No es necesario considerar la fuerza sísmica vertical concurrente para paneles de pisos de acceso y de cielos falsos modulares.

Donde las cargas no sísmicas sobre los componentes no estructurales exceden F_p, esas cargas determinan el diseño por resistencia, pero son aplicables los requisitos de detallamiento y las limitaciones prescritas en esta norma.

En lugar de las fuerzas determinadas de acuerdo con la ecuación 1, se permite que las aceleraciones en cualquier nivel sean determinadas mediante los procedimientos de análisis modal espectral indicados en NCh433.Of96. Mod2009 o en NCh2745.Of2003, según corresponda. Las fuerzas sísmicas se deben determinar por utilizando la ecuación 4:

$$F_p = \frac{\alpha_p\, \alpha_{me}\, W_p}{\left(\dfrac{R_p}{I_p}\right)}\ A_x \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

α_{me} = aceleración en el nivel de fijación del componente (en unidades de *g*), obtenida mediante análisis modal espectral considerando que el valor del factor de reducción (*R** en NCh433.Of96.Mod2009 y R_t en NCh2745.Of2003) es igual a la unidad.

A_x = factor de amplificación torsional determinado de acuerdo con la ecuación 5.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1{,}2\ \delta_{avg}}\right)^2 \leq 3{,}0 \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

δmax = máximo desplazamiento sísmico lateral en el nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral δ_{an},a = valor promedio de los desplazamientos sísmicos laterales en los puntos extremos del nivel de fijación del componente, obtenido mediante análisis modal espectral.

Alternativamente, en lugar de las fuerzas determinadas de acuerdo con la ecuación 1, se permite que la fuerza sísmica de diseño sea determinada de acuerdo con la ecuación 6.

$$F_p = \frac{\alpha_p\, \alpha_{th}\, W_p}{\left(\dfrac{R_p}{I_p}\right)} \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

α_{th} = aceleración en el nivel de fijación del componente (en unidades de g), obtenida mediante análisis tiempo historia realizado de acuerdo a lo indicado en el Anexo A.

Los límites superior e inferior de F_p determinados mediante las ecuaciones 2 y 3 serán aplicables en todos los casos.

6.2. DESPLAZAMIENTOS SÍSMICOS RELATIVOS

Los desplazamientos sísmicos relativos D_{pI} deben ser determinados, de acuerdo a la ecuación 7, como:

$$D_{pI} = D_p\, I \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

I = coeficiente de importancia que depende de la categoría del edificio, Tabla 6.1 de la norma NCh433.Of96.Mod2009.

Dp = el desplazamiento determinado de acuerdo a las ecuaciones establecidas en las secciones 6.2.1 y 6.2.2.

$$D_{pI} = \left|\ \delta_{xA}\ \right| + \left|\ \delta_{y\beta}\ \right| \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

muro cortina.indd 51 4/1/14 9:40 AM

6.2.1. Desplazamientos de la estructura

Para dos puntos de conexión en la misma estructura o en el mismo sistema estructural, uno a la altura h_x y otro a la altura h_y, D_p debe ser determinado como:

$$D_p = \left| \delta_{xA} \right| + \left| \delta_{yA} \right| \qquad \text{(Ecuación 9)}$$

D_p no requiere ser mayor que:

$$D_p = 0{,}0085\ (h_x - h_y) \qquad \text{(Ecuación 10)}$$

6.2.2. Desplazamientos entre estructuras

Para dos puntos de conexión en dos estructuras separadas A y B o sistemas estructurales separados, uno de ellos a una altura h_x y el otro a una altura h_y, se debe determinar D_p como

D_p no requiere ser mayor que:

$$D_p = 0{,}0085\ (h_x - h_y) \qquad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

5xA = Desplazamiento horizontal de la estructura A en el nivel x

5yA = desplazamiento horizontal de la estructura A en el nivel y

5yB = desplazamiento horizontal de la estructura B en el nivel y altura del

h_x = nivel x al cual está unido el punto de conexión superior altura del

h_y = nivel y al cual está unido el punto de conexión inferior

Los desplazamientos *&xa*, *SyA*, y *$yñ* deben ser determinados de acuerdo a lo indicado en NCh433.Of96.Mod2009 ó en NCh2745.Of2003, según corresponda, considerando que el valor del factor de reducción (R o *R** en NCh433. Of96.Mod2009 y *Ri* en NCh2745.Of2003) es igual a la unidad. Alternativamente, se permite que los desplazamientos S_{xA}, S_{yA}, y 5_{yB} sean calculados mediante análisis tiempo historia realizado de acuerdo a lo indicado en el Anexo A.

Los efectos de los desplazamientos sísmicos relativos deben ser considerados en combinación con los desplazamientos originados por otras cargas, según sea conveniente.

7. Anclaje de componentes no estructurales

Los componentes no estructurales y sus apoyos deben estar unidos o anclados a la estructura resistente de acuerdo con los requisitos de esta cláusula y la unión debe satisfacer los requisitos del material relacionado, como se indique en la normativa correspondiente al material.

Los agregados de componentes no estructurales deben ser empernados, soldados o fijados efectivamente sin considerar la resistencia friccional producida por efecto de la gravedad.

Debe generarse una línea de transferencia de carga con suficiente resistencia y rigidez entre el componente y la estructura de soporte. Los elementos locales de la estructura, incluidos sus conexiones, deben ser diseñados y ejecutados para resistir las fuerzas transmitidas por el componente o sistema no estructural, cuando ellas controlen el diseño de los elementos o sus conexiones. Las fuerzas transmitidas por el componente son aquellas determinadas en conformidad con la sección 6.1, excepto que no es necesario considerar las modificaciones a F_p y R_p debidas a las condiciones de anclaje. Los documentos de diseño deben incluir información suficiente relacionada con las uniones para verificar el cumplimiento de los requisitos de esta sección.

7.1. FUERZAS DE DISEÑO EN LA UNIÓN

La fuerza en la unión debe ser determinada en base a las fuerzas prescritas y los desplazamientos para los componentes no estructurales tal como se determina en las secciones 6.1 y 6.2, excepto que no se debe tomar R_p mayor a 4.

7.2. ANCLAJES EN HORMIGÓN O ALBAÑILERÍA

7.2.1. Anclajes en hormigón. Los anclajes en hormigón deben ser diseñados de acuerdo al Apéndice D del ACI 318.

7.2.2. Anclajes en albañilería. Los anclajes en albañilería deben ser diseñados de acuerdo a TMS 402/ACI 530/ ASCE 5. Los anclajes deben ser diseñados para que su resistencia quede controlada por la capacidad resistente de un elemento dúctil de acero.

Excepción: Se permite diseñar los anclajes de manera que el adosamiento conectado por el anclaje a la estructura fluya ductilmente para un nivel de carga correspondiente a fuerzas en los anclajes no mayores que la resistencia de diseño de los anclajes. Alternativamente, la resistencia de diseño de los anclajes debe ser, a lo menos, igual a 2,5 veces las fuerzas mayor las transmitidas por el componente.

muro cortina.indd 52 4/1/14 9:40 AM

7.2.3. Anclajes post instalados en hormigón y albañilería. Los anclajes postinstalados deben estar precalificados para aplicaciones sísmicas de acuerdo a ACI 355.2 u otros procedimientos de calificación estandarizados reconocidos a nivel nacional o internacional.

7.3. CONDICIONES DE INSTALACIÓN

La determinación de las fuerzas en las uniones debe tomar en cuenta las condiciones esperadas de instalación.

7.4. UNIONES MÚLTIPLES

La determinación de la distribución de fuerzas de uniones múltiples en una misma ubicación debe tomar en cuenta la rigidez y ductilidad del componente, los apoyos del componente, las uniones y la estructura y la capacidad de redistribución de cargas a otras uniones en el grupo. Los diseños de anclajes en hormigón deben efectuarse de acuerdo al Apéndice D de ACI 318 de modo de satisfacer este requisito.

7.5. FIJACIONES DE IMPACTO

No se deben usar fijaciones de impacto para componentes sometidos a cargas de tracción permanentes o para arriostramientos sísmicos, a menos que ellas estén aprobadas para cargas sísmicas por medio de procedimientos estandarizados reconocidos a nivel nacional o internacional.

Excepción: Se permite usar fijaciones de impacto en hormigón para soportar placas acústicas o cielos falsos suspendidos conformados por paneles sobrepuestos y sistemas distribuidos, donde la carga de servicio en cada una de las fijaciones no exceda los 400 N (40 kg). Se permite usar conectores de impacto en acero cuando la carga de servicio en cada conector no exceda los 1.100 N (110 kg).

7.6. SISTEMAS DE FIJACIÓN BASADOS EN FRICCIÓN.

Los clips de fricción no deben ser usados para resistir cargas permanentes sumadas a fuerzas sísmicas. Se permiten sistemas de fijación que están dotados de abrazaderas como las especificadas en la sección 9.3.7 de NFPA 13. Se deben colocar tuercas especiales para resistir vibraciones y para evitar el aflojamiento de las conexiones empernadas.

El dimensionamiento de los anclajes se debe efectuar sin considerar la fricción que pueda existir entre las superficies de apoyo.

8. Componentes arquitectónicos

8.1. GENERALIDADES

Los componentes arquitectónicos y sus apoyos y uniones deben satisfacer los requisitos de esta sección. Coeficientes apropiados para el diseño deben ser seleccionados de la de la Tabla 3.8 de la norma NCh433.Of96.mod2009.

Excepción: No se requiere que los componentes soportados por cadenas o suspendidos de la estructura satisfagan los requisitos de fuerza sísmica y desplazamiento relativo si cumplen todos los criterios siguientes:

a) La carga de diseño para estos elementos debe ser igual a 1,4 veces el peso operacional. La carga horizontal debe ser aplicada en la dirección que resulte ser más crítica para el diseño.
b) Se deben considerar los efectos de interacción sísmica de acuerdo con la sección 5.3.
c) La conexión a la estructura debe permitir el movimiento en cualquier dirección en un plano horizontal.

8.2. FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS

Todos los elementos arquitectónicos y sus apoyos y uniones deben ser diseñados para las fuerzas sísmicas definidas en la sección 6.1.

Los elementos arquitectónicos deben ser diseñados para cumplir con los requisitos de desplazamiento sísmico relativo indicados en la sección 6.2. Los elementos arquitectónicos deben ser diseñados considerando la deformación vertical de miembros estructurales en volado.

Los tabiques y fachadas solidarios deben aceptar, sin que presenten daños que impidan su uso normal, la deformación lateral que se indica en la sección 6.2.

La distancia lateral libre entre los tabiques y fachadas flotantes y la estructura resistente debe ser igual o mayor que la deformación lateral que se indica en la sección 6.2.

Los anclajes de los tabiques y fachadas flotantes se deben disponer de tal forma que permitan la deformación libre de la estructura resistente y a su vez aseguren la estabilidad transversal del tabique.

8.3. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES DE MUROS DE FACHADAS Y SUS CONEXIONES

Los paneles de muros no estructurales de fachada o elementos que estén unidos o sirvan de cierre a la estructura deben ser diseñados para satisfacer los requisitos de desplazamientos sísmicos relativos definidos en la sección 6.2 y los movimientos originados por los cambios de temperatura. Tales elementos deben ser soportados directamente por

muro cortina.indd 53 4/1/14 9:40 AM

medio de soportes o conexiones mecánicas y conectores con los requisitos siguientes:

a) Las conexiones y juntas de paneles deben permitir acomodar o resistir la deformación de entrepiso (D_p) determinada según se indica en la sección 6.2 o 13 mm, cualquiera de ellas sea mayor.
b) Las conexiones que permitan el movimiento en el plano deben consistir en conexiones deslizantes con perforaciones ranuradas o sobredimensionadas, conexiones que permitan movimientos por flexión del acero u otras conexiones que provean una capacidad dúctil o deslizante.
c) El conector en sí debe tener suficiente capacidad de rotación y ductilidad para evitar la fractura del hormigón o fallas frágiles en o cerca de las soldaduras.
d) Todos los conectores del sistema de conexión tales como pernos, insertos, soldaduras y el cuerpo de la conexión deben ser diseñados para la fuerza (F_p) determinada en la sección 6.1 con valores de R_p y a_p tomados de la Tabla 2 de la norma NT MINVU N°001 2010: Anteproyecto de Norma de Diseño sismoresistente de elementos no estructurales aplicada en el centro de masa del panel.
e) Cuando el anclaje se realiza mediante abrazaderas planas embebidas en el hormigón o en la albañilería, tales abrazaderas deben ser unidas o enganchadas alrededor de las barras de refuerzo o bien terminadas de manera que transfieran en forma efectiva las fuerzas a la armadura del hormigón o aseguren que el arrancamiento del anclaje no sea el mecanismo inicial de falla.

8.4. VIDRIO

Los vidrios en los muros cortina y fachadas deben ser diseñados e instalados de acuerdo a la sección 8.9.

8.5. FLEXIÓN FUERA DEL PLANO

La flexión o deformación transversal fuera del plano de un componente o sistema que está sujeto a fuerzas determinadas según la sección 8.2 no debe exceder la capacidad de deformación del componente o del sistema.

8.6. CIELOS SUSPENDIDOS

Deben cumplir con lo especificado en esta sección.

Excepción 1: Los cielos suspendidos con áreas menores o iguales a 13,4 m² que estén rodeados por muros o intradós que estén arriostrados lateralmente a la estructura superior estarán eximidos de cumplir los requisitos de esta sección.

Excepción 2: Los cielos directos instalados en un nivel con placas fijadas con clavos o tornillos que estén en todo su perímetro rodeados por y conectados a muros o intradós que estén arriostrados lateralmente a la estructura superior se eximen de los requisitos de esta sección.

8.6.1 Fuerzas sísmicas. El peso sísmico del cielo, W_p debe incluir la parrilla de cielo, los paneles de cielo y las lámparas si ellas se apoyan en el cielo o están fijadas o soportadas lateralmente por la parrilla de cielo. El valor de W_p considerado para el cálculo de F_p no debe ser menor que 190 N/m² (19 kg/m²). La fuerza sísmica debe ser transmitida a través de las uniones de cielo a los elementos estructurales del edificio o a los elementos ubicados en el borde de la estructura de cielo.

8.9. VIDRIOS EN MUROS CORTINA TRANSPARENTES, FACHADAS TRANSPARENTES Y DIVISIONES TRANSPARENTES

8.9.1 Generalidades. Los vidrios en muros cortinas transparentes, fachadas transparentes y divisiones transparentes deben cumplir con los requisitos de desplazamientos relativos de la ecuación 12:

$$\Delta_{fallout} \geq 1{,}25\ ID_p \qquad \text{(Ecuación 12)}$$

O 13 mm, cualquiera sea mayor, donde:

$\Delta_{fallout}$ = desplazamiento sísmico relativo, medido entre los extremos del componente, para el cual se produce el desprendimiento del muro cortina, la fachada o la división, según se define en la sección 8.9.2.

D_p = el desplazamiento sísmico relativo para el cual debe ser diseñado para concordar con la sección 6.2.1.

I = factor de importancia de la estructura determinado de acuerdo a la norma chilena NCh433.Of96.Mod2009.

Excepción:

a) Los vidrios que tengan holgura suficiente respecto al marco de manera tal que no haya contacto físico entre el vidrio y el marco y que cumplan con un desplazamiento de entrepiso de diseño, como se demuestra aplicando la ecuación 13, no necesitan cumplir con este requisito:

$$D_{ciear} \geq 1{,}25\ D_p \qquad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

Dciear = desplazamiento horizontal relativo, medido en la altura del panel de vidrio considerado, el cual origina el contacto inicial del vidrio con el marco. Para paneles de vidrio rectangulares enmarcados en un muro rectangular.

muro cortina.indd 54 4/1/14 9:40 AM

TABLA 2.
DE LA NORMA NT MINVU N°001 2010: "ANTEPROYECTO DE NORMA DE DISEÑO SISMORESISTENTE DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES"

Componente arquitectónico	Ap	Rp
Muros y divisiones interiores no estructurales		
Muros de albañilería no reforzados	1	1
Todos los otros muros	1	1.5
Elementos en voladizo (arriostrados o no al marco estructural bajo su centro de masas)		
Parapetos o antepechos y muros interiores no estructurales en voladizo	2.5	1.5
Chimeneas arriostradas lateralmente o apoyadas en el marco estructural	2.5	1.5
Elementos en voladizo (arriostrados al marco sobre su centro de masas)		
Parapetos o antepechos	1	1.5
Chimeneas	1	1.5
Muros exteriores no estructurales b	1.0b	1.5
Elementos de muros no estructurales y conexiones b		
Elemento de muro	1	1.5
Cuerpo de las conexiones de paneles de muro	1	1.5
Conectores del sistema de conexión	1.25	1
Enchapes		
Elementos y agregados de deformabilidad limitada	1	1.5
Elementos y agregados de baja deformabilidad	1	1
Penthouse (excepto donde están estructurados por una extensión de la estructura del edificio)	2.5	2.5
Cielos		
Todos	1	1.5
Gabinetes		
Gabinetes permanentes de almacenamiento apoyados en el piso de mas de 1.800 mm de alto, incluido los contenidos	1	1.5
Estanterías de libros permanentes, apoyados en el piso, pilas de libros y estantes de más de 1.800 mm de alto, incluido los contenidos	1	1.5
Equipamiento de laboratorio	1	1.5
Pisos elevados registrables	1	1.5
Apéndices y ornamentos	2.5	1.5
Señalética y letreros	2.5	2
Otros elementos rígidos		
Elementos de alta deformabilidad y agregados	1	2.5
Elementos de deformabilidad limitada y agregados	1	1.5
Materiales de baja deformabilidad y agregados	1	1
Otros elementos flexibles		
Elementos de alta deformabilidad y agregados	2.5	2.5
Elementos de deformabilidad limitada y agregados	2.5	1.5
Materiales de baja deformabilidad y agregados	2.5	1
Escaleras y vías de escape que no forman parte de la estructura del edificio	1	1.5

NOTAS A LA TABLA 2 DE LA NORMA NT MINVU N°001 2010: ANTEPROYECTO DE NORMA DE DISEÑO SISMORESISTENTE DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

[a] No se debe usar un valor de a_p menor que el indicado en la en la Tabla 2 de la norma NT MINVU N°001 2010: Anteproyecto de Norma de Diseño sismoresistente de elementos no estructurales salvo que se justifique mediante un análisis dinámico detallado. El valor de a_p no debe ser menor que 1.00. Se considera un valor a_p=1 para componentes rígidos y componentes conectados rigidamente. Se considera un valor a_p=2.5 para componentes flexibles y componentes conectados con elementos flexibles.

[b] En los casos en que se provea apoyo mediante diafragmas flexibles a muros y divisiones de hormigón o albañilería, las fuerzas de diseño para el anclaje al diafragma debe efectuarse considerando una fuerza F_p = *0,4aAAWplka /g*, donde *I* es el factor de importancia de la estructura y k_a = *1 + Lfj30 < 2*. L_f es la longitud en metros del diafragma flexible que provee soporte lateral al muro. L_f se mide entre los elementos verticales que proveen soporte lateral al diafragma en la dirección considerada. L_f= 0 para diafragmas rígidos.

$$D_{ciear} = 2\,C_l \left(1 + \frac{h_p c_2}{b_p c_i}\right)$$

h_p = altura del panel de vidrio rectangular.
b_p = ancho del panel vidrio rectangular.
c_i = promedio de separación en ambos lados entre los bordes verticales y el marco.
c_2 = promedio de separación superior e inferior entre los bordes horizontales y el marco.

b) Los vidrios monolíticos, completamente templados, usados en edificios con Categorías de Ocupación I, II y III, según se define en la norma NCh433.Of96. Mod2009, y ubicados a una altura no mayor de 3 m sobre una superficie transitada, no necesitan cumplir con este requisito.
c) Los vidrios laminados templados o recocidos de espesor simple con película intermedia no menor a 0,76 mm que están confinados mecánicamente en el sistema de muros vidriado y cuyo perímetro esté asegurado al marco mediante un burlete de sello perimetral de elastómero de curado moldeable húmedo de 13 mm de espesor de contacto u otro sistema de anclaje aprobado, no necesita cumplir con este requisito.
d) Los muros cortina con cristales de 4 lados expuestos, del tipo silicona estructural, con holguras entre marcos menores que la holgura entre cristales de forma que no

muro cortina.indd 55 4/1/14 9:40 AM

es posible que los cristales puedan contactarse entre ellos (Norma de referencia AAMA CW-13-85 Structural Glazing Systems).

e) Los muros cortina con cristales capturados o fijos mecánicamente, calzados adecuadamente y con separadores plásticos laterales entre los cristales y el metal de la cavidad de acristalamiento, de forma de impedir el contacto del canto de los cristales y el metal (Norma de referencia AAMA MCWM-1-89 Metal Curtain Wall Manual).

f) Los muros-cortina de cristal templado o cristal templado-laminado, con acristalamiento mediante fijaciones puntuales rotuladas (roteles) y sello estructural en los cantos de los cristales y con anclajes diseñados (spiders), con las holguras laterales y verticales que permitan un movimiento relativo de los cristales menor que la distancia u holgura entre ellos.

g) Las cargas máximas sobre los roteles y los spiders, no deberán exceder a las cargas de diseño recomendadas por el fabricante.

8.9.2. Límites de deformación para elementos no estructurales de vidrio. $Af_a u_{out}$, la deformación lateral que causa el desprendimiento del vidrio del muro cortina, la fachada o la división debe ser determinada de acuerdo con AAMA 501.6 o por un análisis de ingeniería desarrollado por un profesional competente.

8.9.2 Límites de deformación para elementos no estructurales de vidrio. $Af_a u_{out}$, la deformación lateral que causa el desprendimiento del vidrio del muro cortina, la fachada o la división debe ser determinada de acuerdo con AAMA 501.6 o por un análisis de ingeniería desarrollado por un profesional competente.

ANEXO. PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES EMPLEADOS EN LOS MUROS CORTINA

	Unidad medida	Aluminio A6063TS	Aluminio A6061 T6	Cristal Monolitico	Cristal Templado	Acero A37-24 Es	Acero A42-27 Es	PVC Rigido
Densidad a 20°C	kg/m³	2.7	2.7	2.5	2.5	7.85	7.85	1.41
Coeficiente dilatacion por temperatura	mm/mm°C	24 x 10-6	24x10-6	9x10-6	9x10-6	11 x 10-6	11 x 10-6	70 x 10-6
Módulo elasticidad	kg/cm²	700	700	720	720	2.100.000	2.100.000	26.7
Tensión de rotura a tracción	kg/cm²	1.55	2.68	450	1.8	3.7	4.2	800
Tension fluencia	kg/cm²	1.1	2.46	-	-	2.4	2.7	380
Dureza Superficial	Brinell Mohs Shore A	60 . -	68 . -	- 6-7 -	- 6-7 -	220 - -	- - -	- 80
Elongacion a rotura	% en 50,8 mm	8%	8%	-	-	22%	20%	70%
Tensión admisible cargas permanentes	kg/cm²	660	1.476	60		1.44	1.62	270
Tensión admisible cargas eventuales	kg/cm²	878	1.963	170	500	1.915	2.155	320

Fuentes: los valores fueron obtenidos de Indalum (aluminio), Vidrios Lirquén (cristal), Gerdau Aza (acero), Catálogos técnicos (pvc)
Nota: el calculista deberá siempre chequear los factores de reducción recomendados por las normas técnicas para tensiones admisibles.

muro cortina.indd 56 4/1/14 9:40 AM

4. Acondicionamiento Interior –Control Solar y Aislación Térmica

4.1. EL CONFORT TÉRMICO O TERMOHIGROMÉTRICO

El acondicionamiento interior de un edificio, requiere conocer previamente cuáles son las condiciones de confort requeridas por los ocupantes. En este manual consideraremos el enfoque derivado de los trabajos de Baruch Givoni (en su libro "Man, Climate and Architecture", editado por Elsevier, 1969), que indica que el confort puede ser logrado al interior de una "zona de confort" definida solamente mediante una temperatura y la presión parcial de vapor acuoso (aun cuando sabemos que el confort depende también de factores fisiológicos y psicológicos).

Así es como usando un gráfico de "temperatura del aire" versus "humedad relativa", es posible indicar las zonas de confort para los usuarios. En efecto, las zonas "naranja" (son muy confortables) y las "amarilla" (son confortables), mientras que las zonas restantes corresponden a condiciones de malestar de los ocupantes.

En la búsqueda de las condiciones de confort de un edificio a menudo el proyectista del muro cortina deben lidiar con el sol, considerándolo un problema durante la temporada de verano, ya que, dependiendo de la orientación del edificio, el sol penetra en los edificios generando un sobrecalentamiento (sobre todo en las tardes) y un deslumbramiento excesivo, lo cual puede generar una fuerte incomodidad en los usuarios, y puede requerir el uso de sistemas de aire acondicionado. A ésto se agrega, que dichos sistemas no son de fácil regulación en edificios con plantas libres, y con fachadas vidriadas en los cuatro costados.

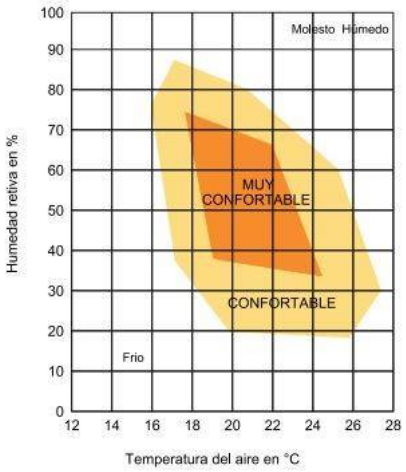


Figura 4.1. Gráfico de confort higrotérmico.

Junto con estos desafíos del proyecto, también es oportuno tener presente que las exigencias de la nueva arquitectura "verde", que busca aprovechar cada vez más la luz solar y crear espacios con grandes fachadas acristaladas, ha obligado a la industria del muro cortina a dar soluciones con tamaños de vidrios cada vez mayores. Por tanto, se recomienda un trabajo multidisciplinario con los ingenieros de las otras especialidades para definir la solución más adecuada.

4.2. CONCEPTOS GENERALES DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA EN LAS FACHADAS VIDRIADAS Y "EFECTO INVERNADERO"

Para poder abordar la discusión técnica de este capítulo, es importante entender los conceptos de radiación solar y radiación a las temperaturas ambientes (según indicado en el libro Arquitectura Climática – Una Contribución al Desarrollo Sustentable, de Pierre Lavigne, edición Universidad de Talca, año 2003).

Sabemos que la radiación emitida por los cuerpos, corresponde a un conjunto de longitudes de onda y que la distribución de estas últimas no es la misma para los dos tipos de radiación que nos interesan, a saber: la radiación solar (de unos 6000 °K, o 5.700°C apróx.) y la radiación de los cuerpos corrientes a las temperaturas ambientes (de unos 300 °K, o 27 °C apróx). La figura inferior muestra claramente que, a muy alta temperatura, la mayor parte de la emisividad energética tiene lugar en el rango visible y en el infrarrojo cercano, mientras que para las temperaturas ambientes se sitúa únicamente en el rango infrarrojo. Por tanto, para simplificar, se puede considerar solamente dos tipos de radiación:

- La radiación solar (RS) de cortas longitudes de onda (donde UV 1%, visible 53%, IR cercano 46%).
- La radiación infrarroja (RIR) de grandes longitudes de onda, emitida por los cuerpos a temperatura ambiente.

muro cortina.indd 57 4/1/14 9:40 AM

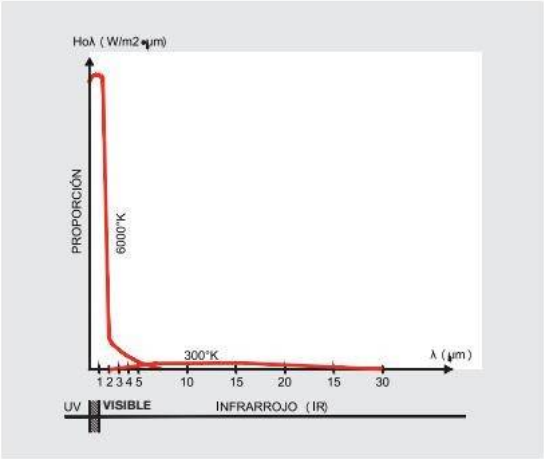


Figura 4.2. Radiación emitida por los cuerpos en función de la longitud de onda.

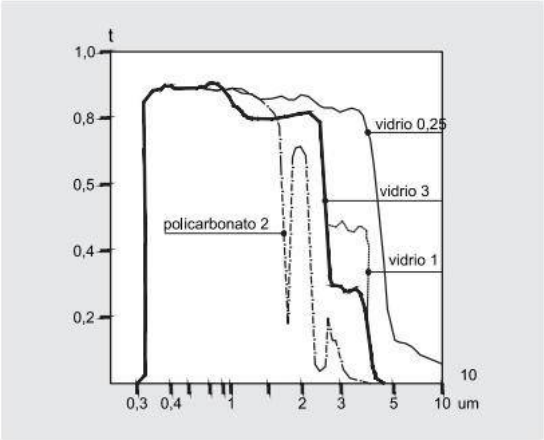


Figura 4.3. Transmisividad del vidrio y del policarbonato en función de la longitud de onda.

Resulta muy importante comprender que los cuerpos y materiales exhiben, en general, diferentes comportamientos frente a los dos tipos de radiación; por lo que se dice que son "selectivos".

Si ahora observamos la figura 4.3, que ilustra la transmisividad del vidrio (de diversos espesores) y la del policarbonato de 2 mm, en función de la longitud de onda de la radiación que atraviesa, nos damos cuenta que estos materiales resultan transparentes para las reducidas longitudes de onda (RS) mientras que son prácticamente opacos para las grandes longitudes de onda (RIR). La situación descrita corresponde al llamado "efecto invernadero" de las fachadas vidriadas, que genera un aumento de la temperatura interior de los locales.

En la figura 4.4 (a la derecha) vemos como un edificio está sometido a ambos tipos de radiaciones (RS) y (IRR), y por tanto en el diseño energético de la envolvente se deberá tener en cuenta ambos aspectos.

4.2.1. FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

A continuación detallaremos las tres formas de transferencia de calor: radiación, conducción y convección.

4.2.1.1. Radiación

Según vio en el punto anterior, uno de los mayores problemas de confort en los edificios con muros cortina es controlar el calor radiante del sol. La energía del sol literalmente se transfiere por las fachadas vidriadas y es absorbida por todo aquello que toca. A mayor área de superficie con vidrio en un edificio, es mayor el potencial de acumulación de calor radiante.

Una de las características más sobresalientes de las fachadas vidriadas bien diseñadas, es su habilidad de regular y/o controlar la cantidad de energía solar que pasa a través del vidrio.–Es importante recordar que la energía del calor

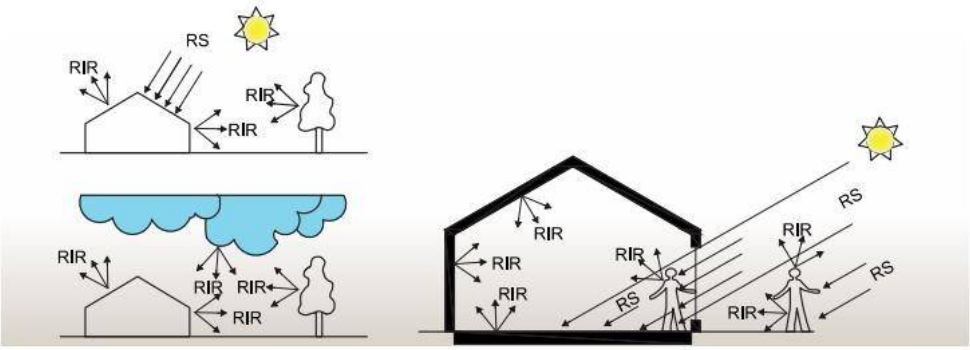


Figura 4.4. Efecto invernadero de las fachadas vidriadas.

muro cortina.indd 58 4/1/14 9:40 AM

siempre fluye de temperaturas altas a temperaturas bajas.

El sol es una fuente de energía enorme. Está constantemente enviando su energía a través del espacio hacia la tierra en forma de radiación electromagnética o de ondas de energía.

Aproximadamente el 44% de la energía solar radiante es recibida por la tierra en una forma de luz visible. La radiación solar en forma de calor infrarrojo (IR) tiene otro 53% de los rayos solares y por último un 3% se encuentra en la radiación ultravioleta (UV). Los vidrios y películas de control solar están diseñados para reflejar las ondas de calor infrarrojo y para filtrar la mayoría de la radiación solar.

En las páginas siguientes se detallan las principales variables de medición del desempeño solar de los cristales, como ser: coeficiente de sombra, coeficiente de ganancia de calor solar, transmisión de luz, etc.

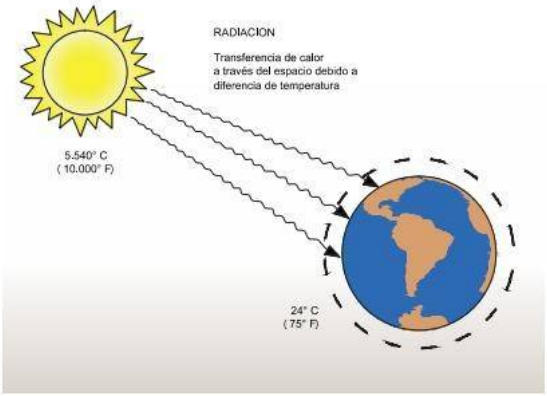


Figura 4.5. Radiación de calor y diferencias de temperatura.

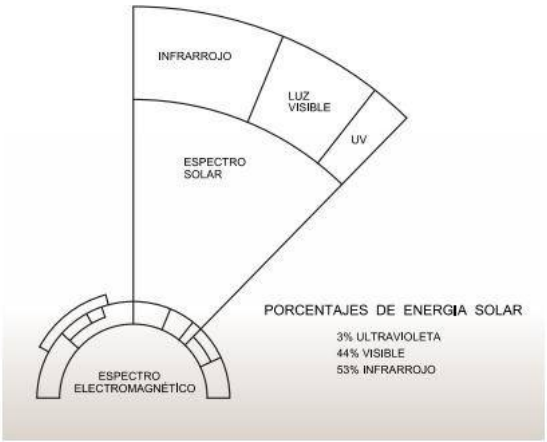


Figura 4.6. Espectro solar y sus componentes.

4.2.1.2. Conducción

La conducción es el único método de transferencia de calor en sólidos opacos. Si la temperatura en un extremo de un brazo de metal es incrementada, el calor viaja hasta el otro extremo. El mecanismo de transferencia de calor en sólidos se explica por el movimiento de electrones en libertad. Esto puede explicar el porqué de los conductores de calor son siempre buenos conductores de electricidad. Por consiguiente la conducción es un término que describe la transferencia de energía (calor) a través de un sólido como el vidrio de una ventana, una pared, el marco de una ventana, etc., gracias al contacto físico. Por ejemplo, un vidrio que se calienta por energía solar transfiere ese calor a través de los marcos donde está instalado y que por consiguiente se transmite hacia la pared que lo rodea, o hacia el ambiente por disipación de radiación (Figura 4.7).

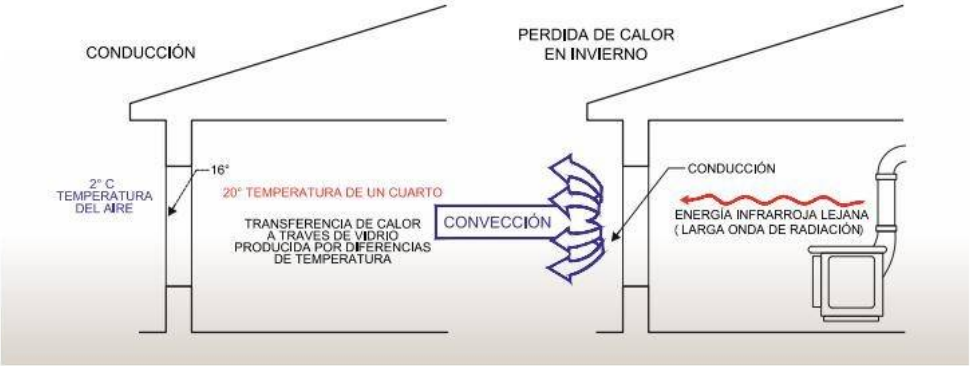


Figura 4.7. Fenómenos de conducción y convección en época de invierno.

muro cortina.indd 59 4/1/14 9:40 AM

4.2.1.2.1. Valor-U y Valor-R

La conducción de un material se mide a través de su valor "U" (llamado Transmitancia Térmica, y se mide en W/m2°C), o por su valor K (medido en BTU/ft2°K). El Valor U es una medida de transferencia de calor debida a diferencias de temperaturas entre el exterior y el interior. Se utiliza casi exclusivamente para medir la pérdida de temperatura en objetos. Técnicamente, representa la cantidad de calor que pasa a través de un metro cuadrado de vidrio por la diferencia de cada unidad de grado Celsius. A menor Valor U menor es el calor transmitido.

El Valor R, es una medida del desempeño como aislante de un material, a mayor Valor R menor la transferencia de calor, es recíproco del Valor U o expresado como R=I/U.

4.2.1.3. Convección

La convección también ocurre cuando dos objetos se ponen en contacto. La conducción a través de una superficie sólida y una líquida o un gas en movimiento, es conocida como convección. El movimiento puede ser natural o forzado. La convección es el movimiento de calor que ha sido radiado. Este calor puede ser conducido por el viento o el movimiento de masas de aire que buscan equilibrar su temperatura. El movimiento de calor puede ser en ambas direcciones entrando a través de los vidrios exteriores o escapando hacia afuera de un interior.

4.2.2. MEDICIÓN DE CALOR

Las unidades para medir la pérdida o ganancia de calor en edificios son: kWh (que es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un 1 kW durante una hora), y el BTU (Unidad Térmica Británica, que corresponde a la cantidad necesaria de calor para aumentar la temperatura de una libra de agua por 1 °F, Fahrenheit).

Nota: 1 kWh es igual a 3412 BTU apróximadamente.

El costo del aire acondicionado se puede medir a través de las "toneladas de aire acondicionado" que son equivalentes a "kilowatts de electricidad". Una tonelada de aire acondicionado remueve apróximadamente 12,000 BTU en una hora. Esta medición puede ocuparse para la estimación del costo del aire acondicionado. Un sistema requerirá de un kilowatt de electricidad por tonelada de aire acondicionado, además de 1/4 de kilowatt adicional para mover el aire. Al multiplicar el total de Kilowatt por la tasa Kilowatt/$ peso se obtendrá el costo de la tonelada. Esta es una fórmula aproximada para calcular los ahorros que se podrían obtener con vidrios de control solar.

4.2.3. ¿QUÉ SUCEDE CUANDO LA LUZ SOLAR INCIDE SOBRE LA FACHADA VIDRIADA?

Cuando la radiación solar llega a la superficie de una fachada, entonces una parte de la energía es transmitida a través del vidrio, otra parte es reflejada hacia el exterior y la restante es absorbida por la masa del vidrio. Estas 3 componentes deben sumar 100%.

Como ejemplo, veamos que sucede cuando la radiación solar incide sobre un vidrio transparente de 3 mm:

- Transmisión Solar Total = 88%
- Reflexión Solar = 7%
- Absorción Total Solar = 5%

→ La suma de los 3 factores anteriores = 100%

Un vidrio transparente transmite un alto porcentaje de la radiación de energía solar que pasa a través de él.

4.2.4. ZONIFICACIÓN TÉRMICA DE CHILE SEGÚN LA NORMA NCh1079.OF2008

Los principales factores dependientes del clima en que se emplaza un edificio y que afectan el bienestar de los ocupantes son la temperatura, humedad, radiación solar, vientos, nubosidad y pluviometría. Debido a su extensión en latitud (del paralelo 17° 29' al 56° 32' S), a las corrientes marinas y a su geografía, nuestro país presenta una gran variedad de climas que es necesario tener presente en cada proyecto.

En la figura 4.8 y la Tabla 4.1 se indican las nueve zonas térmicas definidas para el territorio nacional.

4.2.5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA VERSUS ZONIFICACIÓN TÉRMICA

La zonificación climática definida en la NCh1079 Of.2008 se basa en las características del clima; temperatura, humedad, continentalidad, etc. Mientras que la zonificación térmica contenida en el artículo 4.1.10 de la OGUC (que fue definida en la Reglamentación Térmica Residencial), se basa en el concepto de grados día de calefacción.

Para entender las diferencias entre ambos conceptos anteriores, resulta útil revisar la documentación contenidas en la "Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social", editada el año 2009 por el MINVU.

En dicho documento, se indica que la Reglamentación Térmica es un instrumento de importancia y que ha implicado una primera definición de estándares de calidad térmica de viviendas. Es un hito importante para futuros incrementos en el comportamiento térmico de estos y otro tipo de edificios. Ella es una referencia en que se establecen exigencias mínimas para los elementos de la envolvente de edificios residenciales (Figura 4.9).

4.2.5.1. Definición de Grados Día

Los grados día de calefacción se definen como la suma anual de las diferencias horarias entre la temperatura del aire exterior y una temperatura base de calefacción para todos

muro cortina.indd 60 4/1/14 9:40 AM

Figura 4.8. Mapa de Chile con zonificación climática según norma NCh 1079OF.2008.

TABLA 4.1.
ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE CHILE, SEGÚN NORMA NCH 1079 OF 2008

ZONA	CARACTERÍSTICAS GENERALES
1 NL	**Norte Litoral:** Se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de La Ligua, ocupando la faja costera el lado de la cordillera de la Costa, hasta donde se deja sentir directamente el mar. En los valles que rematan los ríos y quebradas se producen penetraciones de esta zona hacia el interior. Ancho variable llegando hasta 50 km aproximadamente.
2 ND	**Norte Desértica:** Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes) desde el límite con el Perú hasta la altura de Potrerillos, Pueblos Hundido y Chañaral excluidos. Como límite oriental puede considerarse la línea de nivel 3.000 m aproximadamente.
3 NVT	**Norte Valles Transversales:** Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona NL excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400 m y desde Pueblo Hundido hasta el valle del río Aconcagua, excluido.
4 CL	**Central Litoral:** Cordón costero continuación zona NL desde el Aconcagua hasta el valle del Bío-Bío excluido. Penetra ampliamente en los anchos valles que abren las desembocaduras de los ríos.
5 CI	**Central Interior:** Valle central comprendido entre la zona NL y la precordillera de los Andes por bajo los 1.000 m. Por el N comienza con el valle del Aconcagua o por el S llega hasta el valle del Bío-Bío excluido.
6 SL	**Sur Litoral:** Continuación de zona CL desde el Bío-Bío hasta Chiloé y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan.
7 SI	**Sur Interior:** Continuación de zona CI desde el Bío-Bío incluido, hasta la Ensenada de Reloncaví. Hacia el E, hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600 m aproximadamente.
8 SE	**Sur Extremo:** La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el E.
9 An	**Andina:** Comprende la faja cordillerana y precordillerana superior a los 3000 m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al Sur de Puerto Montt. > 900 m de altitud.

muro cortina.indd 61 4/1/14 9:40 AM

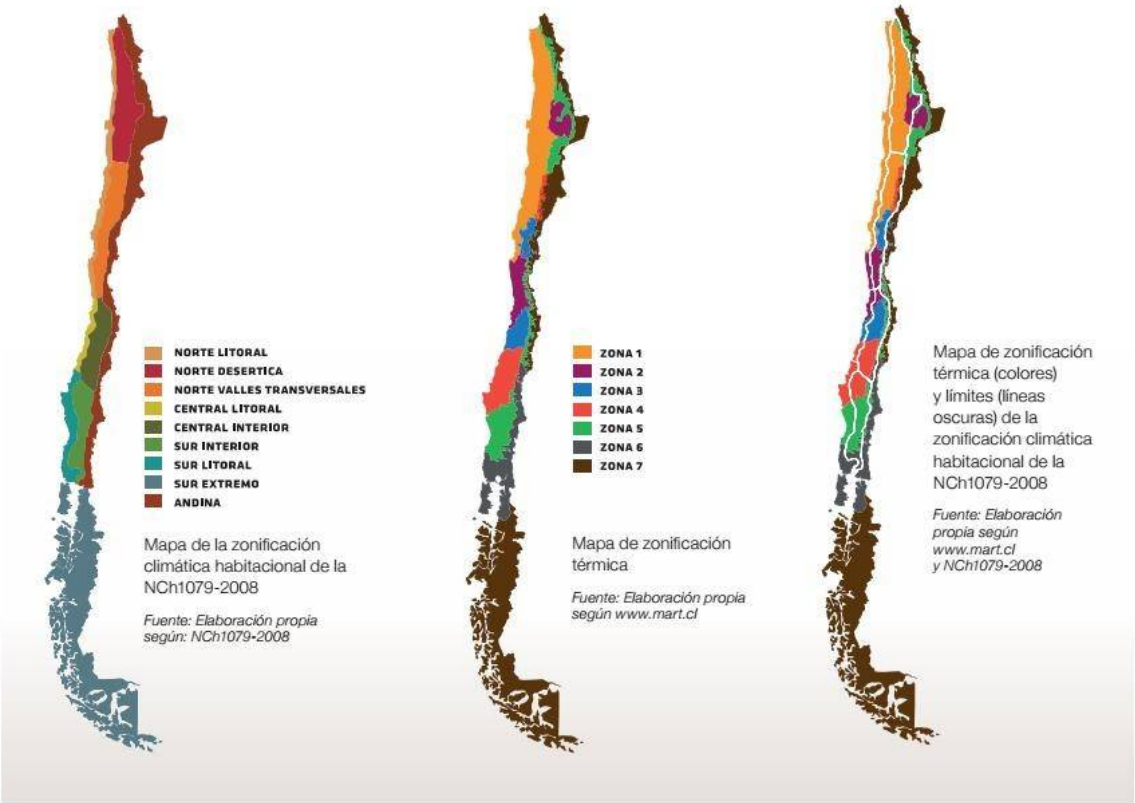


Figura 4.9. Mapas de zonificación térmica de Chile, según OGUC Art. 4.10

los días del año (en los casos en que la temperatura exterior es menor que la temperatura base). Los grados día de calefacción en base a 15°C son el parámetro bajo el cual se realizó la zonificación térmica presente en el artículo 4.1.10 de la OGUC. Como se puede ver, ésta no considera las oscilaciones térmicas diarias ni la diferencia de temperatura entre verano e invierno.

4.2.6. GRÁFICOS DE DESPLAZAMIENTO SOLAR PARA EL DISEÑO SOLAR PASIVO

Según indicado en el punto 4.17, los valores de radiación solar van cambiando para las diferentes ciudades, o localidades, a lo largo de Chile. Por tanto, para cada zona térmica se tendrán diferentes curvas de radiación solar que afectan en diferente medida el diseño solar de un proyecto.

Las herramientas de diseño son necesarias para evaluar el sitio de emplazamiento de un proyecto y la construcción para el diseño solar pasivo. La resolución de estos problemas se puede lograr a partir de la consideración de la relación angular entre el Sol, el edificio y las protecciones solares y los cuerpos que obstruyen. Las herramientas de diseño son a menudo los métodos manuales disponibles. En la temporada de calefacción ("condición de invierno") el objetivo es evitar el ensombrecimiento de modo que la ganancia solar pueda aprovecharse para compensar la carga de calefacción. Los gráficos de desplazamiento solar pueden utilizarse para evaluar el grado de sombra en las fachadas del edificio, debido a las características del terreno, los edificios que rodean la fachada, proyecciones y características locales del paisaje.

A partir de los gráficos de desplazamiento solar, y para diferentes periodos del año y distintas horas del día, como también para diferentes latitudes (ver figura 4.10), es posible determinar la altitud y azimut del sol, y también la hora de salida y puesta del sol (ver más figuras siguientes).

En primer lugar se debe usar el gráfico que corresponda a la latitud, o localidad que interesa. En segundo lugar es necesario ubicar el punto en el gráfico que corresponda a la fecha y hora buscada; luego se debe desplazar por el círculo hasta interceptar el eje Norte-Sur del gráfico, cuya lectura nos indica la altitud.

Otra aplicación de estos gráficos es lo que permite la determinación de "períodos de sombra" y el "perfil de horizonte" que afecta a la superficie que interesa estudiar. De esta

muro cortina.indd 62 4/1/14 9:40 AM

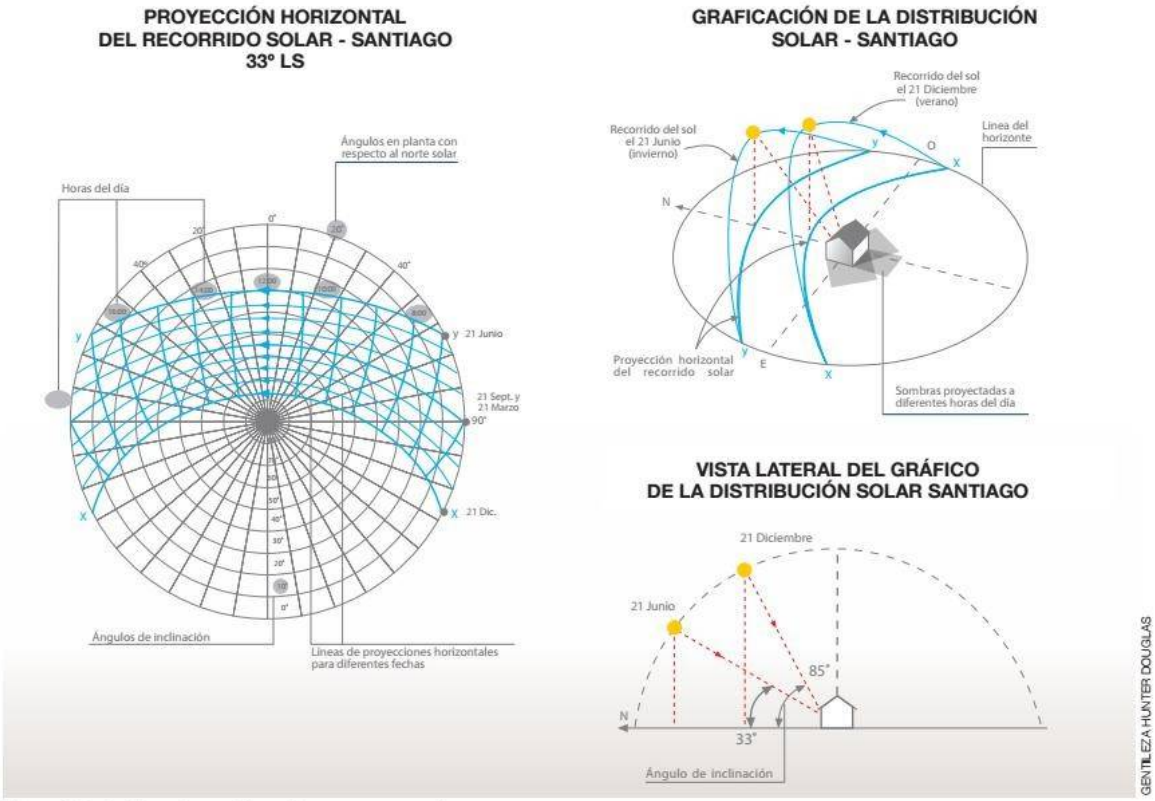


Figura 4.10. Gráficos de recorridos solares y sus proyecciones.

manera se puede apreciar si el efecto de sombra es importante o no, y se puede decidir (por ejemplo) si la ubicación en estudio resulta de adecuada para captar energía solar.

ALTITUD: es el ángulo que forma el rayo solar con el plano horizontal.

AZIMUT: es el ángulo formado por la proyección en el plano horizontal del rayo solar y la línea Norte-Sur.

4.3 ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO (DEL MANUAL DE DISEÑO PASIVO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS, DIRECCIÓN ARQUITECTURA MOP)

La orientación de los edificios determina en gran parte la demanda energética de calefacción y refrigeración del mismo en el futuro. Una buena orientación podría minimizar considerablemente las demandas energéticas a través del control de las ganancias solares. Los edificios públicos, de oficinas y servicios se caracterizan por altas ganancias internas generadas por usuarios, equipos e iluminación, por lo que se recomienda siempre que sea posible una orientación norte y sur de sus fachadas principales, ya que esto facilita las estrategias de protección de fachadas. Una orientación oriente y poniente es menos recomendable, ya que la incidencia solar es más compleja de controlar en estas fachadas (Figura 4.11).

Norte

Una fachada orientada al Norte recibe la radiación solar durante la mayor parte del día, dependiendo de la latitud en que se encuentre y la época del año. En invierno el sol se encuentra más bajo con respecto al cenit por lo que tendrá una mayor penetración a través de superficies acristaladas. Esta fachada se puede sombrear fácilmente en verano con protecciones horizontales como aleros o repisas de luz.

Este

La fachada Este recibirá el sol por la mañana tanto en invierno como en verano. En esta orientación el sol es bajo ya que recién asoma por el horizonte. La presencia de superficies acristaladas en esta fachada puede generar sobrecalentamiento en climas cálidos si no es protegida. Se recomienda el uso de protecciones solares, de formato vertical.

muro cortina.indd 63 4/1/14 9:40 AM

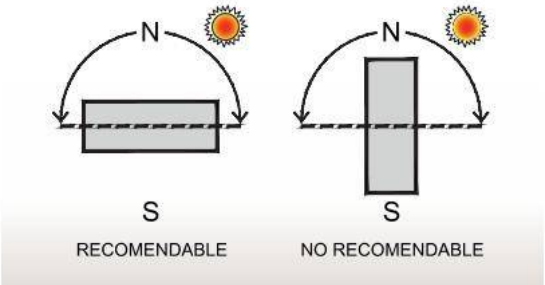


Figura 4.11. Orientación de los edificios y demanda energética.

Sur

Esta fachada no recibe radiación solar significativa, en forma directa, durante gran parte del año. Sólo en verano puede recibir algo de sol, dependiendo de la latitud. Debido a esto, esta fachada no requiere de protección solar, pero sus superficies acristaladas deben lograr un adecuado balance que evite excesivas pérdidas de calor y logre una adecuada iluminación natural, dependiendo del clima en que se emplace.

Oeste

La fachada Oeste recibe radiación solar durante la tarde, lo que coincide con las más altas temperaturas del día. Debido a esto, esta fachada tiene los mayores riesgos de sobrecalentamiento en verano, por lo que es necesario proteger las superficies acristaladas que se encuentran sobre ésta. Las protecciones solares pueden ser exteriores, interiores, móviles, fijas, o un vidrio con control solar. Las exteriores pueden ser de formato vertical.

4.3.1. ESTRATEGIAS DE CALENTAMIENTO PASIVO

Corresponden a aquellas que se utilizan para la época de invierno en climas templados. Su objetivo es aprovechar las ventajas del clima de invierno, en particular el asoleamiento, y además protegerse de las desventajas, en particular de las bajas temperaturas.

Para poder establecer estrategias de calentamiento pasivo es necesario conocer bien las distintas formas en que se genera calor en los edificios. Normalmente en la mayoría de las edificaciones públicas, tal como edificios de oficinas y establecimientos educacionales, existen altas cargas de calor internas generadas por equipos, iluminación y ocupantes. Esta es una importante diferencia entre edificios residenciales y edificios no-residenciales, que define que en muchos casos los edificios no residenciales funcionen en régimen de enfriamiento durante gran parte del año.

Las principales estrategias de calentamiento pasivo de edificaciones son las siguientes (de Herde, 1997):

- **Captar:** La energía solar en forma de radiación puede ser captada por el edificio y transformada en calor. Esta captación puede ser directa o indirecta
- **Conservar:** Es necesario mantener el calor dentro de los recintos, para esto es necesario aislar la edificación del exterior, y tener masa térmica expuesta al interior.
- **Almacenar:** La masa térmica de las edificaciones, dada por su materialidad, contribuye a almacenar calor durante el día para emitirlo durante la tarde y noche. Contribuye a la ventilación nocturna.
- **Distribuir:** El calor captado deberá distribuirse, de manera que llegue a distintos recintos del edificio, lo que puede realizarse en forma natural o forzada.

La correcta orientación de los espacios es relevante para la efectividad de la captación directa, ya que se debe considerar la trayectoria solar y priorizar la ubicación de los espacios de mayores requerimientos de habitabilidad, hacia el norte. Los espacios orientados al norte además recibirán mayor cantidad de iluminación natural directa. Se recomienda ubicar los espacios con menor ocupación o que no necesiten iluminación directa, tal como bodegas, baños, áreas de servicio y circulaciones, al sur del edificio. Se debe considerar que el sol de la mañana, debido a su inclinación, no proporciona tanto calor como el sol del mediodía (al norte), y que el sol poniente puede causar problemas de deslumbramiento y sobrecalentamiento.

Es importante considerar que un área de ganancia solar directa, será una superficie vidriada en la fachada norte, la que puede sufrir pérdidas de calor por la noche, por lo que debe estar suficientemente aislada térmicamente.

El sobrecalentamiento puede ser un problema grave en un edificio público o de oficinas, por lo que se deben considerar protecciones que eviten que los recintos reciban una radiación solar directa -desmedida, especialmente en verano, o reducir el área acristalada al oeste. Estas obstrucciones al ingreso de la radiación solar pueden estar constituidas por aleros, celosías, láminas de control solar, cortinas, etc. En el caso de la fachada norte, la protección solar más eficiente es el alero o algún elemento horizontal, ya que permite el ingreso de radiación solar en invierno, bloqueándola en la estación estival.

4.3.2. ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO

En general, las estrategias de enfriamiento pasivo se recomiendan principalmente en los edificios ubicados en las zonas climáticas caracterizadas por sus altas temperaturas en verano (zonas: 1, 2, 3, 4 y 5).

Una forma eficiente de limitar los consumos de energía por

muro cortina.indd 64 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.2. ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO Y ZONAS CLIMÁTICAS, SEGÚN NORMA NCH 1079.OF2008

	Aislación Térmica	Aislación de puente Térmico	Masa Térmica	Control infiltraciones	Ganancias directas	Ganancias Indirectas	Ventilación cruzada	Ventilación convectiva	Ventilación nocturna con Masa Térmica	Enfriamiento evaporativo	Protección solar
1 NL	•	•	•	•			•	•	•	•	•
2ND	•	•	•	•			•	•	•	•	•
3 NVT	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
4 CL	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
5 CI	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6 SL	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7 SI	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8 SE	•	•		•	•	•	•	•		•	•
9 An	•	•		•	•	•	•	•			

• **Recomendado**

• **Opcional:** Realizar con criterios dependiendo del uso y clima, apoyar la decisión con simulación.

enfriamiento es a través de un buen diseño arquitectónico que considere las condiciones climáticas del lugar donde se emplaza el proyecto.

Los edificios se pueden clasificar como edificios de baja o alta carga térmica interior. La edificación pública, de oficinas y de servicio es normalmente de alta carga interna por la importante cantidad de equipos presentes en los recintos, y por la gran cantidad de personas que los ocupan. En estos edificios es necesario considerar atentamente las cargas internas como un factor determinante a la hora de seleccionar y calcular una estrategia de enfriamiento.

La forma más barata de enfriar es evitar que se sobrecaliente, por lo tanto hay que mantener un balance entre el área acristalada y el área opaca de muros, de acuerdo al clima y a la orientación del edificio. Además, se recomienda organizar los layouts de oficinas considerando las cargas térmicas de ocupación en relación a las cargas térmicas de radiación.

En este Manual nos referiremos a las estrategias de enfriamiento pasivo basados en la ventilación natural, mientras que sugerimos ir a textos más especializados para revisar otras estrategias de enfriamiento pasivo. Las estrategias de ventilación natural, además de propender al confort térmico en verano, proporcionan una renovación de aire imprescindible para controlar los niveles de dióxido de carbono, humedad y contaminantes en suspensión presentes en los espacios interiores.

Las estrategias de ventilación natural son:

- **Ventilación cruzada:** Utiliza dos ventanas en fachadas opuestas, las que al abrirse simultáneamente generan movimientos de aire. El flujo arrastra al aire a mayor temperatura y lo reemplaza por uno a menor temperatura, procedente desde el exterior. El enfriamiento se produce tanto por la diferencia de temperatura, como por la sensación de refrescamiento que produce el aire en movimiento. Se recomienda tener en consideración la posibilidad de ráfagas de viento que puedan dañar las ventanas, o a los ocupantes.
- **Ventilación convectiva**: También llamada "efecto stack", utiliza la estratificación que se produce por la temperatura del aire. A medida que el aire se calienta es menos denso y sube; el aire que sube es eliminado y reemplazado por aire que ingresa a menor temperatura del exterior.

  Solo funcionará como estrategia de enfriamiento si el aire exterior está a menor temperatura que el aire interior del edificio. Esta estrategia requiere considerar aberturas en la parte inferior y superior del edificio, de manera que la altura del "stack" defina la efectividad del sistema.
- **Ventilación nocturna de masa térmica**: esta estrategia busca enfriar el interior de los edificios a través de

muro cortina.indd 65 4/1/14 9:40 AM

la ventilación natural durante la noche, y de esta manera evitar el sobrecalentamiento en el día. Esto se logra adicionando masa térmica al edificio a través de materiales macizos que generan el efecto moderador de la temperatura del aire, reduciendo los extremos, y evitando así las fuertes oscilaciones de temperatura.

4.4. CONTROL SOLAR Y LUMÍNICO EN FACHADAS

El uso de elementos de control solar colabora con la tarea del muro cortina de proporcionar un adecuado confort térmico durante el verano (llamada "condición de verano"). Esto se puede lograr con elementos que permitan controlar la energía solar, evitando el sobrecalentamiento de los espacios interiores, el excesivo deslumbramiento y otras condiciones inadecuadas; sin penalizar el disfrute de una adecuada visión natural y del acceso a la iluminación natural.

Resumidamente las funciones de estos elementos deben ser las siguientes:

- Limittar la radiación solar en verano.
- Controlar el resplandor en el interior del edificio.
- Permitir la vista y la iluminación natural.

Por otro lado, la elección del cristal en relación a su color y masa tiene una contribución importante en lo que respecta al control solar, cuando por requerimientos de diseño se necesita reducir el ingreso de calor solar radiante y la excesiva luminosidad.

4.4.1. 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 quiebrasol. 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 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 asoleamiento a las que están sometidas las fachadas.

Por otro lado, existen sistemas de control solar tales como pantallas, cortinas, toldos y láminas de control solar. A continuación se describe brevemente dichos sistemas de control:

- **Pantallas y cortinas interiores:** Es la opción más utilizada para el control solar y control del brillo para los recintos interiores.
- **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. Se recomienda el uso 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 más eficaces que los dispositivos internos para bloquear el calor solar, en algunos casos pueden afectar la estética de la construcción. Se deberá poner atención a que las protecciones de cristal serigrafiados no provoquen reflexiones indeseadas en la fachada.

Es importante instalar éstas soluciones a una distancia adecuada de la fachada para permitir una adecuada circulación del aire, debido a que pueden existir 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.

4.4.2. 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, las cuales son usadas para aprovechar la radiación solar presente en el vacío entre las dos pieles como consecuencia del efecto invernadero. También es posible manejar dicha energía para contribuir a la reducción de la demanda de calefacción y a la reducción de las cargas de enfriamiento para los sistemas de aire acondicionado del edificio.

muro cortina.indd 66 4/1/14 9:40 AM

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.
- 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.

Algunos especialistas en diseño energético de fachadas, no recomiendan el uso de fachadas dobles en climas como el Norte Litoral (NL), Central Litoral (CL), etc., y señalan dentro de sus desventajas:

- Sobrecalentamiento en el espacio intermedio puede ser perjudicial en verano.
- Requerimiento de mayor mantención, debido a la limpieza de una superficie vidriada doble.
- Pérdida parcial de iluminación natural en algunos periodos del año, u orientación de la fachada.
- Es necesario evaluar adecuadamente la atenuación acústica que permiten lograr.

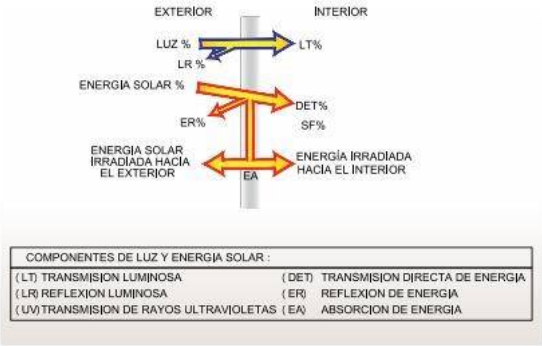


Figura 4.12. Comportamiento de la energía solar en una superficie vidriada.

4.5. CRISTALES COMO ELEMENTO DE CONTROL SOLAR Y LUMÍNICO

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

Más adelante, en el capítulo 4.17, se presenta un listado con las principales definiciones de los términos técnicos para el control solar y la aislación térmica.

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 la figura 4.12.

4.5.1. COEFICIENTE DE GANANCIA DE CALOR SOLAR (SHGC) Y COEFICIENTE DA SOMBRA (CS)

La efectividad de un sistema de vidrio de control solar es medida a través del porcentaje de energía solar que ha sido transmitida absorbida y después irradiada al edificio. El coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC, en inglés), o Factor Solar, es un término de medición utilizado frecuentemente en la industria de enfriamiento y calefacción.

Otra medida utilizada es el coeficiente de sombra (CS) el

muro cortina.indd 67 4/1/14 9:40 AM

cual mide el calor solar radiante que pasa a través de un cristal hacia el interior y deriva de comparar un cristal con uno incoloro de 3 mm. En ambos casos, cuando más bajo es el coeficiente se reduce mejor el calor solar.

Con respecto a los cristales monolíticos de masa 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 (con el consiguiente aumento de temperatura del cristal) y mejorará el factor solar del cristal, sin embargo se disminuye la iluminación natural hacia el interior, lo que impone un límite a su uso en edificios.

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 en forma muy importante la energía total que pasa a través del cristal. Dependiendo de la posición de la cara reflectiva, definida por el fabricante, el vidrio presentará distintas características, si se coloca dicha capa en la posición 1 (lado exterior), la luz se refleja en la cara reflectiva, dando una 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 (como podría ser un aspecto más o menos espejado, así como una corrosión potencial debido a las nano-partículas metálicas depositadas en sus caras).

4.6. ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA CONSEGUIR UNA ILUMINACIÓN NATURAL EFICIENTE

Según la Sociedad Americana de Ingeniería de Iluminación (IESNA), los niveles de iluminación natural al interior de los locales deben permitir desarrollar cómodamente las actividades humanas consideradas en los recintos que la componen. En este sentido, el control del deslumbramiento que puedan proveer los cristales de fachada, más eventualmente algún filtro solar, será muy importante para lograr el confort de los ocupantes.

En general en un día despejado con sol se tiene una iluminancia al exterior de 120.000 lux apróx en Santiago, y en algunas condiciones puede ocasionar un deslumbramiento molesto a los usuarios. La iluminación solar difusa transmitida a través de la capa de nubes está disponible en todas las direcciones y provoca un bajo riesgo de deslumbramiento y sobrecalentamiento; llegando a valores de 5.000 a 20.000 lux.

Para evaluar la contribución de la luz natural en un recinto con cielo cubierto, se puede usar el factor de luz día (FLD). Se define como la relación entre la iluminación interior recibida en un plano de trabajo y la iluminación exterior horizontal medida simultáneamente y se expresa en porcentajes (Tabla 4.3).

En la tabla N° 11.24 de la NCh Electrica 4-2003 (ver Tabla 4.4), se definen las iluminancias mínimas para locales comeriales.

TABLA 4.3. FACTOR LUZ DÍA

FACTOR LUZ DIA (FLD) MEDIDO EN %	CALIFICACIÓN DE FLD
Menor de 2% Mayor de 10%	No aceptado
Entre 2% y 5%	Adecuado
Entre 5% y 10%	Optimo

TABLA 4.4. ILUMINANCIAS MÍNIMAS PARA LOCALES COMERCIALES E INDUSTRIALES, SEGÚN NORMA NCH ELÉCTRICA 4-2003

TIPO DE LOCAL	ILUMINANCIA [LUX]
Auditorios	300
Bancos	500
Bodegas	150
Bibliotecas públicas	400
Casinos, Restoranes, Cocina	300
Comedores	150
Fábncas en general	300
Imprentas	500
Laboratorios	500
Laboratorios de instrumentación	700
Naves de máquinas herramientas	300
Oficinas en general	400
Pasillos	50
Salas de trabajo con iluminación suplementaria en cada punto	150
Salas de dibujo profesional	500
Salas de tableros eléctricos	300
Subestaciones	300
Salas de venta	300
Talleres de servicio, reparaciones	200
Vestuarios industriales	100

muro cortina.indd 68 4/1/14 9:40 AM

Adicionalmente, se sugiere tener presente algunas recomendaciones de diseño:

Las superficies vidriadas por debajo de una altura de 0,8 m desde el piso no aportan iluminación, ni visión. Tampoco las superficies altas, sobre todo cuando hay salientes cercanos (como aleros).

También se debe considerar que los recintos muy profundos no consiguen ser iluminados por completo, por lo que conviene limitar la profundidad de la luz natural a 1,5 veces la altura de la ventana en relación al suelo. Mientras más alta se ubica la ventana respecto del nivel de piso, mayor es la profundidad de la luz en el recinto, generando una mejor distribución de iluminación interior.

Los colores claros de los locales interiores reflejan una mayor cantidad de luz, por lo que su uso incrementa el nivel lumínico y contribuye a un menor consumo de energía eléctrica.

La limpieza de los cristales es importante desde el punto de vista de la iluminación, ya que los cristales sucios pueden interceptar un alto porcentaje de luz (>10%). Por lo tanto, en todo proyecto de muro cortina, se deberá considerar el diseño de un sistema de limpieza de la fachada (con sistemas seguros, del tipo: sillín, carro limpia fachada, etc.) que permita acceder con facilidad a todas las zonas de la misma.

4.7. VIDRIOS DE BAJA EMISIVIDAD (o, Low-e)

Como se ha visto en los capítulos anteriores, las ventanas son el componente más débil o más intensivo en energía de toda la envolvente de los edificios. Como consecuencia hay una enorme oportunidad de reducción energía y de huella de carbono con la introducción de nuevas tecnologías.

Por ejemplo, considerando un clima como el de EE.UU., se ha visto en ese país que el desarrollo y penetración de los vidrios Low-E (mercado residencial > 50 % y comercial > 25 %) ha dado lugar a un gran ahorro de energía. Este éxito se atribuye en buena parte al NFRC (National Fenestration Rating Council) que ha establecido un sistema de clasificación y etiquetado de los vidrios, que es utilizado por los códigos de construcción, los programas tipo ENERGY STAR, y otros programas de eficiencia.

Más adelante se indican los valores de transmitancia térmica que es posible alcanzar con los vidrios Low-e.

4.8. CONTRIBUCIÓN DEL DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (DVH)

El sistema de doble vidriado hermético al estar constituido por un cristal de control solar en el exterior, mejora significativamente el factor solar y el coeficiente de sombra. Presenta una mejor resistencia térmica, dado por la presencia del espacio de aire o gas entre ambos cristales. Con su empleo pueden vidriarse extensas superficies, sin afectar el confort ni el consumo de energía, compensando las pérdidas en comparación a un vidrio simple.

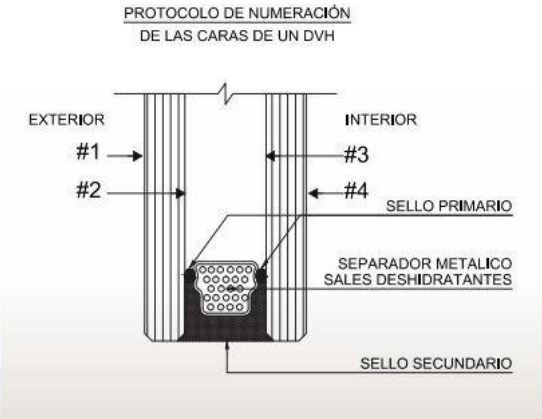


Figura 4.13. Protocolo de numeración de las caras de un DVH.

Para entender la información entregada más adelante, se debe considerar el protocolo típico de numeración de las caras de un DVH. Partiendo desde el exterior, la primera cara se numero con "1" y así sucesivamente hasta llegar a la cara interior del segundo vidrio, que en este caso recibe el número "4" (Figura 4.13).

Con respecto a los cristales de baja emisividad, éstos son utilizados regularmente 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 en general debe quedar expuesta mirando hacia el interior de la cámara de aire de un DVH.

Para mejorar la eficiencia del DVH con vidrio low-e, la capa de baja emisividad debe quedar instalada en la cara 3 para climas fríos, mientras que en climas calientes, la capa debería quedar en la cara 2.

Por otra parte, el cristal laminado proporciona una alta reducción de luz ultravioleta (UV) gracias a la presencia de la lámina de PVB que 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 aproximada se puede clasificar el desempeño de los cristales en función de sus valores de coeficiente de sombra (Tabla 4.5). Según referencia del Manual de Muros Cortina del CDT, año 2006.

muro cortina.indd 69 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.5. RECOMENDACIÓN DE COEFICIENTES DE SOMBRA

CLASIFICACIÓN DESEMPEÑO	COEF. SOMBRA
Muy Alto	< 0,30
Alto	0,35
Bueno	0,40
Moderado	0,45

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 facilitar la comparación de cristales de alto desempeño, se utiliza el INDICE DE SELECTIVIDAD que mide el porcentaje de luz sacrificado para minimizar el porcentaje de transmisión solar. Con la tecnología actual de cristales es posible tener productos que superen un índice de 2 (ejemplo: transmisión de luz del 52% con factor solar del 26%).

4.9. AISLACIÓN TÉRMICA

Una elevada aislación térmica de la envolvente resulta muy importante para reducir las pérdidas de calor durante el invierno (llamada "condición de invierno"). Este concepto fue implementado por la Reglamentación Térmica introducida el año 2007 en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) – ver artículo 4.1.10, que estableció los valores de Transmitancia térmica U (W/m2°C) que deben ser adoptados en las edificaciones residenciales, para las diferentes zonas térmicas del país.

Mediante un adecuado aislamiento térmico de la envolvente de un edificio se pueden lograr ahorros de energía por concepto de refrigeración y calefacción, crear una situación de confort térmico, prevenir problemas de humedad y evitar tensiones térmicas entre los elementos constructivos.

Es importante aprovechar tanto las características ambientales del lugar como las propiedades de los materiales que pueden aportar en alguna medida, parte de los requerimientos de calefacción y refrigeración. En este sentido, los cristales influyen directamente en las condiciones térmicas del edificio, por lo que es indispensable en la etapa de diseño conocer las pérdidas y ganancias de calor que se producen a través de él, para posteriormente elegir el tipo de cristal más adecuado.

El valor U, definido anteriormente, es la cantidad de calor ambiental que se transfiere a través del cristal desde un espacio donde hay mayor temperatura hacia un espacio donde existe menor temperatura. Se expresa en W/m2°C y mide la cantidad de Watts que pasan por un metro cuadrado de cristal por cada grado celsius de diferencia de temperatura.

En las tablas siguientes se presenta el coeficiente U de cristales (valores de transmitancia térmica según indicado en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica, OGUC artículo 4.1.10).

4.9.1 CASO: VIDRIOS MONOLÍTICOS

TABLA 4.6. VALOR U DE VIDRIOS MONOLITICOS, SEGÚN REGLAMENTACIÓN TÉRMICA (OGUC ARTÍCULO 4.1.10)

TIPO DE VIDRIO	ESPESOR (mm)	VALOR U (W/m^2K)
Monolítico incoloro	3 a 5 mm	5,8
Monolítico incoloro	6 a 8 mm	5,7
Monolítico incoloro	9 a 10 mm	5,6

4.9.2. CASO: DOBLE VIDRIO HERMÉTICO (DVH), CON CRISTALES INCOLOROS

TABLA 4.7. VALOR U DE DOBLE VIDRIO HERMÉTICO (DVH), SEGÚN REGLAMENTACIÓN TÉRMICA (OGUC ARTÍCULO 4.1.10)

TIPO DE VIDRIO	ESPESOR (mm)	VALOR U (W/m^2K)
DVH incoloro	3/10/3 5/10/5 6/10/6	3,1
DVH incoloro	3/12/3 4/12/4 5/12/5 6/12/6	2,8

CASO: doble vidrio hermético (DVH), con cristales de baja emisividad (en cara 2 o 3)

TIPO DE VIDRIO	ESPESOR (MM) (mm)	VALOR U ($W\ m^2K$)
DVH con vidrio de baja emisividad	3/12/3 4/12/4 5/12/5 6/12/6	1,8

muro cortina.indd 70 4/1/14 9:40 AM

Realizando un análisis de los tres niveles presentados (cristal monolítico, DVH con cristal incoloro y DVH con cristal de baja emisividad) los valores de transmitancia térmica U sólo varían en función de que se trate de un solo cristal o de un componente de doble vidriado hermético. En este último caso, cuando uno de sus componentes es un cristal de baja emisividad se obtienen mejores valores de aislamiento térmico.

De los valores anteriores, se concluye que el DVH con cristal de baja emisividad presenta el mejor desempeño para reducir las pérdidas calor durante el invierno. Se debe considerar que esto puede sobrecalentar edificios con cargas térmicas interiores grandes.

Por otro lado se debe tener presente que, al aumentar el espesor del cristal, la transmitancia térmica no modifica considerablemente su valor. Se considera que el aumento de espesor puede justificarse como medida de seguridad, pero no como una alternativa de aislación térmica.

4.10. TRANSMITANCIA TÉRMICA (UW) DE LA VENTANA O DEL MÓDULO DE MURO CORTINA

Los vidrios de alto rendimiento disponibles, permiten que los arquitectos puedan diseñar fachadas con grandes áreas vidriadas relativamente transparentes. Pero en la medida que las áreas acristaladas aumentan de superficie, cada vez es más difícil asegurar buenas condiciones de confort, sobre todo en las áreas perimetrales donde los vidrios están sujetos a varias influencias térmicas que derivan en una mayor fluctuación de temperatura (ver figuras 4.14 y 4.15). Por esto, resulta de importancia creciente mejorar el desempeño térmico del módulo del muro cortina no sólo en el vidrio, sino que también en los marcos y las hojas.

Para calcular el valor "U" (en W / (m² °C) total de la ventana, se debe considerar el efecto conjunto del vidrio, del marco y de las pérdidas en el perímetro; de acuerdo a la norma EN ISO 10077-1 (2000) en función de:

- Ug-valor (W / (m² °C)) en el centro del acristalamiento,
- UF -valor (W / (m² °C)) del marco de la ventana,
- El coeficiente lineal Psi (W / (m°C)) que define la pérdida térmica de borde, a través del espaciador (ver dibujo) y las áreas (m²) del marco (excepto el cristal) y el acristalamiento.

$$Uw = \frac{Ag \cdot Ug + Af \cdot Uf + Psi \cdot lg}{Ag + Af}$$

Fórmula de cálculo del valor U total de una ventana, incluyendo vidrio y marco.

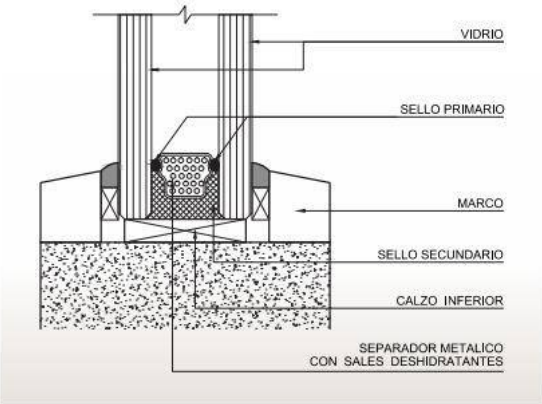


Figura 4.14. Detalle de ventana marco perimetral.

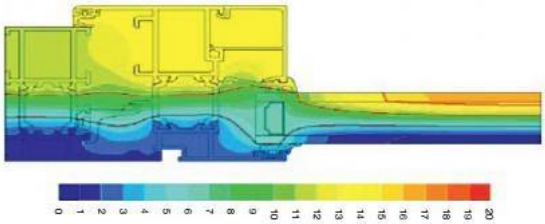


Figura 4.15. Variación de temperatura de una superficie vidriada con marco perimetral.

Opciones para el mejoramiento del valor Uw

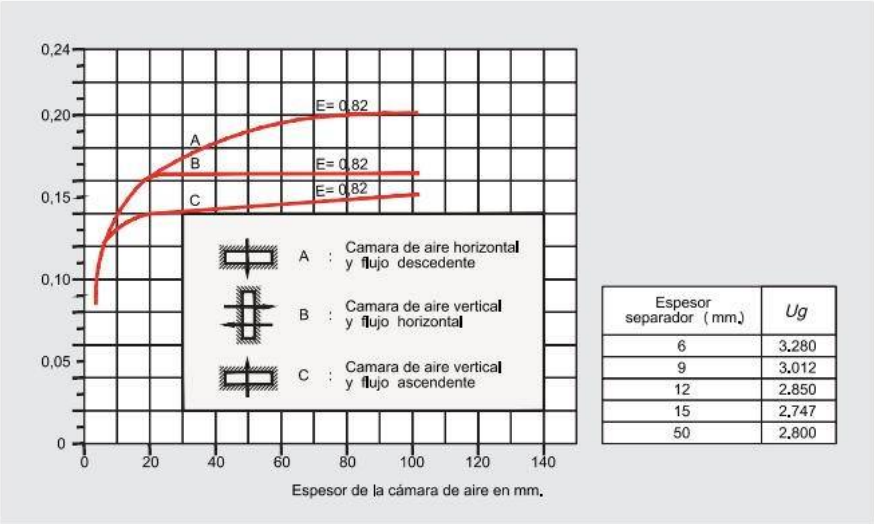
Para mejorar el valor Uw es importante intervenir en los tres componentes que inciden en su cálculo, es decir:

- **Ug** = se deberá escoger una configuración de vidrio que entregue el valor más bajo de transmitancia térmica, medido en el centro del vidrio. En el caso del DVH se deberá seleccionar el mejor ancho de cámara para aumentar la resistencia térmica (Figura 4.16).

- **Uf** = es posible recurrir al uso de un sistema de perfiles con rotura de puente térmico (con el uso de varillas separadoras de Abs, o similar), con lo cual se logra limitar significativamente el puente térmico que origina un perfil metálico que se expone exteriormente en la fachada.

- **Psi** = actualmente la tendencia es recurrir a perfiles separadores del DVH que permiten atenuar significativamente las pérdidas perimetrales. Se trata de elementos separadores conocidos como "warm edge" o similares.

muro cortina.indd 71 4/1/14 9:40 AM



Espesor separador (mm.)	*Ug*
6	3.280
9	3.012
12	2.850
15	2.747
50	2.800

Figura 4.16. Resistencia térmica de cámaras verticales no ventiladas según NCh 853Of.91

Respecto de la influencia del material del marco en el valor de transmitancia térmica total de la ventana, se puede considerar los valores de transmitancia de los perfiles entregados por la norma EN ISO 10077-1 (2000) (Tabla 4.8).

Estos son los valores "por defecto" que la norma antes citada recomienda utilizar a falta de ensayos realizado por laboratorio oficialmente reconocido.

Respecto de los valores de PSI, se calculan según lo indicado en la norma técnica "Transmisión térmica lineal en el borde del vidrio (W/mK)", EN ISO 10077- considerando un temperatura exterior (Ta) = -5°C y temperatura interior (Ti) = +20°C

En la tabla 4.9 se indican los valores de Psi para diferentes tipos de perfiles separadores.

Es decir, la nueva generación de separadores del tipo "warm edge" puede mejorar en casi un 50% el valor de Psi (W/m.°C), con lo cual se podrá reducir el efecto de condensación perimetral de los DVH.

TABLA 4.8. TRANSMITANCIA TERMICA (U) DE PERFILES, DE ACUERDO A LA NORMA EN ISO 10077-1 (2000)

MATERIAL DEL PERFIL	VALOR U (W/m^2K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4mm < d < 12mm)	4,0
Metálico RPT > 12mm	3,2
Madera Dura (p=700 Kg/m^3 y 60 mm de espesor)	2,2
Madera Blanda (p»SOO K9/m^3 y 60mm de espesor)	2,0
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

4.11. VIDRIOS DE ANTEPECHO: UNA OPCIÓN ARQUITECTÓNICA QUE TIENE BENEFICIOS DE AHORRO ENERGÉTICO

Como hemos visto antes en este capítulo, la zona de antepecho (ubicada bajo los 80 cm del piso superior, y hasta el nivel de cielo falso del piso inferior) de los muros cortina no permite la visión hacia al exterior, ni tampoco provee iluminación natural relevante a los espacios interiores. De modo que es posible en algunos edificios (donde el proyecto de arquitectura así lo considere) incorporar un vidrio de antepecho de más baja prestación y costo, y concentrar los esfuerzos de diseño y económico en incluir un vidrio de visión de alta prestación, que asegure el mayor confort posible a los ocupantes.

TABLA 4.9. VALORES PSI "TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL EN EL BORDE DEL VIDRIO (W/MK)", SEGÚN EN ISO 10077

MATERIAL DEL PERFIL SEPARADOR	VALOR PSI (W/m.°C) PARA VENTANA ALUMINIO, CON DVH	VALOR PSI (W/m.°C) PARA VENTANA PVC, CON DVH
Aluminio	0,111	0,077
Acero inoxidable	0,068	0,051
Espaciador "warm edge"	0,035 a 0,060	0,034 a 0,045

muro cortina.indd 72 4/1/14 9:40 AM

En esta situación bastará con considerar un vidrio de antepecho que sea un cristal monolítico, con un tratamiento térmico, y una pintura opacificadora que le provea un color arquitectónico-corporativo a la fachada. Adicionalmente, en la parte posterior del vidrio opacificado se podrá agregar una lana mineral (con cámara ventilada y panel de terminación interior) que permita obtener una alta resistencia térmica en esta zona de la fachada (entre 1/3 y ¼ de la altura de entrepiso). El vidrio opacificado con lana mineral tendrá un fuerte impacto en el mejoramiento energético de toda la fachada.

Existen diferentes soluciones de pinturas opacificadoras, como ser:

- **Frit cerámico**: pintura aplicada en planta industrial del procesador de vidrios, curada en horno y que se incorpora a la masa vítrea del cristal. Dispone de una gran cantidad de colores y tonos.
- **Serigrafía**: es un sistema aplicado en planta industrial del procesador de vidrios, que no permite obtener un elevado nivel de opacificado, sino más bien elementos decorativos de la fachada.
- **Silicona**: se trata de pinturas que pueden ser aplicadas directamente en el taller del fabricante, que curan a temperatura ambiente, y disponen de una gran cantidad de colores. Esta pintura opacificadora supera también pruebas de impacto en vidrios, por lo que son capaces de retener fragmentos de vidrio en caso de rotura.

4.12. PUENTE TÉRMICO EN LA FACHADA

Se considera puente térmico a zonas concretas de la envolvente del edificio en los cuales se presenta una drástica variación de la resistencia térmica, ya sea por un cambio de geometría; un cambio de los materiales empleados (penetración de la envolvente de materiales con una conductividad térmica distinta) o por un cambio en el espesor del revestimiento (ISO 7435 / NCh3136/1.Of.2008).

El contacto entre perfiles metálicos y de aluminio produce conducción de temperatura y por lo tanto reduce considerablemente las condiciones aislantes, causando potenciales condensaciones y pérdidas calóricas en los puntos afectados. Es por esto que es necesario realizar interrupciones térmicas entre los perfiles tanto de aluminio como de acero, utilizando materiales aislantes como el polietileno, poliamidas o siliconas estructurales.

Los puentes térmicos son difíciles de solucionar o evitar una vez que la obra está construida, por ello se hace importante detectarlos en etapa de diseño de manera de eliminarlos o reducir sus consecuencias negativas los cuales pueden ser tan graves como un efecto significativo sobre la demanda de energía al aumentar las pérdidas de calor o aumentar las ganancias solares durante el verano; una reducción de las temperaturas superficiales interiores; puntos fríos en el edificio; peligro de condensación interna.

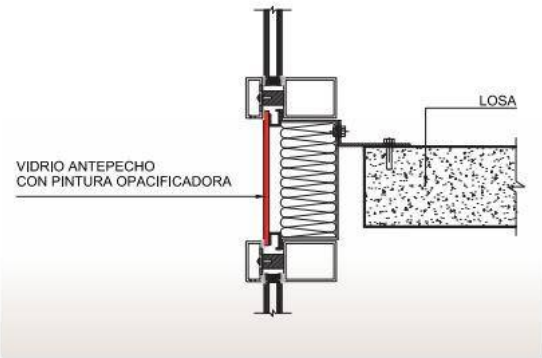


Figura 4.17. Detalle de vidrio de antepecho opacificado, frente a la losa de piso.

En caso de situaciones límite se recomienda consultar a especialistas para proponer un sistema de rotura del puente térmico.

El estudio "A Thermal Modeling Comparison of Typical Curtainwall Glazing Systems", realizado por Lawrence Carbary, GPD7 - August 2009, analiza la comparación del puente térmico generado por cuatro diferentes sistemas de muros cortina (ver figura 4.18), y a través de modelación energética se comparan sus valores de transmitancia térmica U (ver Tabla 4.10)

Las conclusiones obtenidas del estudio son:

- Cuando los burletes sufren envejecimiento UV se acelera la pérdida de energía, aumentando en más de 16%. Si además los burletes quedan sueltos y se considera la pérdida de hermeticidad, entonces la pérdida de energía sube mucho más.
- Los sistemas de muros cortina con silicona estructural y sello climático, permiten reducir la pérdida de energía en un 11% respecto de un sistema con perfiles y burletes de "alta calidad".
- El sistema con silicona estructural y sello climático reduce en 29% la pérdida de energía respecto de los sistemas con perfiles y burletes de "mala calidad".

muro cortina.indd 73 4/1/14 9:40 AM

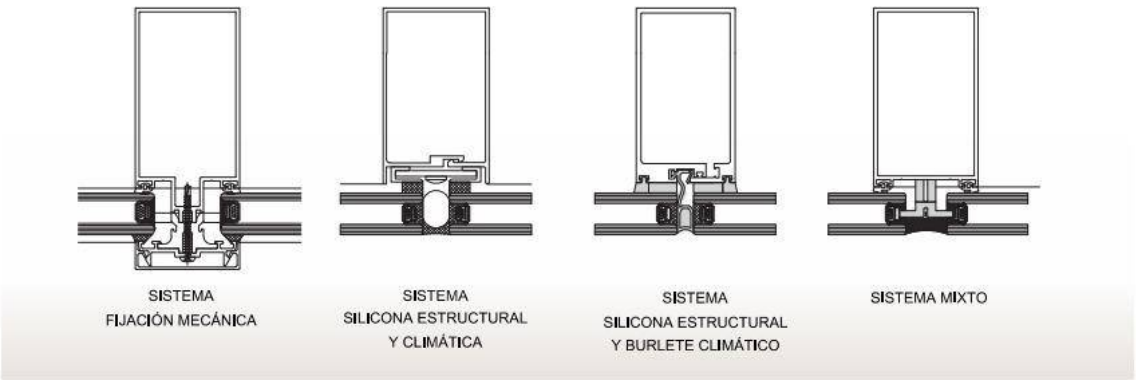


Figura 4.18. Diferentes sistemas de fijación de muros cortina.

TABLA 4.10. RESULTADOS DE MODELAMIENTO TÉRMICO DE DIFERENTES MUROS CORTINA

TYPE OF GLAZING SYSTEM	U VALUE FRAME W/nV°K	IG SPACER DESIGN	INTERIOR PROFILE TEMP °C	INTERIOR GLASS TEMP °C	VALUE* FACADE W/m²*K	OVERALL RATING **
Mechanically fixed new	3.652	Aluminum	15,91	11,19	2,05	12
	3.652	Stainless Steel	15,83	11,74	2,02	8
	3.652	Warm Edge Silicone Foam	16,35	13,55	1,88	4
Mechanically fixed aged	3.711	Aluminum	13,45	11,60	3,39	14
	3.711	Stainless Steel	13,56	11,86	2,37	13
	3.711	Warm Edge Silicone Foam	14,05	13,19	2,35	9
Structural Silicone with wet weatherseals	1.126	Aluminum	17,19	13,09	1,90	6
	1.126	Stainless Steel	17,32	13,27	1,87	3
	1.126	Warm Edge Silicone Foam	18,17	14,68	1,66	1
Structural Silicone with gasket weatherseal	1.639	Aluminum	16,88	13,09	1,96	7
	1.639	Stainless Steel	17,00	13,29	1,93	5
	1.639	Warm Edge Silicone Foam	7,94	14,67	1,70	2
Hybrid Toggle system continuous polyamide toggle	2.371	Aluminum	16,20	8,12	1,99	10
Hybrid Toggle system, toggle omitted	2.371	Aluminum	16,20	8,35	2,02	11

FUENTE: LAWRENCE CARBARY

4.13. PUENTE TÉRMICO DE LOS ELEMENTOS QUIEBRASOLES

Los elementos quiebrasoles son muy beneficiosos para reducir el sobrecalentamiento interior de los locales interiores, y por tanto contribuyen a la reducción del gasto energético; así como mejoran las condiciones de confort de los usuarios. Sin embargo, en algunas localidades, y para la condición de invierno, resulta oportuno evaluar los puentes térmicos que dichos elementos quiebrasoles pueden formar en la fachada.

Estos puentes térmicos pueden dar origen a condensación interior, o a un aumento de las cargas de calefacción del edificio.

Para evitar estos inconvenientes, se deberá realizar un diseño apropiado para cada proyecto con rotura de puente térmico.

muro cortina.indd 74 4/1/14 9:40 AM

4.14. IMPLICANCIAS DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE EN LA FACHADA Y RECOMENDACIONES DE LA NORMA NCh888.OF2000 (DEL MANUAL DE DISEÑO PASIVO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS, DIRECCIÓN ARQUITECTURA MOP)

Los documentos ordenadores de la edificación de la mayoría de los países desarrollados establecen exigencias para la hermeticidad de los edificios. En la práctica, se pide que la envolvente tenga la hermeticidad suficiente para limitar adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico, y proteja además el ambiente interior de la contaminación acústica y atmosférica. Estas exigencias se establecen en función del clima del territorio en que rigen y guardan estrecha relación además con las expectativas de calidad esperadas y las posibilidades tecnológicas y económicas. En Chile se encuentra en desarrollo un proyecto Fondef que busca establecer estas exigencias para todo el territorio nacional (Proyecto Fondef D10 I 1025: Establecimiento de clases de infiltración aceptable para Chile. 2012-2013. Proyecto ejecutado por CITEC UBB y DECON UC con el mandato de los Ministerio de Obras Públicas y de la Vivienda).

La especificación apropiada de ventanas en un proyecto de arquitectura contribuye en gran medida a conseguir edificios energéticamente eficientes, seguros y confortables. Las ventanas, y todos los elementos transparentes que conforman la envolvente, permiten el ingreso de luz natural, pero también que sucedan otros intercambios que deben saber controlarse, inhibirse o aprovecharse según se trate, a saber: ganancias solares y pérdidas térmicas, flujos de aire en ambos sentidos, agua lluvias, ruidos y contaminantes atmosféricos, etc. La elección de la ventana se transforma así en una decisión de las más relevantes.

Uno de los factores críticos son las prestaciones térmicas de las ventanas, determinadas por su comportamiento frente a los intercambios de calor por transmisión y convección a través de su estructura. El traspaso de calor por transmisión, normalmente sintetizado a través del indicador transmitancia térmica U (W/m²K) de la ventana, depende de las propiedades de conductividad térmica y ópticas de los materiales, sus espesores, cámaras de aire y diseño particular. El traspaso por convección, en tanto, se explica por el flujo de aire infiltrado a través de las juntas de unión de la ventana, depende del diseño de la perfilería, tipo de sellos y burletes, tolerancias entre hojas y marcos, entre otros factores. El flujo será mayor o menor dependiendo de su hermeticidad al aire, nombre que recibe su capacidad para oponerse a las infiltraciones de aire.

La transmisión de calor es inducida por los diferenciales de temperatura interior-exterior del edificio, y las por convección, por diferenciales de presión producidos por la acción del viento, por la diferencia de temperatura interior-exterior y/o por la operación de aparatos de ventilación mecánica.

- Infiltración producida por el viento: resultado de la presión de viento sobre la fachada del edificio. Depende de la velocidad del viento incidente, la geometría del edificio y de su grado de exposición al viento (localización respecto de los edificios cercanos y la topografía y rugosidad del terreno)
- Infiltraciones por efecto de diferencia de temperatura: infiltración por efecto convectivo, también conocida como efecto chimenea o Stack, que se explica por la relación entre la temperatura y la densidad del aire: a mayor temperatura menor es la densidad del aire, por lo que menor será el peso que ejerce la columna de fluido que queda sobre la altura considerada. En localidades en que la velocidad media del aire está sobre los 3m/s, como Concepción, Puerto Montt, Punta Arenas, prevalece el efecto de las presiones de viento sobre efecto de diferencia de temperatura.
- Es importante tener en cuenta, que en temporada de invierno en muchas zonas de la zona centro sur del país, especialmente en las más ventosas, las pérdidas por infiltración pueden superar con creces a las por transmisión.

4.14.1. HERMETICIDAD AL AIRE DE LAS VENTANAS

La hermeticidad es el término genérico que se utiliza para describir la resistencia de la ventana a las infiltraciones de aire. Mientras mayor sea la hermeticidad a un determinado diferencial de presión a través de la envolvente, menor será la infiltración. La permeabilidad al aire en tanto es la propiedad física utilizada para medir la hermeticidad al aire de la ventana. Se define como el índice de traspaso de aire por hora por m² de área de ventana a un diferencial de presión de referencia de 100 Pascales (m³/h m²). Se suele también referir a metros lineales de juntas de unión a la misma presión (m³/h m).

Estos índices de infiltración se determinan mediante ensayo en un Banco de Infiltraciones según NCh892.Of2001. En función de estos índices las ventanas se clasifican en cuatro clases como se muestra en la Tabla 4.11, conforme establece la NCh888.0f2000.

En la Tabla 4.12, se presenta un extracto de las características de hermeticidad de ventanas disponibles en el mercado nacional (nota: considerar las dimensiones de las ventanas ensayadas). Resume resultados de una muestra de 172

muro cortina.indd 75 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.11. CLASES DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS (VALORES MEDIDOS A 100 PA), SEGÚN NCH888.0F2000

TIPO	CAUDAL MÁXIMO DE AIRE POR SUPERFICIE DE HOJA ($m^3/H\ m^2$)	CAUDAL MÁXIMO DE AIRE POR METRO LINEAL DE JUNTA ($m^3/H\ m^2$)
60 a (mínimo)	60	12
30 a (normal)	30	6
60 a (especial)	10	2
60 a (reforzado)	7	1,4

TABLA 4.12. VALORES DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE VENTANAS MEDIDOS EN EL LABORATORIO UNIV. DEL BIOBÍO

TIPO	PERMEABILIDAD AL AIRE A 100 PA ($m^3/H\ m^2$)			
	MÍNIMA	MÁXIMA	PROMEDIO	N°DE CASOS
Abatir	0,2	6,6	3,4	2
Corredera 2 hojas (1 fija, 1 móvil)	0,7	44,8	12,9	112
Corredera 2 hojas móviles	6,8	113,9	23,4	29
Guillotina	3,8	28,6	197	12
Oscilo batiente	0,7	4,4	2,9	3
Proyectante	1,7	15,7	7,6	10
Proyectante doble contacto	1,3	11,2	4,5	4

FUENTE: U. DEL BIO-BÍO

tipos de ventanas de aluminio y PVC, ensayadas entre los años 2010-2012 en el Banco de Infiltraciones de CITEC UBB en la Universidad del Bío-Bío. Trabajo realizado por encargo de distintos fabricantes locales.

De la muestra se infiere que la forma de apertura determina mucha de la capacidad de la ventana para oponerse a las infiltraciones de aire. Es alta además la dispersión de valores entre ventanas de un mismo tipo y distintas líneas y fabricantes, lo que da cuenta también de diferencias en calidad de diseños y ejecución.

Se observa que las ventanas oscilo batientes presentan los mejores valores de hermeticidad, seguidas por las de abatir y proyectantes. Por contraparte las de corredera y guillotina son las menos herméticas. De la muestra, que reúne la mayoría de las líneas y productos ventanas disponibles en el mercado nacional, se deducen diferencias de hermeticidad importantes en todo el rango de tipos de ventanas considerados.

Estas diferencias se aprecian significativas y refuerzan la idea de una adecuada elección de las características permeables de las ventanas en un proyecto con objetivos de eficiencia energética. Definida las exigencias mínimas que debiera cumplir un proyecto en una zona determinada, el responsable del proyecto debiera exigir los certificados que den cuenta del cumplimiento de la exigencia.

4.14.2. ELECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN TÉRMICA DE LA VENTANA

El primer criterio de selección es: la ventana debe tener una transmitancia térmica U (W/m^2K) certificada, igual o menor a la transmitancia térmica máxima recomendada por la NCh1079Of.2008 para la localidad donde se emplace el edificio. La tabla 4.13 define esos valores mínimos.

El traspaso de calor por transmisión a través de las ventanas o muros cortina está determinado principalmente por la transmitancia térmica del vidrio utilizado, ya que su superficie expuesta es mucho mayor que la del marco o perfilería. La variación en el espesor del vidrio no genera variaciones apreciables en el valor U de la ventana o muro cortina, ya que siempre se utilizan espesores reducidos en comparación con espesores de otros materiales. Cambios más significativos se generan reduciendo la emisividad de los vidrios o utilizando doble o triple vidriado hermético.

La transmitancia térmica de la ventana, finalmente, es igual a la suma ponderada de la transmitancia térmica de los vidrios más la de los marcos. La transmitancia de los marcos, según materialidad y diseño puede ser significativamente distinta, no obstante el impacto térmico es casi siempre relativamente bajo. La reducción del valor U nunca superan el 10% y dada la normalmente baja relación superficie vidrio/perfilería. Una estructura térmicamente protegida permite

muro cortina.indd 76 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.13. VALORES DE TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA RECOMENDADA POR LA NCH1079OF.2008

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m²k)	5,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,4	2,4

TABLA 4.14. VALORES DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS (W), PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE VIENTO Y CONDICIONES

VELOCIDAD DE VIENTO (KM/H)	PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN (W)	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (W)	PÉRDIDAS TOTALES (W)
9,2 (1)	82,5	25,8	108,3
18,2 (2)	82,5	64,0	146,5
31,5 (3)	82,5	133,0	215,5

(1) Velocidad en condición de calma, 10% del tiempo, (2) Velocidad media durante el mes de Julio y (3) Velocidad media en la dirección principal (N), 26% del tiempo.

corregir puentes térmicos y reducir los efectos dañinos de la condensación de vapor acuoso en la ventana y alfeizar, lo que en algunas zonas del territorio nacional puede ser un problema importante.

4.14.3. COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE VERSUS VALORES DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

Las pérdidas de energía debido a infiltración de aire se pueden estimar en base a las siguientes fórmulas:

- Pérdida por transmisión: Pt = U A (Ti-Te).
- Pérdida por infiltración: Pi = CvQp (Ti-Te).
- Caudal de aire a la presión P: Qp= Q100 (P/100) en que el Q100 = caudal de aire a la presión de 100 Pascales, y Cv = calor específico del aire (34 W/m °C).

¿Qué sucede bajo otras condiciones, por ejemplo, en la ciudad de Concepción?

Dentro de ciertas aproximaciones, se observa en la Tabla 4.14 que en los casos críticos de invierno en Concepción, que coinciden con los eventos de mal tiempo y alta demanda de calefacción, las pérdidas por infiltración en ventanas de estas características de permeabilidad, puedan llegar a ser un 60% superiores a las por transmisión, que ya de por sí son altas.

4.15. CONTRIBUCIÓN DE LOS MUROS CORTINA A LA SUSTENTABILIDAD DEL EDIFICIO (SEGÚN LEED)

Crecientemente vemos que la edificación tiene un fuerte impacto en el uso de los recursos disponibles en el mundo. En la página Internet de la ACHEE (Asociación Chilena de Eficiencia Energética) se indica que de acuerdo al Balance Nacional de Energía del año 2011 (BNE) este sector representa un 26% del consumo total de energía del país.

Además, según datos entregados por el Programa de Estudios y Energía de la Universidad de Chile (PRIEN) en el año 2008, el sector edificación representa el 18% del total nacional del potencial de eficiencia energética al año 2020, siendo el segundo después del sector industrial y minero.

Una respuesta a este cuadro de limitación creciente de recursos, y a la necesidad impostergable de atenuar los niveles de CO_2 en el mundo, es que la industria de la construcción ha desarrollado nuevas prácticas más sustentables con el ambiente y el desarrollo futuros.

La construcción sustentable es la práctica de crear estructuras y usar procesos que reducen el efecto negativo en el medio ambiente natural y en la salud de las personas por:

- El uso eficiente de la energía, el agua, los materiales y el terreno
- Proteger la salud de los ocupantes y mejorar su productividad
- Reducir los residuos y la contaminación que produce cada edificio

La construcción sustentable considera el ciclo de vida desde la elección de terreno, el diseño, la construcción, la operación y mantenimiento, la demolición y desmantelamiento. Un edificio diseñado y construido sustentablemente, permite alcanzar algunos importantes beneficios:

- Reduce el impacto al medio ambiente
- Tiene un desempeño optimizado de su consumo energético
- Aumenta las tasas de ocupación
- Reduce los costos operacionales
- Aumenta el valor de los activos

muro cortina.indd 77 4/1/14 9:40 AM

- Aumentar el bienestar de los usuarios
- Aumenta la productividad
- Reduce el ausentismo laboral

En la actualidad, existen diferentes sistemas de certificación de la sustentabilidad de un proyecto de construcción tales como LEED, PASSIVE HAUS, BREEN, etc. La certificación LEED ("Leadership in Energy & Environmental Design") es un sistema de certificación de edificios "verdes" internacionalmente reconocida, que fue desarrollada por la USGBC (Consejo de Construcción Sustentable de Estados Unidos) en marzo de 2000.

Su misión es transformar la manera en que los edificios son diseñados, construidos y operados, permitiendo la responsabilidad social y medio ambiental que mejora la calidad de vida.

La certificación provee la revisión de un tercero que evalúa si el edificio cumple con los estándares básicos de sustentabilidad: cuantificación del ahorro energético, ahorro de recursos naturales, valoración de los beneficios a la comunidad y a los ocupantes.

Los niveles de certificación LEED de un proyecto pueden ser:

- Certificación Basica (40 - 49 puntos)
- Certificación Silver (50 - 59 puntos)
- Certificación Gold (60 - 79 puntos)
- Certificación Platinum (80 - 110 puntos)

La Tabla 4.15 muestra el proceso de certificación LEED, que considera siete categorías de evaluación que pueden entregar hasta un máximo de 110 puntos, de las cuales las cinco primeras otorgan una mayor cantidad de créditos al proyecto (100 puntos).

El muro cortina puede brindar una importante contribución en varias categorías (3, 4 y 5), sin embargo, la más relevante puede ser en la categoría N° 3, Energía y Atmósfera; para lo cual es importante tener presente que LEED considera los siguientes criterios:

- Menor consumo de energía.
- Fomentar las energías renovables.
- Inspeccionar los sistemas energéticos ("commissioning", o durante la puesta en marcha).
- No usar refrigerantes con clorofluorocarburos (CFC).

Para conocer los detalles de las categorías 4 y 5, se recomienda revisar la documentación digital del presente Manual de Muros Cortina.

TABLA 4.15. CRÉDITOS ASIGNADOS A LAS CATEGORÍAS DEFINIDAS POR SISTEMA LEED

N. CATEGORÍA	PRE-REQUISITOS	CRÉDITOS PUNTAJE MÍNIMO	CRÉDITOS PUNTAJE MÁXIMO
1 Sitio Sustentable	1	14	26
2 Eficiencia Uso Agua	1	3	10
3 Energía y Atmósfera	3	6	35
4 Materiales y Recursos	1	8	14
5 Calidad del Aire y el Ambiente Interior	2	15	15
6 Innovación y Diseño		6	6
7 Prioridad Regional		4	4
TOTAL	**8**	**56**	**110**

4.16. DATOS ESTADÍSTICOS DE RADIACIÓN SOLAR EN EDIFICIOS

La información estadística de la energía solar disponible en nuestro territorio resultado de utilidad para proyectos de iluminación natural y en aplicaciones de calentamiento pasivo de escuelas, edificios, hoteles, industria, etc., pero también en otros casos como de temperado solar de piscinas, agua caliente sanitaria.

Para el diseño bioclimático en arquitectura es necesario disponer de los valores de radiación total y difusa, en diferentes planos, para la localidad de emplazamiento del proyecto. El registro solarimétrico nacional, dependiente del Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Santa María, está disponible en la dirección Internet www.labsolar.utfsm.cl y pone a disposición la información estadística de la energía solar en Chile.

En la Tabla 4.16 se indican los datos de **Irradiación Global Mensual y Anual (kWh/m²)** en diferentes inclinaciones y azimut, para la localidad: **Santiago –Estación de Tobalaba, latitud: 33,45° Sur**. Para otras ciudades, se recomienda consultar la versión digital del presente Manual, o bien el sitio Internet del Registro Solarimétrico.

Y a continuación, en las Tablas 4.17 a 4.28 se indican los valores de **Radiación Total Horaria (W/m²)**, promedio mensual para distintas orientaciones (azimut, AZ) e inclinaciones de superficies, para la localidad: **Santiago, latitud: 33,45° Sur**. Para otras ciudades, se recomienda consultar la versión digital del presente Manual, o bien el sitio Internet del Registro Solarimétrico.

muro cortina.indd 78 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4,16, VALORES DE IRRADIACIÓN GLOBAL MENSUAL Y ANUAL (kWh/m²) **Estación: Tobalaba, Santiago**

Az	INCL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	23	184,2	166,3	133,3	107,6	81,5	61,8	73,6	94,9	119,7	146,2	173,9	192,6	**1535,5**
180	**33**	174,0	160,3	132,1	110,1	85,1	65,0	77,3	97,7	119,9	142,1	165,1	180,6	**1509,2**
al	**43**	160,4	150,9	128,2	110,2	87,0	66,8	79,3	98,5	117,6	135,3	153,0	165,1	**1452,4**
Norte	**53**	143,8	138,7	121,8	108,1	86,9	67,3	79,6	97,3	113,0	125,9	138,0	146,6	**1366,9**
	90	71,5	72,0	76,8	79,3	69,7	55,8	65,1	74,1	75,6	71,5	69,8	71,0	**852,2**
	23	180,7	163,7	129,4	104,4	77,6	59,0	70,0	91,7	115,7	143,9	170,8	188,5	**1495,4**
	33	168,9	156,5	126,3	105,4	79,5	60,9	72,0	93,1	114,1	138,7	160,5	174,9	**1450,8**
150	**43**	160,8	148,3	120,8	104,1	79,7	61,5	72,5	92,6	110,2	131,7	152,7	166,7	**1401,4**
	53	147,3	136,0	113,4	100,8	78,3	60,9	71,5	90,1	104,5	121,6	140,0	152,3	**1316,6**
	90	98,4	92,6	84,4	70,8	57,5	47,5	54,5	62,6	78,4	84,9	94,3	78,3	**904,1**
	23	178,2	160,3	123,5	97,8	70,8	53,7	63,6	85,4	109,5	140,4	168,1	186,4	**1437,6**
	33	174,9	155,0	119,8	97,1	69,2	53,1	62,6	84,4	107,7	134,0	165,5	182,3	**1405,6**
120	**43**	166,0	151,3	123,6	91,5	70,3	54,0	63,9	81,1	108,5	133,9	157,0	172,8	**1373,8**
	53	169,8	145,8	113,9	93,6	72,9	56,1	66,4	83,3	102,9	124,8	161,2	176,5	**1367,3**
	90	122,0	111,4	88,7	71,4	53,8	40,5	48,4	62,6	79,6	97,1	115,5	127,3	**1018,2**
	23	177,5	156,8	117,3	89,9	63,5	48,6	57,4	77,7	102,8	136,6	166,8	186,5	**1381,3**
	33	178,0	149,0	118,9	87,2	66,2	46,6	58,0	77,6	103,2	131,1	166,1	185,6	**1367,5**
90	**43**	171,0	154,3	113,7	89,2	63,0	48,7	57,3	75,7	102,6	130,8	161,9	178,0	**1346,2**
	53	160,6	147,4	114,6	85,9	66,7	44,2	57,0	76,9	98,7	130,3	152,2	167,2	**1301,8**
	90	142,5	137,0	89,6	70,0	54,9	41,4	49,3	62,1	76,8	113,8	136,4	147,8	**1121,7**
	23	184,9	154,4	111,3	76,3	51,3	37,6	45,2	65,1	95,0	132,5	171,5	197,6	**1322,9**
0	**33**	175,1	142,9	99,9	64,3	41,9	31,6	37,1	54,3	83,8	122,2	161,6	188,1	**1202,8**
al	**43**	161,8	128,6	86,9	52,5	34,2	27,7	31,5	44,8	71,3	109,6	148,7	174,8	**1072,4**
Sur	**53**	145,4	112,0	72,5	42,0	32,7	26,4	30,1	38,9	58,1	95,3	132,8	158,0	**944,1**
	90	82,3	57,7	44,7	33,5	25,7	20,4	23,5	30,6	39,5	52,2	74,6	89,1	**573,7**

muro cortina.indd 79 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.17. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **ENERO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		113,0	254,0	408,4	558,7	685,2	769,7	799,3	769,7	685,2	558,7	408,4	254,0	113,0
180 al NORTE	23	92,6	228,5	383,1	539,3	674,6	766,6	799,3	766,6	674,6	539,3	383,1	228,5	92,6
	33	81,6	211,1	360,2	512,6	645,8	737,0	769,4	737,0	645,8	512,6	360,2	211,1	81,6
	43	77,8	190,6	331,1	476,0	603,5	691,3	722,5	691,3	603,5	476,0	331,1	190,6	77,8
	90	54,5	109,1	153,2	209,4	270,8	313,6	329,0	313,6	270,8	209,4	153,2	109,1	54,5
-135 NO	90	54,5	109,1	153,2	182,7	199,2	206,9	293,9	374,1	410,4	392,1	323,2	222,3	115,3
135 NE	90	115,3	222,3	323,2	392,1	410,4	374,1	293,9	206,9	199,2	182,7	153,2	109,1	54,5
-90 O	90	54,5	109,1	153,2	182,7	199,2	206,9	209,1	336,6	426,2	452,0	406,4	305,0	180,9
90 E	90	180,9	305,0	406,4	452,0	426,2	336,6	209,1	206,9	199,2	182,7	153,2	109,1	54,5
-45 SO	90	54,5	109,1	153,2	182,7	199,2	206,9	209,1	223,2	309,0	354,2	341,3	273,0	172,5
45 SE	90	172,5	273,0	341,3	354,2	309,0	223,2	209,1	206,9	199,2	182,7	153,2	109,1	54,5
0 SUR	90	94,9	145,0	166,0	182,7	199,2	206,9	209,1	206,9	199,2	182,7	166,0	145,0	94,9

TABLA 4.18. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **FEBRERO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		65,6	199,5	350,3	499,7	626,8	712,2	742,4	712,2	626,8	499,7	350,3	199,5	65,6
180 al NORTE	23	56,1	187,8	341,8	500,5	639,7	735,2	769,2	735,2	639,7	500,5	341,8	187,8	56,1
	33	50,8	177,7	327,9	484,5	623,0	718,6	752,7	718,6	623,0	484,5	327,9	177,7	50,8
	43	48,4	165,0	308,4	459,0	593,3	686,4	719,6	686,4	593,3	459,0	308,4	165,0	48,4
	90	33,5	91,8	162,2	243,7	316,2	366,5	384,5	366,5	316,2	243,7	162,2	91,8	33,5
-135 NO	90	33,5	91,8	141,3	175,7	195,3	231,6	332,6	406,4	431,2	396,8	310,8	197,2	85,8
135 NE	90	85,8	197,2	310,8	396,8	431,2	406,4	332,6	231,6	195,3	175,7	141,3	91,8	33,5
-90 O	90	33,5	91,8	141,3	175,7	195,3	204,4	207,0	328,0	407,9	420,3	360,2	249,1	125,1
90 E	90	125,1	249,1	360,2	420,3	407,9	328,0	207,0	204,4	195,3	175,7	141,3	91,8	33,5
-45 SO	90	33,5	91,8	141,3	175,7	195,3	204,4	207,0	204,4	260,1	300,5	281,3	208,8	110,8
45 SE	90	110,8	208,8	281,3	300,5	260,1	204,4	207,0	204,4	195,3	175,7	141,3	91,8	33,5
0 SUR	90	51,2	100,0	141,3	175,7	195,3	204,4	207,0	204,4	195,3	175,7	141,3	100,0	51,2

muro cortina.indd 80 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.19. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **MARZO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		10,3	118,6	245,8	375,1	487,0	563,0	589,9	563,0	487,0	375,1	245,8	118,6	10,3
180 al NORTE	23	9,5	117,1	247,7	385,4	508,4	593,7	624,2	593,7	508,4	385,4	247,7	117,1	9,5
	33	8,9	113,7	242,1	378,8	502,0	588,1	619,0	588,1	502,0	378,8	242,1	113,7	8,9
	43	8,5	108,7	232,7	365,8	486,4	571,0	601,5	571,0	486,4	365,8	232,7	108,7	8,5
	90	5,8	70,2	149,8	234,1	309,6	362,2	381,1	362,2	309,6	234,1	149,8	70,2	5,8
-135 NO	90	5,8	62,6	119,1	165,0	195,8	263,0	333,1	373,6	367,6	311,6	219,5	116,8	28,6
135 NE	90	28,6	116,8	219,5	311,6	367,6	373,6	333,1	263,0	195,8	165,0	119,1	62,6	5,8
-90 O	90	5,8	62,6	119,1	165,0	195,8	212,3	217,4	290,6	324,9	303,3	230,3	131,7	39,3
90 E	90	39,3	131,7	230,3	303,3	324,9	290,6	217,4	212,3	195,8	165,0	119,1	62,6	5,8
-45 SO	90	5,8	62,6	119,1	165,0	195,8	212,3	217,4	212,3	206,6	214,0	176,1	106,1	30,4
45 SE	90	30,4	106,1	176,1	214,0	206,6	212,3	217,4	212,3	195,8	165,0	119,1	62,6	5,8
0 SUR	90	7,0	62,6	119,1	165,0	195,8	212,3	217,4	212,3	195,8	165,0	119,1	62,6	7,0

TABLA 4.20. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **ABRIL** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL			51,6	155,0	264,2	360,7	427,0	450,7	427,0	360,7	264,2	155,0	51,6	
180 al NORTE	23		53,2	159,8	276,6	383,5	458,9	486,1	458,9	383,5	276,6	159,8	53,2	
	33		52,7	158,0	274,8	382,7	459,3	487,1	459,3	382,7	274,8	158,0	52,7	
	43		51,5	153,9	268,5	375,3	451,4	479,1	451,4	375,3	268,5	153,9	51,5	
	90		37,7	109,3	189,6	264,1	317,0	336,2	317,0	264,1	189,6	109,3	37,7	
-135 NO	90		29,0	82,3	130,5	178,8	243,1	294,2	314,5	291,8	228,3	141,6	56,5	
135 NE	90		56,5	141,6	228,3	291,8	314,5	294,2	243,1	178,8	130,5	82,3	29,0	
-90 O	90		29,0	82,3	130,5	165,9	186,5	193,0	236,9	245,8	209,8	139,1	59,2	
90 E	90		59,2	139,1	209,8	245,8	236,9	193,0	186,5	165,9	130,5	82,3	29,0	
-45 SO	90		29,0	82,3	130,5	165,9	186,5	193,0	186,5	165,9	144,8	103,3	44,1	
45 SE	90		44,1	103,3	144,8	165,9	186,5	193,0	186,5	165,9	130,5	82,3	29,0	
0 SUR	90		29,0	82,3	130,5	165,9	186,5	193,0	186,5	165,9	130,5	82,3	29,0	

muro cortina.indd 81 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.21. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **MAYO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL			8,4	78,7	156,0	225,9	274,6	292,0	274,6	225,9	156,0	78,7	8,4	
180	23		9,4	79,5	158,2	231,2	283,1	301,8	283,1	231,2	158,2	79,5	9,4	
al	33		9,6	78,1	155,6	228,1	280,0	298,8	280,0	228,1	155,6	78,1	9,6	
NORTE	43		9,7	75,7	151,0	221,9	272,8	291,3	272,8	221,9	151,0	75,7	9,7	
	90		8,2	54,1	107,3	157,8	194,4	207,7	194,4	157,8	107,3	54,1	8,2	
-135 NO	90		4,9	45,5	87,8	131,8	169,7	192,2	191,1	163,8	116,0	61,0	12,5	
135 NE	90		12,5	61,0	116,0	163,8	191,1	192,2	169,7	131,8	87,8	45,5	4,9	
-90 O	90		4,9	45,5	87,8	123,4	146,6	154,5	161,8	146,1	108,3	58,8	12,4	
90 E	90		12,4	58,8	108,3	146,1	161,8	154,5	146,6	123,4	87,8	45,5	4,9	
-45 SO	90		4,9	45,5	87,8	123,4	146,6	154,5	146,6	123,4	88,5	48,8	7,9	
45 SE	90		7,9	48,8	88,5	123,4	146,6	154,5	146,6	123,4	87,8	45,5	4,9	
0 SUR	90		4,9	45,5	87,8	123,4	146,6	154,5	146,6	123,4	87,8	45,5	4,9	

TABLA 4.22. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **JUNIO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL				50,6	112,4	169,1	208,8	223	208,8	169,1	112,4	50,6		
180	23			50,7	112 2	169,5	210,3	225	210,3	169,5	112,2	50,7		
al	33			49,7	109,8	166,1	206,3	220,9	206,3	166,1	109,8	49,7		
NORTE	43			48,1	106	160,5	199,6	213,9	199,6	160,5	106,0	48,1		
	90			34,3	74,4	112,7	140,4	150,5	140,4	112,7	74,4	34,3		
-135 NO	90			29,7	65,6	101,3	129,3	143,2	138,5	114,8	77,9	37,4		
135 NE	90			37,4	77,9	114,8	138,5	143,2	129,3	101,3	65,6	29,7		
-90 O	90			29,7	65,3	96,8	118,1	125,6	124,6	106,3	73,9	36		
90 E	90			36	73,9	106,3	124,6	125,6	118,1	96,8	65,3	29,7		
-45 SO	90			29,7	65,3	96,8	118,1	125,6	118,1	96,8	65,3	30,9		
45 SE	90			30,9	65,3	96,8	118,1	125,6	118,1	96,8	65,3	29,7		
0 SUR	90			29,7	65,3	96,8	118,1	125,6	118,1	96,8	65,3	29,7		

muro cortina.indd 82 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.23. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **JULIO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL			0,5	64,1	135,1	199,7	244,9	261,1	244,9	199,7	135,1	64,1	0,5	
180	23		1,6	64,8	136,6	203,6	251,3	268,6	251,3	203,6	136,6	64,8	1,6	
al	33		2,0	63,6	134,2	200,6	248,2	265,5	248,2	200,6	134,2	63,6	2,0	
NORTE	43		2,4	61,7	130,2	194,9	241,6	258,6	241,6	194,9	130,2	61,7	2,4	
	90		3,2	44,3	92,6	138,9	172,5	184,8	172,5	138,9	92,6	44,3	3,2	
-135 NO	90		0,3	37,3	77,0	118,4	152,7	172,0	169,4	143,0	99,0	49,4	6,7	
135 NE	90		6,7	49,4	99,0	143,0	169,4	172,0	152,7	118,4	77,0	37,3	0,3	
-90 O	90		0,3	37,3	76,9	111,0	133,4	141,2	145,2	128,4	92,5	47,4	6,4	
90 E	90		6,4	47,4	92,5	128,4	145,2	141,2	133,4	111,0	76,9	37,3	0,3	
-45 SO	90		0,3	37,3	76,9	111,0	133,4	141,2	133,4	111,0	76,9	39,5	2,5	
45 SE	90		2,5	39,5	76,9	111,0	133,4	141,2	133,4	111,0	76,9	37,3	0,3	
0 SUR	90		0,3	37,3	76,9	111,0	133,4	141,2	133,4	111,0	76,9	37,3	0,3	

TABLA 4.24. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **AGOSTO** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL			27,6	110,4	199,3	278,6	333,4	352,9	333,4	278,6	199,3	110,4	27,6	
180	23		28,4	111,6	203,3	287,4	346,7	368,2	346,7	287,4	203,3	111,6	28,4	
al	33		28,1	109,6	200,2	284,1	343,7	365,3	343,7	284,1	200,2	109,6	28,1	
NORTE	43		27,5	106,2	194,4	276,6	335,3	356,7	335,3	276,6	194,4	106,2	27,5	
	90		20,4	75,2	137,1	195,1	236,6	251,7	236,6	195,1	137,1	75,2	20,4	
-135 NO	90		16,1	62,5	108,5	154,9	200,0	229,8	233,7	206,4	153,0	87,7	27,6	
135 NE	90		27,6	87,7	153,0	206,4	233,7	229,8	200,0	154,9	108,5	62,5	16,1	
-90 O	90		16,1	62,5	108,5	145,7	169,0	176,9	192,9	182,1	142,8	85,5	28,1	
90 E	90		28,1	85,5	142,8	182,1	192,9	176,9	169,0	145,7	108,5	62,5	16,1	
-45 SO	90		16,1	62,5	108,5	145,7	169,0	176,9	169,0	145,7	112,5	69,8	21,5	
45 SE	90		21,5	69,8	112,5	145,7	169,0	176,9	169,0	145,7	108,5	62,5	16,1	
0 SUR	90		16,1	62,5	108,5	145,7	169,0	176,9	169,0	145,7	108,5	62,5	16,1	

muro cortina.indd 83 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.25. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **SEPTIEMBRE** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL			80,8	187,7	298,0	394,2	459,8	483,1	459,8	394,2	298,0	187,7	80,8	
180	23		80,3	188,5	303,4	406,6	478,5	504,3	478,5	406,6	303,4	188,5	80,3	
al	33		78,3	184,3	298,1	400,9	473,0	499,0	473,0	400,9	298,1	184,3	78,3	
NORTE	43		75,2	177,7	288,2	388,8	459,6	485,1	459,6	388,8	288,2	177,7	75,2	
	90		51,1	119,8	193,4	259,9	306,5	323,3	306,5	259,9	193,4	119,8	51,1	
-135 NO	90		45,3	100,1	149,3	187,1	245,6	291,4	309,5	289,4	232,6	153,1	71,8	
135 NE	90		71,8	153,1	232,6	289,4	309,5	291,4	245,6	187,1	149,3	100,1	45,3	
-90 O	90		45,3	100,1	149,3	185,9	207,5	214,6	252,7	258,2	222,9	155,3	76,9	
90 E	90		76,9	155,3	222,9	258,2	252,7	214,6	207,5	185,9	149,3	100,1	45,3	
-45 SO	90		45,3	100,1	149,3	185,9	207,5	214,6	207,5	185,9	170,1	125,1	63,6	
45 SE	90		63,6	125,1	170,1	185,9	207,5	214,6	207,5	185,9	149,3	100,1	45,3	
0 SUR	90		45,3	100,1	149,3	185,9	207,5	214,6	207,5	185,9	149,3	100,1	45,3	

TABLA 4.26. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **OCTUBRE** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		38,6	147,2	271,1	395,0	500,9	572,4	597,6	572,4	500,9	395,0	271,1	147,2	38,6
180	23	35,5	141,9	266,2	393,9	506,1	583,2	610,7	583,2	506,1	393,9	266,2	141,9	35,5
al	33	33,4	136,3	257,3	382,7	493,7	570,3	597,7	570,3	493,7	382,7	257,3	136,3	33,4
NORTE	43	31,8	128,9	244,7	365,4	472,7	547,2	573,9	547,2	472,7	365,4	244,7	128,9	31,8
	90	21,6	78,7	149,8	222,4	286,0	329,8	345,4	329,8	286,0	222,4	149,8	78,7	21,6
-135 NO	90	21,6	78,4	134,8	181,7	214,6	256,5	314,3	346,5	339,7	291,5	212,5	122,6	41,6
135 NE	90	41,6	122,6	212,5	291,5	339,7	346,5	314,3	256,5	214,6	181,7	134,8	78,4	21,6
-90 O	90	21,6	78,4	134,8	181,7	214,6	233,1	239,0	296,7	320,2	296,4	229,7	140,6	54,5
90 E	90	54,5	140,6	229,7	296,4	320,2	296,7	239,0	233,1	214,6	181,7	134,8	78,4	21,6
-45 SO	90	21,6	78,4	134,8	181,7	214,6	233,1	239,0	233,1	238,7	234,0	191,3	122,2	48,1
45 SE	90	48,1	122,2	191,3	234,0	238,7	233,1	239,0	233,1	214,6	181,7	134,8	78,4	21,6
0 SUR	90	26,2	78,4	134,8	181,7	214,6	233,1	239,0	233,1	214,6	181,7	134,8	78,4	26,2

muro cortina.indd 84 4/1/14 9:40 AM

TABLA 4.27. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **NOVIEMBRE** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		93,3	223,9	367,8	508,7	627,5	707,0	735,0	707,0	627,5	508,7	367,8	223,9	93,3
180	23	80,1	206,3	350,1	495,5	621,7	707,7	738,2	707,7	621,7	495,5	350,1	206,3	80,1
al	33	72,6	193,4	332,4	474,3	598,4	683,6	713,9	683,6	598,4	474,3	332,4	193,4	72,6
NORTE	43	69,2	177,8	309,2	444,4	563,4	645,4	674,7	645,4	563,4	444,4	309,2	177,8	69,2
	90	47,9	104,9	154,4	221,5	282,0	323,8	338,7	323,8	282,0	221,5	154,4	104,9	47,9
-135 NO	90	47,9	104,9	154,4	190,4	212,5	223,6	306,0	368,3	389,1	360,0	287,3	189,9	91,7
135 NE	90	91,7	189,9	287,3	360,0	389,1	368,3	306,0	223,6	212,5	190,4	154,4	104,9	47,9
-90 O	90	47,9	104,9	154,4	190,4	212,5	223,6	226,9	328,1	392,6	399,1	344,2	245,8	134,6
90 E	90	134,6	245,8	344,2	399,1	392,6	328,1	226,9	223,6	212,5	190,4	154,4	104,9	47,9
-45 SO	90	47,9	104,9	154,4	190,4	212,5	223,6	226,9	226,7	290,7	316,0	290,0	219,2	126,6
45 SE	90	126,6	219,2	290,0	316,0	290,7	226,7	226,9	223,6	212,5	190,4	154,4	104,9	47,9
0 SUR	90	72,5	125,5	156,3	190,4	212,5	223,6	226,9	223,6	212,5	190,4	156,3	125,5	72,5

TABLA 4.28. VALORES DE RADIACIÓN TOTAL HORARIA **DICIEMBRE** (W/m²) – SANTIAGO

AZ	INCL	HORA SOLAR												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HORIZONTAL		123,5	262,6	413,9	560,5	683,6	765,6	794,4	765,6	683,6	560,5	413,9	262,6	123,5
180	23	101,2	234,5	384,9	535,9	666,1	754,6	786,0	754,6	666,1	535,9	384,9	234,5	101,2
al	33	89,1	215,9	360,5	507,3	635,1	722,4	753,4	722,4	635,1	507,3	360,5	215,9	89,1
NORTE	43	85,0	194,2	329,9	468,9	590,9	674,6	704,4	674,6	590,9	468,9	329,9	194,2	85,0
	90	59,5	113,4	157,3	199,9	257,2	297,0	311,3	297,0	257,2	199,9	157,3	113,4	59,5
-135 NO	90	59,5	113,4	157,3	187,2	204,3	212,6	283,1	359,1	393,8	377,2	312,9	218,0	116,4
135 NE	90	116,4	218,0	312,9	377,2	393,8	359,1	283,1	212,6	204,3	187,2	157,3	113,4	59,5
-90 O	90	59,5	113,4	157,3	187,2	204,3	212,6	214,9	335,4	419,4	443,1	399,4	302,8	184,0
90 E	90	184,0	302,8	399,4	443,1	419,4	335,4	214,9	212,6	204,3	187,2	157,3	113,4	59,5
-45 SO	90	59,5	113,4	157,3	187,2	204,3	212,6	214,9	239,7	319,1	359,1	344,1	276,7	178,8
45 SE	90	178,8	276,7	344,1	359,1	319,1	239,7	214,9	212,6	204,3	187,2	157,3	113,4	59,5
0 SUR	90	103,7	154,9	179,3	187,2	204,3	212,6	214,9	212,6	204,3	187,2	179,3	154,9	103,7

muro cortina.indd 85 4/1/14 9:40 AM

4.17. DEFINICIONES DE TÉRMINOS TÉCNICOS PARA EL CONTROL SOLAR Y LA AISLACIÓN TÉRMICA

- **Coeficiente de Sombra (SC):** razón de ganancia de calor solar que pasa a través de un vidrio respecto de la ganancia de calor solar que ocurre bajo las mismas condiciones por un vidrio transparente de 3 mm.

- **Coeficiente de Ganancia de Calor Solar (SHGC):** es la cantidad total de energía solar que es transmitida al interior de los locales, y resulta de la suma de la energía transmitida directamente más una parte de la energía absorbida que luego es re-emitida hacia el interior.

- **Rechazo Total de Energía Solar (TSER):** porcentaje de energía solar total (calor) rechazada por un vidrio (igual a la reflexión solar más la parte de absorción solar que es irradiada hacia el exterior). Como se informó previamente, aproximadamente el 53% de la energía solar es irradiada a la tierra en una forma de rayos infrarrojos invisibles.

- **Absorción Solar Total (TSA):** Porcentaje de radiación solar incidente que es absorbida por un vidrio.

- **Reflexión de Luz Visible (VLR):** El reflejo de luz visible es también una medición fácil de entender. Mide el porcentaje de la luz visible que ha sido reflejada por la película del vidrio. Un vidrio sin película tiene un 8% de reflejo de luz visible. Vidrios con un alto desempeño reflectivo ofrecen un alto rechazo al calor y un alto reflejo de luz visible. Estos vidrios reflectivos tiene una apariencia brillante en su exterior durante la luz del día y esta apariencia brillante se revierte hacia adentro durante las noches.

- **Transmisión de Luz Visible (VLT):** porcentaje de luz visible (luz del día) que pasa a través de los vidrios. Como se observó arriba, un vidrio transparente de 1/8 transmite un porcentaje de 88% de luz visible. Todos los vidrios de control solar reducen la transmisión de luz visible para proveer un control de calor solar. En algunos casos esta reducción es una ventaja ya que reduce eficazmente la transmisión de luz que conocemos como deslumbramiento.

- **Absorción (UV) Ultravioleta:** Esta medición indica el porcentaje ultravioleta de rayos UV, que ha sido absorbido por la ventana. Existen vidrios para ventana que utilizan unos filtros especiales de absorción que filtran hacia fuera las formas de energía invisible del sol. El vidrio transparente ofrece una muy pequeña resistencia a la radiación UV (transmite aproximadamente un 67%). El bloqueo o rechazo de la radiación UV es benéfico para proteger los bienes interiores.

- **Valor-U:** Cantidad de conducción de energía calorífica (en Watt) transmitida por un metro cuadrado de un sistema de recubrimiento específico por la diferencia de cada unidad de grados Celsius entre el aire exterior e interior. El total coeficiente de calor transmitido por conducción es igualmente reciproco al Valor-R (U=I/R). A menor Valor-U, es mejor la calidad de los aislantes de los sistemas de aislación.

- **Eficacia Luminosa (LE):** razón de la transmisión de la luz del día por la transmisión de calor que pasa a través de los vidrios y que es determinada por la división de la transmisión de luz visible entre el coeficiente de sombra. Por ejemplo si un vidrio tiene una transmisión d« luz visible de un 70% y un coeficiente de sombra de .50, tendrá una eficacia luminosa de 1.40. Cada vez que es mayor este número, se indica mejor cuanta de la transmisión de energía solar es luz visible y cuanta es calor. Este radio se utiliza para determinar la "selectividad espectral". Cualquier producto con una eficacia luminosa arriba de 1.00 es considerado como "espectralmente selectivo.

- **Emisividad:** La emisividad es una medición de la habilidad de la superficie para absorber o reflejar la radiación infrarroja. A menor emisividades mayor el reflejo infrarrojo. La radiación infrarroja es aquella que el cuerpo entiende como calor. Los rayos del sol contienen radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Las ventanas con baja emisividad transmiten casi toda la radiación del sol, pero reflejan mayores ondas infrarrojas. La radiación infrarroja es irradiada de objetos (tanto dentro como fuera de la casa) que han sido calentados por la radiación original del sol o por otras formas. A menor tasa de emisividad, es mejor la calidad de aislantes para sistemas de recubrimiento. Un cristal con baja emisividad retiene el calor dentro del recinto pues es opaco a las ondas infrarrojas largas, con lo cual aumenta el efecto invernadero.

muro cortina.indd 86 4/1/14 9:40 AM

5. Consideraciones Técnicas para la Atenuación Acústica

5.1. RUIDO Y SALUD DE LAS PERSONAS

El ruido ambiental es uno de los contaminantes más comunes y se encuentra presente en todas las grandes ciudades del mundo, afectando la salud en el mediano plazo y generando una pérdida paulatina en la calidad de vida de la población.

En la mayoría de las ciudades grandes de Chile estamos viendo un fuerte incremento del parque automotriz, lo cual lleva a un aumento de los niveles de contaminación ambiental. Esto ha hecho que las autoridades nacionales implementen diferentes acciones para su reducción.

5.2. SINIA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL (MINISTERIO MEDIO AMBIENTE)

De acuerdo al portal web de SINIA (www.sinia.cl), para analizar las posibles medidas de control de ruido, es necesario disponer de información real y completa de la situación sonora existente en la zona de interés (barrio, comuna, ciudad, región, etc.), de manera de conocer cómo varía el ruido de un sector a otro y las diferencias que existen entre el día y la noche. Así, los mapas de ruido han sido definidos por el Ministerio del Medio Ambiente como la herramienta de diagnóstico más adecuada para estos fines.

Los mapas de ruido son representaciones gráficas del ruido existente en una localidad y permiten, a partir de una escala de colores, identificar los sectores donde es necesario intervenir, como también aquellos sectores tranquilos que se deben proteger para evitar un aumento del ruido.

Durante el año 2011, el Ministerio del Medio Ambiente, mediante una consultoría encargada al Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile, elaboró el Mapa de Ruido del Gran Santiago.

En este estudio las fuentes modeladas correspondieron al tránsito vehicular y ferroviario -en superficie-, no contemplando el ruido generado por otras fuentes, como aviones, industrias y otras fuentes fijas, ni tampoco el ruido existente en el vecindario y que es generado por la actividad de las personas.

Así, se realizó una modelación de una extensión espacial correspondiente a las 34 comunas que conforman el Gran Santiago (Provincia de Santiago más las Comunas de San Bernardo y Puente Alto), correspondiente a una superficie de aproximadamente 1.000 km².

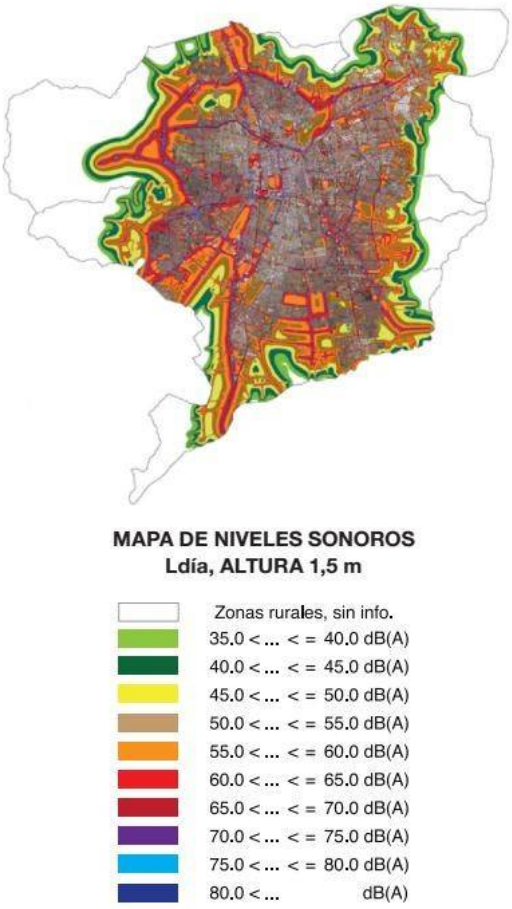


Figura 5.1. Mapa de Ruido del Gran Santiago.

Como se aprecia, en la figura 5.1, en algunos puntos de Santiago es posible medir un nivel de contaminación acústica con niveles de ruido ambiente que superan los 75 dB(A).

muro cortina.indd 87 4/1/14 9:40 AM

5.3. RUIDOS PERMISIBLES POR RECINTO (CONFORT ACÚSTICO)

Actualmente, la reglamentación acústica obligatoria en Chile rige sólo para ruidos intradomiciliarios, según modificación a la OGUC, artículo 4.1.6. Para el aislamiento acústico exterior y ruido de instalaciones en edificios existen las normas complementarias NCh 352 y NCh 352/1 que establecen indicaciones para el aislamiento acústico de las edificaciones de acuerdo al nivel sonoro exterior o ambiental.

Para definir las condiciones de confort acústico de las personas, la Organización Mundial de la Salud (OMS), y las normas técnicas chilenas indican recomendaciones para los niveles de ruido interior permisibles para cada tipo de actividad que se realiza en un recinto (Tabla 5.1).

TABLA 5.1. NIVELES RECOMENDADOS DE RUIDO INTERIOR EN LOCALES, SEGÚN LA OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL SALUD)

DESTINO ACTIVIDAD	NIVEL MÁXIMO DE RUIDO
Dormitorios	30 a 40 (dB)
Biblioteca silenciosa	35 a 40 (dB)
Salas de estar	40 a 45 (dB)
Oficinas privadas	40 a 45 (dB)
Aula de escuela	40 a 45 (dB)
Oficinas generales	45 a 50 (dB)

Referencia: Valores deducidos de las recomendaciones contenidas en la NCh 352/1.Of2000 y a lo indicado por la Organización Mundial de la Salud, en el capítulo 4 del documento "Guidelines for Community Noise".

5.4. AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LA FACHADA

El aislamiento acústico de un elemento de construcción indica su capacidad de defenderse frente al paso del ruido, cuando este elemento separa dos ambientes distintos. De esta forma, puede entenderse este concepto como la reducción de ruido que ocurre desde un recinto a otro. Existen varios aspectos que influyen en el comportamiento acústico de cada elemento de construcción, los cuales serán comentados más adelante.

5.5. UNIDAD DE MEDIDA DEL SONIDO

El decibelio es la medida utilizada para expresar el **nivel de potencia** y el nivel de **intensidad** del ruido. Se utiliza una escala logarítmica porque la sensibilidad que presenta el **oído** humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica, no lineal. Por ello el decibel (dB) resulta adecuado para valorar la percepción de los sonidos por un oyente.

En la Tabla 5.2 se relaciona la energía del sonido y su nivel en decibeles con las fuentes sonoras y ambientes cotidianos urbanos típicos. Se aprecia la relación logarítmica entre la presión sonora y los niveles indicados en decibeles.

TABLA 5.2. VALORES REFERENCIALES DE INTENSIDAD Y PRESIÓN SONORA DE RUIDOS TIPICOS

INTENSIDAD SONIDO	PRESIÓN SONORA (DB)	SONIDOS TÍPICOS
1	0	umbral de audición
10	10	conversación susurrando
100	20	un auditorio promedio
1000	30	oficina privada
10000	40	conversación promedio
100 000	50	conversación ruidosa
1.000.000	60	oficina ruidosa
10 000 000	70	tránsito en calle ruidosa
100 000 000	8	oficina muy ruidosa
1 000 000 000	90	calle muy ruidosa
10 000 000 000	100	fábrica de calderas
100 000 000 000	110	martillo neumático
1 000 000 000 000	120	jet despegando (umbral dolor)

5.6. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA

La relación logarítmica se puede explicar también de otra manera. Por ejemplo, un equipo que emite un ruido de 50 dB NO es algo más ruidoso, sino que es 10 veces más ruidoso que uno que emita 40 dB y es 100 veces más que uno de 30 dB.

En la Tabla 5.3, obtenida de la norma NCh 352/1 se observa la relación entre el requisito de aislamiento acústico para una fachada y el nivel de ruido exterior.

Utilizando los valores de esta tabla, y considerando una fuente en particular, es posible estimar cuál es la reducción sonora (en dB) necesaria para alcanzar el nivel requerido de confort acústico.

El sonido se produce por la vibración de un objeto, la cual genera un impulso en el aire que se propaga a través de él en forma de ondas, generando diferencias de presión que impactan a nuestro oído (tímpano). Las ondas pueden ser descritas por su frecuencia y por su amplitud.

muro cortina.indd 88 4/1/14 9:40 AM

TABLA 5.3. RELACION ENTRE REQUISITOS DE AISLAMIENTO ACUSTICO PARA UNA FACHADA Y EL NIVEL DE RUIDO EXTERIOR

PARÁMETRO	EMISOR	RECEPTOR	NED, DB (A)	REQUISITOS DB (A)	MÉTODO DE ENSAYO
A	Exterior	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	< 60 61-65 66-70 71-75 > 75	Aislación mínima; 20 25 30 35 NED-40	NF S31-05
B	Vivienda contigua	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Aislación mínima: 45	NF S31-057
C	Instalaciones sanitarias y mecánicas externas	Dormitorioo estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Nivel de ruido máximo: 40	Según 6.4
D	Pasillo y escalera	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Aislación mínima; 30	NF S31-057

La **frecuencia** está relacionada con el intervalo de tiempo que dura el ciclo de compresión-depresión del aire. Los sonidos muy agudos son de alta frecuencia (ciclos cortos) y los graves son de baja frecuencia (ciclos largos). La unidad de medida es el Hertz [Hz]: 1 Hertz corresponde a un ciclo por segundo. Ejemplo: 500 Hz significa que hay 500 ondas de presión de aire por segundo de vibración pasando a través de un punto. Como se ve en la figura 5.2, los sonidos audibles se ubican entre frecuencias que van desde los 20 hasta los 20.000 Hz.

Una onda de mayor **amplitud** que otra tiene más energía (mayor presión) y por lo tanto al oído suena más "fuerte". Una forma de medir la amplitud del sonido es por medio de una escala llamada "decibel". El dB es una escala logaritmica y corresponde a la división en 120 rangos del tramo entre el límite audible y el umbral del dolor.

Según visto anteriormente, como consecuencia de la escala logarítmica, cada vez que se incrementa la intensidad en una razón de 10 veces, el nivel de presión sonora aumenta en 10 dB. Entonces un ruido de 80 dB es **10.000 veces más intenso** que un ruido de 40 dB (y no dos veces como la intuición indica).

Otras consecuencias de la relación logarítmica son:

- Al duplicar la potencia o intensidad de una fuente sonora, se obtiene como resultado un aumento de 3 dB en el nivel de presión sonora. Es decir: 70 dB + 70 dB = 73 dB
- Un nivel de presión sonora existente en un lugar, no se ve afectado por otro nivel que sea inferior a éste en 10 dB o más, o sea: 50 dB + 40 dB = 50 dB

Según el gráfico de la figura 5.4, a partir de 3 dB, las diferencias de nivel acústico comienzan a ser perceptibles; mientras que de 6 dB resultan obvios.

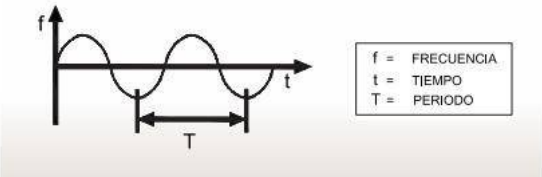


Figura 5.2. Periodo de una onda sonora.

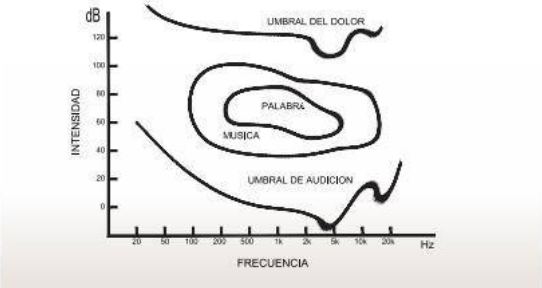


Figura 5.3. Intensidad de la onda sonora (dB) en función de la frecuencia (Hz).

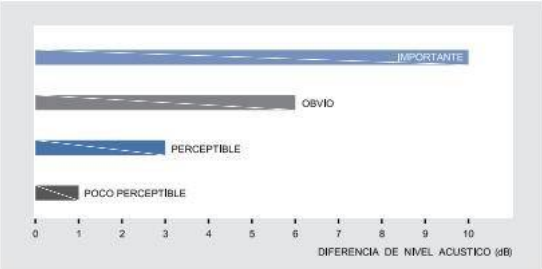


Figura 5.4. Perceptibilidad de los niveles acústicos.

muro cortina.indd 89 4/1/14 9:40 AM

INDICE DE REDUCCION ACUSTICA APARENTE EN BANDAS DE 1/3 DE OCTAVA

FRECUENCIA CENTRAL, (Hz)	R' (dB)
100	17,4
125	18,3
160	23,4
200	22,5
250	24,8
315	25,5
400	26,3
500	28,6
630	29,5
800	30,6
1000	30,6
1250	29,9
1600	30,1
2000	33,4
2500	34,0
3150	34,3

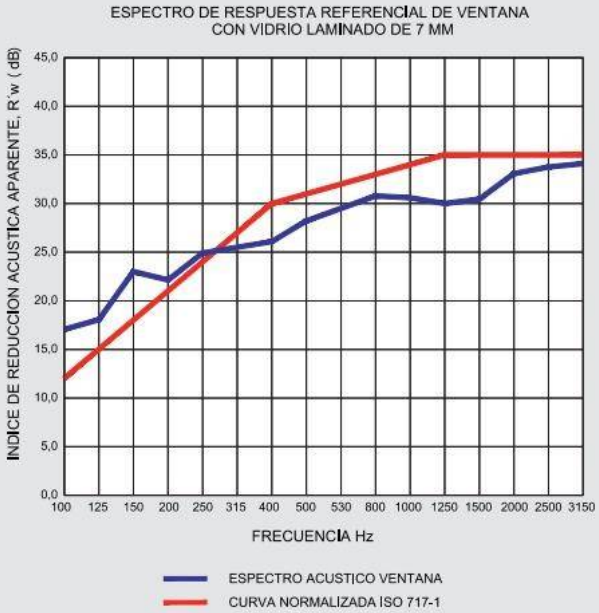


Figura 5.5. Espectro típico de respuesta acústica de una ventana ensayada en laboratorio.

Otros aspectos prácticos a tener en cuenta entre los sonidos (dB) y el oído humano son:

- Una variación entre 1 ó 2 dB no es perceptible.
- Un cambio de 3 dB es perceptible.
- Un aumento de 10 dB es percibido como doblemente sonoro por el oído humano.
- Para intensidades altas, sobre los 70 db cualquier cambio es claramente perceptible al oído.

También es importante considerar que en el análisis acústico de las edificaciones, se considera que la intensidad de la onda sonora proveniente de fuentes de ruido a nivel del primer primer piso (calle) no decae necesariamente con la altura del edificio (dado que están presentes fenómenos de reflexión en las construcciones vecinas y que, a mayor altura, es posible percibir con mayor facilidad ruidos de calles distantes).

5.7. ENSAYO DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA REDUCCIÓN ACÚSTICA DE UNA VENTANA

Para clasificar el nivel de aislación sonora de diferentes materiales y estructuras, incluyendo al cristal, se utilizan los siguientes parámetros obtenidos mediante ensayos:

- **Rw:** este parámetro representa el valor de aislación acústica de un elemento constructivo, tomando como Rw referencia la respuesta del oído humano. Se expresa en (dB). Numéricamente puede ser hasta 5 (dB) más alto que el valor de Rm promedio.
- **Rtra:** este parámetro representa la reducción en (dBA) que puede obtenerse de un material para mitigar el ruido del tránsito
- **Rm:** este parámetro representa la reducción acústica promedio. Es la media aritmética entre los valores de aislamiento acústico de un elemento constructivo en el rango de frecuencias entre 100 - 3 150 HZ.

La determinación de la reducción acústica de una ventana se puede hacer a través de un ensayo de medición del "Indice de Reducción Acústica Aparente Ponderado = R'w ".

Las normas de referencia utilizadas para este ensayo son:

1. Norma NCh 2785.Of2003 "Acústica – Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción – Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos".
2. International Standard ISO 717 – 1 "Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements: Airborne sound insulation".

En la figura 5.5 se muestra la curva de respuesta acústica de una ventana ensayada en una cámara acústica con un

muro cortina.indd 90 4/1/14 9:40 AM

volumen de 40 m³ a cada lado, y con una fuente emisora de 100 dB(A) en banda ancha. Para la determinación del valor R'w se utilizan las referencias normativas indicadas en 1) y 2).

5.8. ESPECTRO DE ATENUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE CRISTALES

A continuación se indican los espectros de atenuación acústica de diferentes configuraciones de vidrios, en el rango de frecuencias de 125 a 4000 Hz (según información del curso "Elementos de Acústica Arquitectónica", año 2007).

1) VIDRIO MONOLÍTICO. Figura 5.6

- Se observa que los vidrios monolíticos sufren una reducción fuerte de atenuación en la llamada "frecuencia crítica" (Fc), correspondiente a sonidos agudos.
- La frecuencia crítica (fc) varía con el espesor del vidrio monolítico.
- En las frecuencias bajas, se requiere aproximadamente doblar el espesor del vidrio para aumentar la atenuación en 5 dB.

2) DOBLE VIDRIO HERMÉTICO Y LA INFLUENCIA DEL ANCHO DE CÁMARA. Figura 5.7

El gráfico de la figura 5.7 permite evaluar la influencia del ancho de la cámara del DVH. Se observa que la cámara de aire influye mucho cuando el espesor del separador es del orden de 50 a 200 mm. Para anchos de cámara mayores a 200 mm, no hay un mejoramiento acústico adicional.

En el comportamiento acústico del DVH, es posible observar el siguiente desempeño por rango de frecuencias:

- Entre 100 y 250 Hz: aislación Dvh es levemente inferior al vidrio monolítico
- Entre 250 y 1,000 Hz: el Dvh tiene aislación sensiblemente inferior debido al efecto de resonancia en la cavidad de aire.

El uso de un DVH con cristales de igual espesor no mejora los valores de atenuación. Una recomendación de la industria del vidrio para mejorar el desempeño acústico del DVH (verificada con ensayos de laboratorio), es el uso de vidrios con una diferencia de espesores de al menos un 30%, como sería el caso de la configuración: 6/12/4 mm.

3) AISLACIÓN ACÚSTICA DEL LAMINADO ESTÁNDAR Y LAMINADO TIPO ACÚSTICO. Figura 5.8

- El laminado de tipo acústico mejora la atenuación acústica respecto del laminado estándar.

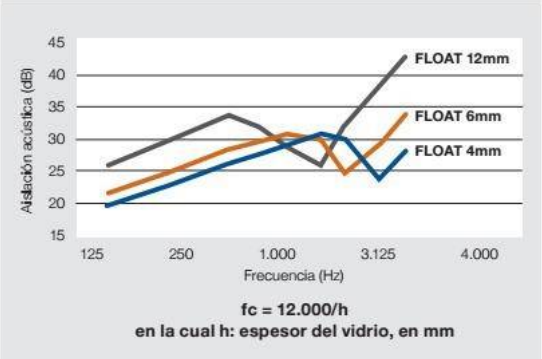


Figura 5.6. Nivel de Aislación Acústica (dB) de un cristal flotado en función de la frecuencia (Hz).

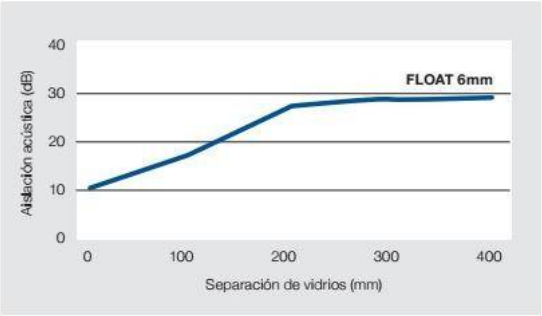


Figura 5.7. Nivel de Aislación Acústica (dB) de un cristal DVH en función de la frecuencia (Hz).

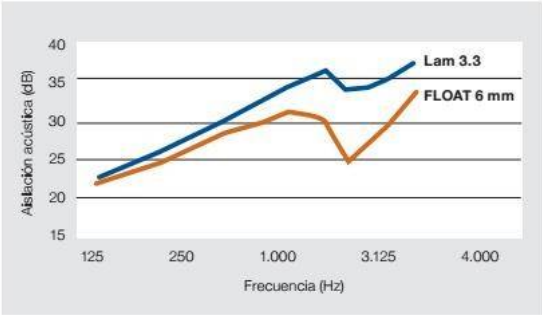


Figura 5.8. Nivel de Aislación Acústica (dB) de un cristal monolítico y laminado en función de la frecuencia (Hz).

muro cortina.indd 91 4/1/14 9:40 AM

- La capacidad aislante del laminado de tipo acústico es resultado de su formulación especial y de su menor rigidez respecto al monolítico del mismo espesor.
- El efecto amortiguador del laminado varía según el rango de frecuencias y el espesor de la lámina de Pvb.

Atenuación acústica de la fachada vidriada

Desde el punto de vista de la aislación acústica de una fachada, los cerramientos exteriores son generalmente el eslabón más débil. En gran medida esto se debe a que los espesores de cristales habitualmente utilizados, no tienen la capacidad de atenuación sonora suficiente para aislar los elevados niveles de ruido presentes en la ciudad. Adicionalmente las aberturas no siempre presentan adecuadas condiciones de hermeticidad provocando fugas acústicas.

Los muros y ventanas tienen atenuaciones acústicas muy diferenciadas (superior a 10 dB); por lo cual mejorar el aislamiento de muros no tiene gran repercusión en la mejora del aislamiento global de la fachada. En otras palabras, cualquier aumento en el aislamiento acústico de la ventana es casi el mismo aumento en el aislamiento global de la fachada. Por lo tanto, puede llegar a mejorarse al doble el aislamiento global de una fachada eligiendo adecuadamente la ventana.

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 aislación acústica promedio de 30/33 (dB) implica tener un buen nivel de control acústico.

Para determinar el desempeño acústico del muro cortina, además de analizar el tipo de vidrio, es muy importante considerar el destino de uso de la edificación, 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, es decir incrementando la masa del cristal utilizado (kg/m^2).

Si se analizan los valores anteriores para el caso del cristal monolítico, se puede decir que el aislamiento aumenta en 4 (dB) cuando se dobla el espesor del cristal. Se obtienen mayores atenuaciones acústicas si se utiliza DVH bien diseñado. Por último, es posible alcanzar un mejoramiento adicional de los DVH, ocupando cristales laminados en su composición y rellenando la cámara interior con gas inerte, como el argón.

5.9. AISLAMIENTO ACÚSTICO COMPARADO DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRIO

En la Tabla 5.4 se entregan los valores de atenuación en (dB) medidos en laboratorio para diferentes tipos de vidrio.

5.10. IMPORTANCIA DE LAS FUGAS ACÚSTICAS

Para alcanzar los valores de aislamiento acústico presentados 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 módulo.

Entonces, para mejorar el desempeño acústico de un elemento de fachada resulta fundamental reducir al máximo las fugas acústicas.

De acuerdo al artículo "Aislamiento Acústico de Ventanas", publicado en revista BIT, N° 55 de julio 2007, elaborado por Claudio Poo, del Idiem, Universidad de Chile, las posibles fugas de ruido se deben a los ajustes producidos en los encuentros de diferentes hojas en una ventana, o elemento de fachada. El ajuste entre los elementos debe tener una geometría especial, para que el ruido recorra un camino más complejo cuando pase del exterior al interior de los locales. Además se deben proveer elementos de sello adecuados (siliconas, burletes, cintas).

El gráfico de la figura 5.9 indica la pérdida de aislamiento acústico debido a la presencia de fugas en una fachada. Se puede ver que en presencia de aberturas con un área del 1% de la superficie del vano, puede caer el rendimiento acústico de la ventana hasta en 10 dB, lo cual implica un aumento al doble del nivel de ruido interior.

5.11. INFLUENCIA DEL "LLENADO CON GAS" EN LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS

En el capítulo 4, hicimos el análisis del "llenado con gas" para mejorar las propiedades térmicas; y ahora revisaremos las recomendaciones referidas al mejoramiento de las propiedades acústicas.

muro cortina.indd 92 4/1/14 9:40 AM

TABLA 5.4. VALORES DE ATENUACIÓN ACÚSTICA DE VIDRIOS (DB)

TIPO DE VIDRIO	ESPESOR (mm)	ATENUACIÓN PARA RUIDOS GENERALES (dB)	ATENUACIÓN PARA RUIDOS DE TRÁFICO (dB)
Cristal flotado	6,0	32	28
Laminado estándar	6,4	33	29
DVH 6/12/6 mm	24	33	26
Laminado acústico	6,8	35	32
Cristal flotado	10	36	32
Laminado acústico	8,8	37	33
DVH 10/12/6	28	38	32
Laminado acústico	10,8	38	36
Cristal flotado	19	40	35
Laminado acústico	12,8	39	37
Doble ventana 6/150/4	160	47	39
Laminado acústico	16,8	40	38
Doble ventana 10/200/6	216	49	45

NOTA: El laminado acústico utiliza lámina de Pvb de 0,76 mm, mientras que el laminado estándar utiliza de 0,38 mm. Fuente: Vidrios Lirquén.

Figura 5.10. Llenado con gas de la camara de un cristal DVH.

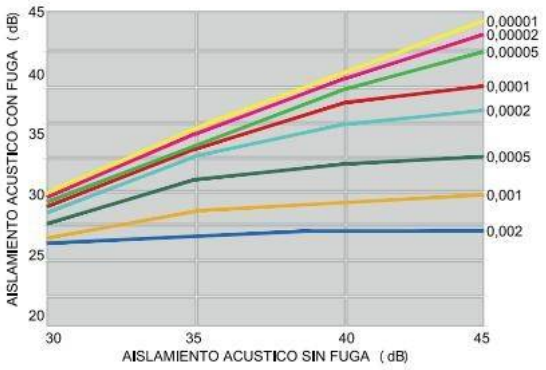


Figura 5.9. Disminución de aislamiento acústico en función del área de fuga.

El ruido de tráfico es a menudo muy rico en energía sonora de baja frecuencia. Dado que algunos gases tiene menores velocidades de propagación de las ondas sonoras que el aire (ver figura 5.11), ellos van a producir una mayor pérdida de transmisión sonora, y por tanto una atenuación de sonido mejorada a altas frecuencias. Esto va a beneficiar el desempeño acústico para el ruido en general.

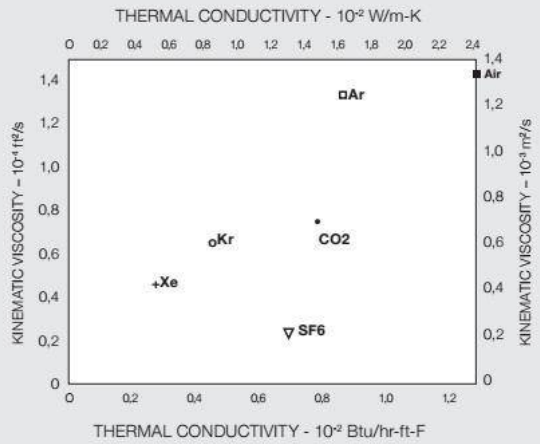
Sin embargo con el uso del gas SF6 (que está prohibido en Europa por su contribución al efecto invernadero) el desempeño acústico para frecuencias bajas no es tan bueno como con el llenado con argón o aire. Es claro que, en aquellos casos donde el ruido de transporte o tráfico es un gran problema, un DVH lleno con Argón exhibirá un comportamiento acústico superior.

Dependiendo la norma técnica empleada se podrán usar diferentes métodos de medición del llenado de gas, y de su retención en el tiempo.

5.12. DEFINICIÓN DE STC

Sound Trasmission Class (STC) – la clasificación STC es un valor numérico que califica la capacidad de un material para resistir la transmisión sonora. Por ejemplo, el STC de

muro cortina.indd 93 4/1/14 9:40 AM



NOTA:
Para reducir la condución / convección al interior de la cámara del DVH se requiere usar un gas de muy baja conductividad. Sin embargo, si la viscosidad dinámica es demasiado baja, entonces la transferencia de calor por convección empeora su desempeño. En general, el Krypton (o mezclas de él) pueden proveer las mejores soluciones.

Fuente: "The Design and Testing of a Highly Insulating Glazing System for use with Conventional Window Systems", de D. Arasteh, S. Selkowitz, J. Wolfe, del Lawrence Berkeley Laboratory, publicado en el ASME, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. III, February 1989.

Figura 5.11. Conductividad térmica y viscosidad dinámica de gases para llenado de cámara de DVH.

un DVH de ½" (configuración 3 mm / 6 cámara aire / 3 mm) es 28, mientras que el STC de un DVH de ¾" (configuración 3 mm / 13 cámara aire / 3 mm) es 30. Mientras más alta es la clasificación STC, entonces mayor es la capacidad del material para resistir la transmisión del sonido.

5.13. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO ACÚSTICOS DE UNA FACHADA

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 Rw, Rm y Rtra.
- 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 las especificaciones técnicas del fabricante y proyectista.
- Realizar inspección técnica de obra para asegurar la correspondencia entre las especificaciones técnicas y los productos instalados en la obra.

En conclusión, se puede decir que el valor de aislamiento acústico de un cristal depende sobre todo de los cristales empleados en su composición (cristales laminados, cristales gruesos) y de la inclusión de gases inertes, más que del espesor de la cámara de separación del DVH. En el caso de un muro cortina se debe considerar además la hermeticidad del sistema (debido a la posible ocurrencia de "fugas acústicas", como resultado de las infiltraciones de aire).

En relación al desempeño acústico de las puertas, se puede indicar que según la norma NCh 352.Of61 (reeditada el año 2000), en el Anexo E, en la parte referida a "Puertas y Ventanas": "es conveniente que el aislamiento mínimo de las puertas sea de 30 dB, lo cual se alcanza con materiales con un peso de 15 kg/m². Para mayores aislamientos, se deberán emplear puertas pesadas especiales, o bien puertas dobles.

5.14. NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN ACÚSTICA RELEVANTE PARA EL SECTOR EDIFICACIÓN

- Art. 4.1.6 de la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcción)

11.6.1. REFERENCIAS OBLIGATORIAS

- NCh352/1 OF.2000. Aislación acústica. Parte 1: Construcciones de uso habitacional. Requisitos mínimos y ensayos.
- NCh2803.n OF.2002. Acústica. Verificación de la calidad acústica de las construcciones.
- NCh2786.n OF.2002. Acústica. Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construc-

muro cortina.indd 94 4/1/14 9:40 AM

ción. Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción.

11.6.2. BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- NCh2785.ii OF.2002. Acústica. Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción. Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos.
- ISO 140-6:1998. Acústica. Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
- ISO 140-7:1999. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- ISO 717:1996. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.

NORMAS ACÚSTICAS EN CHILE

- NCh352 Of61 (reeditada 2000): condiciones acústicas que deben cumplir los edificios
- NCh352/1.0f2000: aislación acústica - construcciones de uso habitacional - requisitos mínimos y ensayos
- NCh1331/1 Of1998: protectores auditivos - requisitos y métodos de ensayo – Parte 1: orejeras
- NCh1331/2.0f1978. Protección personal - parte 2: procedimientos para la protección contra el ruido
- NCh1358.0f1979: protectores auditivos - clasificación
- NCh1619.0f1979: acústica - evaluación del ruido en relación con la reacción de la comunidad
- NCh2473.0f2000: acústica - frecuencias preferidas (ISO 266)
- NCh2473.0f2000: acústica - magnitudes preferidas de referencia para los niveles acústicos (ISO 1683)
- NCh2500: sonómetros - especificaciones
- NCh2502/1: acústica - descripción y medición del ruido ambiental - parte 1: magnitudes básicas y procedimientos
- NCh2545 0f2000 acústica - curvas de nivel normalizadas de igual sonoridad
- NCh2775.0f2003: ergonomía - valoración de la comunicación hablada - nivel de interferencia del habla y distancias de comunicación para personas con capacidad auditiva normal en comunicación directa (método SIL)
- NCh2803.0f2003: acústica - verificación de la calidad acústica de las construcciones
- NCh2886.0f2004: acústica - directrices para el control del ruido por medio de encerramientos y cabinas
- NCh2886.0f2004 acústica - métodos para la descripción y medición física de impulsos individuales o una serie de impulsos
- NCh-ISO 31/7.0Í98: magnitudes y unidades - parte 7: acústica
- ISO 354 .1985 acoustics - measurement of sound absorption in a reverberation room
- IEC 804:1985 integrating-averaging sound level meters
- IEC 612601995 electroacoustic - octave-band and fractional-octave-band filters
- NF S 31-057:1982: acoustique - vérification de la qualité acoustique des batiments

muro cortina.indd 95 4/1/14 9:40 AM

6. Consideraciones para la Protección Contra el Fuego y el Humo

En este capítulo se examinan las condiciones fundamentales del desarrollo de un incendio; así como las prescripciones contenidas en diferentes normas relevantes.

6.1. ETAPAS DE DESARROLLO DE UN INCENDIO

A continuación detallamos las etapas de desarrollo de un incendio, según indicado en la figura 6.1.

Origen: esta etapa se asocia a la primera fuente de ignición.

Propagación: en esta etapa intervienen tanto el elemento inicialmente en llama como los elementos cercanos a la fuente de ignición. Es por esto que las propiedades de estos materiales resultan de gran ayuda ante el posible desarrollo del incendio.

Desarrollo (o, flashover): es el momento en que las superficies expuestas a radiación alcanzan sus temperaturas de ignición en forma simultánea y el fuego se propaga rápidamente. Se caracteriza por un fuerte y rápido aumento de la temperatura del recinto.

Decaimiento: se produce cuando el incendio consume toda la carga combustible posible de quemar, disminuyendo gradualmente la temperatura ambiente.

Adicionalmente, es importante tener presente la diferencia entre dos términos que están relacionados a distintos momentos del incendio:

Retardo al fuego: dice relación con materiales que están destinados a hacer más lentas las etapas de ignición y propagación, permitiendo maximizar la eficacia de los sistemas de detección y extinción del fuego. Hacen posible que el incendio se origine de una forma más lenta, sin embargo, por si solos no necesariamente evitan que el incendio sea declarado.

Resistencia al fuego: es la cualidad del elemento de construcción para soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional. Esta cualidad se mide por el tiempo, en minutos, durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables".

Los ensayos de resistencia al fuego se realizan en un horno, donde probetas de "tamaño real" se someten a un incendio simulado (NCh 935, I y II). El ensayo intenta "imitar" un incendio ya desarrollado, modelándolo como el aumento de la temperatura ambiental como función del tiempo (ver figura 6.2).

Figura 6.1. curva de evolución de la temperatura en un incendio en función del tiempo

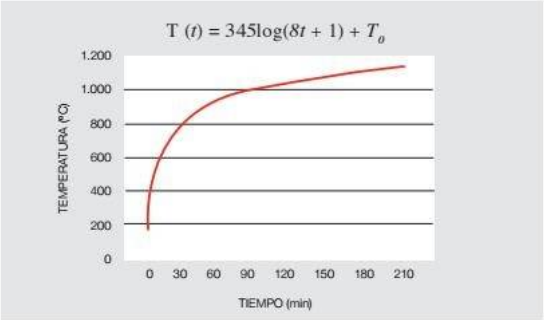


Figura 6.2. curva estándar de desarrollo de temperatura en función del tiempo.

6.2. DEFINICIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO SEGÚN LA NORMA CHILENA NCh 935/1.OF97

- La cualidad que poseen los elementos de construcción verticales, horizontales o inclinados, en el sentido que soportan un fuego intenso cumpliendo su función estructural, bajo condiciones reales, durante un tiempo suficientemente largo como para confinar el fuego en el

muro cortina cap 6 en adelante.indd 96 4/1/14 9:44 AM

lugar de origen, de modo de evitar o retrasar su avance hacia el resto de la edificación.
- Norma chilena oficial NCh 935/1.Of97 – Prevención de incendios en edificios / Ensayos de resistencia al fuego: Elementos de construcción en general.

6.3. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE LA PROTECCIÓN AL FUEGO EN LA OGUC

A partir del incendio de la Torre Santa María en marzo de 1981, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, incluyó en el capítulo 3: "De las condiciones de seguridad contra incendio", Artículo 4.3.1, los objetivos fundamentales de la protección contra el fuego:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como de un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

6.4. PROTECCIÓN PASIVA CONTRA EL FUEGO Y CLASES DE RESISTENCIA

Se entiende por protección pasiva los sistemas de protección contra incendio que han sido diseñados para contener, sectorizar y/o retardar la acción del incendio, y que no requieren energía para operar. Estos sistemas aíslan la estructura de un edificio de los efectos del fuego durante un lapso de tiempo, retardando su acción y permitiendo la evacuación de los ocupantes antes del eventual colapso de su estructura, dando tiempo a la llegada y acción de Bomberos.

Los sistemas activos, en contraposición, emplean dispositivos de detección como los sensores y las alarmas, que luego activan los sprinklers y los extintores, etc.

Otro concepto importante es el de material ignífugo: que se define como aquel que proporciona índices de inflamabilidad o propagación de llamas comparativamente bajos.

La norma de ensayo NCh 935 reconoce las siguientes clases de resistencia al fuego de materiales y soluciones:

- Clase F0 menor de 15 minutos.
- Clase F15 mayor o igual a 15 y menor de 30 minutos.
- Clase F30 mayor o igual a 30 y menor de 60 minutos.
- Clase F60 mayor o igual a 60 y menor de 90 minutos.
- Clase F90 mayor o igual a 90 y menor de 120 minutos.
- Clase F120 mayor o igual a 120 y menor de 150 minutos.
- Clase F150 mayor o igual a 150 y menor de 180 minutos.
- Clase F180 mayor o igual a 180 y menor de 240 minutos.
- Clase F240 mayor o igual a 240 minutos.

Y los criterios de resistencia al fuego definidos por la norma chilena son:

Estabilidad (R): El elemento constructivo se debe mantener estable frente a las condiciones del fuego.

Integridad (E): El sistema constructivo no debe permitir que los gases o fuego se expandan a otras habitaciones.

Aislación (I): La temperatura en la cara no expuesta no debe ser superior a lo solicitado en el ensayo.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo maneja el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (que es posible revisar en el sitio Internet www.minvu.cl), y que puede ser una información referencial útil para el proyecto de fachada. En dicho listado aparecen descritas las soluciones constructivas estructurales (losas, vigas y columnas protegidas, muros) y otros elementos (puertas, sellos, etc.) que han sido ensayadas por laboratorios acreditados, los cuales han otorgado una clasificación de resistencia al fuego que varía de 15 a 180 min.

6.5. PROTECCIÓN AL FUEGO EN LOS MUROS CORTINA

El control del fuego es uno de los requisitos técnicos más difícil de cumplir en fachadas vidriadas, ya que los vidrios no proveen una protección realmente eficaz contra incendios. Generalmente, las partes vidriadas después de 5 a 10 minutos de exposición al fuego tienden a quebrarse, lo que permite liberar calor, humo y bajar la temperatura interna del edificio, sin embargo, también provoca entrada de oxígeno contribuyendo a que el fuego se extienda hacia el exterior del edificio incrementando la posibilidad de que alcance los pisos superiores.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción establece para el caso que exista separación entre el muro cortina con los entrepisos o con los muros divisorios, se deberá completar dicha separación con un sistema cortafuego, de tal modo que el conjunto asegure, como mínimo, la resistencia al fuego correspondiente a la clase F-60 (duración entre 60 y 89 minutos) según la norma NCh 935/1 "Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego -

muro cortina cap 6 en adelante.indd 97 4/1/14 9:44 AM

Parte I: Elementos de construcción en general" o la que la reemplace (ver figura 6.3). Es decir, el muro cortina debe incorporar barreras de fuego y humo (lana mineral, pinturas intumescentes, y otros elementos de sellos aprobados para los fines de un sistema cortafuego) tantas como sean necesarias, para prevenir su transmisión a través de los espacios entre losa-muro cortina en todos los niveles.

Las soluciones cortafuegos a nivel de losas que se usen como una barrera de fuego se deben extender hasta el muro cortina y deberán asegurar una adecuada hermeticidad. Los espacios creados en la intersección del muro cortina con la losa del piso se sellarán con materiales aprobados. Los materiales aprobados deberán estar correctamente instalados de acuerdo con el sistema de protección al fuego aprobado.

Por otro lado, la Ordenanza establece para edificios de 10 o más pisos con muro cortina, contar en todos los pisos con dinteles de una altura igual o mayor al 10% de la altura de dicho piso, y en el segundo piso y superiores, con antepechos de una altura de 0,90 m, la que podrá ser menor siempre que como mínimo equivalga al 20% de la altura de cada piso (ver figura 6.4).

Estos elementos deberán asegurar, como mínimo, la resistencia al fuego correspondiente a la clase F-60.

Sin embargo se exceptúa lo indicado en párrafo anterior a los edificios que cuenten con un sistema automático de extinción de incendio (sprinkler) avalado por un Estudio de Seguridad, y que en dicho estudio justifiquen un rango de seguridad igual o mayor que el dispuesto (OGUC, 4.3.6).

El comportamiento del fuego varia en los casos de un edificio que incorpore o no en el diseño las consideraciones establecidas en la Ordenanza General. En un edificio que no se

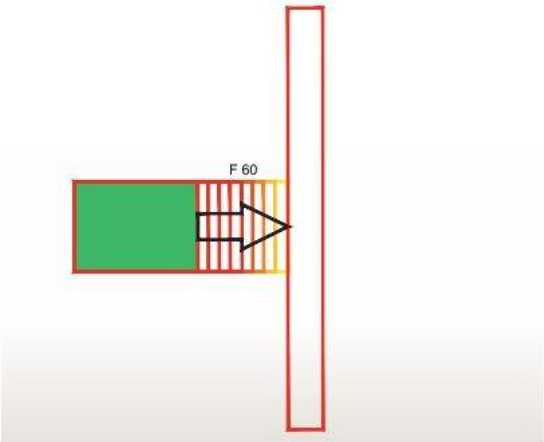


Figura 6.3. Clase F60 entre losa de piso y fachada de muro cortina.

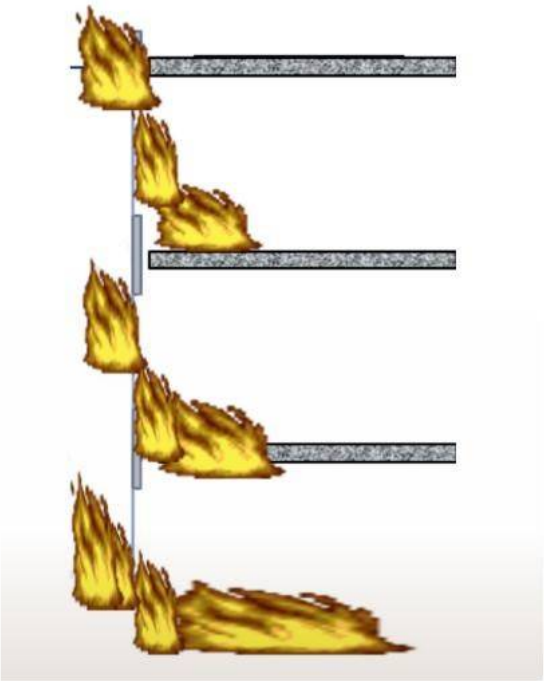


Figura 6.4. Propagación del fuego en una fachada de edificio.

incorpore en el diseño dinteles y antepechos de resistencia al fuego F60, existirá la posibilidad en caso de incendio que el fuego se propague a los pisos superiores.

Otra medida de diseño establecida en la norma "Fire safety in high-rise curtain walls", de AAMA FSCOM-1-09, para evitar la propagación del fuego por el exterior del Muro Cortina consiste en la creación de una barrera de llama (tipo cornisa) sobre la visión, que se extienda en un plano horizontal aproximadamente 80 cm más allá de la pared externa del muro.

Asimismo, para evitar la propagación interior del fuego (ver figura más abajo) se recomienda la instalación de cortafuegos según lo establecido en la normas ASTM E814 y ASTM E2307, donde se incluye el uso de lana mineral, paneles y sellos que en su conjunto cumplen con el requerimiento de sistema resistente al fuego.

Por otro lado, para que el cerramiento vidriado pueda ser considerado como resistente al paso del fuego, dicha condición debe ser satisfecha por el sistema en su conjunto, tanto por la estructura (acero, aluminio), cristal y anclajes, como por el sellado.

Con respecto a los elementos que conforman la estructura de la fachada (montantes, travesaños o sillares y anclajes), éstos deben ser incombustibles y cumplir con ASTM E-84 "Surface Burning Characteristics Of Building Materials," y con índices de producción de humo y dispersión de llama 0.

En relación a los cristales, para que éstos puedan ser

muro cortina cap 6 en adelante.indd 98 4/1/14 9:44 AM

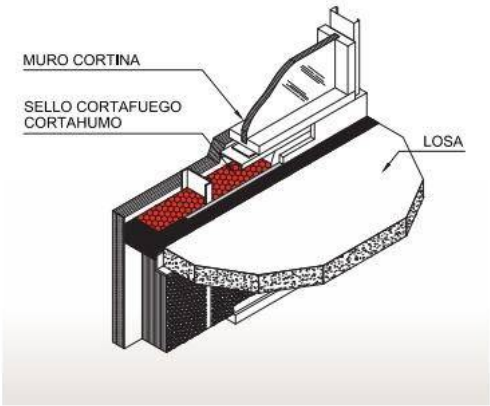


Figura 6.5. Configuración referencial certificada al fuego con detalle de materiales y componentes.

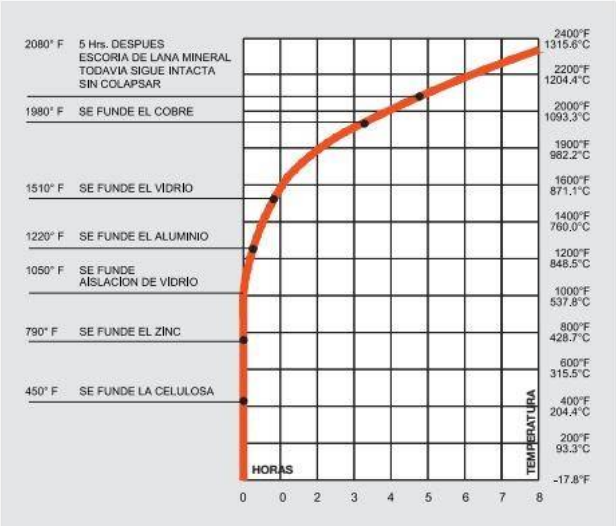


Figura 6.6. Curva tiempo - temperatura según ASTM E119.

clasificados como materiales resistentes al fuego, deben satisfacer simultáneamente las condiciones de estabilidad e integridad durante el período de tiempo especificado. En el mercado existen diversos productos "resistentes al fuego", uno de ellos es un cristal de seguridad transparente, armado con alambre fino, con una trama variable, los cuales pueden presentar resistencia de 60 a 120 minutos. Otro producto es aquel compuesto por dos o tres hojas de cristal plano laminado entre sí con una resina intumescente, incolora y transparente, la que ante una elevación de la temperatura superior a 140 °C, reacciona aumentando de volumen formando una capa opaca de color blanco con una resistencia al paso del fuego de hasta 60 minutos.

6.6. PROBLEMA DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE PERFILES DE ALUMINIO (O ACERO)

El aluminio (y el acero) pierde sus propiedades de soporte de carga con temperaturas sobre 600°C durante un incendio. El riesgo de colapso del vidrio de una fachada, hace que sea recomendable colocar a nivel del primer piso del edificio una marquesina, con resistencia contra impacto, para defender a las personas en caso de caída de vidrio desde la altura.

Una solución es el uso de pinturas o morteros que pueden incrementar la resistencia al fuego hasta F-90; mientras que en el caso de uso de placas de protección se podría elevar hasta F-180.

En una parte de los incendios registrados, los problemas mayores no están asociados a carencia de "resistencia al fuego" (colapso estructural, o fallas de compartimentación), sino que los problemas muchas veces son una combinación entre mala disposición y uso de las vías de evacuación y al uso de materiales altamente tóxicos y/o de rápida propagación de llama. Esto nos debe hacer reflexionar sobre el hecho que no basta con proveer resistencia al fuego en un proyecto.

6.7. CERTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Las normas de protección contra incendio disponibles en países más avanzados en esta materia, desarrollan sistemas de certificación de las configuraciones completas, o de las soluciones constructivas (según se indica en la figura 6.5). Por tanto, se recomienda que el fabricante del muro cortina utilice soluciones ya certificadas en laboratorio, en vez de materiales y componentes certificados aisladamente.

En particular se debería considerar el uso de la norma "ASTM E-2307: Standard Test Method For Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-Story Test Apparatus", ya que incluye la manera de determinar la resistencia al fuego de un elemento perimetral o barrera perimetral de resistencia al fuego.

ANEXO

La curva Tiempo-Temperatura definida en la norma ASTM E119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials) indica los puntos de fusión de algunos materiales típicos de construcción en función de la temperatura alcanzada por el fuego, y del tiempo transcurrido (Figura 6.6).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 99 4/1/14 9:44 AM

7. Reacondicionamiento Energético de Fachadas Existentes

En este capítulo entenderemos el concepto de "Reacondicionamiento" como la necesidad, o no, que pueda presentar un edificio con muro cortina, realizado hace ya muchos años, para adecuarse a los nuevos estándares de confort que clientes y usuarios están demandando en los proyectos de reciente realización.

Se ha ido consolidando la opinión entre los expertos, clientes y usuarios, que el principal factor de "falta de confort" en aquellos edificios existentes, dice relación con el gran sobrecalentamiento de los espacios interiores durante la época de verano, con el consiguiente mayor consumo de energía y dinero para refrigeración.

No consideraremos en nuestro análisis aquellos proyectos dónde la especificación técnica inicial de los vidrios es cambiada durante el desarrollo del proyecto, por otra con vidrios de menor desempeño solar y térmico, pues nos parece que en este caso se trata de un problema que no es de índole técnica.

En muchos lugares, sobre todo en épocas de calor, la sombra es lo más preciado. En numerosos edificios actuales esto se hace muy complejo y costoso de implementar, pues el diseño original de la fachada ya no lo consideró. Es así entonces, que la única posibilidad que queda es enfriar por medios auxiliares que en general son costosos de implementar, de mantener y de operar.

Más sencillo, razonable y económico que intentar enfriar un recinto es evitar que éste se recaliente, mediante una adecuada protección solar. Esta situación se acentúa si la edificación lleva grandes paños de vidrio. Actualmente existe una gran obsesión por la transparencia, combinada con escasa masa térmica (o inercia térmica); o si bien existe, se la recubre con materiales de terminación que son del tipo aislantes térmicos (alfombras, telas, pisos flotantes, paneles y otros), anulando la masa o posibilidad de absorber el calor. De esta forma los rayos solares incidentes en la fachada, entran al recinto, se convierten en calor (infrarrojos) rápidamente y no vuelven a salir, quedando atrapados (efecto invernadero).

Hay que tener muy presente que la radiación solar en Chile es una de las más severas del mundo, superior inclusive a la del desierto del Sahara.

Junto a la mayor preocupación por la eficiencia energética y la sustentabilidad de la edificación que existe hoy en Chile, es posible advertir que algunos edificios diseñados hace 15 o más años, no incorporaron estándares de diseño energético que permitan hoy alcanzar un apropiado nivel de eficiencia y ahorro. A menudo es posible escuchar algunas noticias de usuarios insatisfechos con las condiciones de confort que algunos edificios antiguos están entregando.

Entonces, resulta oportuno que la industria de Muros Cortina siga trabajando para analizar la situación energética de los edificios existentes, y colabore en la identificación de soluciones técnicas, que permitan proteger el prestigio y reconocimiento que este tipo de solución constructiva ha ido logrando en el país.

7.1. SOLUCIONES DISPONIBLES

En el análisis de las soluciones disponibles, nos limitaremos a considerar edificios existentes con muros cortina, es decir con la envolvente mayoritariamente realizada con vidrios.

■ Reemplazo de vidrios existentes por nuevos vidrios

La solución de cambiar los vidrios existentes (de bajo desempeño) por vidrios nuevos (de alto desempeño), es una solución técnica muy apropiada, ya que permitirá al edificio alcanzar los mismos estándares que un edificio con un muro cortina de última generación. De esta forma se logra una mejor transmisión lumínica , una mejor transmitancia térmica y un mayor coeficiente de sombra, logrando así que el edificio sea más eficiente en términos de ahorro de energía.

Por otra parte se trata de una solución de tipo permanente ya que, salvo accidentes, podrá acompañar a la edificación durante toda su vida útil.

La desventaja de este método está en las posibles incomodidades relacionadas al reemplazo de los vidrios durante la operación del edificio y principalmente, el costo que acarrea, ya que implica el recambio completo de vidrios y marcos, con el consiguiente gasto en materiales, mano de obra, infraestructura, etc.

■ Aleros, quiebrasoles y cortinas exteriores

La mejor opción, si no se cuenta con masa térmica y existen grandes paños vidriados, es la de protegerse de la radiación solar mediante una protección exterior como los quiebrasoles y cortinas de exteriores. Esta protección desde

muro cortina cap 6 en adelante.indd 100 4/1/14 9:44 AM

el exterior debe idearse cuidando de no dejar a oscuras el interior, la idea es continuar con la transparencia del edificio sin que éste se recaliente.

Algunas de las soluciones más eficientes consideradas por los arquitectos corresponden al uso de persianas exteriores y quiebrasoles domotizados (con movimiento autónomo programado), teniendo la primera la opción de recogerse y dejar la fachada limpia y con una mayor transparencia

Esta alternativa cuenta con un costo razonable y su performance puede llegar a ser muy aceptable, de modo que si técnicamente resulta de fácil instalación, es una solución que debe ser tomada en cuenta.

La desventaja de esta solución radica en la dificultad para instalar estos dispositivos en fachadas que no han sido predispuestas desde un inicio para recibirlas. Por otra parte, en algunos casos, no es menor el hecho de que tengan que recibir estructuras adicionales que les impondrán cargas y solicitaciones que no fueron consideradas en la Memoria de Cálculo inicial del muro cortina. Otro elemento a considerar, es revisar la especificación del vidrio aplicado para evitar la generación del stress térmico.

■ Cortinas y persianas de interior

Las cortinas y persianas interiores se deben considerar como un complemento a las fachadas de vidrio y nunca como un sustituto.

Las ventajas de esta solución, es que son rápidas y fáciles de instalar y permiten mejorar la eficiencia de un edificio existente dado que la intervención es mínima, existiendo alternativas de muy bajo costo.

Las desventajas, por tratarse de una solución interior, es que la radiación ya entró al edificio, por lo que la cortina no es capaz de reflectar ese calor al exterior nuevamente, sólo puede eliminar una parte de la radiación solar. Como ejemplo, una cortina exterior permite el paso de alrededor de un 10% de la radiación solar, mientras que la cortina de interior deja pasar el 25% de la energía en promedio.

■ Láminas de control solar

Es una alternativa que ha tenido un progresivo desarrollo en los últimos 40 años. Estas películas se consideran en la industria de la construcción como productos para "reacondicionamiento" de los edificios existentes. Las láminas de control solar presentan un lay-out de fabricación multicapas, donde se depositan nanopartículas metálicas y cerámicas, inhibidores de UV y recubrimientos anti-rayados.

Estas láminas pueden alcanzar altos niveles de eficiencia en términos de control solar, constituyéndose en un buen complemento a la hora de reacondicionar muros cortinas existentes a niveles de costo más reducidos que un recambio total de los cristales.

Sin duda que su mayor vulnerabilidad está en que no constituye, necesariamente, una solución permanente, ya que al tratarse de una película adherida al vidrio por el interior de la edificación, puede existir la posibilidad de que con el tiempo y el uso se deteriore y requiera una sustitución.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 101 4/1/14 9:44 AM

8. Sellos Estructurales y Climáticos

En el capítulo 2 ("Consideraciones de diseño") se resaltó como el desempeño de un muro cortina depende significativamente de la correcta realización de las uniones y las juntas que sirven para ensamblar los diferentes elementos que lo constituyen.

Las juntas pueden ser realizadas en forma adecuada si se usa el procedimiento correcto, el cual debe incluir los siguientes pasos:

- Determinación de las solicitaciones y deformaciones de juntas.
- Correcto diseño y configuración de juntas.
- Selección del sellador apropiado para cada uso específico.
- Adecuada preparación de las superficies a sellar.
- Completa aplicación del sellador en obra, incluyendo el proceso de fraguado.
- Realización de controles de calidad para asegurar el buen funcionamiento del sello durante su vida útil.

En el presente capítulo revisaremos los sistemas de sellos más usados en los muros cortina; así como las recomendaciones normativas y las buenas prácticas que se han ido consolidando en los últimos 20 o 30 años de aplicación en nuestro país.

A continuación presentamos los siguientes sistemas de sellos:

■ **Silicona estructural y climática**: Corresponde al sistema más ampliamente usado en Chile, sobre todo por su gran flexibilidad, excelente resistencia a la radiación UV y a las altas temperaturas, así como un muy buen desempeño comprobado desde antes del año 1980 en todo tipo de edificación, incluyendo las torres más altas y complejas. Además existe una gran cantidad de instaladores entrenados en todo el país.

■ **Burlete**: Corresponde a gomas (de diferentes compuestos) extruídas, que fueron ampliamente usadas con los sistemas de muros cortina con perfiles exteriores "a vista". En la medida que la arquitectura ha ido evolucionando hacia fachadas más "limpias", su uso ha ido disminuyendo, y concentrándose en fachadas más pequeñas y de geometrías más regulares.

■ **Cinta estructural**: Corresponde a una cinta acrílica, de doble contacto, de celda cerrada, de alta resistencia a la tracción y con un desarrollo de adhesión muy rápido. Es un sistema estructural para el pegado de vidrios en muros cortinas, impermeable, resistente a la intemperie y de alta resistencia a la radiación UV, que se ha empezado a usar en los últimos años en Chile.

Se debe tener presente que algunos fabricantes de cinta de alto pegado (más adelante identificada como cinta CAP) restringen la recomendación de uso a: elementos de vidrio en paredes interiores y a paneles arquitectónicos opacos.

8.1. SILICONA ESTRUCTURAL

8.1.1. PROPIEDADES DE LA SILICONA

Las siliconas son materiales poliméricos hechos por el hombre que tienen una estructura molecular con enlaces de silicio-oxígeno muy similares a las de los materiales inorgánicos de alta temperatura, tales como cuarzo, vidrio y arena. Esta estructura molecular es más fuerte que la típica estructura de la cadena de carbono-carbono de los hidrocarburos orgánicos (como poliuretanos, hotmelt, polisulfuros, etc.), permitiendo que las siliconas puedan proporcionar capacidades de desempeño muy superiores y una muy larga esperanza de vida.

Las principales ventajas de los selladores de silicona son:

- Resistente a los agentes atmosféricos, UV y ozono.
- Gran estabilidad térmica y enorme resistencia a las temperaturas extremas.
- Resistente a la humedad elevada.
- Excelente adhesión a la mayoría de los substratos.
- Alta resistencia a tracción y desgarro.
- Elevada capacidad de movimiento, elongación y gran resiliencia.

Silicona neutra:

Se trata de siliconas desarrolladas en los años '80, que liberan diferentes tipos de productos durante el curado (*Alcohol, amoníaco, cetoxima, acetona, amina, amida, aminoxi*); sin embargo la más usada en los proyectos de muros cortina son las siliconas neutras de tipo "alkoxy" que liberan alcohol. No presentan un olor desagradable.

Exhiben mejores características adhesivas sobre una amplia gama de sustratos, y no son corrosivas.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 102 4/1/14 9:44 AM

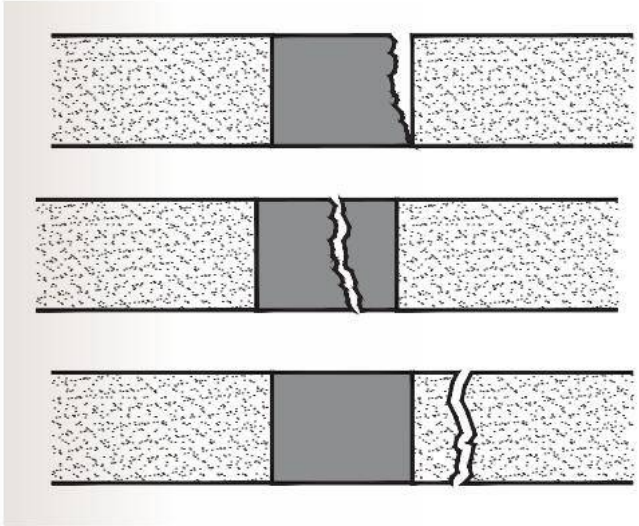


Figura 8.1. Falla adhesiva de sellador.

Figura 8.2. Falla cohesiva de sellador.

Figura 8.3. Falla de sustrato.

Este tipo de silicona es el estándar técnico actual, usado en los proyectos de muros cortina en gran parte del mundo.

Silicona acética:

Se trata de siliconas desarrolladas en los años '60, que liberan ácido acético durante su proceso de curado, por lo cual despiden un típico olor "a vinagre"

Presentan características adhesivas más limitadas, dado que pueden ser corrosivas para algunos sustratos, como: laminados, pinturas, capas blandas de cristales, otros selladores.

No deben ser usadas en los sellos contra hormigón, dado que el ácido acético proveniente del proceso de curado del sellador reacciona con los compuestos básicos formados por la hidratación del cemento, deteriorando la adherencia por la formación de sales solubles y procesos de disolución.

8.1.2. PRINCIPALES FALLAS DE SELLOS

Para el correcto diseño y ejecución de los sellos de un muro cortina, es necesario conocer cuáles son las fallas típicas de los sellos. Típicamente se clasifican en:

Falla Adhesiva: es la falla del sellador para adherir a lo largo de la línea de adhesión de la superficie a la cual está conectada. Las posibles causas de este tipo de falla son:

- Movimiento de la junta que excede la capacidad de movimiento del sellado
- Preparación inadecuada del sustrato
- Configuración incorrecta del cordón del sello

Falla cohesiva: ocurre cuando la masa del sellador falla desgarrándose. La falla cohesiva puede adquirir la forma de fracturas y/o desgarros en los sentidos verticales y longitudinales. Las causas más usuales de este tipo de fallas son:

- Selección incorrecta del sellador
- Mezclado inadecuado de los selladores multi - componentes
- Burbujas de aire provenientes del proceso de mezclado
- Configuración incorrecta del cordón del sello

Falla del sustrato: no es una falla del sellador mismo, sino que de la superficie a la cual el sellador está conectado. La falla de sustrato se debe en general a la preparación inadecuada del sustrato.

8.1.3. CARACTERÍSTICA DE LA SILICONA ESTRUCTURAL

Los sistemas de muros cortina con silicona estructural (llamados SSG en inglés "Structural Sealant Glazing"), corresponden a aplicaciones donde el sellador de silicona provee el soporte estructural y la conexión de los cristales y paneles a la estructura de aluminio del muro cortina.

La silicona estructural es un sellador neutro, de alta resistencia y módulo alto, con capacidad de movimiento elástico de +/- 12,5% a 25%, y que debe cumplir con la norma ASTM C1184. 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.

Otras aplicaciones de silicona estructural incluyen los vidriados inclinados, revestimientos y los sistemas de muro de presión ecualizada. Las siliconas también han sido ampliamente utilizadas para adherir otros materiales distintos del cristal como piedra, o paneles de aluminio, simplificando los sistemas constructivos.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 103 4/1/14 9:44 AM

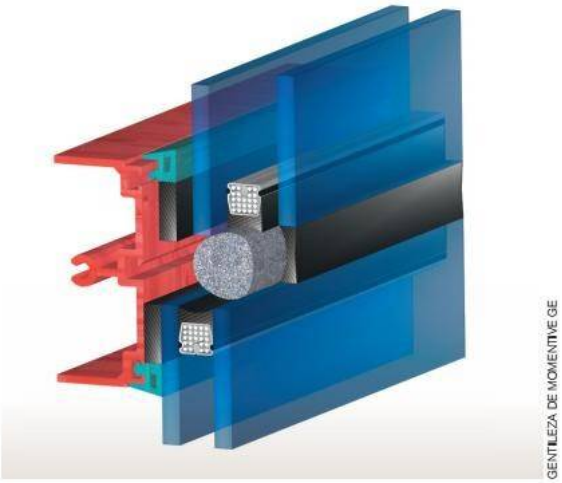


Figura 8.4. Sección Horizontal típica de muro cortina con silicona.

En la figura 8.4 se observa que el sistema de muro cortina con silicona estructural (SSG) requiere el uso de una cinta separadora para crear la cavidad de junta, donde se aplica la silicona. El estándar para dicha cinta espaciadora es de un material compatible con la silicona, de celda cerrada, y de dimensiones ¼" x ¼".

De acuerdo a las normas técnicas norteamericanas ASTM, la correcta aplicación de la silicona estructural requiere que la empresa de muros cortina considere, junto a su proveedor de sellos, las siguientes etapas (ver figura 8.19).

8.1.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La empresa de muros cortina deberá conocer las especificaciones técnicas del proyecto, tanto en lo relacionado con los materiales a usar, como con las prestaciones técnicas requeridas (presiones de viento, dilataciones térmicas, deformaciones, estanqueidad al agua, etc.).

Las siliconas que pueden ser usadas para aplicaciones estructurales deben cumplir con la norma técnica ASTM C1184. De acuerdo a esta norma, para los fines del cálculo, la industria adoptó para los selladores estructurales de silicona una 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.

■ Norma ASTM C 1184

La norma ASTM C1184 es la norma técnica que define los requisitos que deben cumplir las siliconas estructurales.

En particular, es interesante destacar que las muestras ensayadas (según esta norma) deben cumplir con una resistencia a tracción superior a 50 psi (345 KPa) en cualquiera de las siguientes condiciones:

- 21 días curado a temperatura ambiente (RT) 23 +/- 2°C.
- 21 días RT + 7 días inmersión en agua.
- 21 días RT + 1 hora a 88°C.
- 21 días RT + 1 hora a -29°C.
- 21 días RT + 5000 horas QUV según establecido en la norma ASTM C 1442.

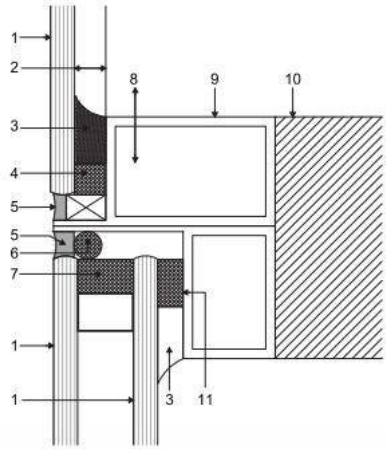
Nota: Se debe tener presente que los estándares de ensayo considerados por la norma ASTM para silicona consideran condiciones de temperatura superiores a las normas usada por cintas estructurales. Esta es una característica del ensayo en particular que no invalida el ensayo de cinta estructural por tratarse de normas distintas.

8.1.5.REVISIÓN DEL PROYECTO

En esta etapa, es importante disponer de los detalles del sistema de muros cortina que se empleará (Figura 8.5).

Luego, se deberá revisar el proyecto a objeto de chequear las dimensiones de los cordones de sello y de las configuraciones de sellado.

En la selección y uso del sellador estructural hay que considerar la norma ASTM C 1184 que exige una Tensión Admisible de Diseño de 20 psi. Para las solicitaciones de cargas



1. VIDRIO
2. ESPESOR DE PEGADO
3. SILICONA ESTRUCTURAL
4. CINTA O BURLETE ESPACIADOR
5. SILICONA CLIMATICA
6. BACKER ROD
7. SELLO SECUNDARIO DE SILICONA
8. PERFIL HORIZONTAL DEL MURO CORTINA
9. LINEA DE REMATE
10. ESTRUCTURA
11. ELEMENTO SEPARADOR

Figura 8.5. Sección Vertical del muro cortina con detalle de materiales y componentes.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 104 4/1/14 9:44 AM

muertas, las tensiones sobre el sellador se deben limitar a un máximo de 1 psi. Respecto de las solicitaciones sísmicas, las juntas de los sistemas SSG se han comportado bien durante los sismos de gran magnitud, como el terremoto del 27 de febrero de 2010, en Chile. Este comportamiento puede ser mejorado aumentando el espesor del cordón de silicona estructural, pero se debe verificar que frente a presiones de viento negativo, no se desplacen mucho los vidrios y puedan terminar fuera de los calzos de apoyo inferior.

Debido a lo anterior, la recomendación de la industria es usar un cordón de silicona estructural de 6 mm o superior.

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. Para paneles o placas delgadas y flexibles, el ancho de contacto del cordón de silicona puede ser calculado usando la siguiente fórmula (ASTM C-1401):

$$b = \frac{P_v \left(\frac{kg}{m^2}\right) lc\ (mm)}{2 \text{ x } 14.000 \left(\frac{kg}{m^2}\right)}$$

P_v	Carga (s) de viento de diseño (kg/m²)
$T\ adm$	Tensión admisible de cálculo = 20 psi = 14.000 (kg/m²)
lc	Mayor de los lados menores (mm)
b	bite, o ancho contacto (mm), siempre > = 6 mm

■ Criterio de diseño estructural a considerar

Los selladores de silicona estructural se diseñan para dilatar un 10-15% en un sello estructural, sin embargo, son capaces de tener elongaciones a ruptura por corte de 300 a 400% de su espesor.

Es fundamental diseñar con un factor de seguridad en las aplicaciones de acristalamiento estructural. Tampoco se debería justificar un método de diseño basado solamente en un alargamiento a la rotura, sin evaluar el envejecimiento en el largo plazo cuando el sellador está sometido a radiación UV y temperatura.

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 6mm (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 solicitaciones 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, Santoprene, 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 espaciadora, calzos, burletes, cordón de respaldo) deben ser sometidos a ensayos de adhesión y compatibilidad en el laboratorio técnico del proveedor de sellos.

Es necesario precisar que el aluminio crudo no es una superficie aceptable para vidriado estructural, debido a la corrosión y a sus consecuencias respecto de 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. Esta relación es llamada Factor de Forma del cordón de sello.

■ Uso de soporte mecánico para peso propio

La norma ASTM C1401 (2000) indica que la Tensión Admisible de Diseño para cargas muertas (o, Peso Propio) debe ser limitada 1 psi; para limitar la posibilidad que ocurra fluencia lenta ("creep").

■ Valores aproximados de fluencia lenta en la silicona estructural

Los ensayos de fluencia lenta realizados por algunos grandes fabricantes indican que, después de 5 años, es posible ver desplazamientos por creep de 1 mm con una carga muerta de 2 psi. Debido a lo anterior, se limita el cizalle por peso propio al valor de 1 psi indicado en el párrafo anterior.

Resulta claro entonces que el uso de un soporte inferior para recibir el peso propio del vidrio, o panel, permitirá usar cordones de silicona estructural de menor dimensión. Con el consiguiente ahorro de material y de tiempos de curado (Figura 8.6).

8.1.6. ENSAYOS DE LABORATORIO: ADHESIÓN Y COMPATIBILIDAD

El aspecto más crítico de un sistema SSG es la adhesión de la silicona como soporte primario de los cristales y paneles, y la posible incertidumbre acerca de su prestación en el largo plazo. La compatibilidad química entre los materiales del muro cortina debe ser siempre verificada (con ensayos de adhesión) y jamás asumida.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 105 4/1/14 9:44 AM

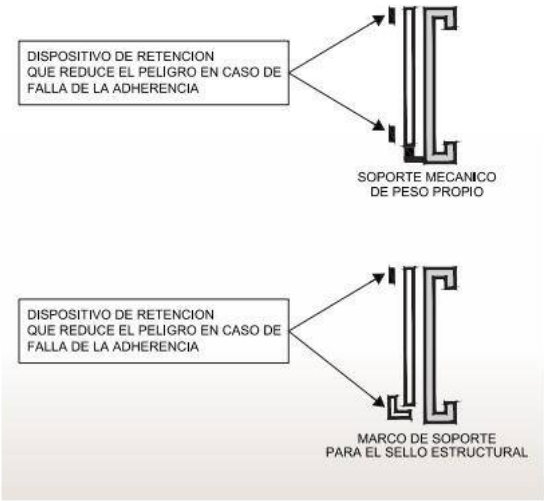


Figura 8.6. Soluciones de retención (vertical y horizontal) del vidrio de fachada.

Por ello resulta fundamental el análisis de los sustratos (perfiles, cristales, cintas, elementos de respaldo, etc.) y las solicitaciones (debido al viento, a los terremotos, al peso propio. etc.) y de los movimientos, y solicitaciones, a que estarán sometidos durante la vida útil del edificio.

Antes de partir con la fabricación del muro cortina, el proveedor de silicona debe determinar, a través de ensayos de laboratorio (ASTM C794), la calidad de la adhesión de la silicona y los sustratos del muro cortina. Adicionalmente, este ensayo permitirá definir si es necesario el uso de primer (promotor de adhesión) para asegurar la adhesión.

Es relevante destacar que la norma ASTM C794 realiza tres pruebas con la silicona:

- Luego de un curado de 14 días, realiza el primer ensayo de pelado en seco.
- Luego de 1 día bajo agua, realiza el segundo ensayo de pelado.
- Luego de 7 días bajo agua, realiza el tercer ensayo de pelado.

Es decir, la silicona estructural debe superar las tres pruebas de adhesión para resultar adecuada para su uso.

NOTA: no basta con superar una prueba de adhesión en seco.

■ Aluminio natural (o, Mill Finish):

Es importante destacar que este acabado de los perfiles de aluminio no es aceptable para aplicaciones de muro cortina con silicona estructural. En efecto, el aluminio es muy reactivo con el ambiente y tiende a oxidarse en forma natural (lo cual inhibe una adhesión adecuada en el largo plazo).

Otros problemas potenciales incluyen la compatibilidad (ASTM C1087) de burletes, calzos, esponjas, elementos de limpieza y los selladores climáticos. Los materiales y sus acabados pueden liberar, con el tiempo y la exposición a la radiación ultravioleta, los plastificantes u otros materiales hacia los selladores, lo cual puede causar un cambio de color o pérdida de adhesión. El cambio de color es evidencia de una reacción química potencialmente perjudicial.

8.1.7. FABRICACIÓN EN TALLER E INSTALACIÓN EN OBRA

Las estadísticas indican que la principal causa individual de fallas de los muros cortina se debe a problemas de mano de obra, durante la fabricación e instalación.

Idealmente, la empresa de muros cortina deberá disponer de procedimientos escritos de fabricación e instalación, y el personal deberá resultar suficientemente entrenado.

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 los métodos de limpieza (ver en secciones 8.1.9.7 a 8.1.9.9), a las condiciones de fraguado del sellador y a las temperaturas de aplicación del sello.

8.1.8. UTILIZACIÓN DE LOS SELLADORES DE SILICONA EN DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO

Según visto en el capítulo 5, cada vez más los muros cortina incorporan el DVH para mejorar el desempeño energético y acústico de la fachada. En esta aplicación los selladores cumplen con dos importantes funciones:

- Mantener la unidad estructural del conjunto, adhiriendo los paños de cristal entre sí durante toda la vida útil.
- Evitar el ingreso de humedad al interior de la cámara; lo cual determina la falla del DVH (o, Termopanel).

En el caso de DVH para muro cortina, se deberá verificar que los sellos secundarios sean hechos con silicona neutra de nivel estructural (ver figura 8.7). De acuerdo a la norma ASTM C1249-93 (2000), no se deberán usar los DVH sellados con poliuretanos, con polisulfuros o hot melt, dado que estos selladores no tienen una adecuada resistencia (de largo plazo) a la radiación UV y a las altas temperaturas.

Las siliconas poseen una transmisión de vapor de agua elevada, y por lo tanto, sólo deben ser usadas en unidades DVH con doble sello. En efecto, tal como se indica en la Tabla 8.1, el sello primario de PIB (poli-iso-butileno) exhibe una muy baja tasa de transmisión de vapor de agua (MVTR) comparada con los otros tipos de sellantes.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 106 4/1/14 9:44 AM

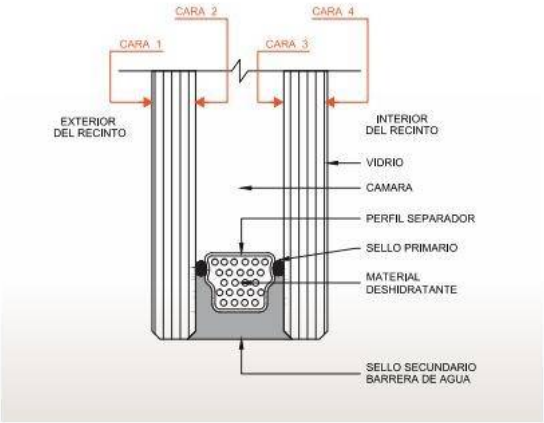


Figura 8.7. Esquema de un doble vidrio hermético.

TABLA 8.1. TASA DE TRANSMISIÓN DE VAPOR (gr/m²/día)

TIPO DE SELLANTE	M.V.T.R. TIPICO (gm/m²/día)
PIB	0.17
HOT MELT BUTYLO	0.63
POLIURETANO	15
POLISULFURO	19
SILICONA	100

■ Cálculo del cordón de sello secundario:

Tal como en el caso del cordón estructural que conecta el vidrio al marco de aluminio, también en el caso del DVH se deberá calcular las dimensiones requeridas del cordón de silicona, según las presiones de viento y las dimensiones de los vidrios de cada proyecto. Según recomendación de la industria, el ancho de contacto mínimo deberá ser de 1/4" (6 mm) (ver figura 8.8).

Además se deberá verificar, mediante certificado del fabricante de sellos o ensayos de laboratorio, que los sellos primario (de butilo) y secundario (de silicona) sean compatibles con los selladores estructurales y climático usados en el muro cortina.

8.1.9. SILICONA CLIMÁTICA

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 de tope, las de estanquidad y las de reparación. En otras palabras, cualquier aplicación en donde se encuentren dos sustratos y se requiera de un sello para evitar el ingreso de agua o aire a través de los intersticios, absorbiendo los movimientos diferenciales.

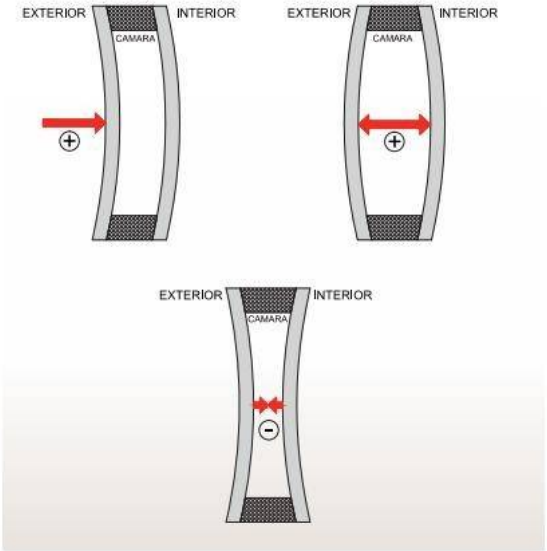


Figura 8.8. Efectos de las presiones positivas y negativas en un DVH.

En este tipo de junta se deberá especificar una silicona neutra, de módulo medio, y que presente una capacidad de movimiento de +/- 50%. La velocidad de curado dependerá de las exigencias de la obra, y de la calificación de los aplicadores.

8.1.9.1. Criterios de diseño de juntas dinámicas

Para diseñar correctamente las juntas dinámicas se recomienda considerar los siguientes puntos (ver figuras 8.9 y 8.10).

• Ancho de la junta de tope debe ser al menos 2 veces el movimiento esperado en tracción o compresión en la junta (para selladores con capacidad de movimiento mayor o igual al 50% según Ensayo ASTM D-412)

• El ancho de junta mínimo recomendado es 6 mm (1/4") en muchos casos es para asegurar una buena limpieza previa y una adecuada penetración y espatulado del sello.

• Profundidad de Sello (medido sobre la corona del cordón de respaldo) es mínimo 3 mm (1/8") hasta un máximo de 12 mm (1/2').Para asegurar una adhesión adecuada, es necesario tener un mínimo de ¼" (6,4 mm) de ancho de contacto entre sello y sustrato.

• Un mínimo de ¼" de ancho de junta es recomendado para asegurar que el sellador aplicado con pistola penetre adecuadamente en la junta. Juntas más anchas son capaces de absorber más movimiento que juntas más estrechas.

• La adhesión en un "tercer lado" limita la cantidad de movimiento que una junta puede aceptar antes de fallar. La adhesión en el "tercer lado" puede ser eliminada con el uso de un "ruptor de adhesión" (cinta) o "elemento de respaldo".

• Un cordón delgado de sello (¼" +/- 1/8"), con una razón

muro cortina cap 6 en adelante.indd 107 4/1/14 9:44 AM

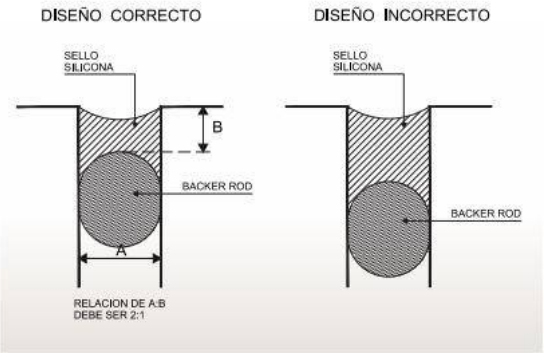


Figura 8.9. Recomendaciones de diseño de juntas.

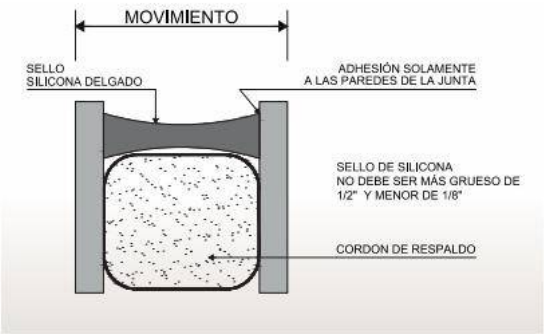


Figura 8.10. Detalle de junta con sello y cordón de respaldo.

2:1 para ancho: profundidad, absorbe más movimiento que un cordón grueso, con razón 1,5:1 o 1:1.

El rendimiento óptimo se alcanza cuando el cordón de sello tiene la forma de un "reloj de arena" y usa una razón 2:1 para ancho: profundidad (razón A:B, de figura 8.9), lo cual se logra utilizando un elemento de respaldo en la parte posterior y el espatulado para la terminación superficial.

Los selladores monocomponentes requieren presencia de humedad ambiental para curar completamente. El sello de junta debe ser diseñado de modo tal que el sellador no quede aislado del aire, puesto que ello dificultaría su fraguado.

8.1.9.2. Importancia del uso del backer rod

Dado que los cordones profundos desperdician sellador y están más sujetos a fallas que los cordones delgados, la profundidad del cordón queda mejor regulado por el uso de un backer rod (o, cordón de respaldo).

Los backer rods más adecuados son los cordones de polietileno de celda cerrada, o bien los de poliuretano flexible de celda abierta (en este caso se deberá evitar que la celda abierta absorba aire o agua).

El cordón de respaldo también rompe la adhesión del tercer lado, y provee un soporte para el espatulado, y correcta configuración del cordón (Figura 8.10).

8.1.9.3. Efecto de la temperatura en el cordón de sello

En la figura 8.11 se muestra el efecto de la temperatura en el momento de la aplicación del sello. Si el sellador es aplicado con temperaturas extremas, el sellador queda siempre al máximo de sus capacidades de extensión y compresión.

Para diseñar una junta dinámica se puede considerar la siguiente fórmula:

Ancho Mínimo de Junta = 100/M * (Dt + Dv) + Tc

M = capacidad de movimiento del sellador
Dt = movimiento por dilatación térmica
Dv = movimiento debido a cargas vivas
Tc = tolerancia de construcción

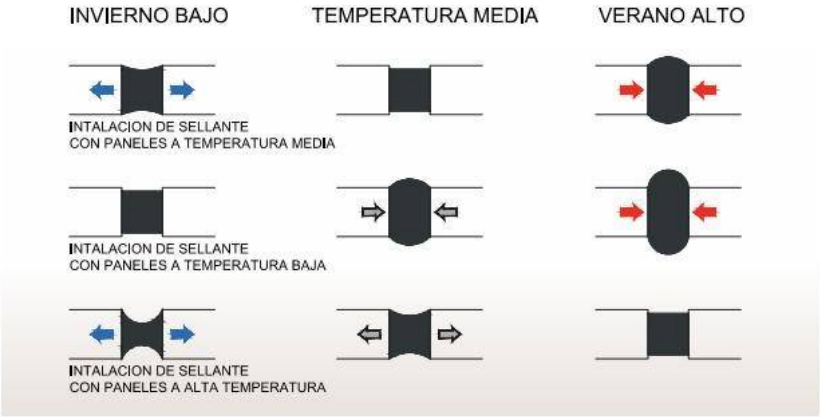


Figura 8.11. Efecto de la temperatura en la aplicación del sello de junta

muro cortina cap 6 en adelante.indd 108 4/1/14 9:44 AM

Ejemplo:

Una junta horizontal entre un muro cortina y un panel de concreto tiene una dilatación térmica de 7 mm, un movimiento debido a cargas vivas de 4 mm, una tolerancia de construcción de 4 mm y se usará un sellador con 25% de capacidad de movimiento:

Ancho Mínimo de Junta = 100/25 * (7+6) + 4 = 56 mm.

8.1.9.4. Recomendaciones generales de diseño del sello de una junta dinámica

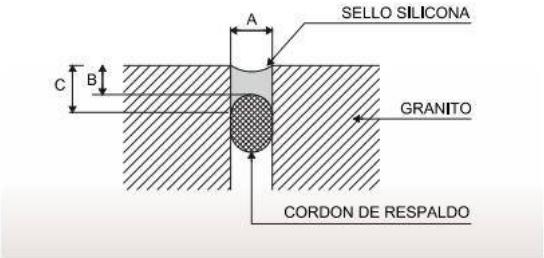


Figura 8.12. Recomendación de sello climático típico.

Puntos críticos:

- dimensión A >= ¼" (6 mm) y razón A:B entre valores 1:1 y 3:1
- dimensión B >= 1/8" (3 mm) y B < ½" (12,7 mm)
- dimensión C >= ¼" (6 mm)
- superficie de la junta espatulada en forma de "reloj de arena"
- dimensión A < 4" (100 mm), Juntas > 2" (50 mm) pueden fluir.

8.1.9.5. Recomendaciones de sellado climático exterior

El ancho de las juntas debe ser determinado por el movimiento esperado.

En la figura 8.13, la junta debe ser calculada considerando la deformación por corte que se produce.

La dimensión "A" debe ser igual al movimiento esperado cuando se usa un sellador con capacidad de movimiento igual a +/- 50%, pero debe ser el doble cuando se usa un sellador con capacidad de movimiento de 25%. Adicionalmente, la dimensión "A" no debería ser menor a 1/8" ni mayor de ¼" cuando se usa un tape (o, cordón de respaldo); de modo de evitar sobre compresión o insuficiente compresión.

8.1.9.6. Recomendaciones de sellado de tope

En las juntas de tope el sellador es usado como un sello climático permanente entre dos paños vidriados. El sellador

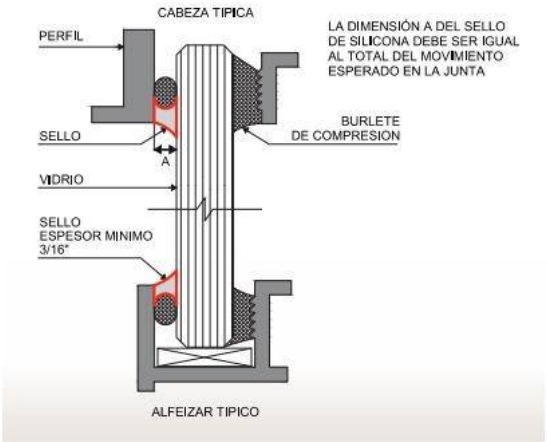


Figura 8.13. Recomendaciones para el sellado climático exterior.

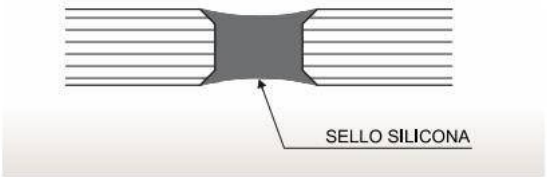


Figura 8.14. Recomendación para el sellado de tope.

no provee soporte contra la deflexión, y el vidrio debe tener un espesor adecuado para resistir las deformaciones inducidas por las cargas de viento y las solicitaciones térmicas, considerando apoyo en dos lados. El cordón de sello puede ser tan profundo como el espesor del vidrio (Figura 8.14).

8.1.9.7. Preparación de superficies y aplicación de silicona

Todas las superficies deben estar limpias, secas, libres de polvo y de hielo antes de la aplicación del sellador. Esto significa la remoción previa de todas las suciedades, polvos, aceites y de cualquier otro contaminante presente.

Remover todos los contaminantes superficiales:

- Restos de sacos y polvo del concreto
- Desmoldantes, hidrofugantes, tratamientos de superficie, pinturas protectivas
- Sellos viejos
- Aceites de metales, protectores de superficie de aluminios y cristales
- Polvo de todas las superficies
- Agentes de limpieza inadecuados:
- Solventes a base de aceites que dejan un residuo
- Detergentes y jabones que dejan una película
- Paños y huaipes contaminados

muro cortina cap 6 en adelante.indd 109 4/1/14 9:44 AM

8.1.9.8. Agentes de limpieza adecuados

TABLA 8.2. RECOMENDACIÓN DE AGENTES DE LIMPIEZA DE SUSTRATOS PARA APLICACIÓN DE SILICONA

CONTAMINANTES	SOLVENTE
Polvo y suciedad de tipo "no aceitosa"	Alcohol Isopropílico
Aceites y grasas	Metil Etil Ketona, Xileno, Tolueno

NOTA: consulte al fabricante de silicona sobre el procedimiento de limpieza adecuado.

8.1.9.9. Recomendaciones para la instalación de sellos

Hay cinco pasos básicos para una correcta instalación del sello:

Limpieza: Las superficies de junta deben estar limpias, secas, sin polvo, ni hielo. La limpieza se debe hacer usando el método de los "dos paños" (Figura 8.15).

Imprimación: Si es requerido, el primer es aplicado a la superficie limpia.

Respaldo: El backer rod o ruptor de adhesión es aplicado según requerido.

Sellado: El sellador es aplicado en la cavidad de la junta.

Espatulado: Se debe usar técnicas de espatulado para crear un sello apropiado y para asegurar que el sello tiene una configuración correcta y está completamente en contacto con las paredes de la junta.

EL SELLADOR DEBE SER APLICADO COMO SIGUE:

- Las superficies deberán encontrarse limpias y libres de polvos, grasas, aceites u otos elementos que disminuyan su adherencia.
- La temperatura de aplicación debe estar entre +5 y +40°C.
- Colocar una cinta de enmascarar ("masking tape") a ambos lados de la junta, para evitar el desborde del exceso de sellador sobre las superficies adyacentes, asegurando un buen resultado estético.

Figura 8.15. Limpieza de sustratos con el método de los "dos paños" y IPA.

- Aplicar el sellador en una operación continua usando una pistola calafateadora cortando (en forma ligeramente inclinada) la boquilla en el diámetro más adecuado para el ancho de la junta.
- Debe ser usada una presión positiva, para asegurar el llenado completo de la cavidad de la junta.
- La profundidad de sellado se podrá regular utilizando un elemento de respaldo de polietileno (celda cerrada) o poliuretano (celda abierta). El elemento de respaldo debería tener un diámetro apróx. 25% mayor (o, 1/8") que el ancho de la junta.
- Deberá repasarse la superficie del sello inmediatamente después de aplicado y antes de que forme piel, asegurando así un contacto total con las superficies a sellar.
- Espatular el sello con una ligera presión antes que empiece a formar piel (típicamente de 10 a 20 minutos). El espatulado fuerza el sellador contra el elemento de respaldo y contra las superficies de la junta.
- No usar: jabón, alcohol o agua, ya que pueden interferir con el curado del sellador y su adhesión y generar un resultado estético indeseable.
- Retirar el masking tape antes que el sellador forme piel (dentro de 15 minutos del momento del espatulado).
- Seguir atentamente las instrucciones contenidas en la ficha técnica y en el envase del sellador respectivo.

■ Calificación de los instaladores

Los trabajos de sellado deberán ser realizados por empresas especializadas con personal formado a tal efecto.

■ Condiciones de ejecución de los trabajos, como ser

La facilidad o dificultad de acceso a las juntas

Las condiciones atmosféricas y ambientales que puedan afectar negativamente al sellador en su aspecto estético y en su polimerización.

■ Plazos de espera antes de entrar en servicio

Después de aplicar el sellador, los plazos de espera antes de entrar en servicio se fijarán en función del tiempo mínimo requerido para la polimerización (o curado) del sellador.

8.1.10. ENSAYOS DE ADHESIÓN EN OBRA

El instalador debería realizar simples ensayos en terreno para chequear directamente que el material recibido y usado en la obra, va a comportarse según previsto por las fichas y recomendaciones técnicas.

■ Procedimiento de ensayo en terreno

Se recomienda realizar un ensayo (definido en la norma ASTM C 1401-02), siguiendo los siguientes pasos:

muro cortina cap 6 en adelante.indd 110 4/1/14 9:44 AM

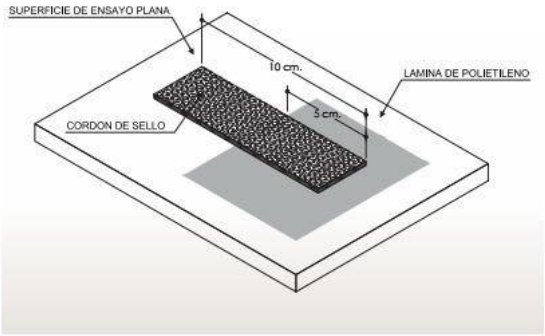


Figura 8.16. Probeta de ensayo de pelado de sello (peel-off) según norma ASTM C1401-02.

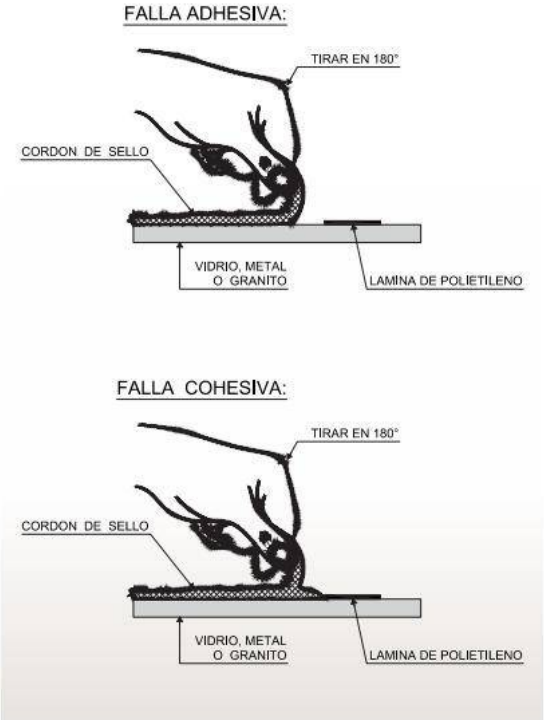


Figura 8.17. Ensayo de pelado de sello (peel-off) según norma ASTM C1401-02.

- Limpie los sustratos usando las recomendaciones del fabricante.
- Coloque un trozo de polietileno en la superficie de ensayo.
- Aplique un cordón de sellador y espatúlelo para formar una tira de 200 mm de largo, 25 mm de ancho y 3 mm de espesor. Al menos 50 mm de sellador debe ser aplicado sobre la placa de polietileno o el ruptor de adhesión.
- Después que el sellador cure tire el sello perpendicularmente hasta la ruptura. Registre el modo de falla del sello y la elongación del mismo.

8.1.11. MANCHAMIENTO DE SUSTRATOS POROSOS

El manchamiento (o, "staining" en inglés) es un término que a menudo se utiliza para describir los efectos del plastificante (un componente de la mayoría de los selladores) "exudado" fuera del sellador, y que es capaz de entrar en los huecos de los sustratos porosos; causando decoloración y manchamiento del sustrato (se trata de un efecto estético indeseable), lo que es difícil o casi imposible de limpiar o eliminar (ver figura 8.18).

Para evaluar el manchamiento por exudación de plastificante, se recomienda realizar un ensayo según norma ASTM C1248. Este ensayo de laboratorio somete las probetas a una temperatura de 110°C, durante 7 días, con una compresión de 50%.

Los fabricantes de silicona han desarrollado siliconas neutras especiales que permiten eliminar este tipo de manchamiento, y reducir la atracción de polvo sobre el sellador. Este tipo de silicona resulta especialmente recomendada para piedras naturales, incluyendo: mármol, granito, caliza, etc.

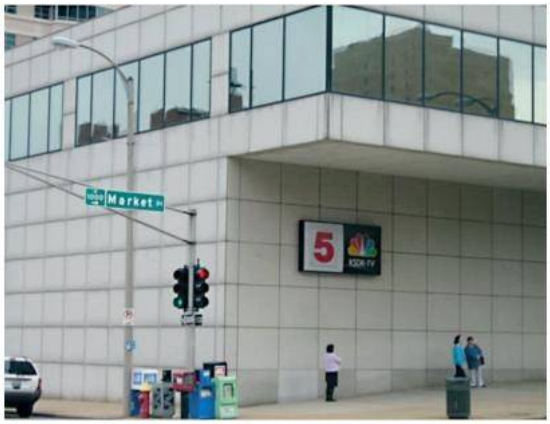


Figura 8.18. Fachada con manchamiento de junta sellada.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 111 4/1/14 9:44 AM

Como resumen de los puntos detallados anteriormente, en la figura 8.19 se presenta el diagrama de flujo del proceso de "Certificación de la Silicona Estructural".

8.2. JUNTAS Y UNIONES CON BURLETES

Un burlete es un sello mecánico que llena el espacio entre dos o más superficies de acoplamiento, por lo general para evitar las fugas desde o hacia los objetos unidos, mientras trabaja bajo compresión. Es generalmente deseable que el burlete esté hecho de un material que sea capaz de deformarse y llenar el espacio para el cual está diseñado, incluyendo las irregularidades leves.

Según la función que desempeñan los burletes, éstos se clasifican en los siguientes tipos:

Burletes para el acristalamiento: Las formas empleadas, varían desde la U para las ventanas correderas, y las de forma de cuña y base para el montaje de las restantes ventanas.

Burletes de estanquidad: Se usan entre perfiles de ventanas practicables (de proyección, de abatir, puerta). Los materiales recomendados son el Epdm y silicona, con el fin de lograr la máxima elasticidad con el mínimo esfuerzo manual en el cierre de la ventana.

Para la determinación de los materiales de los burletes en este tipo de ventanas, podemos establecer 3 situaciones diferentes respecto a la sección de la perfilería:

- **Burletes en zona exterior:** Las formas más usuales son las de aleta y las de compresión, comúnmente llamadas "de balón".
  Deben colocarse de modo que la presión estática producida por el viento sobre la superficie de la junta expuesta tienda a cerrar la permeabilidad en todo el perímetro.
- **Burletes en zona intermedia:** Los burletes que pueden colocarse en la zona intermedia de los perfiles de las ventanas practicables, son imprescindibles en los sistemas de rotura de puente térmico (RPT).
  Las formas más apropiadas son las de aleta.
- **Burletes en zona interior:** Las formas más comunes son las de aleta y las de compresión (o de balón), de diseño liviano, ya que su misión principal no es la evitar las filtraciones propiamente dichas, sino la de formar una cámara aislante entre las juntas interior y exterior, y aumentar la atenuación acústica entre las caras de la ventana.

El máximo rendimiento de un burlete se logra cuando en todo su perímetro no presenta ninguna solución de continuidad, o por lo menos en un solo extremo, que debe situarse

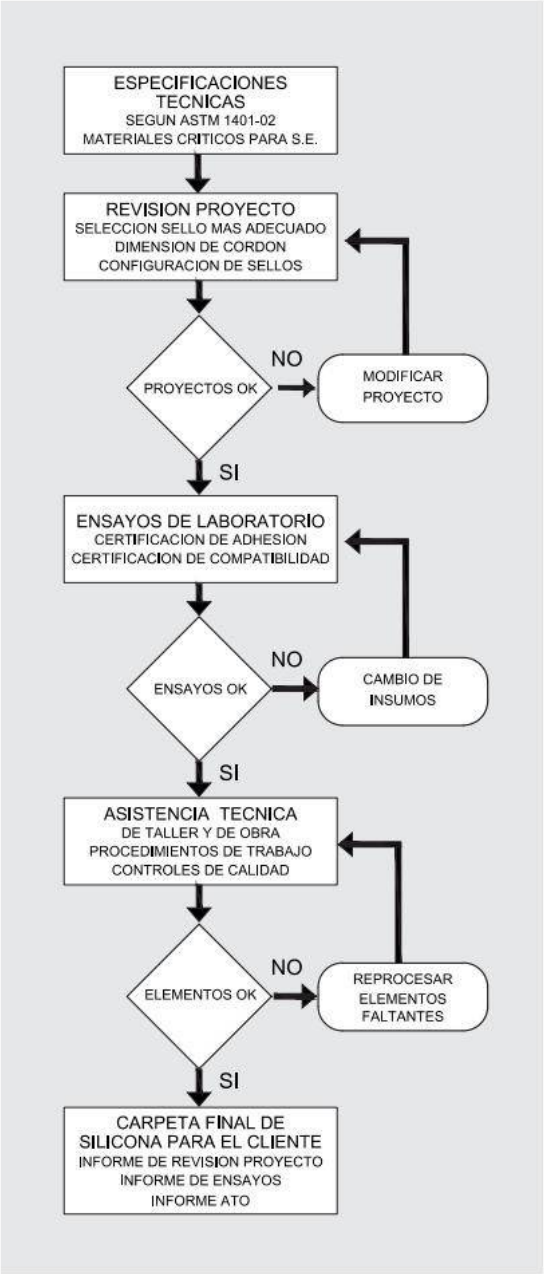


Figura 8.19. Diagrama de flujo del proceso de certificación de silicona estructural en un proyecto de muro cortina.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 112 4/1/14 9:44 AM

en la parte superior de la hoja (Nota: deberá tratarse de una unión efectiva).

Calzos de apoyo: Tiene la función de transmitir al marco en los puntos adecuados el peso propio del vidrio, con el fin que produzcan la mínima deformación posible sobre el bastidor.

La longitud de un calzo de apoyo nunca será inferior a 50 mm. No se usarán más de 2 calzos de apoyo en el borde inferior del vidrio.

La distancia mínima entre la esquina del bastidor y el borde más cercano del calzo será la longitud de un calzo de apoyo y nunca menor de 50 mm, para prevenir tensiones excesivas sobre las esquinas del vidrio. Se recomienda colocarlos a una distancia de 1/5 de la luz del marco. Los calzos de apoyo se colocarán de acuerdo al tipo de marco y vidrio. En general los calzos deben ser de material compatible con los selladores y tener una dureza entre 85 y 95 shores A.

8.2.1. DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN Y RELAJACIÓN DE TENSIÓN ("STRESS RELAXATION")

La capacidad de sellado de un burlete está relacionado directamente con su valor de "deformación por compresión". Mientras más bajo sea dicho valor, entonces mejor será su desempeño de sellado. Los valores de "deformación por compresión" aumentan generalmente con el incremento de la temperatura, y el paso del tiempo.

Según la ASTM C864-05, la deformación por compresión de un sello se define con un ensayo de laboratorio (de 22 horas, a 100 °C), y se puede calcular como un porcentaje del espesor de la muestra original o como un porcentaje de deflexión inicial (ver figura 8.20).

La norma ASTM C864 (Tabla 8.4) requiere que el sello tenga una deformación por compresión máxima de 30%. Este valor puede ser logrado con los compuestos llamados "Termoestables", mientras que en general no es posible lograrlo con los compuestos "Termoplásticos" (ver figura 8.3).

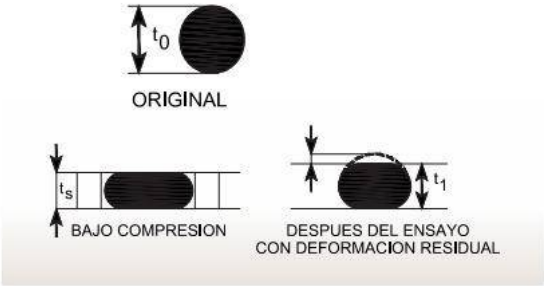


Figura 8.20. Deformación por compresión de un burlete.

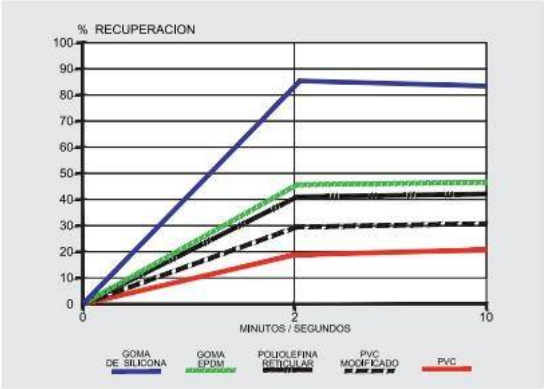


Figura 8.21. Recuperación (en minutos) de la geometría de diferentes materiales empleados en la producción de burletes, con probetas plegadas en un ángulo de 0°, con un envejecimiento térmico a 50°C durante 70 horas.

Fuente: "Serramenti in Alluminio", edición Tecnomedia, Milán, Italia, 1990.

La experiencia acumulada por los fabricantes de burletes de alto desempeño, indica que para evaluar la calidad de largo plazo de un sello, es también recomendable considerar su comportamiento de "Relajación de Tensión" (o, Stress Relaxation) (ver figura 8.21).

TABLA 8.3. PROPIEDADES DE COMPUESTOS DE BURLETES

MATERIAL	DUREZA (SHORE A)	ELASTICIDAD AL IMPACTO (%)	ELONGACIÓN A RUPTURA (%)	DEFORMACIÓN PERMANENTE A 70°C (%)
Pvc	60	25	40	65
Pvc modificado	60	32	45	55
Tpr: Goma termoplástica	68	33	50	48
Epdm: Goma vulcanizada	65	42	60	27
Goma de silicona	65	65	> 200	7

Fuente: "Serramenti in Alluminio", Ed. Tecnomedia, Milán, Italia, 1990.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 113 4/1/14 9:44 AM

8.2.2. ELASTICIDAD Y RESISTENCIA UV DE CAUCHOS Y GOMAS

El caucho natural "no curado" es pegajoso, se deforma fácilmente cuando se calienta y es frágil cuando está frío. En este estado es un material pobre cuando se requiere un alto nivel de elasticidad. La razón de deformación inelástica del caucho no-vulcanizado se puede encontrar en su estructura química: el caucho se compone de cadenas largas de polímeros. Estas cadenas pueden moverse de forma independiente respecto a la otra, lo que permite que el material cambie de forma. La reticulación introducida por vulcanización impide que las cadenas de polímeros se muevan de forma independiente. Como resultado, cuando se aplica tensión deforma la goma vulcanizada, pero tras la liberación de la tensión, el artículo vuelve a su forma original.

El único requisito de rendimiento en lo que respecta a las características de resistencia a la intemperie es la Resistencia al ozono. El ozono es, con mucho, el más dañino de la exposición ambiental de los polímeros orgánicos. El ozono es capaz de escindir los dobles enlaces del caucho. Sin embargo, el polímero EPDM saturado químicamente no tiene carbono con "dobles enlaces" que el ozono pueda atacar, por lo tanto exhibe una buena resistencia UV.

Los agentes de curado más usados para el EPDM son los sulfuros y los peróxidos; mientras que las cargas más empleadas son el "carbon Black" y el carbonato de calcio.

8.2.3. SISTEMAS DE MUROS CORTINA CON BURLETES

Los burletes han sido empleados desde hace muchos años para el envidriado de ventanas y fachadas. Las figuras 8.22, 8.23 y 8.24 muestran algunos sistemas de muros cortina con burletes de diferentes compuestos, tanto en paños vidriados, como en paneles de otras materialidades.

8.2.4. COMPUESTOS USADOS PARA LA FABRICACIÓN DE BURLETES EN MUROS CORTINA

Los compuestos usados en la fabricación de los burletes corresponden a diferentes materiales como:

Termoestables

- Sufren un proceso de curado (o, vulcanización)
- Crean conexiones permanentes de las cadenas moleculares (cross-links)
- Cambios son químicos e irreversibles
- Presentan propiedades elásticas y mecánicas superiores
- EPDM
- Neoprene
- Silicone

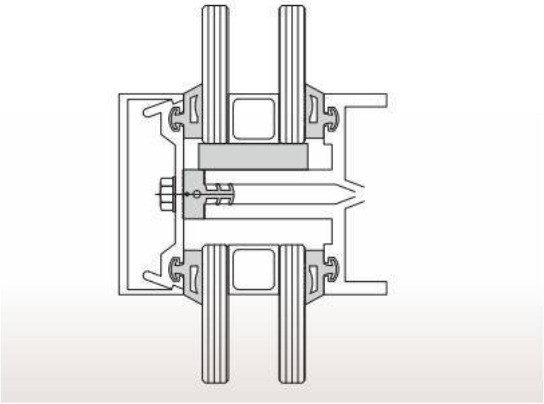


Figura 8.22. Detalle muro cortina con tapa presora burleteada.

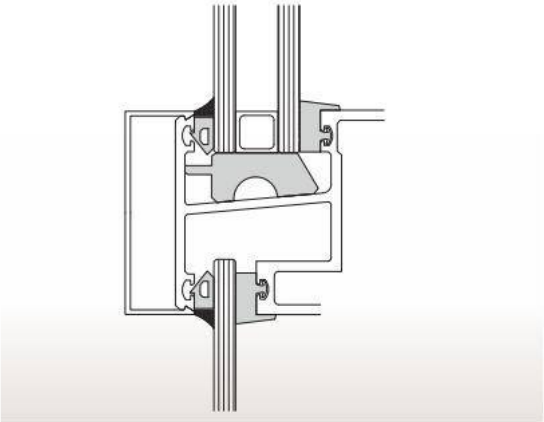


Figura 8.23. Detalle muro cortina con tapa presora burleteada y con sello climático.

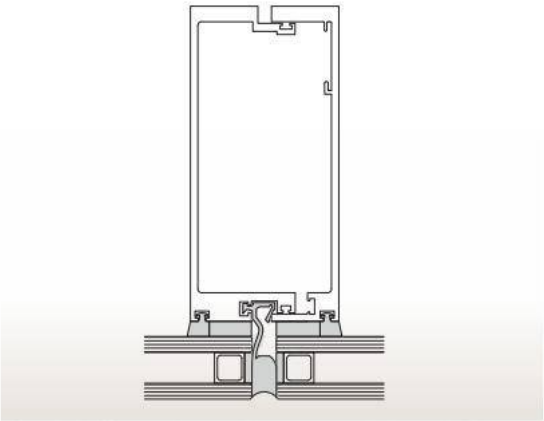


Figura 8.24. Muro cortina con silicona estructural y junta climática seca burleteada.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 114 4/1/14 9:44 AM

Termoplásticos

- Se reblandecen cuando se calientan
- Al enfriarse adoptan una forma
- No hay un proceso químico de transformación
- El cambio es puramente físico y es reversible
- Santoprene
- PVC (flexible, o rígido)
- Polypropileno
- TPE's

Se debe verificar (con la norma ASTM C1087) la compatibilidad de los burletes con los selladores usados en el muro Cortina, debido a que los compuestos usados pueden liberar plastificantes que alteren el correcto desempeño de la silicona estructural.

8.2.5. PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS BURLETES

Las características apropiadas de los burletes pueden ser definidas por los buenos resultados de calidad de las siguientes propiedades:

Dureza: Influye en la funcionalidad del burlete (facilidad de manejo o inserción en el perfil) con valores entre 50 y 80 Shore A.

Densidad: Esta característica no mide directamente la calidad, pero la incorporación de cargas en la fórmula, aumenta considerablemente su densidad; lo cual equivaldría a un indicio de menor calidad.

Alargamiento de rotura: Depende directamente de la dureza y se mide en %.

Elasticidad: Mide la pérdida de energía necesaria para recuperarse al 100% el material después de una deformación; es decir mide la "velocidad de recuperación" del material.

Resistencia al frío y al calor: Mide la variación de dureza cuando la temperatura sube o baja en forma importante.

Resistencia al ozono: El ozono ataca la superficie del burlete produciendo grietas en el material.

Resistencia a la luz: Mide la resistencia del material a la radiación ultravioleta, la cual determina craquelamiento superficial y acortamiento del burlete.

Deformación remanente a la compresión: Se trata de un ensayo que mide la capacidad del material de volver a recuperar su posición de partida, después de haber estado sometido a una determinada deformación con temperatura de 100°C durante 22 horas.

Este ensayo es muy importante en burletes de estanquidad ya que dará una medida de la capacidad del burlete de seguir cumpliendo su función en el tiempo.

8.2.6. REQUERIMIENTOS FÍSICOS DE BURLETES SEGÚN NORMA ASTM

La norma ASTM C 864-05 define los requerimientos físicos recomendados para los burletes empleados en los muros cortina. En la Tabla 8.4 se indican los parámetros más relevantes a considerar.

TABLA 8.4. REQUERIMIENTOS FÍSICOS DE BURLETES SEGÚN NORMAS ASTM, BS Y DIN

DUREZA 70 SHORES A	EPDM	ASTM	BRITISH STANDARD	DIN
		C 864	4255	7863
Resistencia a Tracción	Psi	1800	1523	1089
(1M Pa = 145.04 psi)	Mpa	12.4	10.5	7.5
(1M Pa = IN/mm²)				
Deformación residual por compresión		30%	25%	35%
(Compression Set)	Horas	22	22	22
	Temp (°C)	100	70	100
Elongación @rotura		200%	200%	200%
Resistencia a ozono	Horas	100	96	96
	Pphm	100	100	50
	Elongación	20%	20%	20%
Envejecimiento acelerado	Temp (°C)	100	100	100
	Horas	70	70	168
	Tracción	-15%	-15%	-25%
	Elongación	-40%	-40%	-50%
	Dureza	-0 / +10	-0 / +10	-5 / +10

Normativa técnica relevante para los burletes usados en los muros cortina:

- **ASTM C 864**
  For dense Gaskets (EPDM & Neoprene)
- **ASTM C 1115**
  For Dense Silicone Gaskets
- **BSI 4255**
  For both EPDM, Silicone & Neoprene
- **ISO**
- **EN 12365**
  Performance requirements for Gaskets and Weatherstripping

muro cortina cap 6 en adelante.indd 115 4/1/14 9:44 AM

8.2.7. Geometrías y tolerancias de burletes

A continuación se entregan algunas recomendaciones técnicas generales para la "Cavidad de Envidriado" (o, Glazing Pocket) (Figura 8.25).

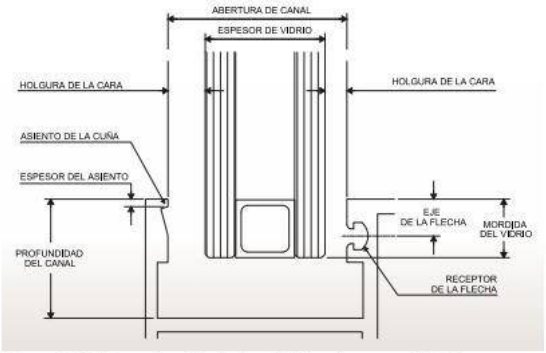


Figura 8.25. Denominación de los detalles de una cavidad de envidriado (Glazing pocket).

Algunas recomendaciones de la industria para el uso de DVH son los siguientes:

- Edge pressure
- Minimum Face Clearance
- Glass Bite
- Edge Blocks
- Setting Blocks
- Drainage System
- Tolerances

- 7 +/-3lb per Lineal Inch
- .125" to .188" FC
- .500" Min.
- 60 - 70 Durometer
- 80 - 90 Durometer
- Weep holes
- Glass, Metal & Rubber

8.3. CINTA DOBLE CONTACTO ESTRUCTURAL DE "ALTO PEGADO" (CAP)

Las cintas estructurales de "Alto Pegado" son cintas de espuma acrílica de celda cerrada y adhesivo acrílico, protegido por un "liner" de material antiadherente. El tipo de adhesivo acrílico usado es conocido como PSA (en inglés, "pressure sensitive adhesive") dado que se activa por presión ejercida con un rodillo o similar. Su densidad es elevada, y en general supera los 700 kg/m3, y su espesor varía entre 2.0 y 3.0 mm (mientras que la silicona estructural usa un cordón de al menos 6 mm).

Las cintas CAP están formuladas y ensayadas para la fijación estructural de cristales, permitiendo ser usados como agentes adhesivos primarios para la transmisión de cargas de vidrios o paneles a la estructura del edificio. La cinta CAP que está 100% curada (fraguada), proporciona alta resistencia inicial, lo que se refleja en la unión de vidrios y perfiles en forma inmediata y permitiendo al fabricante la manipulación rápida de las unidades o paneles.

Al igual que los sistemas de acristalamiento estructural del tipo silicona, las cintas CAP requieren un proceso de especificación del sistema de unión con el fin de proporcionar resistencia a las cargas permanentes y eventuales en una aplicación de Muro Cortina. El desempeño y durabilidad del adhesivo deben estar documentado antes de ser considerados para una aplicación estructural.

8.3.1. COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO DE LAS CINTAS CAP

Las Cintas CAP tienen un comportamiento "viscoelástico" que, en térmicos simples, significa que al ser deformada puede alcanzar una deformación importante (> 300%) y su velocidad y recuperación frente a la tensión es más lenta y diferente que los sistemas elásticos. Esta propiedad de los sistemas viscoelásticos permite protege la interface de la línea de unión.

En la figura 8.26 se observa la capacidad de la cinta de deformarse, tanto en extensión como en compresión.

■ Aplicaciones y ventajas de las cintas CAP

Las cintas de "Alto Pegado" son usadas, entre otras aplicaciones, como sello estructural para la unión de paneles de revestimiento arquitectónico, vidrio pegado a marcos de metal, uniones de paneles de metal, envidriado estructural, etc. (Figuras 8.27 y 8.28).

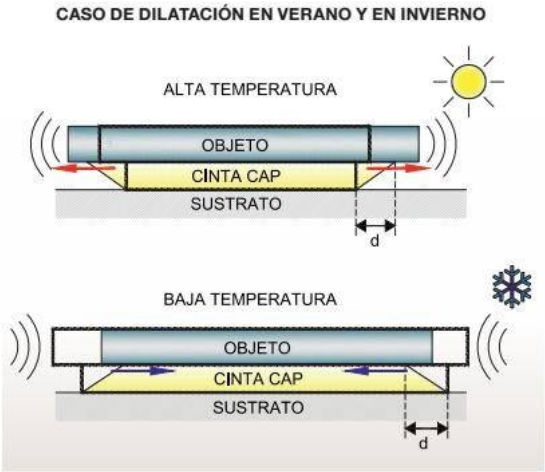


Figura 8.26. Dilatación y compresión de cinta CAP.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 116 4/1/14 9:44 AM

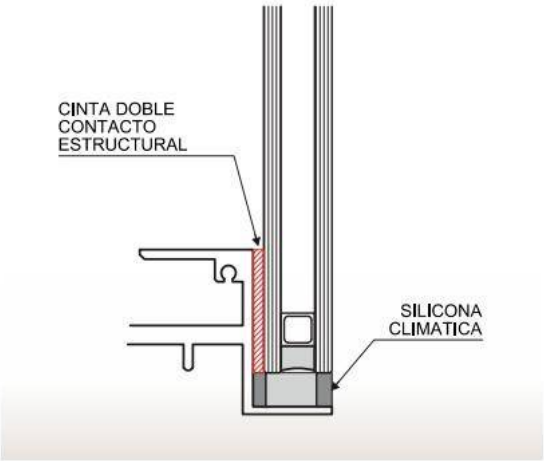


Figura 8.27. Aplicación de cinta CAP para panel en vidriado.

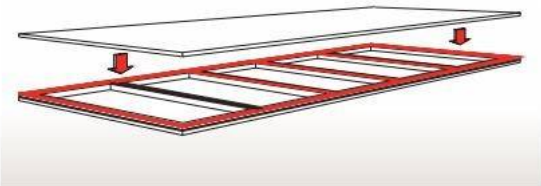


Figura 8.28. Aplicación de cinta CAP para panel arquitectónico.

Entre las ventajas exhibidas por la cinta CAP se destacan:

- Permite la aplicación de un cordón uniforme y un ancho estándar
- Su rapidez de aplicación
- Al estar 100% curadas lo cual reducen el tiempo de manipulación y despacho de los productos fabricados
- No propaga ruidos, ni vibraciones
- Reparte uniformemente las cargas en la zona de unión

8.3.2. COHESIÓN Y ADHESIÓN DE LA CINTA CAP

La fuerza de adhesión depende de la naturaleza del adhesivo (en el caso de las cintas CAP, se trata de adhesivo acrílico), de la naturaleza de los sustratos (energía superficial) y del tiempo. Mientras que la fuerza cohesiva depende únicamente de la naturaleza química del adhesivo, o del material. Se trata de un valor intrínseco y específico de cada superficie.

En general, los sustratos deben ser probados por separado para determinar la energía superficial del material y la calidad de adhesión. Para lograr una adecuada adhesión, el punto clave es obtener el contacto íntimo de ambos sustratos (wet-out bonding, en inglés), luego de aplicar una presión entre la cinta y el sustrato.

El vidrio flotado incoloro es generalmente un material de alta energía que exhibe una alta resistencia en la unión con la cinta CAP. Sin embargo, ésta puede cambiar con un vidrio con recubrimientos especiales.

Es posible desarrollar una buena adhesión con el aluminio anodizado; sin embargo el aluminio pintado (poliéster, pvdf, epoxi, etc.) es una superficie de "baja energía" lo cual dificulta su adhesión. Entonces se deberá realizar previamente los ensayos de adhesión para definir el uso de primer y promotores de adhesión; así como también la posibilidad de efectuar una "abrasión superficial" del sustrato para mejorar su adhesión.

■ Energía superficial de sustrato y calidad de adhesión

La capacidad de lograr un contacto íntimo entre cinta y sustrato depende de la energía superficial del material. Mientras mayor la energía superficial, entonces el sustrato es más fácil de pegar. Para los materiales de baja energía se recomienda el uso de primer para lograr una buena calidad de adhesión.

A continuación se presentan algunos valores de energía superficial, calculado como el ángulo "α" entre la tangente de una gota depositada sobre el material y la superficie del sustrato:

METALES	
Aluminio anodizado	840
Zinc	753
VIDRIO	250-300
PLASTICOS	
Resinas fenólicas	47
Polyester	43
Epóxicos	43
Poliuretanos	43
Policarbonatos	42

NOTA: los perfiles pintados son de baja energía superficial y requieren uso de primer.

■ Desarrollo de adhesión de la cinta CAP

La cinta CAP desarrolla una adhesión instantánea (al tacto), pero es con la presión inicial con rodillo que se desarrolla la adhesión inicial requerida para adherir el panel, o vidrio. Después de unas 72 horas se alcanza la adhesión final en condiciones de temperatura de laboratorio.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 117 4/1/14 9:44 AM

NOTA: El proceso de anclaje del adhesivo tiene un tiempo máximo de 72 horas. A los 20 minutos de la unión se alcanza aproximadamente cerca del 50 % de la resistencia final.

8.3.3. EFECTO DE LA EXPOSICIÓN DIRECTA A LA RADIACIÓN UV Y TEMPERATURA

La mejor forma de evaluar la durabilidad de los sistemas adhesivos es evaluando su desempeño en aplicaciones reales. Dicha información debe ser complementada con estudios de envejecimiento acelerado para evaluar la durabilidad de las cintas CAP de tal forma de garantizar su adhesión y buen comportamiento en el tiempo.

Se recomienda que el contratista del muro cortina solicite al fabricante de la cinta CAP los certificados de resistencia UV en pruebas de envejecimiento considerando:

- Cámara UV de envejecimiento acelerado
- Uso de bulbos de radiación UVA 340 (es específico)
- Luz UV de alta intensidad
- Uso de Ciclos de temperatura y humedad
- Uso de bulbos de radiación UVA 340
- Temperatura de la cámara 50°C
- Periodo de exposición de 5000 horas

Las cintas CAP son resistentes a temperaturas extremas, variando desde -40°C hasta +100°C, en condiciones de servicio. Los fabricantes de cintas CAP deben realizar evaluaciones, de acuerdo a normas técnicas homologadas, de resistencia y adhesión en condiciones extremas de temperatura y esta información debe resultar documentada mediante ensayos de Laboratorio.

8.3.4. MÉTODOS DE LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE SUSTRATOS

Es esencial que la preparación adecuada de la superficie del vidrio y el perfil metálico sean controlados y se sigan los procesos y procedimientos establecidos para asegurar el mejor rendimiento de la cinta, y la óptima resistencia de la unión. Antes de la aplicación de la cinta CAP, los sustratos a unir tienen que estar libre de contaminación de la superficie. Cualquier suciedad o grasa en la superficie actúa como una barrera y se pone en peligro el nivel de adhesión.

En climas con alta humedad una película de condensación se puede generar en los sustratos, lo cual perjudica la resistencia de la unión. Los perfiles de aluminio son muy susceptibles a la formación de la película de humedad sobre todo si los perfiles son fríos y se ponen en un ambiente más cálido.

■ Uso de promotores de adhesión

El fabricante de la cinta CAP deberá verificar la calidad de la adhesión de cada sustrato, y recomendar el uso de primer, o promotores de adhesión.

El primer debe ser aplicado en una capa fina, usando papel blanco y desechable. El recubrimiento debe ser plano y uniforme y se debe evitar áreas de recubrimiento excesivo.

8.3.5. MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA CINTA CAP

Se recomienda que la fabricación de los paneles de acristalamiento estructural se realice en un ambiente controlado de fábrica y que la cinta no se aplique en la obra (dado que hay muchas posibilidades de contaminación de la superficie en una obra en construcción). Esta aplicación debe ser considerada como una aplicación "crítica", donde el riesgo de falla de la unión debe ser evitado a través de la incorporación de un factor de seguridad adecuado en la cantidad (cm2) de cinta utilizada.

Los paneles deben ser montados en una fábrica donde los procedimientos y métodos de trabajo apropiados son controlados y son consistentes con los procesos establecidos y las instrucciones entregadas por el fabricante de la cinta CAP, en la ficha técnica del producto, como ser:

- Limpieza y preparación de las superficies de forma correcta
- Ancho y longitud de cinta apropiado a las cargas de viento del proyecto
- Cortes y traslapes de las cintas en las esquinas de los módulos
- Los paneles unidos con Cinta CAP se pueden manipular y despachar a obra muy rápidamente.

■ Temperatura de Aplicación

Para la cinta CAP para muro cortina la temperatura mínima de aplicación son 12 °C. Todos los materiales tienen que estar sobre 12°C. Si la temperatura ambiente de la zona geográfica de instalación del proyecto está por debajo de lo señalado, se debe usar contenedores o implementar sistemas de climatización adecuados.

8.3.6. REVISIÓN DEL PROYECTO DE CINTA CAP

El aplicador de la cinta CAP deberá trabajar con el fabricante de la cinta para efectuar la revisión del proyecto de fachada, y para determinar las dimensiones de las cintas a utilizar.

8.3.6.1. Consideraciones de cálculo y diseño de cinta estructural

El ancho necesario de la cinta CAP se puede definir mediante el uso de uno o dos cálculos (basado en el diseño del sistema de acristalamiento estructural).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 118 4/1/14 9:44 AM

Si el panel tiene soporte estático incluido como parte del diseño del sistema de la fachada, entonces ***un cálculo de la carga dinámica*** es todo lo que se requiere para determinar el ancho de la cinta necesaria. Si el soporte estático no es parte del sistema de fachada, entonces un ***cálculo de la carga estática*** también debe llevarse a cabo, y el cálculo que produce el ancho mayor será el que se deberá utilizar.

■ Ancho de la cinta CAP – Cargas Dinámicas

El ancho mínimo de la cinta para la aplicación de muros cortina depende de tres factores:

- La resistencia a tracción de diseño (o, admisible) del agente adhesivo (CAP)
- La presión de diseño (carga dinámica del viento) y
- El tamaño del panel de vidrio.

El proveedor de cinta CAP debe establecer la resistencia de diseño de la Cinta Estructural para Cargas Dinámicas.

Para las cargas de tensión o corte dinámicas (tal como cargas de viento), una resistencia de diseño de 12 psi (85 kPa) es utilizada para la Cinta CAP más comúnmente usada. Este criterio de resistencia de diseño, proporciona un factor de seguridad de mínimo 5 y fue establecido basado en las pruebas de propiedades del material como parte de las pruebas de carga dinámica ASTM.

La Regla Trapezoide es el cálculo reconocido de la industria utilizado para determinar el ancho del agente adhesivo apropiado para la aplicación de muros cortina. Este cálculo y ejemplos se muestran a continuación, donde:

Ancho cinta CAP (L): es un valor numérico del ancho de la junta estructural, expresado en milímetros (mm);

Lado menor vidrio (m): es un valor numérico del lado menor del cristal más grande, expresado en milímetros (mm);

Carga de viento (p): es un valor numérico de la presión de viento de diseño, expresado en kilogramos por metro cuadrado (kg/m²) (kPa);

Tensión admisible diseño (r): es un valor numérico de la resistencia de la cinta de doble contacto estructural acrílica, igual a 8435 kg/m² (85 kPa).

Por lo tanto:

$$\textbf{Ancho Cinta CAP (mm)} = \frac{0.5 \times \text{lado menor vidrio (mm)} \times \text{Carga de viento (kpa)}}{85 \text{ (kpa)}}$$

El cálculo de la carga dinámica debe hacerse para determinar el ancho apropiado de la cinta CAP. El cálculo de la carga estática, debe realizarse si la tensión es para la aplicación de vidrio no soportado.

■ Ancho de la Cinta – Cargas Estáticas (o, Cargas Permanentes)

Las aplicaciones de muro cortina utilizando un vidrio monolítico no soportado requiere el cálculo de la carga estática para determinar el ancho apropiado de la Cinta CAP.

Los principales factores a tener en cuenta en este cálculo son:

- Peso del panel
- Resistencia de diseño para cargas permanentes de la Cinta CAP
- Dimensiones del panel

El proveedor de cinta CAP debe establecer la resistencia de diseño de la Cinta Estructural para Cargas Estáticas. Este antecedente debe estar documentado por pruebas de laboratorio.

El criterio de resistencia del diseño más comúnmente usado es de 0.25 psi (1.75 x 10-4 kg/mm² o 1,75 Kpa). Esto significa una resistencia de diseño de 1 lb por cada 4 pulg² de la Cinta CAP (o, 1 kg por cada 55 cm²).

El siguiente cálculo de la carga estática es utilizado para determinar el ancho de cinta apropiado:

$$\textbf{Ancho de Cinta CAP (mm)} = \frac{\text{Peso panel (Kg)}}{\text{Perímetro (mm)} \times \text{Resistencia de Diseño (Kg/mm}^2\text{)}}$$

Para cargas muertas no soportadas, se deben realizar ambos cálculos, el de carga estática y carga dinámica. De los resultados obtenidos, el mayor es que que debe considerarse para utilizar como ancho de la cinta CAP apropiado para la aplicación correspondiente.

8.3.6.2. Valores aproximados de fluencia lenta en la cinta estructural

Los ensayos de fluencia lenta realizados por algunos fabricantes de cinta estructural indican que, después de 3 días, es posible ver desplazamientos por creep de 1 mm con una carga muerta de 1 psi. Debido a lo anterior, es muy importante limitar el cizalle por peso propio de la cinta estructural al valor de 0,25 psi, según indicado por los estándares de la industria, indicado en el sección anterior. El proveedor de cinta CAP debe disponer la carga de diseño de peso propio según sus evaluaciones técnicas de laboratorio.

8.3.7. APLICACIÓN DE SELLO CLIMÁTICO

Para completar la fabricación de la unidad de acristalamiento con cinta estructural, se debe aplicar un sello climático una vez instaladas las unidades en el muro cortina,

muro cortina cap 6 en adelante.indd 119 4/1/14 9:44 AM

para así formar una junta climática de movimiento entre paneles.

El sellador debe ser de una silicona neutra y compatible con la cinta CAP (nota: no se debe usar la silicona acética). Se recomienda usar cinta de enmascarar, durante la aplicación y el espatulado del sello climático, para lograr un buen acabado final del vidrio.

8.3.8. EXIGENCIAS DE TOLERANCIAS DIMENSIONALES DE PERFILES, VIDRIOS Y PANELES

En general las cintas de tipo estructural disponibles en el mercado tienen un espesor de 2,0 a 3,0 mm. A diferencia de otros tipos de selladores que se usan con espesores mínimos de ¼" (y que llenan el espacio que queda entre los sustratos – perfiles, vidrios o paneles), las cintas estructurales requieren que los materiales se ajusten al espesor más reducido de la cinta. Esta condición exige que los materiales componentes de la fachada cumplan con requisitos de tolerancias dimensionales más estrictos, a objeto de lograr una buena adhesión.

Los requisitos indicados por los diferentes fabricantes son:

En general, un paño de vidrio debe tener una deformación máxima inferior a 2 mm por cada 1 metro de longitud del vidrio.

Los marcos deben tener un alabeo (no planitud) máximo inferior a 0,7 mm por cada 1 metro de longitud del perfil. En las esquinas de marcos, la tolerancia máxima debe ser inferior a 0,3 mm.

En el caso de vidrios templado, o termoendurecidos, se recomienda verificar que no se produzcan distorsiones a causa de la onda del rodillo; ya que se podría generar un problema de pegado debido al espesor reducido de la cinta CAP.

8.3.9. RESUMEN DEL PROCESO DE REVISIÓN DEL PROYECTO CON CINTA CAP

Se recomienda que los proyectos que usen cintas CAP cumplan con los siguientes requisitos:

- El fabricante de Muros Cortina entrega al proveedor de la cinta CAP los ***Antecedentes del Proyecto***.
- El proveedor de la Cinta CAP realiza las ***pruebas de adhesión*** con los sustratos usados en el proyecto.
- El proveedor de la Cinta CAP debe ***especificar el ancho de la cinta CAP*** y recomendar los ***procedimientos de instalación*** de la cinta CAP.
- ***Entrenamiento*** de los instaladores de la cinta CAP.
- El proceso de instalación debe ser ***revisado*** por el proveedor de la cinta CAP.

8.3.9. REFERENCIAS NORMATIVAS MÁS EMPLEADAS

Los fabricantes de cintas CAP tienen disponible resultados de ensayos de laboratorio para medir la resistencia estructural, la estanquidad al agua y la hermeticidad al aire usando las normas indicadas en el capítulo 11.

Es importante complementar los resultados anteriores, con los desempeños exhibidos por las cintas CAP ante cargas de corte, tracción y peel-off, para lo cual se recomienda considerar las siguientes normas técnicas:

- ASTM D 897 – 08, Standard Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds. Utiliza una velocidad de aplicación de la carga de 12,7 mm /min.
- D1002 – 10, Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal). Utiliza una velocidad de aplicación de la carga de 12,7 mm /min.
- ASTM D 3330 / D3330M - 04 (Reapproved 2010), Standard Test Method for Peel Adhesion of Pressure-sensitive Tape
- AAMA 501.4-09: Recommended Static Test Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems subjected to seismic and wind induced interstory drifts. Utiliza una velocidad de aplicación de la carga de 12,7 mm /min.
- AAMA 501.6-09: Recommended Dynamic Test Method for Determining the Seismic Drift Causing Glass Fallout from a wall System.

NOTA: en el caso de aplicación de cinta CAP en zonas sísmicas se recomienda considerar además los criterios descritos en la sección 3.11 del capítulo 3.

8.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE CORDONES DE SELLO ESTRUCTURAL

Para facilitar la correcta aplicación de los criterios de cálculo definidos por las normas técnicas y los fabricantes de materiales, a continuación revisaremos un caso genérico (ver Tablas 8.4 y 8.5).

Muro Cortina con los siguientes datos:

- Vidrio plano de 10 mm (es decir peso = 25 kg/m²).
- Medidas del vidrio 3000 x 1250 mm.
- Presión de viento de diseño = 1500 Pa (o, 153 kg/m²).
- Sistema de sello en 4 lados (sin fijación perimetral con perfiles o tapas).
- Peso total del vidrio = 93,8 kg.

CONCLUSION:

El contratista de muro cortina deberá considerar las diferentes medidas del cordón de silicona y de la cinta tipo CAP al momento de definir sus perfiles de aluminio, y el resultado estético en general del proyecto de muro cortina.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 120 4/1/14 9:44 AM

TABLA 8.4. TENSIONES ADMISIBLES DE DISEÑO SEGÚN NORMAS ASTM E IEC

SISTEMA DE SELLO	CARGAS VIVAS (DINÁMICAS)	CARGAS MUERTAS (ESTÁTICAS)
Silicona estructural * según ASTM C1401	140 KPa (20 psi)	8 KPa (1,0 psi)
Cinta del "Alto Pegado" * según IEC y recomendación industria	85 KPa (12 psi)	1,8 KPa (0,25 psi)
Razón de resistencia	x 1,7	x 4,0

TABLA 8.5. DIMENSIONES MÍNIMAS REQUERIDAS DE LOS CORDONES DE SELLO ESTRUCTURAL

SISTEMA DE SELLO	CARGAS VIVAS	CARGAS MUERTAS (*)
Silicona estructural	8,2 mm	16 mm
Cinta del "Alto Pegado"	11,3 mm → redondear a 12,7 mm	63 mm

(*): en el cálculo del cordón para cargas muertas, se ha considerado que no se usa calzos inferiores de apoyo de los vidrios del muro cortina.

NOTAS:
1. Los valores de diseño (para cargas dinámicas y estáticas) de las cintas CAP corresponden a los valores específicos de cada cinta, y que cada fabricante debe informar y documentar.

2. En el caso de las siliconas estructurales se deben usar los valores indicados por la norma ASTM C1401-2002.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 121 4/1/14 9:44 AM

9. Materiales del Muro Cortina y Fachada Ventilada

Este capítulo está organizado en 2 secciones; la primera está referida a los requisitos específicos de los materiales típicos usados en un proyecto de muro cortina; mientras que la segunda presenta los sistemas de fachadas ventiladas; los cuales incorporan nuevas materialidades y sistemas constructivos para la envolvente de la edificación.

9.1. MATERIALES DEL MURO CORTINA

En los últimos años se ha visto una creciente disponibilidad de nuevos materiales para los sistemas de muros cortina, que intentaremos reseñar brevemente en este capítulo. El objetivo es presentar las características y requisitos más relevantes que el profesional, fabricante o mandante, deben tener en cuenta al momento de desarrollar un proyecto.

9.1.1. EL ALUMINIO PRIMARIO

Las ventajas del aluminio son: su elevada resistencia a los agentes atmosféricos, su potencialidad estética, su reducida necesidad de mantención, su elevada relación resistencia/peso, su facilidad de corte/mecanizado, su gran vastedad de formas extruidas y mínimas tolerancias de fabricación. Su peso específico es 2,7 kg/cm³, un 66% más liviano que el acero y tiene un comportamiento dúctil que evita su falla frágil

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, después del oxígeno y el silicio. Debido a su reactividad química, no se encuentra en estado puro como otros metales, sino que aparece combinado con el oxígeno, formando un óxido (Al_2O_3) llamado Alúmina. Este óxido se encuentra sobre todo en los yacimientos de bauxita.

La bauxita es convertida en alúmina, la cual luego se transforma en aluminio en un proceso de reducción electrolítica, llamado "fundición". Posteriormente es mezclada con otros metales para dar origen a las diferentes aleaciones, que exhiben propiedades muy diversas para diferentes usos particulares. Finalmente, el metal es convertido en los lingotes o tochos (billets).

A partir del billet (o, tocho) se da inicio al proceso de transformación llamado extrusión, que permite convertir el tocho en un perfil de aluminio, con propiedades y geometrías particulares según requerido para un producto.

9.1.2. ALEACIONES DEL ALUMINIO

El aluminio puro es tierno y dúctil, lo cual representa una limitación evidente, ya que en la mayoría de las aplicaciones se requiere un nivel de resistencia mecánica superior a la que el metal pueda ofrecer.

Por este motivo el aluminio es normalmente "aleado" con otros metales a objeto de mejorar sus características no solo mecánicas sino que también físicas, de terminación y de trabajabilidad. Los elementos "aleados" del aluminio más frecuentes son: cobre (Cu), silicio (Si), zinc (Zn), magnesio (Mg), manganeso (Mn), los cuales confieren características especiales diferentes al metal de base.

La serie 6000 presenta las mejores dotes técnicas y económicas para la producción de extrusiones: elevada velocidad de extrusión y de transformabilidad de la aleación, simpleza de tratamiento térmico, buena conductividad eléctrica, características mecánicas interesantes, elevada aptitud para recibir los tratamientos superficiales, alta resistencia a la corrosión, fácil soldabilidad.

La principal aleación de la serie 6000 para la extrusión de perfiles para Muros Cortina es la llamada aleación A6063, también conocida por su sigla Al-Mg-Si 0,5: la cual presenta las mejores condiciones de extruibilidad, entendida como la posibilidad de realizar formas complejas abiertas o cerradas y con espesores muy reducidos, como también por la posibilidad de alcanzar las mayores velocidades de extrusión.

9.1.3. PROCESO PRODUCTIVO DE LA EXTRUSIÓN Y EL ACABADO SUPERFICIAL

9.1.3.1. Extrusiones de aluminio

La tecnología de la extrusión está basada en la plasticidad de los metales cuando éstos se encuentran en estado sólido, pero próximos a su temperatura de fusión. Esquemáticamente consiste en introducir el metal en un recipiente o contenedor, colocando en uno de sus extremos una matriz con la sección del perfil que se vaya a obtener.

Por el otro extremo se aplica una presión por medio de un émbolo que hará fluir el metal a través del orificio de la matriz, obteniendo así el perfil deseado.

Las prensas de extrusión son máquinas hidráulicas cuyo tamaño varía según sea la fuerza que desarrolle y las dimensiones de los perfiles que se vayan a fabricar. Las más comunes se sitúan entre las 1.200 y las 3.000 Tons. de empuje.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 122 4/1/14 9:44 AM

TABLA 9.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA (EN %) DE LA ALEACIÓN 6063 MÁS USADA EN MUROS CORTINA

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros
6063	0.20-0.6	0.35	0.1	0.1	0.45-0.9	0.1	0.1	0.1	-

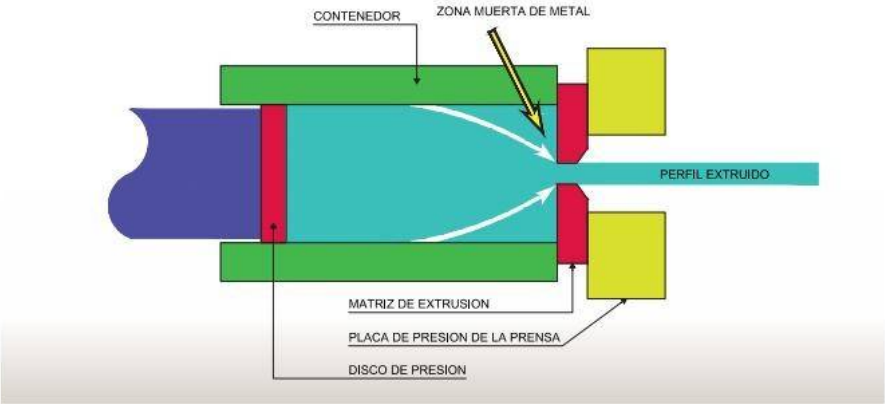


Figura 9.1.
Tocho de aluminio a la salida de la prensa de extrusión

La técnica consiste en calentar el tocho a una temperatura que varía entre los 460 y 500ºC, de manera que, al fluir el aluminio por la matriz, el perfil salga a una temperatura ligeramente superior a los 510 ºC para ser enfriado rápidamente a una velocidad entorno a los 50 ºC/minuto.

Los perfiles son enfriados sobre la mesa de salida de la prensa (cuya longitud suele variar de 48 a 55 metros, y con un ancho de 4 a 5 metros) y son sometidos a un pequeño estiramiento para enderezar las ligeras curvaturas que presentan las barras de perfil extruído.

Se encuentra una sierra, situada en el extremo de la mesa, cortará las barras a longitudes comerciales, entre 4 y 6 metros, para ser depositadas en contenedores e introducirlas finalmente en un horno de templado a 175 ºC (durante unas 6 horas) antes de ser embalados los perfiles para su distribución.

En la figura 9.1 se muestra el tocho de aluminio saliendo de la prensa de extrusión.

9.1.3.2. Anodizado de perfiles

Se trata de un proceso electrolítico en el que se provoca la producción de una capa de óxido de aluminio artificial en la superficie de los perfiles y que aumenta hasta mil veces el espesor de la capa natural de óxido que tiene el aluminio.

Esquemáticamente el proceso consiste en una preparación previa de la superficie del perfil en baños ácidos o alcalinos para después sumergirlo en una cuba de electrólisis, en la que el propio perfil hace de ánodo, en ella se produce una capa superficial brillante y transparente de óxido de aluminio, mucho más profunda, duradera y decorativa que la capa de óxido natural.

Finalmente se somete a un sellado en un baño de agua des-ionizada en torno a los 100ºC. También se puede hacer esta operación en frío en un baño específico.

La profundidad de capa de óxido que se puede conseguir dependerá del uso final que vaya a dársele al perfil. Para usos interiores basta con que sea de 8 micras, para exteriores de ambiente poco agresivo, como zonas rurales o poco industrializadas, son suficientes 15 micras y ya para zonas industriales o costeras se recomienda 20 micras. También con este tratamiento se pueden conseguir superficies en diferentes colores.

■ Recomendaciones de espesor de capa anódica en Chile:

- Para usos interiores se recomienda: 10 +/-2 micrones.
- Para exteriores de ambiente poco agresivo, como zonas rurales o poco industrializadas: 15 +/-2 micrones.
- Para zonas industriales o costeras se recomienda: 18 +/- 2 micrones.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 123 4/1/14 9:44 AM

9.1.3.3. Pintado de perfiles

El pintado de perfiles de aluminio es otro de los tratamientos de superficie que, además de protegerle aún más de la corrosión natural, permite obtener una gran variedad de colores mates, brillantes, metalizados, etc., con los que los arquitectos pueden disponer de un amplio abanico de posibilidades de obtener armónicos conjuntos en fachadas e interiores.

El proceso de este tratamiento consiste fundamentalmente en una limpieza previa de la superficie del perfil, sumergiéndolo en un baño ácido o alcalino. Posteriormente se aplica sobre la misma una capa de óxido de cromo que mejorará significativamente la resistencia a la corrosión y permitirá un buen anclaje para la aplicación posterior de la pintura. Finalmente el perfil es introducido en un horno, llamado de polimerización, a una temperatura en torno a los 200°C, finalizando así el proceso de pintado.

Las pinturas más utilizadas son de poliéster en polvo, que se aplican en la superficie de los perfiles por medio de pistolas electrostáticas.

9.1.3.4. Perfiles con rotura de puente térmico

Para las zonas de climas extremos, como el norte de Europa, la industria de sistemas de carpintería desarrolló hace años una solución de perfiles que incorpora una varilla de un material de alta resistencia térmica (ABS, poliamida), que separa el perfil en dos partes, e interrumpe el puente térmico entre el ambiente exterior y el interior.

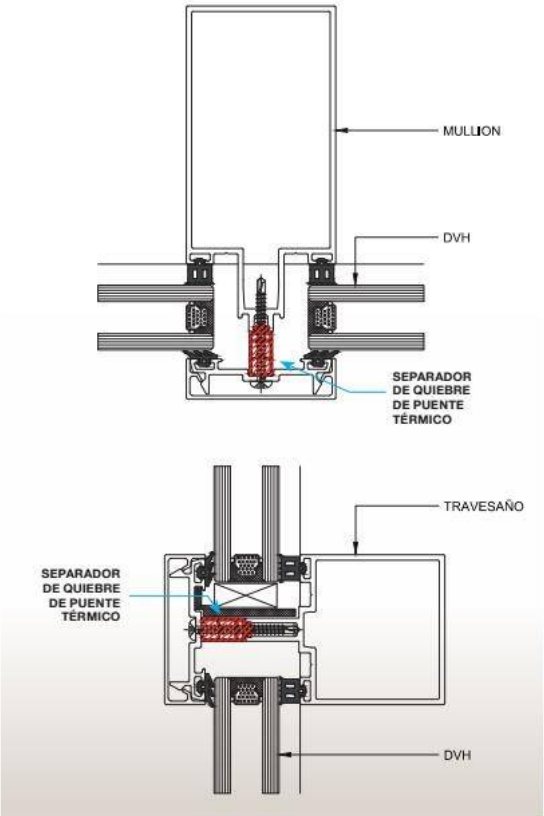


Figura 9.2. Detalle de perfil de aluminio con varilla de rotura de puente térmico.

TABLA 9.2. RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA PERFILES ELECTRO PINTADOS

ENSAYO	NORMA	VALOR	UNIDAD
Espesor de película	ISO 2360	40-120	micras
Resistencia a la corrosión Niebla salina	NCh 904	1000	hr
Ensayo a la humedad cíclica	BS3900F2	1000	hr
Inmersión en agua 25°	ISO 3210	1000	hr
Ensayo de resistencia al rallado	ISO 2815	4000	g
Brillo nivel 60°	ISO 2813	+-5	valor indicado
Ensayo de adherencia	ISO 2409	0	GT
Ensayo Xeno Test	IS0105	1000	hr

NOTA:En los cortes de los perfiles se puede recomendar un post pintado de los perfiles exteriores (ejemplo: tapas decorativas), pero como es difícil de ejecutar, más realísticamente se debe considerar un buen sellado con silicona en todos los cortes.
Fuente: Indalum, Manual Indalum IBS, 2006.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 124 4/1/14 9:44 AM

9.1.3.5. Recomendaciones contra la corrosión galvánica y ambiental

a) Corrosión galvánica

Se origina por la diferencia de potencial que tienen los materiales que están en contacto (ver las series galvánicas de metales y aleaciones). Ocurrirá que el material más noble (o catódico) corroerá el material menos noble (o anódico).

En este caso resulta fundamental evitar el contacto directo entre materiales con diferencia de potencial; como por ejemplo: aluminio con latón, acero, galvanizado, etc. Este tipo de corrosión es más agresiva que la ambiental, y sí podría llegar , en el largo plazo, a comprometer estructuralmente algún perfil. Pero más frecuente sería que se suelten los elementos entre sí, o se pierda algún trozo pequeño de material.-

Para evitar este tipo de falla, se debe identificar en la etapa de definición del proyecto dichas situaciones y proponer protecciones con elementos separadores, como ser: lainas de polietileno, de Pvc de un espesor superior a 1,0 mm.

Además en los frentes costeros, se debe recomendar el uso de elementos de fijación (tornillos, pernos, pasadores, etc.) de acero inoxidable, de tipo austenítico. Buena experiencia se ha obtenido con la serie 304.

b) Corrosión ambiental

Corresponde al ataque de los agentes atmosféricos sobre la superficie de los perfiles y depende de la agresividad del ambiente donde se instalan los elementos de aluminio.

La experiencia acumulada indica que este tipo de corrosión ataca superficialmente el perfil afectando algunos pocos micrones, pero sin llegar a comprometer el comportamiento estructural del perfil. La corrosión ambiental se manifiesta como "picaduras" en diferentes puntos de la superficie del perfil.

En particular, se observa que en los frentes costeros la depositación de sales en la superficie del aluminio empeora el aspecto estético del perfil. Sin embargo, hay que considerar que dichas sales detienen el proceso corrosivo para que no penetre en la sección profunda del perfil.

Para combatir este ataque resulta importante una mantención de los aluminios para asegurar su limpieza periódica y así evitar la acumulación de sales, ácidos.

9.1.3.6. Rango de colores y control dimensional

Según el proceso de anodizado, la superficie de aluminio presenta porosidades que se aprovecha para la coloración del perfil de acuerdo a las especificaciones de éste. La coloración se obtiene con el depósito de estaño metálico al interior del poro con lo cual se consigue el efecto óptico de la coloración. A mayor nivel de llenado el perfil es más oscuro. Para todos los tonos anodizados, no existe "un único color" sino un rango entre el tono mayor y el tono menor, excluido el plata mate que solo tiene un color. Este rango es acordado con el proveedor de acuerdo a consideraciones arquitectónicas y ambientales.

Se debe considerar que es posible que los colores de dos objetos pintados pueden ser similares al ser observados con una luz determinada, pero apreciarse como diferentes bajo otra luz distinta, (nota: en estricto rigor dos colores son iguales cuando las curvas espectrales son iguales, las cuales pueden ser consideradas como "huellas digitales" de cada color).

En algunas situaciones muy críticas es posible hacer un trabajo previo de "empate" de colores, es decir, emplear perfiles de tono oscuro con otros perfiles de tono oscuro (idem para tonos claros), así se evitaría que se fabriquen elementos de tonos muy disímiles y que se produzcan diferencias desagradables a la vista.

Con respecto a las tolerancias en las dimensiones y geometrías de los perfiles se deben aplicar las normas Copant, las cuales determinan las tolerancias para productos extruídos de aluminio.

En general, las tolerancias posibles de lograr varían en las décimas de milímetros. Sin embargo, en casos críticos, puede corregirse una excesiva tolerancia geométrica usando una máquina llamada rectificadora.

9.1.3.7. Normas técnicas para la extrusión de aluminio

A continuación se detallan algunas normas técnicas de referencia para los diferentes procesos de la fabricación de perfiles extruidos:

1. Extrusión de perfiles:

- Aleación y tratamiento térmico: Aluminum Association (2003) y Copant (1978), norma base ANSI H35.1.(1997) .
- Tolerancias dimensionales: Aluminum Association (2003) y Copant (1978), norma base ANSI H35.2. (1997) .

2. Anodizado superficial de perfiles de aluminio:

- Norma ASTM B244-68 (Reapproved 1997): Espesor de la capa anódica.
- Norma ISO 2143. 1981 (E): Pérdida de la absortividad de la capa anódica.
- Norma ISO 3210. 1983 (E): Calidad de sellado de la capa anódica.

3. Pintado en polvo de perfiles de aluminio:

- Norma ASTM B449. 67 (Reapproved 1993): Cromatización de la superficie del aluminio.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 125 4/1/14 9:44 AM

- Norma ASTM B244. 68 (Reapproved 1997): Espesor de la capa de pintura.
- Norma ASTM D3363. 74 (Reapproved 2000): Dureza. Prueba del lápiz grafito.
- Norma ASTM D3359. 1997: Medición de la adherencia de la capa de pintura.

4. Muestreo e Inspección de calidad de perfiles:

- Norma NCh 43 – 1961
- Norma NCh 44 – 1978

9.1.3.8. Perfiles de PVC

Hoy en día existen en Chile algunos pocos edificios, de 3 a 6 pisos, que han utilizado el PVC como solución para la ejecución de muros cortina.

El diseño de un muro cortina de PVC tiene que considerar en forma especial las juntas de movimientos verticales y horizontales, de forma de permitir los movimientos de la estructura, las dilataciones térmicas de los materiales, las tolerancias de fabricación e instalación y estanqueidad.

La transferencia de esfuerzos de peso propio y viento en un muro cortina de PVC, se ejecuta mediante perfiles de refuerzo (de acero galvanizado o aluminio), los que se anclan a las losas y tienen la responsabilidad de transmitir las cargas de peso propio y viento a la estructura del edificio.

Los muros cortinas de PVC pueden recibir acristalamiento convencional con junquillos y burletes, o recibir los cristales mediante un sistema de adhesión estructural ejecutado sobre perfiles perimetrales de aluminio, que se encuentran fijados mediante conectores a la estructura de acero o de aluminio estructural.

El PVC se ha ido desarrollando significativamente en el mercado de ventanas para uso residencial sobretodo en la zona centro-sur de Chile; sin embargo las pocas aplicaciones realizadas hasta ahora para muros cortina indican que se trata de una solución que recién está dando sus primeros pasos.

9.2. EL CRISTAL EN LA FACHADA

El cristal es un material duro, frágil y transparente. A pesar de comportarse como sólido, es un líquido sobre enfriado, amorfo (sin estructura cristalina). El cristal ordinario se obtiene por fusión a unos 1.250 ºC de arena de silice ($Si\ O_2$), carbonato sódico ($Na_2\ CO_3$) y caliza ($CaCO_3$). Su manipulación sólo es posible mientras se encuentra fundido, caliente y maleable.

Para complementar lo expuesto en esta sección, se recomienda la lectura del Manual del Vidrio Plano, editado por ACHIVAL A.G. en el año 2007; donde es posible encontrar información detallada del uso del cristal en la arquitectura.

9.2.1. CRISTAL FLOTADO MONOLÍTICO

El cristal flotado fue inventado por Pilkington en 1959, la fabricación de vidrio plano mediante el proceso Float consiste en una lámina de vidrio en estado de fusión que flota a lo largo de una superficie de estaño líquido. En el baño "Float" la masa vítrea permanece confinada en un medio cuya atmósfera es químicamente controlada, a una temperatura lo suficientemente alta y durante un tiempo lo suficientemente prolongado para eliminar irregularidades y nivelar sus superficies hasta tornarlas planas, paralelas y brillantes, pulidas a fuego. Debido a que la superficie del estaño es plana, la del cristal así obtenido también lo es. La lámina es enfriada lentamente mientras sigue flotando sobre el estaño, hasta que con sus superficies lo suficientemente endurecidas, emerge del mismo y continua avanzando sobre rodillos, sin que éstos afecten su cara inferior.

9.2.2. DOBLE VIDRIO HERMÉTICO (DVH)

El DVH es un vidrio conformado por 2 vidrios que se encuentran separados por una cámara de aire. Los vidrios pueden ser cualquiera de los tipos existentes (incoloros, de color, reflectivo, laminado, templado o termo-endurecido).

La separación entre los vidrios puede lograrse de dos distintas maneras:

- Por medio de un separador metálico (normalmente de aluminio).
- Por medio de un cordón de material orgánico (que si embargo tiene la debilidad que no es posible exponerlo a la radiación UV y ozono en forma directa).
- Es indispensable colocar un deshumectante en el interior del DVH, para evitar que la humedad del aire, que ha quedado retenido en el interior de la cavidad, condense cuando el DVH sea sometido a diferencias de temperaturas entre sus caras.

Todo este conjunto debe ser mantenido unido y aislado para impedir el ingreso de aire desde el exterior, para los cual se utilizan selladores especiales:

Selladores inorgánicos: como la silicona estructural, que permite ser usado en todo tipo de DVH: con y sin protección perimetral del borde por los perfiles de aluminio.

Selladores orgánicos: como el polisulfuro, el poliuretano y el hot melt, que presentan el problema de su degradación con el UV, las altas temperaturas (con cristales de absorción térmica) e hinchamiento con el agua, además requieren necesariamente ser usados con perfiles que cubran todo el perímetro del borde del DVH.

Además se usa una barrera primaria (llamada "barrera de vapor"), consistente en un cordón de butilo aplicado sobre el borde del separador metálico.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 126 4/1/14 9:44 AM

9.2.3. CRISTAL LAMINADO

Los vidrios laminados son vidrios formados por dos o más hojas de cristal flotado (incoloro, color, crudo o templado), unidas entre sí por la interposición de una o varias láminas de polivinil butiral (PVB) aplicadas a presión y calor en un autoclave. El espesor de PVB estándar es 0,38 mm, pero las aplicaciones especiales (de seguridad o de control acústico) se usan los espesores de 0,76, 1,14 y 1,52 mm.

Esta configuración combina las propiedades del vidrio (transparencia, dureza, etc.) con las propiedades del PVB, tales como: adherencia al vidrio, elasticidad y resistencia al impacto.

De este modo ante un impacto sobre el vidrio laminado, la película de PVB absorbe la energía del choque al mismo tiempo que mantiene su adherencia al vidrio. Así los trozos de vidrio no se desprenden y el conjunto se mantiene en el marco de la ventana.

Aunque el PVB es un material opaco en su estado natural, luego del proceso de autoclave es transparente, de modo que no se ven afectadas las propiedades de transmisión lumínica del vidrio.

Las capas intermedias típicamente pueden extenderse en espesores que van de 0,4 a 2,3 mm. Se debe considerar la compatibilidad y resistencia adquirida entre la estructura y el sellante aplicado al borde del cristal laminado, especialmente el borde expuesto de la capa intermedia. Cuando el sellante y las capas intermedias entran en contacto en presencia de humedad es posible que ocurra decoloración y delaminación tanto en las capas intermedias como en el perímetro del cristal. Según lo determinado en ensayos realizados, la decoloración y la delaminación, en la mayoría de los casos, no se extiende más allá de aproximadamente 5 milímetros del borde del cristal. Mientras que la integridad estructural del cristal laminado no esté deteriorada normalmente por este fenómeno, el aspecto estético de estos defectos del borde debe ser considerado.

Es importante mencionar que los procedimientos estándares de evaluación de la industria se deben seguir para evaluar el cristal laminado en cuanto a la duración de una carga aplicada y de los efectos producidos por diferencias de temperatura, temperaturas elevadas, viento, y si son aplicables, carga de la nieve.

9.2.4. CRISTAL TEMPLADO Y TERMOENDURECIDO

El vidrio recocido es muy resistente a la compresión pura, pero relativamente débil a la tracción. La rotura de un vidrio se produce por un excesivo esfuerzo de tracción sobre la superficie de sus bordes, o en una sobretensión en las microfisuras que siempre se encuentran presentes en la superficie del vidrio.

Teniendo en cuenta que los esfuerzos más comunes que soportará un vidrio en su vida útil son, precisamente, los de tracción (tales como: la presión de viento, las personas que se apoyan o se caen sobre el vidrio), resulta claro que la conveniencia de usar tratamiento térmico de los vidrios, lo cual le entregará una mayor resistencia a tracción respecto de la del cristal flotado.

Para realizar el tratamiento térmico se somete al vidrio a un aumento de temperatura hasta cerca del punto de ablandamiento (650 °C) y luego se enfría rápidamente. Este enfriamiento rápido hace que la superficie del vidrio se enfríe más velozmente que el centro, el cual seguirá relativamente más caliente. De este modo, se fuerza a la superficie y a los bordes del cristal a quedar en un estado de compresión respecto del centro.

Los vidrios tratado térmicamente pueden ser de dos tipos, dependiendo de la velocidad de enfriamiento a la que haya sido sometido durante su fabricación:

- **Templado:** El enfriamiento es muy rápido.
- **Termoendurecido:** El enfriamiento es más lento.

TABLA 9.3. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DEL VIDRIO TEMPLADO Y TERMOENDURECIDO

	TEMPLADO	TERMOENDURECIDO
Resistencia al impacto respecto del vidrio crudo	4 veces más	2 veces más
Deformación por flexión respecto al vidrio crudo	Igual	Igual
Forma de rotura	Pequeños fragmentos sin aristas cortantes	Pedazos grandes sin aristas cortantes
Soporta cambios de temperatura de hasta	250 °C	120 °C
Presenta rotura espontánea	Sí	No
Sobre vidrios reflectivos	Puede presentar distorsiones	No distorsiona ópticamente
Se considera un vidrio de seguridad?	Sí	No

muro cortina cap 6 en adelante.indd 127 4/1/14 9:44 AM

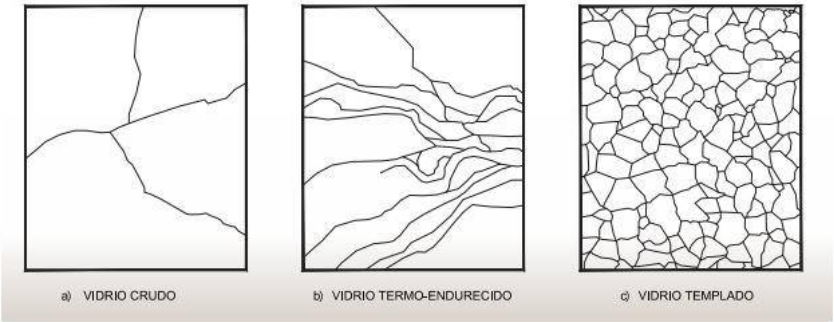


Figura 9.3.
Esquemas de fractura de vidrios crudo, termo endurecido y templado.

Una propiedad muy importante del vidrio templado es que una vez que inicia la rotura, ésta se propaga rápidamente por la liberación de energía que se produce. Como consecuencia, el vidrio se desintegra en pequeños fragmentos que no causan heridas cortantes, motivo por el cual es considerado vidrio de seguridad.

A continuación se indican los esquemas de fractura de los siguientes tipos de vidrio (Figura 9.3):

a) vidrio crudo.
b) vidrio termo-endurecido.
c) vidrio templado.

■ Efectos de la inclusión de sulfuros de nickel (NiS) en el vidrio

Es sabido que los vidrios pueden contener inclusiones de NiS invisibles al ojo humano e incluso a los microscopios más comunes. En los vidrios que son enfriados en forma normal, estas inclusiones no tienen ningún efecto en su función y resistencia; pero sí afectan a los vidrios templados. Justamente debido a la presencia del NiS es posible observar, aunque en raras oportunidades, la llamada "rotura espontánea" de los vidrios templados.

Debido a este fenómeno, hoy día la industria del cristal ha desarrollado el procedimiento de "heat soaked" con el cuál elimina en forma importante la posibilidad de dicha rotura espontánea; con lo cual el vidrio templado es una mejor elección para ser usado como vidrio de seguridad.

9.2.5. EL CRISTAL Y LA SEGURIDAD

■ Área vidriada de riesgo

Puede definirse como tal a una superficie vidriada que por su posición relativa en un edificio es susceptible de recibir el impacto accidental de personas y/o que en caso de rotura impliquen un riesgo físico a las mismas.

A los efectos de las normas técnicas, las áreas de riesgo se dividen en verticales e inclinadas. Se considera como vidrio vertical aquel cuyo ángulo de colocación es menor a 15° respecto de la vertical e inclinado cuando el ángulo es mayor.

Las áreas vidriadas consideradas de riesgo son:

- Puertas y los paños vidriados adyacentes que puedan confundirse con el acceso.
- Áreas vidriadas con circulación a uno o ambos lados del vidrio.
- Vidrios adyacentes a zonas resbaladizas.
- Vidrios colocados a baja altura respecto del piso (a 0,80 mt o menos).
- Las balaustradas de vidrio con vidrios a baja altura objeto de consideraciones adicionales de diseño más rigurosas.

Las principales áreas vidriadas inclinadas de riesgo son aquellas que están por encima de lugares de circulación o permanencia de personas.

En todas las áreas vidriadas de riesgo debería emplearse vidrio de seguridad y/o modificar dicha situación mediante otros recursos de diseño o barreras de protección (como por ejemplo: travesaños o palillos intermedios en las puertas).

■ Vidrio de seguridad

Son aquellos vidrios procesados que en caso de rotura no tienen potencial para producir heridas cortantes serias a las personas. Corresponden a los vidrios laminados, templados, termoendurecidos, armados o con lámina de seguridad, y según examinado en los párrafos anteriores presentan distintas propiedades y características de fractura.

Los vidrios de seguridad se clasifican por su comportamiento ante impacto en tres clases aceptadas por las principales normas técnicas mundiales, y que en el caso de Chile corresponde a la NCh135.

9.2.6. RECOMENDACIÓN DE VIDRIO DE SEGURIDAD EN MURO CORTINA

Según indicado en la versión 2006 del Manual de Muros Cortina del CDT, en los muro cortinas con cristales como elemento de cerramiento de piso a cielo es recomendable que los cristales interiores sean laminados para evitar el ries-

muro cortina cap 6 en adelante.indd 128 4/1/14 9:44 AM

TABLA 9.4. CLASIFICACIÓN DE LOS VIDRIOS DE SEGURIDAD, SEGÚN NORMA NCh 135

VIDRIO DE SEGURIDAD CON CLASE	H = 300 mm	H = 450 mm	H = 1200 mm
A	No se rompe o se rompe en forma segura	No se rompe o se rompe en forma segura	No se rompe o se rompe en forma segura
B	No se rompe o se rompe en forma segura	No se rompe o se rompe en forma segura	Ningún requisito
C	No se rompe o se rompe en forma segura	Ningún requisito	Ningún requisito

TABLA 9.5. RECOMENDACIÓN DE USO DE VIDRIO DE SEGURIDAD

POSICIÓN VIDRIO	LAMINADO	TEMPLADO	TERMO ENDURECIDO	CRUDO
Lucarna	Imprescindible	No recomendable	No recomendable	No recomendable
Puerta	Recomendable	Recomendable	No recomendable	No recomendable
Vitrina	Recomendable	Recomendable	No recomendable	No recomendable
Cristal en altura	Recomendable	No recomendable	Recomendable	No recomendable
Cristal en pisos bajos	Recomendable	Recomendable	Recomendable	Aceptable

Fuente: Manual de Muros Cortina - CDT, año 2006.

go de traspaso y/o caída de objetos o personas.

En los cristales instalados en altura, es recomendable ocupar cristales termo-endurecidos o laminados como cristales exteriores para evitar la caída de fragmentos en caso de quiebre accidental. Los vidrios de antepecho deberán cumplir con lo exigido por la OGUC, en el artículo 4.2.7.

9.2.7. OTROS TIPOS DE VIDRIOS

Además de los tipos de vidrios revisados durante este capítulo, es importante tener presente que en la arquitectura actual existe una gama muy amplia de otros vidrios, tales como: cristales reflectivos, vidrios de color en la masa, de baja emisividad, serigrafiado, esmerilado, grabados al ácido, cristales pirolíticos, vidrio armado, vidrio impreso, vidrio laminado con Eva, etc. Para una lectura más detallada de sus propiedades y características, se sugiere revisar el capítulo II, del Manual del Vidrio Plano, editado por Achival A.G. el año 2007.

9.2.8. CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL TIPO DE VIDRIO

En los capítulos del 2 al 5 fueron analizadas en detalle las consideraciones de diseño de una fachada, así como las recomendaciones de desempeño que se deberían especificar para un muro cortina.

Brevemente, se recuerda que algunos de los criterios más importantes a considerar son:

1. Color y aspecto.
2. Transparencia, deslumbramiento, opacidad.
3. Transmisión de luz visible.
4. Control de calor solar.
5. Aislación térmica.
6. Atenuación acústica.
7. Resistencia ante cargas de viento y otras solicitaciones relevantes.
8. Clase estructural ante cargas de impacto, y otros criterios de seguridad.

9.3. PANELES DE ALUMINIO COMPUESTO (O, PANELES ACM)

Las aplicaciones de paneles de aluminio compuesto datan desde hace muchos años en Chile, en todo tipo de edificación: comercial, corporativa, industrial.

Se trata de paneles de 4 a 6 mm de espesor, con un núcleo de polietileno y chapas externa e interna de aluminio, con pinturas especiales de recubrimiento (incluso de tipo PVDF de alta resistencia). El espesor más usado es de 4

muro cortina cap 6 en adelante.indd 129 4/1/14 9:44 AM

mm, su peso aproximado es de 5 a 6 kg/m²; mientras que las medidas más frecuentes son:

- **Anchos:** de 1219 mm a 1525 mm.
- **Largos:** de 3650 mm a 5000 mm.

Existen algunos tipos especialmente formulados para mejorar su resistencia contra incendio; llamados FR: "fire rated".

A continuación se muestran algunos detalles de instalación y fijación de los paneles ACM (Figuras 9.4 y 9.5).

En caso que el proyecto de arquitectura especifique un aspecto de "cantería seca", los paneles pueden incorporar en sus bordes perfiles de aluminio y burletes especiales, que podrían evitar la necesidad del sello climático a ras de la superficie del panel.

■ Panel con retorno en las canterías

En general, los paneles ACM son plegados (previo "routeado") para adaptarlos a las formas tridimensionales requeridas por el proyecto de arquitectura. Las esquinas son el punto "débil" del sistema, y se recomienda reforzarlas con un ángulo embebido en silicona estructural, y luego remachado para crear una esquina resistente a las solicitaciones y deformaciones durante su vida útil (nota: evitando el uso de tornillos, que pueden soltarse debido a la fatiga de material, por las cargas cíclicas de larga duración a la que están sometidos).

Debido a su bajo espesor, los paneles ACM pueden sufrir abolladuras y daños durante su vida útil, sobre todo durante las actividades de mantención y limpieza de fachada. Para reducir este problema, se recomienda colocar perfiles atiesadores en la parte posterior de los paneles, a una distancia de aproximadamente 1.000 mm cada uno.

Existe una gran variedad de otros materiales usados en la fabricación de paneles opacos para fachadas, tales como:

- Mármol, granito.
- Vítreos (opácos y translúcidos).
- Sintéticos; es decir, de materiales en base a productos inertes prensados con calor.
- Cementicios (algunos con refuerzos de fibra de vidrio).
- Planchas de acero pintadas, inoxidable, de cobre.
- Paneles tipo sándwich.

Cada tipo de panel dispone de un sistema de fijación diferente al marco de fachada, o al muro resistente del edificio. Los sistemas pueden ser mecánicos, mediante selladores, etc.

Estos materiales serán tratados con más detalle en el subcapítulo 9 – Fachadas Ventiladas.

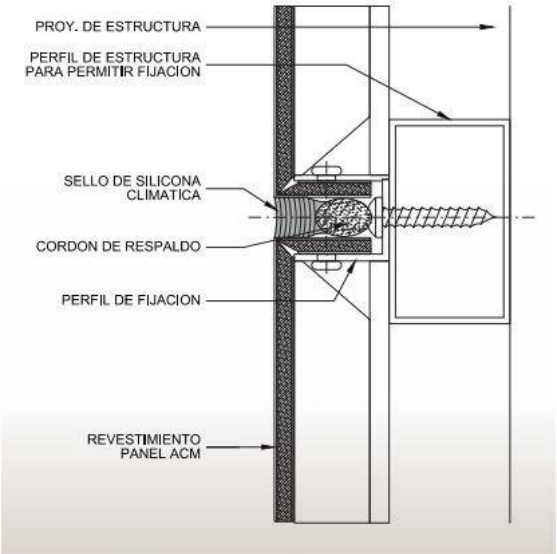


Figura 9.4. Detalle Vertical de sellado de panel ACM.

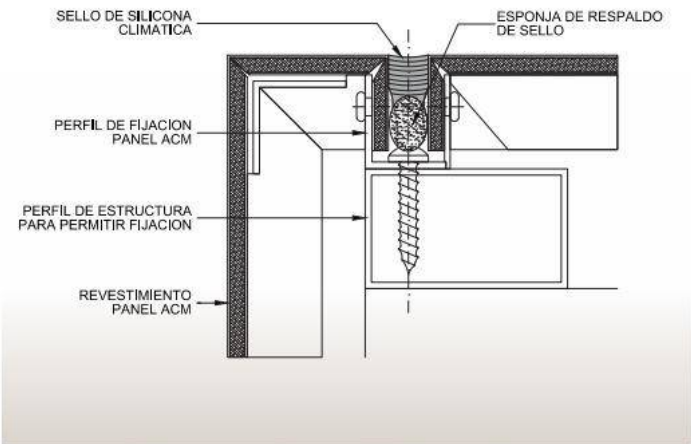


Figura 9.5. Detalle Horizontal de sellado de panel ACM (Con perfil ángulo de refuerzo en la esquina).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 130 4/1/14 9:44 AM

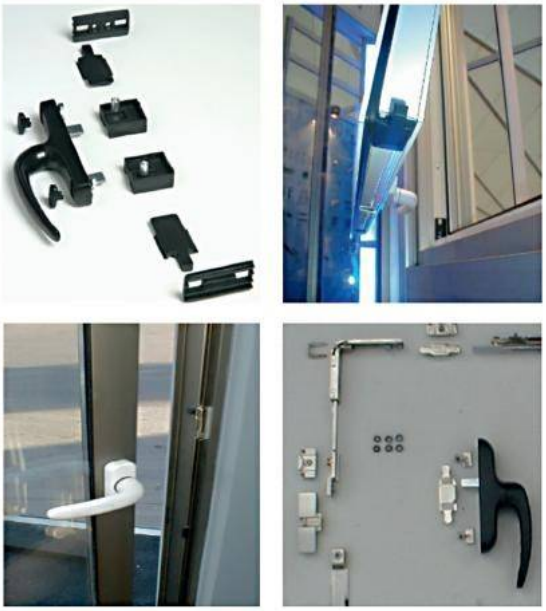


Figura 9.6. Detalle referencial de quincallerías.

9.4. QUINCALLERÍAS DEL MURO CORTINA

En los países desarrollados se han implementado algunos ensayos para verificar el buen funcionamiento de las ventanas como un todo, y en las cuales evidentemente las quincallerías-accesorios juegan un rol fundamental.

Dichos ensayos se refieren a controles que permiten evaluar cuál podrá ser la duración en el tiempo de una ventana, no en relación a una prestación particular, sino que en su conjunto considerando un usuario normal.

En Italia por ejemplo se redactó hace ya varios años la norma UNI 9158 – Edificación – Accesorios para ventanas – puertas ventanas – criterios de aceptación para pruebas mecánicas sobre los cerramientos accesorios.

Las pruebas consisten en efectuar un cierto número de movimientos (generalmente de 6.000 a 14.000) para simular la duración prevista y verificar si la resistencia del cerramiento permanece igual después de los ensayos. En estas pruebas se controla también si la hermeticidad al aire del cerramiento se mantiene igual después de los ensayos.

Para este tipo de pruebas existen ya normas y laboratorios acreditados para estos controles.

En resumen se puede decir que las diferencias obtenidas de los ensayos pueden ser eventualmente referidas al número de ciclos de apertura y cierre que es necesario considerar como vida útil del cerramiento. Se entrega también las indicaciones relativas a los esfuerzos aconsejados para la maniobra y uso de la ventana.

En Chile existe desde el año 2001 la norma NCh889. Of2001 – Arquitectura y Construcción – Ventanas – Ensayos Mecánicos, sin embargo no existe en la actualidad un laboratorio de ensayes equipado para entregar este servicio. Seguramente esta ausencia representa un desafío para la industria de fachadas, de puertas y ventanas, que debería ser colmada en el futuro para seguir mejorando los estándares de desempeño de nuestras fachadas.

También está presente la posibilidad de hacer los ensayos de calidad en laboratorios acreditados fuera de Chile, los cuales pueden emitir los certificados correspondientes usando diferentes normas técnicas: americanas, europeas, brasileñas, etc.

Es importante que todos los herrajes empleados en el proyecto cumplan con las especificaciones del fabricante seleccionado.

9.4.1. LISTADO DE QUINCALLERÍAS - ACCESORIOS

En esta denominación están comprendidos todos los elementos, a exclusión de los perfiles y vidrios, que se requieren para la fabricación de un cerramiento, y sin los cuales no es posible construir y operar las ventanas y puertas (Tabla 9.6).

Siguiendo una metodología usada por ASEFAVE, en su "Manual de Ventanas", se puede recomendar un Control de componentes de la Ventana, según el siguiente esquema:

1.1: Certificado del extrusor indicando aleación, tratamiento térmico, composición química del lote, características técnicas, espesor mínimo y garantía decenal. Comprobación

TABLA 9.6. LISTADO REFERENCIAL DE QUINCALLERÍAS - ACCESORIOS EN SISTEMAS DE ALUMINIO

- Bisagra para puerta y ventana
- Brazos de acero inoxidable austenítico
- Brazos de proyección en aluminio
- Burletes de Epdm
- Cremonas: 1, 2 y 3 puntos de cierre
- Cremonas de sistemas proyectantes
- Empaquetaduras
- Escuadras de alineamiento
- Limitador de acero inoxidable
- Limitadores y brazos de empuje
- Manillas
- Mecanismos multipunto para ventanas de doble contacto
- Tiradores
- Barandas y pasamanos
- Tornillos de aluminio, de acero galvanizado e inoxidable

muro cortina cap 6 en adelante.indd 131 4/1/14 9:44 AM

del Certificado de Calidad. Examen Visual. Si tiene marca de calidad, comprobación del Certificado.

1.2.1: Comprobación del certificado de calidad del anodizador. En caso que no exista el certificado de calidad, el anodizador deberá presentar el certificado de un laboratorio independiente de los ensayos siguientes: para cada lote suministrado la medida y muestreo de la capa y el ensayo y muestreo del sellado.

1.2.2: Comprobación del certificado de calidad. Examen visual y una comprobación del espesor de capa. En caso de que no exista el Certificado, el aplicador de pintura deberá presentar para cada lote suministrado el certificado de laboratorio independiente de los ensayos siguientes: espesor de capa, adherencia, dureza, impacto, niebla salina, envejecimiento acelerado, resistencia al mortero.

1.3: Certificado de calidad del fabricante del perfil elastómero indicando características técnicas, cumplimiento con las normas UNE, estabilidad a la temperatura y garantía decenal del envejecimiento del material. Comprobación del certificado de calidad. Examen visual.

1.4: Certificado de calidad del fabricante de la felpa indicando las características técnicas, cumplimiento con las norma UNE, estabilidad a la temperatura y garantía decenal del envejecimiento del material. Comprobación del certificado de calidad. Examen visual.

1.5: Comprobación del certificado de calidad marca ASTM o ISO. Examen visual.

1.6: Certificado de calidad del fabricante de herrajes o accesorios, indicando las características técnicas, cumplimiento con las normas, resistencia a la corrosión. Comprobación del certificado de calidad. Examen visual y funcional.

1.7: Certificado de calidad del suministrador y manipulador del vidrio indicando características técnicas, cumplimiento con las normas, garantía 5 años mínimo en el caso de los DVH, e incluyendo el certificado de los vidrios base (monolíticos, laminados, reflectivos, bajo emisivos). Comprobación del certificado de calidad. Examen visual.

9.4.2. CÁMARA EUROPEA

La industria europea de puertas y ventanas ha desarrollado algunos importantes acuerdos que han permitido estandarizar algunas soluciones técnicas en todos los países de la Unión Europea.

Particular importancia reviste la llamada "cámara europea", ya que ha permitido el uso de quincallerías-accesorios estándares respecto de las cámaras de los perfiles de aluminio, dónde dichos elementos se incorporan. Evidentemente esta medida ha permitido aumentar la producción de series y, por tanto, reducir los precios de los componentes.

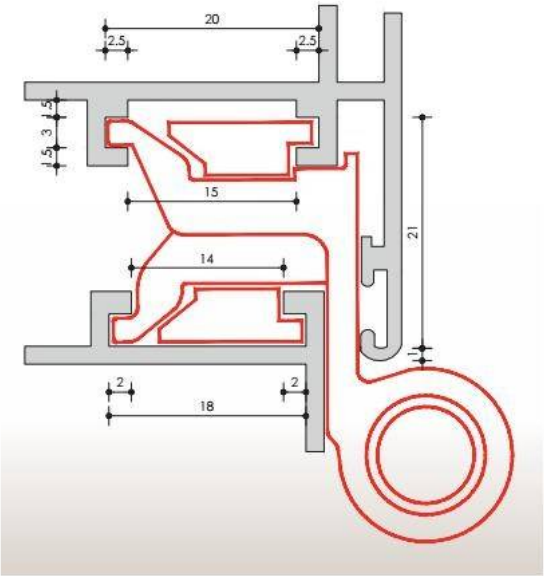


Figura 9.7. Detalle de perfil de aluminio con "cámara europea".

9.5. INSUMOS DEL MURO CORTINA

9.5.1. LANA MINERAL

- Es un material aislante térmico y absorbente acústico, constituido de lanas minerales blancas extrafinas, que se aglomeran para formar colchonetas, frazadas, bloques o caños premoldeados, que fijan en su interior, aire quieto. Se trata de un material incombustible y no inflamable, que no emite gases tóxicos en caso de incendios.
- Para aplicaciones de muros cortinas, se debe considerar el uso de lana mineral de densidad igual o superior a 120 Kg/m³, la cual debe ser instalada rellenando las cavidades interiores de la estructura utilizada como separador.
- En dinteles y antepechos, se deberán usar las recomendaciones del fabricante, o del laboratorio de ensayo. A modo referencial, se puede indicar que algunas empresas nacionales recomiendan un refuerzo con lana mineral de 50 mm, de densidad 128 Kg/m3, con recubrimiento de foil de aluminio, para revestir interiormente un cerramiento con placa de yeso-cartón, para lograr una resistencia al fuego de al menos F60.

9.5.2. OTROS INSUMOS DEL MURO CORTINA

Existen muchos sistemas de muros cortina, por lo cual existe también una gran cantidad de insumos diferentes que son utilizados por los diversos fabricantes e instaladores.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 132 4/1/14 9:44 AM

A título de ejemplo, se adjunta una lista de insumos relevantes:

- Tornillerías, remaches: de acero inoxidable serie 300.
- Tuercas y golillas: de acero zincado o galvanizado.
- Cordón de respaldo: de polietileno, celda cerrada.
- Cinta espaciadora: de 6x6 mm y de material compatible con las siliconas.
- Agentes de limpieza: IPA, Mek, Tolueno, Xyleno.

9.6. SUB CAPÍTULO: FACHADAS VENTILADA

■ Definición de Fachada Ventilada

El concepto de fachada ventilada consiste en una doble piel, distanciada de la edificación que al estar expuesta a la radiación solar, calienta el aire alojado en la cámara interior, disminuyendo su densidad y provocando por convección su ascenso (efecto chimenea) y la renovación de aire fresco. Esta circulación de aire generada permite enfriar el edificio y contribuir a la reducción de los costos de climatización o enfriamiento durante el verano. En invierno, las fachadas ventiladas sobre muros ciegos hacen que el material aislante y la capa exterior permiten ayudar a retener el calor interior del edificio y por consiguiente, pueden reducir los costos de calefacción del mismo. La fachada ventilada representa una solución constructiva que puede colaborar en el mejoramiento del confort interior de una edificación y es también un sistema que contribuye al diseño de construcciones sustentables, sobre todo en materia de rendimiento y eficiencia energética de un edificio.

■ Sistemas exteriores que regulan el calor

Una de las etapas de mayor valor del diseño sustentable es disminuir el requerimiento de energía primario del edificio, y podemos decir que las soluciones de dobles pieles perforadas o fachadas ventiladas, pueden ser básicamente utilizadas de dos formas: Una es montar estas dobles pieles sobre un muro ciego de hormigón u otro material, pero que no tiene ventanas, y la otra es colocar esta doble piel, ahora perforada delante de un muro cortina o sobre ventanas. Estas pantallas perforadas también trabajan bajo el efecto chimenea, produciendo una cámara de aire entre la ventana y la doble piel, donde en ambos casos el objetivo principal, es reducir en forma pasiva la carga calorífica sobre el edificio.

Los arquitectos diseñan cada vez más fachadas ventiladas activas y pasivas de doble cerramiento para disminuir los requerimientos de energía del edificio para calentar y enfriar. Con un adecuado diseño, dichas fachadas pueden brindar niveles altos de control ambiental y ofrecer una sustentabilidad a largo plazo. La integración de las soluciones internas y externas es un elemento clave para reducir los sistemas de enfriamiento que afectan el impacto ambiental del edificio.

El diseño optimizado en términos de energía requiere un enfoque integrado para lograr el máximo ahorro posible de energía en recursos de enfriamiento y de emisiones de CO_2.

Las ventajas de una fachada ventilada correctamente diseñada e instalada son:

- Reducir los gastos de energía en climatización, protección solar.
- Dar mayor durabilidad a las fachadas al tener una doble piel.
- Prevenir los problemas de condensación superficial. Fachadas seca, sin humedad.
- Aportar a la aislación acústica del ruido exterior
- Puede permitir el reciclaje de los edificios antiguos, dependiendo del tipo de fachada
- Fácil mantención y renovación

I. FACHADAS VENTILADAS SOBRE MUROS CIEGOS ("SIN VENTANAS")

En la figura 9.8 –página siguiente– se detallan los principios de funcionamiento de las fachadas ventiladas en las condiciones de verano e invierno.

Principio: El sistema de fachadas ventiladas es una solución de fachada completa que supone la fijación del producto a una subestructura anclada a un muro estructural. Un sistema de fachada ventilada consta de los siguientes elementos:

■ Tipos de fachadas

Cerramiento con hoja interior de obra húmeda
(Figura 9.9)
a) Muro portante (hormigón, mampostería).
b) Aislamiento térmico.
c) Barrera de vapor (permeable al vapor).
d) Cámara de aire y Subestructura.
e) Cerramiento de control climático.

Cerramiento con hoja interior de obra seca
(Figura 9.10)
1) Muro interior de cartón-yeso.
2) Aislamiento térmico.
3) Estructura metálica/Estructura de acero - placa trasera.
4) Revestimiento.
5) Barrera de humedad (permeable al vapor).
6) Cámara ventilada y Subestructura.
7) Cerramiento de control climático.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 133 4/1/14 9:44 AM

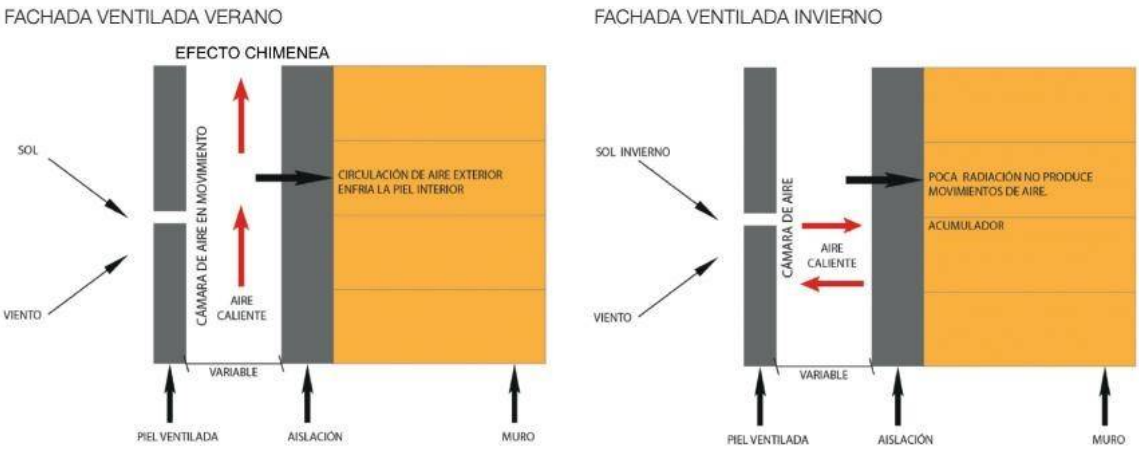


Figura 9.8. Principio de funcionamiento de fachadas ventiladas.

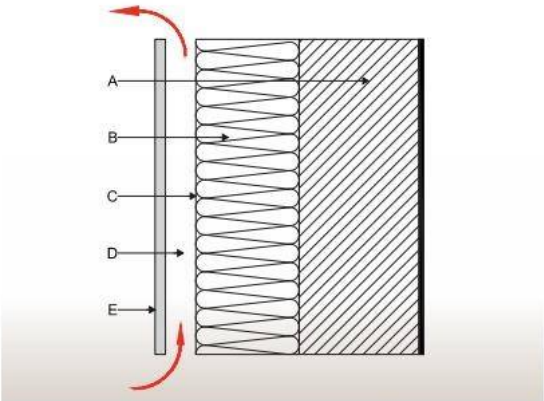


Figura 9.9. Cerramiento con hoja interior de obra húmeda.

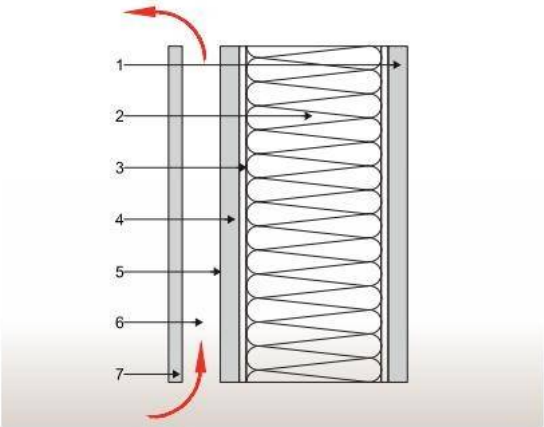


Figura 9.10. Cerramiento con hoja interior de obra seca.

■ Cámara de aire

La cámara de aire entre el revestimiento exterior y el aislamiento o la construcción permite que el aire circule a través de las respectivas entradas y salidas de ventilación (ver figura 9.11). Para que haya ventilación continua detrás de la placa se requiere que la cámara de aire entre el revestimiento exterior y el aislamiento o la construcción tenga una profundidad específica. La profundidad de la cámara de aire, así como el tamaño mínimo de las entradas y salidas de ventilación, deben ser recomendadas por el fabricante o especialista.

También es factible colocar compuertas en ambos extremos para controlar el flujo de aire.

■ Aislamiento (opcional)

En las fachadas ventiladas hay un espacio entre el revestimiento exterior y la fachada del edificio, donde debe instalarse el material de aislamiento térmico y protegido con una membrana semi permeable, como barrera de humedad. El aire fluye a través de la cámara eliminando de una manera natural la humedad producida por la lluvia y la condensación, por lo que el material de aislamiento se mantiene en buenas condiciones, manteniendo sus propiedades. Es recomendable que el aislante sea un material incombustible.

■ Subestructura

La fachada ventilada puede construirse usando diferentes sistemas para fijar las placas a una subestructura. Estos sistemas deben ser recomendados por el fabricante del producto de fachada como parte de la solución, donde existen diferentes tipos de soluciones que aportan a la estética y diseño de la fachada (p. ej. fijación oculta, detalles de juntas).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 134 4/1/14 9:44 AM

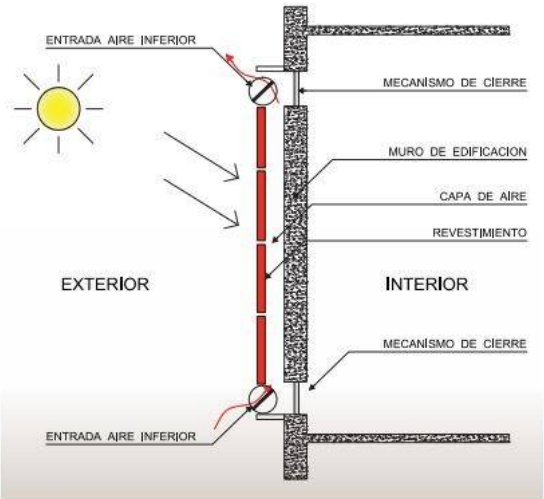


Figura 9.11. Detalle de cámara de aire de fachada ventilada.

■ Forros

FORROS EN VANOS DE VENTANAS

Los forros de ventanas deben permitir que el agua que ingresa por las canterías de las fachadas ventiladas se evacue hacia el exterior en la zona de los vanos (ver figura 9.12).

- El agua de lluvia escurre por el exterior de la fachada.
- Solo una pequeña cantidad del agua de lluvia entra a la cámara de aire y se elimina a través de forros que llevan el agua hacia fuera de la fachada.

FORRO DE CORONACIÓN Y CORTA GOTERA

Los forros de coronación y corta gotera deben permitir la generación de la cámara de aire, por lo que se debe asegurar que estén abiertos para la entrada y salida del aire de la cámara.

REVESTIMIENTOS

Los revestimientos para hacer esta segunda piel pueden ser de distintos materiales tales como: cerámica, metal, fibrocemento, vidrio porcelanizado, madera, planchas de yeso con recubrimiento de velo de vidrio, papel kraft con resina fenólica, piedra, acrílico, etc.

Estas segundas pieles pueden ser continuas (sin juntas) o pueden dejar entre paneles distintas canterías dependiendo de la materialidad y diseño del producto.

TIPOS DE JUNTAS

Las juntas en las placas de revestimiento pueden ser horizontales y verticales, abiertas o cerradas, y existen soluciones especiales para cada una de estas combinaciones (ver figura 9.13). Sin embargo, se recomienda seguir las indicaciones del fabricante para el distanciamiento de apoyo de las placas, ventilación de las mismas, separación entre las placas por contracción y dilatación de los elementos. En todos los casos las tolerancias respecto a la placa, al montaje y al edificio en sí, siempre desempeñan un papel importante en la selección del tipo de juntas.

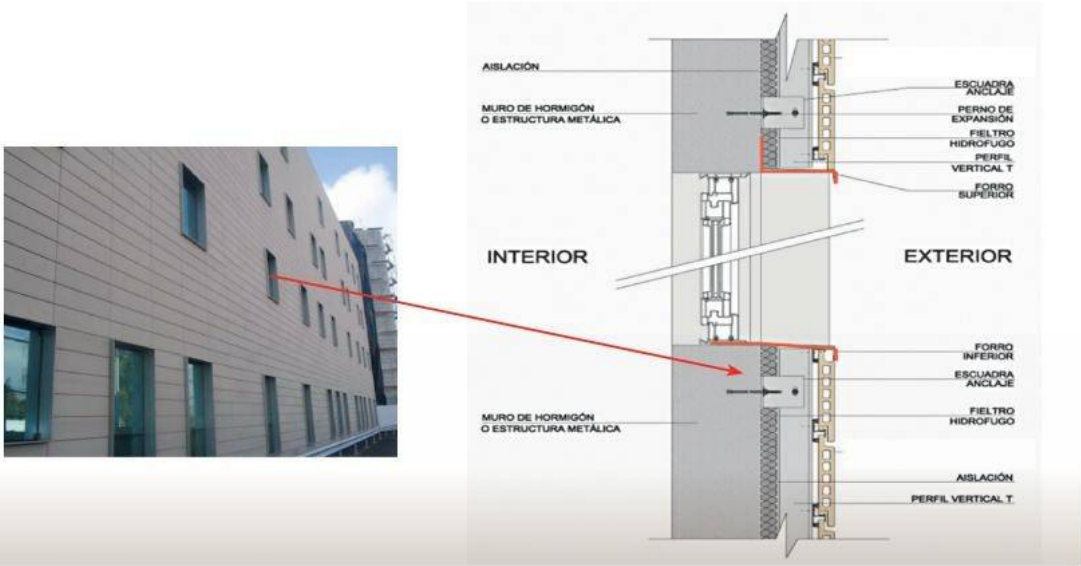


Figura 9.12. Detalle de forros en vanos de ventana.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 135 4/1/14 9:44 AM

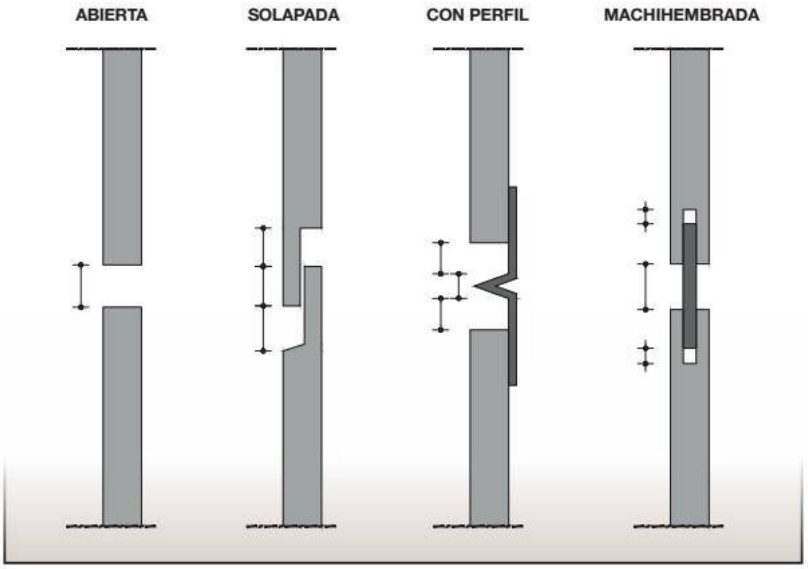


Figura 9.13.
Sistemas de juntas de paneles de fachadas ventiladas.

Si se utiliza un sistema de junta abierta para las aplicaciones verticales u horizontales, debe prestar especial atención a la posibilidad de que entre lluvia o humedad. Para impedir una reducción en la función aislante se debe utilizar una lámina permeable al vapor que funciona, a su vez, como barrera adicional contra la humedad.

Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante del aislante para determinar el impacto de la humedad sobre el material. Comprobar las normativas de seguridad en caso de incendio que aplican para el proyecto y determinar el impacto de cualquier protección contra la intemperie adicional.

II. FACHADAS VENTILADAS EN ZONAS VIDRIADAS

Las soluciones de pantallas solares exteriores, pueden colaborar en la reducción de la carga calorífica de un edificio con mucha zona vidriada. Uno de los objetivos más importante del diseño sustentable es disminuir el requerimiento de energía primario del edificio, a través de la reducción de los consumos de los sistemas de enfriamiento. En algunos casos, se ha podido medir que el uso de estos sistemas de protección solar ("dobles pieles") permite una recuperación de la inversión en plazos razonables.

Figura 9.14. Vista exterior de la fachada ventilada del edificio GAM, Santiago.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 136 4/1/14 9:44 AM

ANEXO

TABLA 9.7. TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÁSTICAS DE DIFERENTES MATERIALES

		UNIDAD MEDIDA	ALUMINIO	ACERO	PVC	VIDRIO
Peso específico	(ps)	Kg/m³	2.7	7.85	1.400 a 1.500	2.5
Dilatación térmica	(d)	Coeficiente	0,000024	0,000012	0,000075	0,000009
Módulo elasticidad	(E)	Kg/cm²	700	2.100.000	25	720
Elasticidad al corte	(G)	Kg/cm²	270	800	10	300
Coeficiente Poisson			2,8 a 2,9	3 a 4		0,22 a 0,30
Conductividad térmica	(K)	Kcal/m²h°C W/m²°C	180 208	50 58	0,16-0,18 0,18-0,20	1 1,20
Calor específico	(c)	Kcal/kg °C	0,22	0,12	0,24	0,20
Punto de fusión		°C	650	1500	200	1300
Temperatura plasticidad		°C	350-500	1250	80	800
Temperatura ejercicio	Min. Max	°C	-200 200	-50 500	-15 70	-200 250
Tensión de rotura a tracción	Rt	Kg/mm²	20-28-35	37-50-60	4,5-6,0	4-Aug
Tensión de rotura a flexion	Rf	Kg/mm²	14	20	9,5	4-5 F 12-20 T
Tensión de rotura a corte	R z	Kg/mm²	8-Dec	20-25		
Elongación a rotura		%	Dec-20	25-45	120-150	
Tensión de Fluencia	R p 0,2%	Kg/mm²	17-24	18-27	4-May	
Dureza	Brinell Shore Mohs		50-75	100-130	70-85	6
Soldabilidad		SI / NO	SI	SI	SI	NO
Resistencia corrosión sin protección		Min = 0 Max = 5	4	1	5	5

muro cortina cap 6 en adelante.indd 137 4/1/14 9:44 AM

10. Recomendaciones de Instalación en Obra

Para una correcta ejecución, a continuación se indican las principales recomendaciones que se debe tener en cuenta durante el proceso de instalación en obra del muro cortina. A este fin se desglosa el proceso completo en las siguientes etapas:

- **10.1.** Partes involucradas en la instalación del muro cortina
- **10.2.** Coordinación y planificación inicial de obra
- **10.3.** Colocación de insertos en la obra gruesa
- **10.4.** Instalación de los anclajes de acuerdo a los planos de especialidad
- **10.5.** Transporte a Obra, Recepción de materiales y acopio en obra
- **10.6.** Montaje de paneles, vidrios y materiales en la fachada
  - ***10.6.1.*** Tolerancias de Montaje
- **10.7.** Ejecución de acabados y remates exteriores e interiores
- **10.8.** Realización de ensayo en obra del muro cortina
- **10.9.** Entrega del muro cortina al mandante o contratante
- **10.10.** Prevención de Riesgos en Obra
- **10.11.** Mantenciones y reposiciones del muro cortina

10.1. PARTES INVOLUCRADAS EN LA INSTALACIÓN DEL MURO CORTINA

Las partes involucradas en el proceso de instalación del muro cortina son las siguientes:

Empresa Constructora, como mandante del Contratista.

Subcontratista, que es el especialista y responsable de la ejecución física del muro cortina.

Inspección Técnica de la Obra (ITO), que representa al mandante en la parte técnica.

A continuación se indica el rol de cada uno de las partes que participan en el proceso de instalación del muro cortina:

10.1.1. EMPRESA CONSTRUCTORA

Parte responsable de la correcta ejecución de los trabajos que se ejecutan para la materialización del proyecto de edificación. La empresa constructora debe asegurar una adecuada coordinación de los trabajos con la empresa Subcontratista, encargada de instalación del muro cortina. Además de entregar las condiciones de terreno optimas esta, como vanos terminados, lugares de acopio de material, zonas de carga y descarga, etc.

10.1.2. SUBCONTRATISTA DE MURO CORTINA

Parte encargada de la instalación del muro cortina, mediante el cumplimiento de un subcontrato. La empresa subcontratista de Muro Cortina debe contar con instaladores capacitados con los requerimientos de las especificaciones, acreditando idealmente, una experiencia adecuada en este tipo de faenas.

10.1.3. INSPECCIÓN TÉCNICA DE OBRAS

Parte encargada de recibir conforme la instalación del muro cortina conforme al proyecto desarrollado y certificados de ensayos de los elementos que lo consideren.

También es responsable de verificar que el proceso previo (como por ejemplo la instalación de insertos en la obra gruesa) cumpla con los requerimientos para posterior montaje del muro cortina. Debe verificar la correcta coordinación entre el contratista general y el subcontrato de muro cortina (labor fundamental en el caso que el mandante haya contratado de manera independiente obra gruesa y muro cortina). Además es responsable de verificar que el proceso de instalación del muro cortina se ejecute conforme a los procedimientos establecidos, verificando también que los materiales sean los especificados

10.2. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN INICIAL DE OBRA

Antes de comenzar la instalación del muro cortina, resulta conveniente realizar reuniones de coordinación entre la Constructora y el subcontratista del Muro Cortina a objeto de planificar el proyecto de instalación.

El programa para instalar el muro cortina es parte integral de la programación general del proyecto de edificación en su conjunto. Una programación razonable y realista debe ser establecida mutuamente y aprobada por todos los participantes del proyecto (Tabla 10.1).

La programación deberá ser previa y oportunamente teniendo en cuenta el suministro de materiales nacionales e

muro cortina cap 6 en adelante.indd 138 4/1/14 9:44 AM

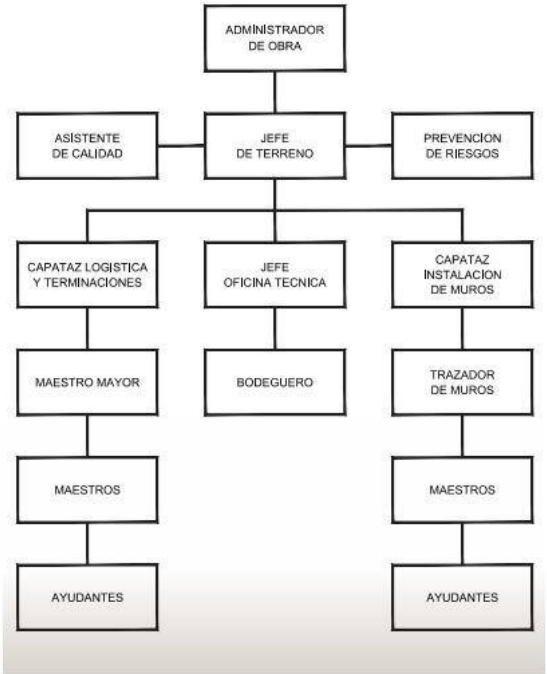


Figura 10.1. "Organigrama Referencial para Muros Cortina de mayor Envergadura".

importados así como el tiempo requerido para desarrollar la ingeniería.

El subcontratista deberá definir un programa de instalación con el detalle de las etapas o partidas involucradas, entre las cuales se cuentan:

• Entregar a la Constructora el programa para la instalación del muro cortina, el que debe estar inserto en el programa general de la obra, en ese proceso se deberá poner énfasis en los hitos y consistencias del programa así como de las responsabilidades derivadas de daños al muro cortina y sus elementos. La Empresa Constructora controlará el cumplimiento del avance, comunicándole al Subcontratista cualquier desviación que se produzca a fin de tomar las medidas correctivas. En caso de producirse algún cambio en el programa general de la obra, éste se le comunicará al Subcontratista.

• Revisar el cumplimiento de las tolerancias de la estructura principal (u, obra gruesa) y de los plomos donde se apoyará el muro cortina definiendo si es necesario rectificaciones o modificaciones a la obra gruesa. De este modo se asegura que la geometría de la obra gruesa estará dentro de las tolerancias del muro cortina.

• El subcontratista del M.C. recibirá las coordenadas y ejes principales del trazado, que luego usará para la correcta instalación de la fachada.

• Programar los trabajos de la obra de tal forma que se evite el daño sobre los materiales y módulos del Muro Cortina u otros (como aquellos que deben quedar almacenados en obra durante un tiempo prolongado). En particular se deberá evitar la proyección de partículas y/o chispas que puedan dañar los cristales y demás elementos del muro cortina una vez instalado. A este propósito se recomienda implementar entregas parciales por piso y por fachada usando un protocolo acordado con la constructora.

• Optimizar la ubicación de las grúas y arriostres para no interrumpir la secuencia de instalación del Muro Cortina, ni dejar vanos abiertos en muchas ubicaciones. También se deberá revisar la ubicación de contenedores de basura y el monta carga.

La constructora deberá facilitar una adecuada instalación de faena a las empresas subcontratistas de manera de facilitar el trabajo en obra"

TABLA 10.1. PLANILLA REFERENCIAL DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE OBRA

PROGRAMA SEGUIMIENTO MUROS CORTINA TIPODE FABRICACION Y ENTREGA				
OK:	**ENTREGADO**			**4/17/13**
		FASE B		
ELEVACIONES	**SEMANA ENTREGA INGENIERÍA**	**CUMPLIMIENTO**	**SEMANA ENTREGA FABRICA**	**CUMPLIMIENTO**
PG01	43: 17-10-2011 al 21-10-2011	OK	44: 24-10-2011 al 28-10-2011	OK
PG02	43: 17-10-2011 al 21-10-2011	OK	44: 24-10-2011 al 28-10-2011	OK
PG03	43: 17-10-2011 al 21-10-2011	OK	44: 24-10-2011 al 28-10-2011	OK
PG04	43: 17-10-2011 al 21-10-2011	OK	44: 24-10-2011 al 28-10-2011	OK

muro cortina cap 6 en adelante.indd 139 4/1/14 9:44 AM

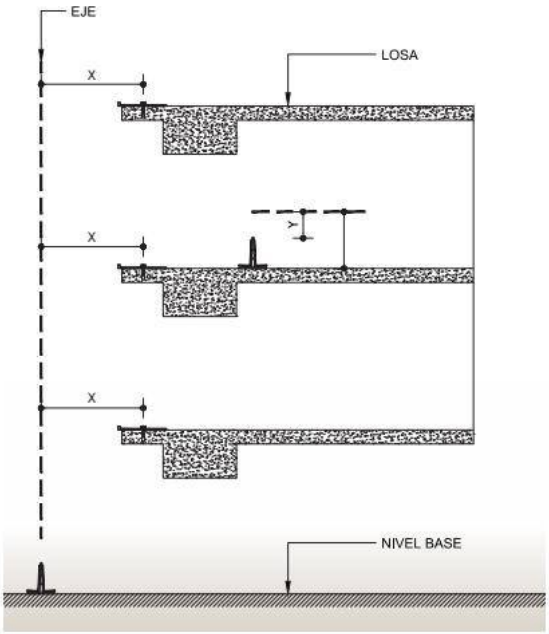


Figura 10.2. Sección vertical que muestra ejes de instalación.

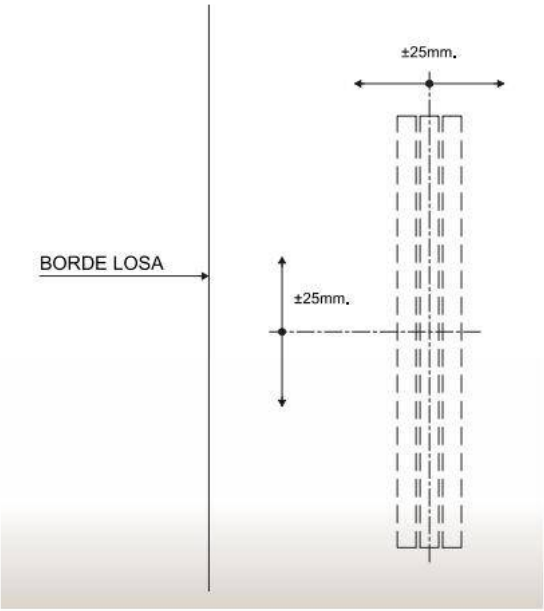


Figura 10.3. Esquema referencial de insertos con tolerancias en el hormigón (Losa e insertos).

10.3. COLOCACIÓN DE INSERTOS EN LA OBRA GRUESA

Se recomienda que el Subcontratista utilice un equipo de topografía para establecer el alineamiento horizontal para las unidades del muro cortina y el alineamiento vertical para los anclajes (ver figura 10.2). En general, es recomendable que las fijaciones a la estructura del edificio y la instalación lo ejecute el mismo fabricante del muro cortina, quien deberá entregar los planos de especialidad y las instrucciones de colocación de insertos.

Existen varios tipos de insertos y anclajes a obra tales como:

- Inserto acero galvanizado en forma de canal y pernos Stud.
- Inserto metálico en hormigón, soldando los anclajes posteriormente.
- Anclaje químico, con varilla o hilo.

En caso que los insertos sean colocados por el fabricante del muro cortina, entonces deberá ir a la obra durante la etapa de hormigonado de losas y vigas, para asegurar el correcto posicionamiento de dichos elementos.

Durante la etapa de hormigonado y de postensado de vigas y losas se recomienda tomar todas las precauciones necesarias a fin de no manchar los vidrios y otros elementos instalados o acopiados en la obra.

Las tolerancias nominales de instalación son de +/- 25 mm en horizontal y en vertical 10 mm (a través del uso de tornillos de regulación), que corresponden a las tolerancias de diseño del sistema de muro cortina y anclajes (ver figura 10.3). En todo caso, estas tolerancias deben ser consistentes con las recomendaciones contenidas en la norma ACI 317 (American Concrete Institute), o con el documento de trabajo 004 del ICH (Instituto Chileno del Hormigón). También existe un documento referencial titulado "Manual de Tolerancias en la Construcción del CDT", año 2013.

Durante el trabajo de corte de elementos metálicos y en especial los cortes de las cabezas de postensados, se debe proteger vidrios y otros elementos de muros cortina.

10.4. INSTALACIÓN DE LOS ANCLAJES DE ACUERDO A LOS PLANOS DE ESPECIALIDAD

Las principales etapas incluidas en esta etapa del proceso son:

- Efectuar trazado de anclajes en pisos conformes a planos de anclaje, verificar su concordancia con el proyecto de arquitectura y chequear periódicamente que éste se cumpla durante el desarrollo de la obra.

Resulta ideal que, al menos 4 pisos estén desencofrados y sin alzaprimas, para permitir un buen avance de la actividad. Estos pisos deberán estar protegidos con "pantallas protec-

muro cortina cap 6 en adelante.indd 140 4/1/14 9:44 AM

Figura 10.4.
Avance de instalación de muro cortina en dos edificios y pantallas de seguridad.

NOTA:
Se observan las pantallas de protección en los pisos superiores, mientras la instalación del muro cortina se realiza en los pisos inferiores.

toras" para evitar la caída de materiales desde los pisos superiores (ver figura 10.4).

La instalación de anclajes se deberá realizar conforme al Procedimiento de Anclajes, que deberá incluir la recepción de insertos, la colocación del anclaje, el control de la actividad y una Planilla de Registro, y la entrega de la actividad.

Los anclajes se instalan, conforme a la Memoria de Cálculo, contra losas o vigas mediante pernos de expansión, pernos químicos o por medio de soldadura a los insertos colocados en el momento de hormigonar las losas.

10.5. TRANSPORTE A OBRA, RECEPCIÓN DE MATERIALES Y ACOPIO EN OBRA

El transporte de un módulo de muro cortina es un factor que puede limitar las dimensiones y el peso del panel, los cuales deben adecuarse a los medios que se disponen para el traslado. Es usual también transportar unidades parcialmente desarmadas para permitir su armado en obra, a veces, en conjunto con el montaje. Los camiones deben contar con atriles adecuados para la carga y elementos de amarre que no dañen o rompan los materiales. Es recomendable proteger las superficies expuestas de los paneles antes de efectuar el transporte, para lo cual puede usarse: panel corrugado, esquineros separadores en poliestireno o similar, film plástico con adhesivo, etc. (ver figura 10.6).

Los materiales que se reciben en la obra son coordinados previamente con la fábrica, tanto en su secuencia de envío, como en el cumplimiento de las especificaciones técnicas y tolerancias que deben satisfacer. Al momento de la recepción en obra se deberá chequear "visualmente" que los módulos y materiales no tienen fallas o defectos; de lo contrario deberán ser separados y devueltos a la fábrica para reproceso, o reemplazo.

Las principales actividades incluidas en esta etapa del proceso son:

- La recepción y acopio de materiales se deberá realizar conforme a un Procedimiento acordado previamente con la Constructora.
- Dentro del recinto de la obra, la Constructora deberá asignar una bodega para el almacenamiento de quincallerías, insumos, equipos, etc.; así como de zonas de acopio protegidas (dado la fragilidad de los materiales) de las faenas de otros contratistas.
- Para facilitar el traslado del material al interno de la obra, resulta muy importante que la Constructora pueda facilitar la grúa pluma para el izaje de los materiales, y una plataforma de recepción a piso.
- Resulta ideal que el material recepcionado pueda ser acopiado en el piso en que será instalado (nota: dado que el vidrio es muy frágil, se deberá moverlo menos posible dentro de la obra) (ver figura 10.7).
- Al interior de cada piso, se deberá almacenar y acopiar los materiales correctamente utilizando los elementos necesarios para evitar el deterioro de éstos.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 141 4/1/14 9:44 AM

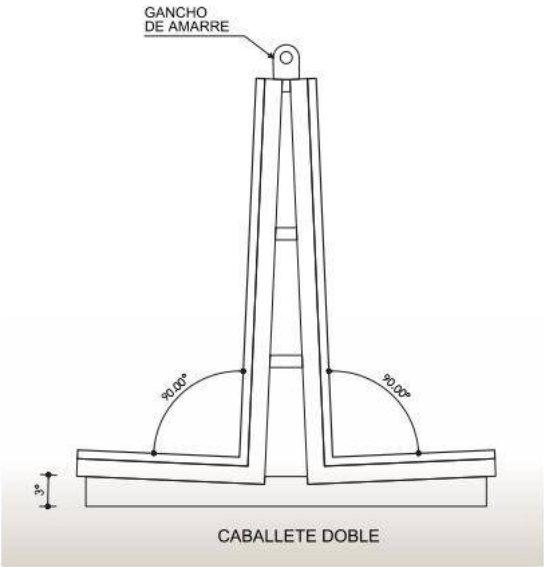


Figura 10.5. Atril de almacenamientos de paneles de muro cortina.

10.5.1. CUIDADOS RECOMENDADOS CON LOS MÓDULOS, PANELES Y PERFILES

En todo el proceso de montaje, se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para el cuidado de las piezas prefabricadas y de los materiales que conforman el muro cortina. Las unidades que conformarán el muro cortina no deben cargarse con un exceso de peso, en general, es recomendable almacenarlas en posición vertical, apoyadas sobre un canto. Para este objeto debe destinarse un lugar sin mucho movimiento y alejado, dentro de lo posible, del frente de trabajo (ver figura 10.5).

Aunque el aluminio es un metal muy noble, es necesario cuidarlo antes, durante y posteriormente a su instalación. Este metal es muy sensible a los ácidos y materiales alcalinos en general. El anodizado y la pintura le dan a la superficie del metal una resistencia extra a la corrosión, pero cualquier raya u orificio que penetre hasta el metal, lo hará susceptible de corrosión. Para evitar estos problemas y manchas lo más aconsejable es proteger la superficie durante la instalación contra proyecciones de yeso, cemento y ácidos.

El mantenimiento consiste simplemente en limpiar la superficie cada cierto tiempo con agua y detergentes neutros, de modo de eliminar el polvo y otros materiales del ambiente depositados sobre el metal.

Los cristales deben ser protegidos de toda partícula proyectada que pueda causar daños en la superficie de éstos durante el proceso de instalación y trabajos finales de la obra.

10.6. MONTAJE DE PANELES, VIDRIOS Y MATERIALES EN LA FACHADA

Esta etapa requiere una coordinación muy estrecha entre el arquitecto, la constructora y el Subcontratista, a fin de observar y corregir cuidadosamente los defectos que se encuentren en la obra gruesa en las zonas donde se instalará el Muro Cortina, como también para permitir el movimiento expedito de los materiales.

La instalación del muro cortina se hace, comúnmente, mediante dos sistemas (stick y frame). La diferencia entre las dos modalidades reside en el trabajo en terreno, mientras el sistema stick requiere de mayor labor en obra, el frame dispone de elementos previamente fabricados en planta.

La instalación del Muro Cortina se realiza en el "borde losa", por lo cual es necesario tomar precauciones para proteger el o los niveles donde se realiza la instalación del muro cortina con pantallas o plataformas si se están realizando otras faenas en pisos superiores.

Figura 10.6. Atriles de transporte de taller a obra de paneles de muro cortina.

Figura 10.7. Traslado a piso de atril con muro cortina tipo frame.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 142 4/1/14 9:44 AM

El proceso de montaje se deberá ejecutar conforme a un Procedimiento Escrito, que incluirá la instalación, el control, el registro, la entrega. Es importante que se designe un supervisor con una experiencia en obras de similar magnitud debidamente comprobada.

Se recomienda entregar una copia de dicho Procedimiento a la Constructora, a fin de facilitar la coordinación y control.

10.6.1. Instalación de módulos "frame"

Para la instalación de un módulo de 1000 x 2500 mm, y con un peso aproximado de 120 Kg, se necesitan 6 personas como mínimo, para realizar un adecuado proceso de montaje; que combine los requerimientos de productividad y de seguridad.

La secuencia de montaje es:

- Instalación de módulo acristalado y de paneles
- Instalación de sistemas de protección contra el fuego y humo
- Colocación de misceláneos interiores, como: zócalos, cenefas, tapas o paneles decorativos.

En el sistema frame el muro cortina se compone de paneles de aluminio y cristal, previamente armados en fábrica, revisados y clasificados según su ubicación en la obra. Su principal ventaja es la rapidez en el armado y montaje, aunque requiere de anclajes especiales que deben ser ajustados para corregir las posibles diferencias de nivel en la superficie de la construcción.

10.6.1. Instalación de sistema "stick"

La secuencia de montaje es:

1) Instalación de todos los perfiles verticales conforme a los planos de proyecto, respetando la modulación del proyecto y las tolerancias de montaje.
2) Instalación de los perfiles horizontales
3) Instalación de los elementos de soporte (o, bastidores) para la colocación de cristales y paneles.
4) Acristalamiento y colocación de burletes, o siliconado.
5) Colocación de tapas, fijaciones mecánicas de revestimiento.

El sistema stick requiere de una supervisión y mano de obra especializada debido a que el armado del muro cortina se realiza casi completamente en terreno. En este montaje intervienen numerosas herramientas y elementos de fijación, por lo que se requiere de mayor coordinación. Además la mano de obra se exige al máximo, pues el muro cortina debe instalarse respetando la precisión del sistema. Entre las ventajas de este sistema se encuentra el montaje pieza por pieza y cristal por cristal, y no necesitar sofisticados equipos de izamiento (Figura 10.8).

Durante el proceso de montaje, el Subcontratista deberá verificar que la instalación del muro cortina se esté realizando conforme a los planos y especificaciones técnicas indicadas en el contrato o planos de ingeniería aprobados por arquitectura. Se llevará registros de las actividades realizadas.

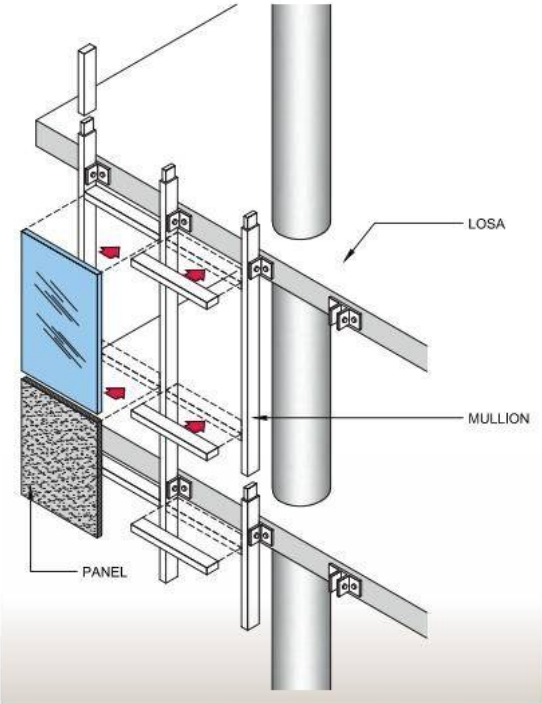


Figura 10.8. Secuencia de instalación de muro cortina con sistema stick.

Se deberá retirar de forma inmediata todos los cristales y/o paneles que hayan sufrido trizaduras importantes y que pudieran desprenderse.

Se deberá acatar las normas internas de Calidad y Seguridad que aplique la Empresa Constructora, aprobando y/o desarrollando los procedimientos respectivos antes de realizar las faenas.

10.6.2. Tolerancias de montaje

Las tolerancias de montaje deben ser acordadas por las partes, la experiencia acumulada por importantes fabricantes de muros cortinta, permite recomendar el uso referencial del siguiente cuadro de tolerancias de montaje para los elementos de la carpintería de fachada:

- Desviación máxima de posición teórica de montaje (entre pisos): 3,0 mm.
- Desviación máxima en elementos verticales (4 pisos): 6,0 mm.
- Desviación máxima en elementos horizontales (en 9 mt): 3,0 mm.
- Desalineamiento máximo entre dos elementos adyacentes: 0,8 mm.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 143 4/1/14 9:44 AM

- Desalineamiento máximo entre dos elementos separados: 2,0 mm.
- Tolerancias en ancho de canterías: ± 1.5 mm.

10.7. EJECUCIÓN DE ACABADOS Y REMATES EXTERIORES

En esta etapa del proceso se deberá realizar la aplicación de los sellos climáticos exteriores, la instalación de perfiles decorativos, tapas o remates. Es importante que antes de ejecutar los sellos climáticos, se disponga de los resultados de ensayo en laboratorio del sello climático, para asegurar la correcta adhesión y la compatibilidad de largo plazo.

Durante esta etapa se utilizan las plataformas colgantes, pescantes móviles, andamios, entre otros, para ejecutar desde el exterior estas actividades.

■ **Carro limpia fachada**

El "Carro Limpia Fachada" se instala después que el último piso del edificio está terminado, dado que su estructura de apoyo se fija mecánicamente a las losas y vigas del último piso.

10.7.1. Limpieza final del muro cortina

Es necesario hacer un aseo general del Muro Cortina después de montado, antes de su entrega final, ya que puede encontrarse sucio debido a las labores propias de la construcción. Además debe exigirse limpieza perfecta respecto de las chorreaduras y manchas de los materiales sellantes.

La limpieza final del muro cortina debe hacerse con el equipo de lavado y soluciones apropiados. Se debe cautelar que los métodos de limpieza y soluciones que se usaron no serán perjudiciales a ninguno de los elementos del sistema.

10.8. REALIZACIÓN DE ENSAYO EN OBRA DEL MURO CORTINA

En caso que las Especificaciones Técnicas del proyecto lo requieran, se deberá realizar un ensayo en obra para medir la estanquidad al agua, o la hermeticidad al agua.

A este fin, se identificará con el subcontratista una zona, o área, de la fachada donde se pueda ejecutar el ensayo acordado. Luego se completará la ejecución del muro cortina, agregando los sellos climáticos, y eventuales tapas o accesorios previstos en los planos.

Enseguida se procederá al ensayo para verificar el funcionamiento del sistema, y si cumple con los estándares de desempeño especificados. Si el ensayo falla, entonces se deberán identificar las causas, ejecutar las reparaciones y luego realizar las modificaciones de los procedimientos de montaje (a considerar para el resto de la fachada).

Durante la ejecución de los ensayos deberán estar presentes los Representantes de la Constructora, de la Ito, del Arquitecto y del fabricante del muro cortina.

10.9. ENTREGA DEL MURO CORTINA AL MANDANTE O CONTRATANTE

La recepción del Muro Cortina podrá ser realizada parcial, o totalmente. Durante esta actividad deberán estar presentes el Arquitecto, la Constructora, la Ito y el Fabricante del Muro Cortina.

Se recomienda disponer de normas técnicas de recepción de materiales (cristales, aluminio, paneles, etc.) de modo de disponer de protocolos homologados para la identificación de fallas o defectos. Para este efecto se podrán considerar las normas técnicas indicadas en el capítulo 11 del presente manual.

Los principales aspectos que deben incluirse en la recepción son los siguientes:

- El diseño corresponda al entregado por arquitectura, y al de ingenieria acordado con arquitectura.
- Recibir el muro cortina terminado de acuerdo a los planos y especificaciones técnicas correspondientes (elaborados por Ingeniería de Muro Cortina), llenando las correspondientes **"Listas de Chequeo"** que para este efectos se hayan diseñado (Ver en el Anexo, al final del capítulo, las tres Listas de Chequeo propuestas).
- Según las normas técnicas pertinentes, se deberá verificar que los cristales presenten una coloración uniforme, o los perfiles no presenten manchas ni picaduras, o los sellos de silicona sean continuos y sin indicios de pérdida de adherencia.
- Entregar oportunamente a la Empresa Constructora el muro cortina de acuerdo con el proyecto y especificaciones técnicas, sin observaciones. En esta entrega deberán acompañarse todos los certificados de ensayos que se hayan realizado en el proceso de instalación, las certificaciones de los principales proveedores y las garantías que cubrirán las posibles fallas de los materiales empleados, fabricación, montaje, etc.

Adicionalmente deberá recibir del subcontratista de muro cortina:

- Los certificados de los ensayos realizados tanto en laboratorio como en terreno, referente a la hermeticidad al aire y a la estanquidad al agua, para los casos requeridos.
- Los certificados de adhesión y compatibilidad de los selladores estructurales y climáticos utilizados en el proceso de sellado perimetral.
- Las garantías que cubrirá el trabajo por posibles fallas de diseño, materiales empleados, fabricación, montaje y funcionamiento.

Al final de la visita, se recomienda redactar un Reporte de

muro cortina cap 6 en adelante.indd 144 4/1/14 9:44 AM

Entrega (según el protocolo de entrega de obra) que deberá ser firmado por todas las partes. Podrán quedar anotaciones (con pendientes, u observaciones) que deberán ser completados dentro de los plazos acordados.

10.10. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN OBRA

La prevención de riesgos en obra es fundamental por lo cual se deberán implementar los planes de prevención adecuados, que incorporen:

Instruir a todo el personal de su dependencia, a través de charlas de capacitación, sobre las normas generales de prevención de riesgos de la obra (ver figura 10.9).

El supervisor del Subcontratista a cargo deberá realizar un listado de los trabajos críticos y explicar la forma como se realizarán, evaluando conjuntamente con el profesional de Seguridad presente en obra, considerando que se trata de un trabajo en altura.

Para la realización de cada una de las actividades críticas se desarrollará un instructivo y capacitará a los participantes.

- El Supervisor del contratista deberá estar presente en el lugar donde se realizará la instalación, en forma permanente.
- Todo el personal del Subcontratista deberá ser instruido, a través de una charla cada vez que acometa una faena nueva.
- El encargado de mantención de la obra inspeccionará cada uno de los equipos y herramientas del Subcontratista, no pudiendo ser utilizado todo aquel que sea rechazado. Durante el transcurso de la obra se efectuarán revisiones periódicas de los mismos. El profesional encargado de la Prevención de riesgos en la obra, priorizará los equipos según estado de funcionamiento para confeccionar un calendario de inspección a cada uno de ellos.

El personal de Instalación del Subcontratista deberá contar, como mínimo, con los siguientes elementos de protección personal, de calidad certificada:

- Zapatos de seguridad en buenas condiciones,
- Casco de seguridad con barbiquejo,
- Guantes de descarne,
- Arnés y antiparras, cuando sea necesario.
- Los soldadores deberán contar adicionalmente con los elementos de seguridad propios de su especialidad.
- En todo el trabajo de altura el personal deberá usar el cinturón de seguridad, amarrado a una estructura o a una cuerda de vida dispuesta para tal efecto.
- Las herramientas manuales deberán estar amarradas por medio de una cuerda o cinta a la muñeca del trabajador, a fin de evitar caídas accidentales de éstas.
- Los equipos de levante sólo podrán ser usados para los fines que fueron diseñados. Deberá indicarse la carga máxima, la cual por ningún motivo podrá sobrepasarse. Estos equipos sólo podrán ser revisados y reparados por personal calificado para tal efecto.
- Para levantar los paneles se utilizarán bases estables, especialmente diseñadas para amarrarlos, que permitan enganchar de buena forma al equipo de levantamiento. Toda carga antes de ser suspendida, deberá estar amarrada a una cuerda que evite el balanceo. La cuerda nunca debe enrollarse al cuerpo o las muñecas del operarlo que la sostiene.
- Los cables de acero de los equipos de levante deberán ser cambiados si presenta deformaciones o cortes de las hebras.
- Para la instalación de los anclajes, a la estructura del edificio, deberán diseñarse plataformas metálicas, las cuales serán calculadas por un especialista. Estas estructuras deberán contar con la aprobación del profesional de Prevención de riesgos de la obra.

Figura 10.9. Personal de instalación en plataforma exterior.

Al momento que el personal esté operando para la instalación de los paneles, cristales u otras estructuras, deberá tomarse la precaución de que dicho personal no quede expuesto a caídas de objetos de los pisos superiores. Así mismo se deberá delimitar, por medio de cintas señalizadoras y un letrero, el espacio bajo la zona de maniobra donde está actuando dicho personal. Dicho letrero tendrá la siguiente leyenda "Peligro trabajos en altura".

Todas las líneas de vida horizontales deben ser de cables de acero de, al menos, ½" de diámetro y deben estar aseguradas adecuadamente a cada extremo.

Medidas de Seguridad en Montaje de Muro Cortina:

G.1: Se prohíbe usar eslingas sobre ángulos vivos, sin protección ni arrastrar carga sobre estas.

G.2: Se deben usar eslingas solo para trabajos de traslados.

SUB-CAPÍTULO 10: ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS

El presente sub-capítulo (realizado con la colaboración de la Mutual de Seguridad) busca ayudar a las empresas

muro cortina cap 6 en adelante.indd 145 4/1/14 9:44 AM

que realicen trabajos de instalación de muros cortinas en la identificación de los peligros y en la evaluación de los riegos propios de esta actividad.

Para esta tarea, se utilizará como base la metodología de "Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos", también conocida como "**IPER**", que es presentada con mayor detalle en el Anexo: "Metodología IPER para Prevención de Riesgos" de la versión digital del presente Manual.

Esta metodología permite desarrollar ordenadamente el proceso de identificación de peligros y evaluación de riesgos, con el objeto de facilitar las decisiones para el control de sus consecuencias. La metodología puede ser utilizada para los diversos procesos constructivos, constituyendo el presente documento un ejemplo genérico de aplicación al proceso de instalación de muros cortinas; no constituyendo en caso alguno una norma única a seguir.

Se excluirá en esta oportunidad la evaluación de la magnitud del riesgo (probabilidad – consecuencia) debido a que esta valoración debe ser realizada caso a caso por la misma empresa considerando las condiciones de cada obra/empresa.

En primera instancia y para cada proceso de la organización se deben identificar las actividades relacionadas. En este caso la actividad que se estudiará corresponde a la de instalación de muros cortina.

Para cada actividad se deben identificar las tareas que la componen. Se considerarán como tarea a la mínima división del trabajo, que se puede alcanzar manteniendo un fin en si mismo, es decir que posee un propósito y un resultado especifico. Para cada tarea se deben identificar los peligros presentes de acuerdo a la tabla de categoría de peligros, indicada más adelante.

El proceso de identificación debe considerar los peligros sobre:

(P) Personas; (E) Equipos,
(M) Materiales; (A) Ambiente de Trabajo

Luego, se procede a realizar una identificación de todos los Peligros en las distintas áreas y procesos de la empresa, los que deberán ser registrados en la Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (Inventario de Riesgos Críticos).

TABLA 10.2. IDENTIFICACION DE PELIGROS (BASADO EN CLASIFICACIÓN OIT)

1. MECÁNICO
- Caídas de personas en el mismo nivel
- Caídas de personas desde distinto nivel Caída de herramientas, materiales desde altura (derrumbes)
- Pisadas sobre objetos
- Atrapamiento por o entre objetos Atrapamiento por vuelco de maquinas o vehículos
- Choques contra objetos inmóviles
- Choques contra objetos móviles
- Golpes por o contra Golpes con partes de maquinas (en movimiento o estáticas)
- Proyección de fragmentos o partículas
- Sobreesfuerzo
- Cortes con objetos
- Contactos térmicos Contactos con sustancias cáusticas o corrosivas Atropello por vehículos

2. ELÉCTRICO
- Contacto eléctrico directo
- Contacto eléctrico indirecto
- Electricidad estática

3. FUEGO Y EXPLOSIÓN
- Fuego y explosión de gases
- Fuego y explosión de líquidos
- Fuego y explosión de sólidos
- Fuego y explosión combinados
- Incendios
- Incendios eléctricos
- Incendios - Medios de lucha
- Incendios Evacuación

4. QUÍMICOS
- Polvos (Sílice, granos, otros)
- Metales (Soldaduras, Fundición y otros)
- Solventes orgánicos (pinturas, barnices, desengrasantes, lavado de piezas, otros)
- Ácidos
- Álcalis (soda cáustica, otros)
- Gases y Vapores Plaguicidas

5. FÍSICOS
- Ruido
- Carga térmica
- Radiaciones no ionizantes
- Radiaciones ionizantes
- Vibraciones

6. BIOLÓGICOS
- Infecto Contagioso
- Picaduras Insectos
- Vegetales

7. FISIOLÓGICOS
- Gasto energético excesivo

8. BIOMECÁNICOS
- Movimiento repetitivo
- Sobrecarga postural
- Uso de fuerza excesiva en extremidades superiores
- Manejo manual de carga de forma inadecuada

9. MENTALES Y/O PSICOSOCIALES
- Elevadas exigencias cognitivas (atención sostenida o simultaneidad de tareas que exigen manejo de información)
- Elevada probabilidad de error con consecuencias importantes
- Tareas muy poco variadas que se repitan a lo largo de la jornada
- Trabajó con turnos

10. OTROS
- Asaltos Hurtos
- Altura Geográfica
- Hiperbárismo (ej. Buzos)
- Trabajo en espacios confinados

muro cortina cap 6 en adelante.indd 146 4/1/14 9:44 AM

Elaboración de una matriz IPER de riesgos (simplificada):
Cada empresa deberá elaborar su propia matriz de riesgo, en función de las características específicas del proyecto de Muro Cortina. En forma general, se propone más abajo una matriz simplificada de riesgos para algunas actividades relevantes del proceso de instalación en obra.

TABLA 10.3. MATRIZ SIMPLIFICADA DE ANÁLISIS DE RIESGOS EN OBRA

(Basada en recomendación de la Mutual de Seguridad)

ACTIVIDAD	TAREA	PELIGRO	MEDIDAS DE CONTROL
	Instalación del sistema de izaje (pescantes)	Caída a distinto nivel Proyección de Partículas Caída de Materiales Caídas al mismo nivel Cortes Electrocución	• Instalación de líneas de vida en punto firmes de la estructura, desde el interior de la construcción • Uso de arnés de seguridad con doble cabo de vida • Inducción de seguridad para trabajos en altura, conforme al procedimiento para esta Actividad • Utilización de Elementos de protección personal para la vista • Cerrar el perímetro de la zona de trabajo para evitar que trabajadores y personas ajenas circulen cerca • Toda herramienta debe estar amarrada para evitar que caiga a otros niveles • Mantener las zonas de tránsito despejadas de materiales • Mantener las protecciones de las herramientas de corte para evitar contactos accidentales con los puntos de operación de estas • Utilizar guantes para proteger las manos de contacto con superficies filosas, cortantes o punzantes • Verificar que los tableros donde se extrae la energía eléctrica estén en buenas condiciones y cuenten con todos sus sistemas de protección • Las extensiones de las herramientas deben mantenerse alejadas de suelo húmedo y zonas de tránsito • Tanto las herramientas como sus extensiones deben estar en buenas condiciones para evitar el contacto con la energía eléctrica
Actividades de apoyo previas a la instalación del muro cortina	Trazado de los pisos conformes a los planos de anclaje Instalación de anclajes	Caída a distinto nivel Golpes por o contra Caída a distinto nivel Caídas al mismo nivel Proyección de Partículas Golpes por o contra Caída a distinto nivel Proyección de Partículas Caída de Materiales Caídas al mismo nivel Cortes Electrocución	• Implementación de línea de vida desde el interior de la edificación para procurar el enganche con arnés de seguridad • Uso adecuado de herramientas para evitar golpes en las manos • Implementación de línea de vida desde el interior de la edificación para procurar el enganche seguro del trazador • Uso de arnés de seguridad con doble cabo de vida • Mantener las zonas de tránsito despejadas de materiales y herramientas • Utilización de elementos de protección personal para la vista • Uso adecuado de herramientas para evitar golpes en las manos • Implementación de línea de vida desde el interior de la edificación para procurar el enganche seguro del trabajador • Uso de arnés de seguridad con doble cabo de vida • Utilización de elementos de protección personal para la vista • Cerrar el perímetro de la zona de trabajo para evitar que trabajadores y personas ajenas circulen cerca de la zona de trabajos • Toda herramienta debe estar amarrada para evitar que caiga a otros niveles • Mantener las zonas de tránsito despejadas de materiales • Mantener las protecciones de las herramientas de corte para evitar contactos accidentales con los puntos de operación de las herramientas • Utilización de Guantes para proteger las manos de superficies filosas, cortantes o punzantes • Verificar que los tableros donde se extrae la energía eléctrica estén en buenas condiciones y cuenten con todos sus sistemas de protección • Las extensiones de las herramientas deben mantenerse alejadas de suelo húmedo y zonas de tránsito • Tanto las herramientas como sus extensiones deben estar en buenas condiciones para evitar el contacto con la energía eléctrica

...continúa

muro cortina cap 6 en adelante.indd 147 4/1/14 9:44 AM

TABLA 10.3. MATRIZ SIMPLIFICADA DE ANÁLISIS DE RIESGOS EN OBRA
(Basada en recomendación de la Mutual de Seguridad)

ACTIVIDAD	TAREA	PELIGRO	MEDIDAS DE CONTROL
Almacenamiento de paneles en los pisos	Recepción de paneles	Sobre esfuerzos	• El traslado deberá realizarse con una cuadrilla de trabajadores a fin de evitar sobre esfuerzos • Utilizar técnica manejo manual de cargas, de manera que el peso se reparta en piernas y no en zona lumbar
	Izaje de paneles	Caída de Materiales	• Cerrar el perímetro de la zona de trabajo para evitar que trabajadores y personas ajenas circulen cerca de la zona de trabajos • Toda herramienta debe estar amarrada para evitar que caiga a otros niveles
Montaje de módulos	Recepción de paneles por piso	Caída de distinto nivel	• Implementación de línea de vida a punto firme de la edificación, para el enganche desde carro colgante o silleta. Uso de arnés de seguridad con carro delimitador de caída
	Descarga y almacenamiento de paneles por piso	Caída de Mismo nivel	• Mantener las zonas de tránsito despejadas de materiales y herramientas
	Traslado de módulos al punto de izaje	Sobre esfuerzos	• Traslado de módulo por cuadrilla de trabajo • Aplicar técnica del correcto manejo manual de cargas
	Instalación del sistema de sujeción en módulo (yugo / ventosa) Izaje y colocación de módulos	Caída de Mismo nivel Aplastamiento	• Mantener las zonas de tránsito despejadas de materiales y herramientas • Utilización de piola de seguridad • Chequeo diario de: Motor Piolas Pescantes • Verificar el estado operativo de Ventosa • Utilización de sistema secundario de sujeción para módulos • Verificar estado del yugo
	Colocación de sellos exteriores	Golpes por o contra Caída de distinto nivel	• Utilización de piola adicional instalada de forma independiente enganchada en pisos superiores o estructuras firme y definitivas • Implementación de punto de anclaje para andamio colgante, silleta o guindola. Implementación de línea de vida a punto firme de la edificación, para el enganche del arnés de seguridad. Uso de arnés de seguridad con carro delimitador de caída
		Caída de Materiales	• Instrucción al personal. Delimitar sector inferior con cinta de peligro. Amarrar herramientas y materiales
		Cortes Proyección de Partículas Electrocución Radiación UV	• Instrucción al personal respecto del uso de herramientas adecuada para colocación de sello • Utilización de elementos de protección personal para la vista • Verificar que los tableros donde se extrae la energía eléctrica estén en buenas condiciones y cuenten con todos sus sistemas de protección • Las extensiones de las herramientas deben mantenerse alejadas de suelo húmedo y zonas de tránsito • Tanto las herramientas como sus extensiones deben estar en buenas condiciones para evitar el contacto con la energía eléctrica • Utilización de FPS 30, uso de elementos de protección personal como pañuelo legionario, protección visual, ropa de trabajo con manga larga
Ejecución de acabados y remates exteriores	Limpieza final del muro cortina	Caída de distinto nivel Caída de Materiales Radiación UV	• Implementación de punto de anclaje para andamio colgante, silleta o guindola. Implementación de línea de vida vertical afianzada a punto firme de la edificación, para el enganche del arnés de seguridad. Uso de arnés de seguridad con carro delimitador de caída • Instrucción al personal. Delimitar sector inferior con cinta de peligro. Amarrar herramientas y materiales • Utilización de FPS 30, uso de elementos de protección personal como pañuelo legionario, protección visual, ropa de trabajo con manga larga

muro cortina cap 6 en adelante.indd 148 4/1/14 9:44 AM

Esta Matriz de Riesgo debería ser coordinada con las medidas de Prevención de Riesgo implementadas por la Constructora, y por los otros contratistas presentes en la obra.

ANEXO CAPÍTULO 10. LISTAS DE CHEQUEO PARA LA RECEPCIÓN DEL MURO CORTINA FINAL O POR ETAPAS

A objeto de poder recibir conforme el proyecto de Muros Cortina, la ITO debe realizar la recepción parcial o total de las obras, previo chequeo de los puntos más críticos del proyecto.

A continuación se entrega una lista de actividades relevantes que se recomienda realizar, la cual debe ser entendida como una herramienta de apoyo para ejecutar las recepciones parciales, o totales. Igualmente, no debe ser considerada como una propuesta de sistema de aseguramiento de calidad del proceso de instalación del muro cortina.

Se destaca que el orden de las actividades, o controles recomendados, no es necesariamente cronológico. Un aspecto fundamental para una buena recepción del muro cortina es poder disponer oportunamente de toda la documentación requerida.

A 10.1. Chequeo documental (planos, EETT, certificados)
A 10.2. Chequeo de muestras y prototipos
A 10.3. Chequeo en obra

Dichas listas de actividades se encuentran en las páginas siguientes.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 149 4/1/14 9:44 AM

A 10.1. CHEQUEO DOCUMENTAL

TABLA 10.4. LISTADO DE CHEQUEO DE DOCUMENTOS DE UN PROYECTO DE MURO CORTINA

DETALLE DOCUMENTOS	N° DOCUM. CANTIDAD, VERSIÓN, FOLIO, N°	ESTADO VIGENTE, POR REVISAR, REVISADO, ETC.	OBSERVACIÓN CONFORMIDAD, PENDIENTES, ETC.
Planos de arquitectura con las EETT del proyecto			
Planos de fabricación del muro cortina y obras anexas			
Memoria de cálculo del muro cortina, aprobado por el profesional competente (perfiles, vidrios, paneles, anclajes, sellos, otros)			
Levantamiento topográfico			
Certificado de origen de aleación y temple del aluminio			
Certificado de calidad de anodizado y pintado de perfiles de aluminio			
Tratamientos térmicos de vidrios (en caso que los tenga)			
Certificados de Control Solar y Aislación Térmica de paneles, en zonas visión, antepechos y lucarnas			
Sello secundario: tipos, dimensión de acuerdo a medidas de DVH cantidad de sellante y compatibilidad con sellos estructurales y climáticos			
Tipos de perfiles espaciadores: espesor y material. (certificado proveedor)			
Sales higroscópicas (certificado de sales)			
Documento de análisis de stress térmico, conos de sombra			
Certificado de cálculo de los cordones de sellos estructurales (certificado de fabricante sellos)			
Certificado de ensayo de Laboratorio de adhesión y compatibilidad de sellos estructurales			
Certificados de protección al fuego y humo			
Procedimientos escritos de fabricación e instalación			
Procedimiento escrito de aplicación de sello estructural			
Curriculum o documentación de experiencia del contratista			
Manuales de uso y mantención del Muro Cortina			

muro cortina cap 6 en adelante.indd 150 4/1/14 9:44 AM

A 10.2. CHEQUEO DE MUESTRAS Y PROTOTIPOS

TABLA 10.5. LISTADO DE CHEQUEO DE MUESTRAS Y PROTOTIPOS

MURO CORTINA DE FACHADA CON TODOS SUS COMPONENTES	**N° DOCUM.** CANTIDAD, VERSIÓN, FOLIO, N°	**ESTADO** VIGENTE, POR REVISAR, REVISADO, ETC.	**OBSERVACIÓN** CONFORMIDAD, PENDIENTES, ETC.
CHEQUEO DE MUESTRAS Y PROTOTIPOS			
Muestras de materiales aprobadas por arquitecto, o mandante			
Verificación de colores del aluminio, según "patrones de anodizado y pintado de perfiles"			
Aprobación del arquitecto de las muestras y patrones de color / tono			
INSPECCIÓN EN FÁBRICA			
Condiciones de almacenamiento y manipulación de materiales (según procedimiento de trabajo)			
Módulos Acristalamiento, aplicación de sello de fijación estructural			
Armado de módulos, distorsión planimetría, defectos incorporados en los materiales (inspección visual			
Controles de calidad durante el proceso de silicona estructural (según procedimientos de trabajo			
Infiltración de agua del muro cortina, según norma NCh2803			
Distorsión de visión de vidrios tratados térmicamente			
Sistema de sellado climático y estructural. Pruebas de adhesión en campo (Peel-off)			

muro cortina cap 6 en adelante.indd 151 4/1/14 9:44 AM

A 10.3. CHEQUEO EN OBRA

El chequeo en obra se deberá realizar en el momento y lugar más oportuno, pudiendo considerarse los elementos ya instalados, o bien los materiales recibidos en obra (sobre atriles). La ITO y el Subcontratista de Muro Cortina deberán acordar la condición más adecuada para realizar el chequeo.

TABLA 10.6. LISTADO DE CHEQUEO EN OBRA

MURO CORTINA DE FACHADA CON TODOS SUS COMPONENTES	**N° DOCUM.** CANTIDAD, VERSIÓN, FOLIO, N°	**ESTADO** VIGENTE, POR REVISAR, REVISADO, ETC.	**OBSERVACIÓN** CONFORMIDAD, PENDIENTES, ETC.
Dilataciones y sistema de junta de dilatación (planos de detalles			
Verificación de anclajes, fijaciones e insertos y sus tratamientos preventivos (inspección visual)			
Perfiles de aluminio u otros materiales (inspeccion visual)			
Inspección de tonos y colores (inspección según patrones)			
CRISTALES Inspección de defectos incorporados en la masa Inspección de distorsión por efecto de tratamiento Tratamiento de borde para eliminación de microfisura Defectos de borde en vidrio			
DVH (TERMOPANELES) Composición del DVH: cristales, color, tipo tratamiento térmico, espesor, recubrimiento con pigmentos, film			
Sello primario: ancho de cordón y continuidad (inspección visual)			
Espesor del DVH (inspección visual)			
Granitos y paneles compuestos (inspección visual)			
Otros paneles usados en fachadas ventiladas (inspección visual			
Accesorios. Verificar contra EETT			
Burletes Verificar contra EETT			
Calzos Verificar contra EETT			
Aceros Verificar contra EETT			
Tornillos Verificar contra EETT			
Revestimientos en acero inoxidable			
Puertas de acceso y fachadas de accesos			
Anclajes e insertos: tipo acero y protección superficial **Aislacion térmica y acústica** **Aislacion contra el fuego** **Proteccción anticorrosiva**			
Soldaduras			
Tolerancias de montaje			
Corrosión: ambiental y galvánica (Inspección visual en terreno)			
Carros limpia vidrios. Inspección visual			
Limpieza y protección. Inspección visual			

muro cortina cap 6 en adelante.indd 152 4/1/14 9:44 AM

11. Normas Técnicas – Requisitos, Ensayos y Desempeños

La definición de normas técnicas permite elevar el nivel de calidad de la edificación, y con ello permite responder a legítimas exigencias de los usuarios, tales como el confort térmico y acústico, la iluminación, la ventilación, etc. Además, los fabricantes de muros cortina son conscientes de cambios importantes que se están dando en la industria de la construcción y que justifican esfuerzos relevantes en innovación y nuevos materiales.

Se puede decir que una obra cumple con estándares de calidad cuando se adecúa a unos criterios objetivos (que incluyen las expectativas del usuario) llamados: normas. De la afirmación anterior se deduce la importancia de la normalización, pues pretende establecer de manera consensuada esos criterios objetivos de la calidad (Referencia: Manual de Producto – Fachadas Ligeras, Asefave – España 2006).

Para efecto del presente Manual de Muros Cortina se ha definido el siguiente criterio respecto de las prioridades de las normas técnicas referidas a muros cortina (o atingentes al tema). Antes que nada se han considerado las Normas Técnicas Chilenas (obligatorias, o voluntarias) como el primer antecedente técnico a tener presente en un proyecto de muros cortina. Luego se ha asignado la segunda prioridad para las normas ASTM (en consideración al hecho que USA es el país que exhibe el mayor desarrollo técnico de esta especialidad). A continuación se recomienda acceder a las normas europeas (ISO), es decir, cuando en las normas técnicas anteriores no se encuentra la documentación requerida.

Finalmente, para efecto de documentación también se reseñan algunas normas técnicas de España y Argentina.

11.1. LISTADO DE NORMAS TÉCNICAS CHILENAS

A continuación se presenta el listado de normas chilenas ordenadas de acuerdo a su contenido: requisitos, ensayos o desempeño.

11.1.1. NORMAS CHILENAS DE REQUISITOS

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, artículo 4.1.10: "Reglamentación Térmica Residencial en Chile".
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, artículo 4.2.7, define las exigencias de seguridad para antepechos y barandas (en lugares públicos y privados).
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, artículo 4.3.1: "De las condiciones de seguridad contra incendio".
- NCh 132.Of96: Vidrios planos – Definiciones y clasificación general.
- NCh 133.Of96: Vidrios planos para arquitectura y uso industrial – Espesores nominales normales y tolerancias.
- NCh 134.Of97: Vidrios planos – Características físicas.
- NCh 134/1.Of97: Vidrios planos – Parte 1: Determinación de la transmisión de luz, transmisión directa solar, transmisión de la energía solar total y transmisión ultravioleta, y factores de acristalamiento relacionados.
- NCh 135.Of97: Vidrios planos de seguridad para uso en arquitectura – Clasificación y requisitos.
- NCh 135/1.Of98: Vidrios planos de seguridad para uso en arquitectura – Parte 1: Práctica recomendada para su empleo.
- NCh 135/2.Of97: Vidrios planos de seguridad para uso en arquitectura – Parte 2: Especificación y aplicación en áreas susceptibles de impacto humano.
- NCh 135/3.Of97: 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 del espesor.
- NCh 427.Of76: Construcción – Especificaciones para el cálculo, fabricación y construcción de estructuras de acero.
- NCh 428 Of57: Ejecución de construcciones de acero.
- NCh 849: Aislamiento térmico, transmisión térmica – Terminología, magnitudes, unidades y símbolos.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 153 4/1/14 9:44 AM

- NCh 850: Aislamiento térmico – Método para la determinación de la conductividad térmica, por el método de la cámara térmica.
- NCh 853.Of91: Aislamiento térmico – Envolvente térmica de edificios.
- NCh 1079.Of2008: Zonificación climática de Chile, basada en las características del clima.
- NCh Eléctrica 4-2003, Tabla 11.24 "Iluminancias Mínimas para locales comerciales e industriales".
- NCh 2434/1.Of1999: Doble vidriado hermético – Parte 1: Características de diseño y construcción.
- NCh 2434/4.Of1999: Doble vidriado hermético – Parte 4: Método de envejecimiento acelerado.
- NCh 2620: Vidrios laminados planos para arquitectura – Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- NCh431.Of2010: Sobrecargas de nieve.
- NCh432.Of2010: Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.
- NCh433.Of96 – Mod.2009: Diseño sísmico de edificios.
- DS61: Decreto Supremo que modifica parcialmente la NCh433.Of96 – Mod.2009.
- NTM01: Norma de Diseño sismorresistente de elementos no estructurales.
- NCh 446.Of2000: Arquitectura y construcción – Puertas y ventanas – Terminología y clasificación.
- NCh 447.Of2000: Carpintería – Modulación de ventanas y puertas.
- NCh 523.Of2001: Carpintería de aluminio – Puertas y ventanas – Requisitos.
- NCH352/1 Of.2000: Aislación acústica. Parte 1: Construcciones de uso habitacional. Requisitos mínimos y ensayos.
- NCh 888.Of2000: Arquitectura y construcción – Ventanas – Requisitos básicos.
- NCh 1972.Of2001: Arquitectura y construcción – Ventanas – Valores aplicables a los ensayos mecánicos.
- NCh 2369 "Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales – combinaciones de carga".
- NCh 2496.Of2000: Arquitectura y construcción – Ventanas – Instalación en obra.

11.1.2. NORMAS CHILENAS DE ENSAYOS

- NCh 134/3.Of97: Vidrios planos – Ensayos – Parte 3: Resistencia a la acción de temperaturas extremas.
- NCh 134/4: Vidrios planos – Ensayos – Parte 4: Rotura por flexión.
- NCh 134/5: Vidrios planos – Ensayos – Parte 5: Determinación de la Planimetría.
- NCh 135/4.Of97: Vidrios planos – Ensayos – Parte 4: Inspección visual.
- NCh 135/5.Of98: Vidrios planos – Ensayos – Parte 5: Rotura por impacto de una esfera de acero.
- NCh 135/6.Of98: Vidrios planos de seguridad – Ensayos – Parte 6: Rotura por impacto de una bolsa de lastre.
- NCh 135/7.Of97: Vidrios planos de seguridad – Ensayos – Parte 7: Fragmentación por impacto de un punzón.
- NCh 135/8.Of97: Vidrios planos de seguridad, laminados – Ensayos – Parte 8: Resistencia a la temperatura y la humedad.
- NCh 135/9: Vidrios planos de seguridad – Ensayos – Parte 9: Rotura por torsión.
- NCh 135/10: Vidrios armados – Ensayos – Parte 10: Resistencia a la acción de una llama.
- NCh 889.Of2001: Arquitectura y construcción – Ventanas – Ensayos mecánicos.
- NCh 890 .Of2000: Arquitectura y construcción – Ventanas – Ensayos de resistencia al viento.
- NCh 891.Of2000: Arquitectura y construcción – Puertas y ventanas – Ensayo de estanquidad al agua.
- NCh 892.Of2001: Arquitectura y construcción – Ventanas – Ensayo de estanquidad al aire.
- NCh 935.Of97: Partes 1 y 2 Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego.
- NCh 2209.Of93: Prevención de incendio en edificios – Ensayo del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriados.
- NCh 2434/2.Of1999: Doble vidriado hermético – Parte 2: Ensayo de condensación.
- NCh 2434/3.Of1999: Doble vidriado hermético – Parte 3: Ensayo de hermeticidad.
- NCh2803.Of.2002: Acústica. Verificación de la calidad acústica de las construcciones.
- NCh2785.Of.2002: Acústica. Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción. Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos.
- NCh2786.Of.2002: Acústica. Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción. Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción.
- NCh 2808.Of2003: Puertas, ventanas, tragaluces y muros cortinas exteriores – Determinación de la penetración del agua por diferencia de presión de aire estático cíclico o uniforme – Método de ensayo en terreno.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 154 4/1/14 9:44 AM

11.2. LISTADO DE NORMAS TÉCNICAS ASTM (American Standard Testing Material)

A continuación se presenta el listado de normas ASTM ordenadas según su contenido: requisitos, ensayos o desempeño.

11.2.1. NORMAS ASTM DE REQUISITOS

- ASTM A36: Especificación normalizada para el Acero al carbono estructural.
- ASTM A123: Especificación para productos galvanizados en caliente.
- ASTM B244: Espesor y calidad capa anódica perfiles.
- ASTM B449: Preparación superficie perfiles.
- ASTM C 509: Burletes preformados y materiales de sellado.
- ASTM C 864: For Dense Gaskets (EPDM & Neoprene).
- ASTM C 1115: For Dense Silicone Gaskets.
- ASTM C920: Specifications for Elastomeric Joint Sealants.
- ASTM C-1036: Especificaciones estándar para vidrio plano.
- ASTM C-1036: Standard Specification for Heat-Treated Fiat Glass - Kind HS, Kind FT Coated and Uncoated Glass.
- ASTM C 1135: Resistencias mínimas de diseño de materiales sellantes.
- ASTM C1148: Standard Test Method for Measuring the Drying Shrinkage of Masonry Mortar.
- ASTM C 1184: Standard specification for structural silicone sealants.
- ASTM C 1172: Especificación Estándar para vidrio plano Laminado de uso arquitectónico.
- ASTM C 1248: Efectos visuales causados por los materiales sellantes.
- ASTM C 1401: Standard Guide for Structural Sealant Glazing.
- ASTM E 106: Resistencia al fuego.
- ASTM E 119: Resistencia al fuego.

11.2.2. NORMAS ASTM DE ENSAYOS

- ASTM C794 - Standard Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants.
- ASTM C1087: Standard Test Method for Determining Compatibility of Liquid-Applied Sealants with Accessories Used in Structural Glazing Systems.
- ASTM C1248 Standard Test Method for Staining of Porous Substrate by Joint Sealants.
- ASTM D3359: Adherencia de La capa de pintura de perfiles.
- ASTM D3363: Dureza al lápiz de grafito de la capa pintura perfiles.
- ASTM E 84-87: Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.
- ASTM E 283: Test method for determining rate of air leakage through exterior windows, curtain wall and doors and specified pressure differences across the specimen.
- ASTM E 330: Standard test method for structural performance of exterior Windows, curtain walls, and, doors by uniform static air pressure difference.
- ASTM E 331: Test for water penetration of exterior windows, curtain walls and doors by uniform static air pressure difference.
- ASTM E 774: Doble Vidrio Hermético.
- ASTM E1105: Método de ensayo de campo a la penetración de agua.

11.3. LISTADO DE NORMAS TÉCNICAS AAMA (American Architectural Manufacturers Association)

11.3.1. NORMAS AAMA DE REQUISITOS

- AAMA CW-DG-1-96: Curtain wall, Design Guide Manual, Rev 5/2005.
- AAMA TIR-A7-83: Sloped Glazing Guidelines.
- AAMA MCWM-1-89: Metal Curtain Wall Manual, Guide Specifications.
- AAMA GAG-1-97: Glass and Glazing.
- AAMA CW-12-84: Structural properties of Glass.
- AAMA RPC-00: Rain Penetration Control-Applying Current Knowledge.
- AAMA 507-07: Standard practice for determining the thermal performance characteristics of fenestration systems installed in commercial buildings.
- AAMA 609: Cleaning and Maintenance Guide.
- AAMA 610 C: Cleaning and Maintenance Guide.
- AAMA 611: Voluntary Specification for Anodized Architectural Aluminum.
- AAMA 8 "Fire safety in high-rise curtain walls (FSCOM-1-09)".
- AAMA AFPA-91: Anodic finishes / Painted aluminum.
- AAMA CW-10_04: Care and handling of architectural aluminum fron shop to site.
- AAMA CW-11-85: Design windloads for buildings and boundary layer wind tunnel testing.
- AAMA CW-12-84: Structural properties of glass.
- AAMA CW-13-85: Structural sealant glazing systems.
- AAMA CW-RS-1-04: The rain screen principle and pressure equalized wall design.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 155 4/1/14 9:44 AM

- AAMA CWG-1-89: Installation of aluminum curtain walls.
- AAMA FSCOM-1-09: Fire Safety in high-rise curtain walls.
- AAMA CAG-1-97: Glass and glazing.
- AAMA MCWM-1-89: Metal curtain wall manual.
- AAMA SFM-1-87: Aluminum storefront and entrance manual.
- AAMA TIR A1-04: Sound Control for fenestration products.
- AAMA TIR A9-91: Metal curtain wall fasteners.
- AAMA TIR A9-91: Ad. Metal curtain wall fasteners addendum (2000).
- AAMA TIR A11-04: Maximum allowable deflection of framing systems for building cladding components at design wind loads.
- AAMA TIR A14-10: Fenestration Anchorage Guidelines.
- AAMA 1600/I.S.7-00: Voluntary specification for skylights.
- AAMA 1607-04: Installation guidelines for unit skylights.
- AAMA 2100-02: Voluntary specifications for sunrooms.
- AAMA 2604: Voluntary Specification for High Performance Organic Coatings on Aluminum Extrusions and Panels.
- AAMA DDGA-89: Daylighting design guidelines for roof glazing in atrium spaces.
- AAMA GDSG-1-87: Glass design for sloped glazing.
- AAMA SDGS-1-89: Structural design guidelines for aluminum framed skylights.
- AAMA SHDG-1-88: Skylight handbook design guidelines.
- AAMA TIR A7-83: Sloped glazing guidelines.
- AAMA 800-10: Voluntary specifications and test methods for sealants.

11.3.2. Normas AAMA de ensayos

- AAMA 501-05: Methods of Test for Exteriors Walls.
- AAMA 501.1-05: Standard test method for water penetration of windows, curtains walls and doors using dynamic pressure.
- AAMA 501.2-09: Quality Assurance and diagnostic water leakage field check of installed storefronts, curtain walls and sloped glazing systems.
- AAMA 501.4-09 & 501.6-09: Recommended Static Test Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems subjected to seismic and wind induced interstory drifts and recommended dynamic test method for determining the seismic drift causing glass fallout from wall system (combined document).
- AAMA 501.5-07: Test method for thermal cycling of exterior walls.
- AAMA 503-08: Voluntary specification for field testing of newly installed storefronts, curtain walls and sloped glazing systems.
- AAMA 508-07: Voluntary test and Classification Method for drained and back ventilated Rain Screen Wall Cladding Systems.
- AAMA 509-09: Voluntary test and Classification Method for Drained and Back Ventilated Rain Screen Wall Cladding Systems.
- AAMA 1503.1: Voluntary Test Method for Thermal Transmittance and Condensation Resistance of Windows, Doors, and Glazed Wall Sections.

11.4. NORMAS TÉCNICAS ISO (INTERNATIONAL STANDARD ORGANISATION)

11.4.1. NORMAS ISO DE REQUISITOS

- ISO 10077-1:2006: Thermal performance of windows, doors and shutters: Calculation of thermal transmittance - Part 1: General.
- ISO 10077-1:2006: Thermal performance of windows, doors and shutters - "Linear thermal transmittance in the edge of windows".

11.4.2. NORMAS DE ENSAYOS

- ISO 140-6:1998: Acústica. Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
- ISO 140-7:1999: Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- ISO 717-1:1996: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Aislamiento a ruido aéreo.
- ISO 2815: Ensayo de resistencia al rallado.
- ISO 2813: Brillo nivel 60°.
- ISO 2409: Ensayo de adherencia.
- ISO 3210: Inmersión en agua 25'.
- ISO 105: Ensayo de Xenon Test.
- ISO 2360: Espesor de película.
- ISO EN 12365: Performance requirements for Gaskets and Weatherstripping.
- ISO EN 14179 (borrador): Procedimiento de Ensayo "Heat soaking" para reducir las roturas espontáneas por inclusiones de Sulfato de Nickel (NiS) en vidrios templados.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 156 4/1/14 9:44 AM

11.5. DETALLE DE NORMA CHILENA DE ENSAYO EN OBRA - NCh2808.Of2003

Puertas, ventanas, tragaluces y muros cortinas exteriores. Determinación de la penetración del agua por diferencia de presión de aire estático cíclico o uniforme. Método de ensayo en terreno.

La NCh 2808-2003 especifica el método de ensayo capaz de determinar la penetración del agua a través de una estructura fabricada. Los lugares serán indicados por el arquitecto y el ensayo será regulado además de acuerdo a la norma ASTM E331.

El ensayo en terreno se puede realizar en el momento en que el muro cortina esté recién instalado y antes de que el interior de la construcción esté terminada. En ese momento, generalmente es más fácil revisar las superficies interiores de la estructura para identificar los puntos de penetración de agua, para así corregir fácilmente los posibles errores de fabricación o instalación. Sin embargo en una construcción en servicio se debe evaluar cuidadosamente la viabilidad de efectuar este ensayo.

Para la realización del ensayo es necesario contar con una cámara de prueba, un sistema de aire, equipamiento de medición de presión y un sistema de rociado de agua, los cuales deben cumplir los requerimientos y especificaciones definidos en la norma NCh 2808 (Figura 11.1).

El método de ensayo se inicia sellando la zona del muro cortina con la cámara de prueba. Se suministra o se extrae el aire (dependiendo si la cámara es ubicada por el exterior o interior del muro) a la razón requerida para mantener la diferencia de presión de ensayo a través de la probeta. Paralelamente, se debe rociar agua sobre la cara externa de la probeta a la razón requerida y observar cualquier penetración de agua.

La razón de rociado de agua debe considerar las distintas zonas climáticas tabuladas en la Tabla 11.1.

Las diferencias de presión de aire que se deben aplicar durante el ensayo deben ser especificadas por el solicitante del ensayo.

Este ensayo puede ser realizado mediante dos procedimientos distintos. El primer procedimiento es realizado bajo diferencia de presión de aire estático uniforme y el segundo es realizado bajo diferencia de presión de aire estático cíclico.

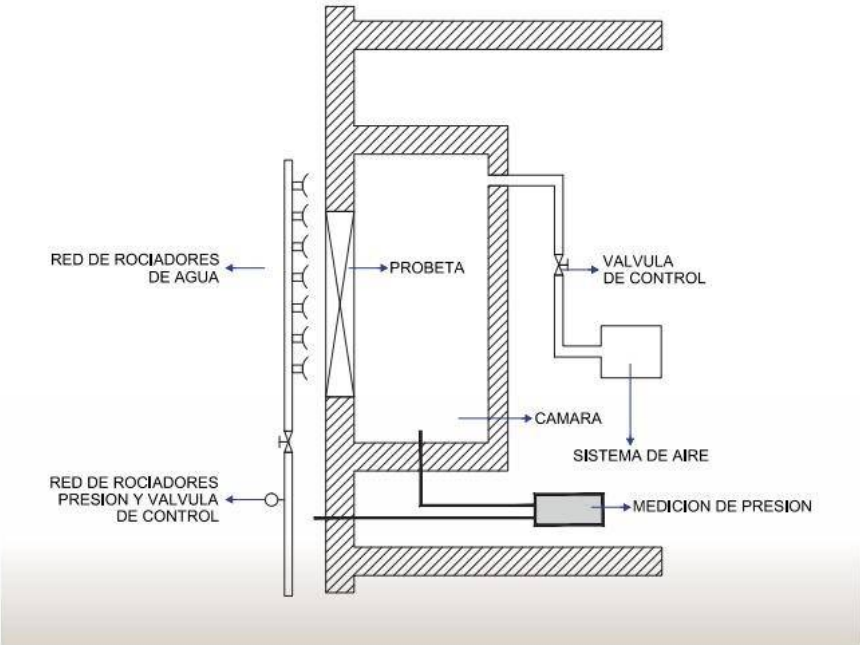


Figura 11.1.
Ensayo de penetración del agua, según norma NCh 2808.Of2003.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 157 4/1/14 9:44 AM

TABLA 11.1. RAZÓN DE ROCIADO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA, SEGÚN NORMA NCh2808.Of2003

ZONAS CLIMÁTICO HABITACIONALES DE CHILE		PRECIPITACIONES mm	VALORES MEDIOS MÁXIMO 1 DÍA	RAZÓN L/m² POR MINUTO
NL	Norte litoral	120	89	0.06
ND	Norte desértica	45	.	0.04 * I03
NVT	Norte valle transversal	132	-	0.01 * I03
CL	Central litoral	824	171	0.12
CI	Central interior	1033	103	0.07
SL	Sur litoral	2490	174	0.12
SI	Sur interior	1330	137	0.1
SE	Sur extremo	2940	171	0.12
AN	Andina	1850	159	0.1 1

*Razón de rociado de agua L/m² * min por zona climática*

11.6. PRESENTACIÓN DETALLADA DE ALGUNAS NORMAS TÉCNICAS RELEVANTES

El Ministerio de la Vivienda MINVU solicitó, en el año 2010, a la Asociación Gremial Chilena del Vidrio, del Aluminio y del PVC, ACHIVAL A.G. el estudio de un anteproyecto de normativa de muros cortinas que abordara los puntos relacionados con esta partida de edificación no acotada por la normativa vigente a esa fecha.

ACHIVAL A.G. convocó, durante ese mismo año, a un comité técnico que elaboró un grupo de N°6 normas técnicas, basadas en normas técnicas ASTM (en inglés) que son relevantes para los muros cortinas.

La versión completa de los Ante Proyectos de normas técnicas están disponibles en la versión digital del presente Manual de Muros Cortina; y más abajo se presenta un resumen del contenido de cada una de los 6 ante proyectos de norma técnica.

11.6.1 NORMAS DE REQUISITOS

• NMC 001 Definición y clasificación de muros cortina

Esta norma establece la terminología utilizada en el diseño y la instalación de muros cortinas, revestimientos de fachadas estancas o ventiladas, lucarnas y frentes vidriados de uso en la arquitectura. También establece una clasificación de los muros cortinas, revestimientos de fachadas, lucarnas y frentes vidriados según sus materiales predominantes, fabricación y montaje, de acristalamiento y de estanqueidad. Indica cuales son los ensayos que se deben considerar en el diseño del muro cortina y revestimientos de fachadas en sus aspectos estructurales y de estanqueidad.

• NMC 002 Requisitos muros cortina

Esta norma señala que las prestaciones mínimas exigibles al diseño y ejecución de un muro cortina son:

1.1. Estructurales: define los aspectos relacionados con el diseño estructural del muro cortina.

1.2. Estanqueidad al agua: define los requisitos para la protección de infiltración de agua.

1.3. Estanqueidad al aire: define los requisitos relacionados con la infiltración de aire.

1.4. Prestación térmica: establece los requisitos de desempeño térmico.

1.5. Cortafuegos y cortahumos: define los requisitos para la protección contra fuego.

• NMC 006 Sellos estructurales

Esta anteproyecto de norma sobre sellos estructurales está basada en la Norma ABTN NBR 15737.y ASTM 1401.

Este anteproyecto de norma específica los requisitos para la terminación superficial de los perfiles de aluminio; el vidrio; el sello estructural; el sello climático y el espaciador perimetral utilizados en la fijación estructural de vidrio, así como el cálculo de la junta estructural y el procedimiento para esta fijación.

11.6.2. NORMAS DE ENSAYOS

• NMC 003 Ensayo Estructural

Este anteproyecto de norma está basado en la norma ASTM E330-97.

Esta norma describe los procedimientos para determinar el comportamiento estructural de ventanas exteriores, muros cortina y puertas, sometidos a diferencias uniformes de presión estática de aire, usando una cámara de pruebas. Dichos procedimientos están dirigidos al ensayo de los elementos antes mencionados, pero también se pueden aplicar a revestimientos de fachadas con metal, albañilería, componentes de piedra y otros similares.

Este método de ensayo está orientado sólo a la evaluación del comportamiento estructural de los elementos de fachada asociados a la muestra ensayada, también se describen los aparatos y procedimientos para la ejecución de un ensayo estructural con presión estática.

• NMC 004 Ensayo Sísmico

Este anteproyecto de norma está basado en la norma AAMA 501.4-09.

Método de prueba estático recomendado para la evaluación de muros cortina exteriores e interiores y sistema de revestimiento de fachadas sometidos a deformaciones de entrepiso inducidas por sismos y otras cargas.

Este método de ensayo proporciona una herramienta para evaluar el comportamiento de muros cortina y sistemas de revestimiento de fachadas, cuando son sometidos a despla-

muro cortina cap 6 en adelante.indd 158 4/1/14 9:44 AM

zamientos relativos en el plano del muro. El método no está destinado a la evaluación del comportamiento ante cargas dinámicas o movimientos de torsión.

Los movimientos relativamente lentos de este método de ensayo, propios de un ensayo "cuasi-estático", en general no producen los mismos resultados que se obtendrían en un ensayo con cargas dinámicas. En casos especiales, donde el comportamiento de los componentes deba estudiarse con mayor precisión, los procedimientos dinámicos de ensayo a aplicar deberán ser establecidos por el ingeniero estructural responsable del proyecto.

• NMC 005 Ensayo de Infiltraciones

Este anteproyecto de norma está basado en la norma ASTM E283, la que permite determinar la tasa de infiltración de aire a través de ventanas exteriores, muros cortina y puertas, bajo una diferencia de presión específica a través de la muestra.

Esta norma específica un método de ensayo, que entrega un procedimiento para determinar la tasa de infiltración de aire en ventanas exteriores, muros cortina y puertas. Este método esta descrito para ensayos con temperatura y humedad constantes a través de la muestra.

Este procedimiento de laboratorio permite medir sólo aquellas filtraciones asociadas al ensamble y no a la instalación. Este método puede ser adaptado para este último propósito y además se debe tener en cuenta que la variación de temperatura afecta la tasa de infiltración.

Si se desea efectuar ensayos de infiltración de aire en obra, sobre elementos instalados, deben referirse a la Norma ASTM E783.

Quienes usen este método debieran tener conocimientos en las áreas de mecánica de fluidos, prácticas de instrumentación y tener una comprensión general de productos de cerramientos vidriados y sus componentes.

11.7. REFERENCIAS DE OTRAS NORMAS TÉCNICAS

11.7.1. NORMAS TECNICAS ESPAÑOLAS

- NBE-AE-88: Acciones en la edificación.
- NB-CT-79: Condiciones térmicas de los edificios.
- NBE-CA-82: Condiciones acústicas de los edificios.
- NBE-CPS-96: Reglamento de seguridad con incendios en establecimientos industriales.
- EN 12152 2001: Fachadas ligeras permeabilidad al aire, requisitos y clasificación.
- EN 12153 2000: Fachadas ligeras permeabilidad al aire, método de ensayo.
- EN 12154 1888: Fachadas ligeras estanqueidad al agua, requisitos y clasificación.
- EN 12155 1999: Fachadas ligeras Estanqueidad al agua Ensayo de laboratorio bajo presión estática.
- EN 12179 2001: Fachadas ligeras Resistencia a !a carga da viento Método de ensayo.
- EN 12600 2001: Vidrio para la edificación. Ensayo pendular Método de ensaye al impacto para vidrio plano.
- prEN 13022: Vidrio para la edificación. Acristalamiento con sellante estructural. Parte I.
- ENV 13050-2000: Fachadas ligeras Estanqueidad al agua Ensayo de laboratorio bajo presión de aire dinámica y proyección de agua.
- EN 13051; 2001: Fachadas ligeras Estanqueidad al agua Ensayo in situ.
- EN I 3 I 16: 2001: Fachadas ligeras Resistencia a !a carga da viento. Requisitos y clasificación.
- prEN 13119: Fachadas ligeras terminología.
- prEN 13501: Clasificación al fuego de productos de construcción y elementos de edificación.
- pr EN 13830: Fachadas ligeras norma de producto
- prEN 131 19: Fachadas ligeras norma de producto.
- prEN 13947:2000: Fachadas ligeras Cálculo de transmitancia térmica método simplificado.
- EN 1401S: 2002: Fachadas ligeras resistencia al impacto requisitos y clasificación.
- ENV 1991 -1 -1; 2001: Eurocódigo I: Acción sobre las estructuras. Acciones generales. Densidades. Propio peso y cargas impuestas.

11.7.2. NORMAS ARGENTINAS

- IRAM 11957: Resistencia al fuego de los elementos de construcción. Ensayo de los elementos estructurales de acero protegidos.
- IRAM 11505-1: Carpintería de obra. Parte 1: Puertas, ventanas y fachadas integrales livianas. Vocabulario.
- IRAM 11539: Fachadas integrales livianas. Requisitos.
- IRAM 11578: Acondicionamiento térmico de edificios. Método de determinación de la conductividad térmica de los materiales de construcción mediante el medidor de flujo de calor.
- IRAM 11980: Fachadas integrales de vidrio pegado.
- IRAM 12595: Vidrio plano de seguridad para la construcción. Práctica recomendada de seguridad para áreas vidriadas susceptibles de impacto humano.
- IRAM 12596: Vidrios para la construcción. Práctica recomendada para el empleo de los vidrios de seguridad en la construcción.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 159 4/1/14 9:44 AM

12. Casos Relevantes de Edificios con Muros Cortina

A continuación se presenta una selección, realizada por el comité de Muros Cortina del CDT, de edificios con muros cortina (ubicados tanto en Santiago como en regiones) que tienen una fachada con algunas características consideradas "relevantes", ya sea desde el punto de vista arquitectónico, tecnológico, de su desempeño, etc. En la versión digital del manual, el lector podrá encontrar un listado más amplio de "fachadas destacadas".

Los casos descritos más adelante presentan características especiales que se ha querido destacar en este manual, como caso de buenas prácticas de diseño, fabricación o instalación de las fachadas en nuestro país. Esta selección no pretende ser completa en modo alguno, y es evidente que otras fachadas importantes podrían también haber sido consideradas en este capítulo.

A continuación se indican los edificios seleccionados por el comité y se presenta una información resumida de cada uno de ellos:

1. **Costanera, Santiago**
2. **Consorcio, Santiago**
3. **Titanium, Santiago**
4. **CChC, Puerto Montt**
5. **GAM, Santiago**
6. **Alcantara 99, Santiago**
7. **OIT, Santiago**

EDIFICIO COSTANERA CENTER

Arquitecto: César Pelli, Usa.
Arquitectos Asociados: Alemparte & Barreda
Ingeniero Estructural Asociado: René Lagos
Está ubicado en la comuna de Providencia, en Santiago. Es el edificio más alto de Chile (300 mt) y será inaugurado en el año 2014.

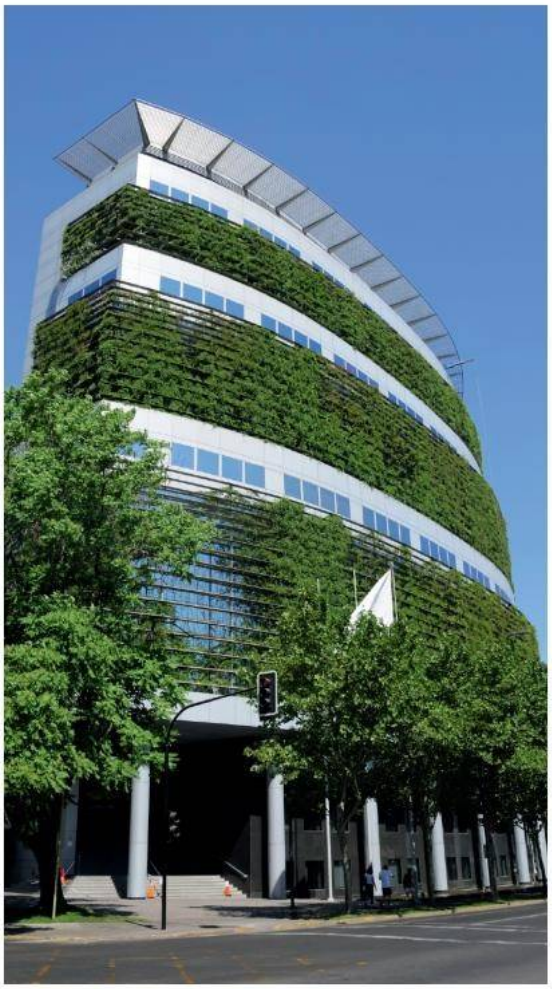
Este edificio representó un gran desafío para la ingeniería en Chile, dado que las normas técnicas nacionales no indicaban disposiciones para edificios de esta altura; por lo que fue necesario diseñar y ensayar el prototipo del edificio en un túnel de viento, en el extranjero. Exhibe una fachada vidriada diseñada para absorber grandes cargas de viento y sismo. Además, el muro cortina presenta un sistema de junta climática con burletes, o "cantería seca" (ver esquemas referenciales indicados en el capítulo 8).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 160 4/1/14 9:44 AM

EDIFICIO CONSORCIO-VIDA

Arquitecto: Enrique Browne & Borja Huidobro
Está ubicado en la comuna de Las Condes, en Santiago.

Es un edificio con fachada en forma de segmento-circular, protegida con una pantalla vertical de vides, plantadas en artesas, y que crecen en un enrejado distanciado a 1,5 metros del muro cortina. Los marcos de los enrejados tienen una altura variable de dos a cuatro pisos. Las vides proveen una luz filtrada y animada, que es capaz de bloquear hasta un 60% aproximadamente de las ganancias solares de la fachada.



EDIFICIO TITANIUM LA PORTADA

Arquitecto: Senarq S.A., Abraham Senerman
Ingeniero Estructural: Alfonso Larraín
Está ubicado en la comuna de Providencia, en Santiago.

Es un edificio de 52 pisos, y 194 metros de altura. Su estructura es de hormigón armado y acero. La fachada es de cristal, granito y aluminio.

El edificio dispone de un sistema de amortiguadores sísmicos que permite reducir entre un 20% y 45% de las deformaciones de entrepiso.

El estudio de viento se realizó en Londres, y se tomaron datos estadísticos de velocidades de viento entregados por Dirección de Aeronáutica Civil. El modelo ensayado incluyó estructuras a 480 mts. a la redonda del edificio. El estudio determinó presiones de viento de hasta 400 kgf/m2.

Este edificio dispone de un sistema que integra la fachada vidriada (y las cortinas a rollo interiores) con el cielo falso, a través de pasadas de ventilación.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 161 4/1/14 9:44 AM

EDIFICIO CChC. PUERTO MONTT

Arquitecto: Flaño, Nuñez y Tuca Arquitectos Asociados
Está ubicado en la ciudad de Puerto Montt, en la X región.
Es un edificio de 18 pisos, 3 subterráneos y con una superficie total: 13.107 m² construidos

Se trata de un edificio avanzado tecnológicamente y eficiente energéticamente, que cuenta con pre - certificación LEED, otorgada por la U.S. Green Building Council (USGBC). Cuenta con aire acondicionado y calefacción individual. La iluminación y la climatización son de alta eficiencia y bajo consumo, ya que cuenta con vidrios de última tecnología, especiales para optimizar la luminosidad y el ahorro energético; y revestimientos exteriores que garantizan gran aislación y ahorro de energía.

EDIFICIO GABRIELA MISTRAL

Arquitecto: Cristian Fernández + Lateral Arquitectos
Está ubicado en la comuna de Santiago

Este edificio alberga un importante centro cultural de Santiago, y está ubicado en la principal avenida de la capital.

La fachada se ejecutó en base al requerimiento de hacer una doble piel translúcida, que se incorpore visualmente (de día y de noche) a la Alameda, como vía central. Además se especificó un material resistente a los graffitis, y que no requiriera mantención; para ello se seleccionó las planchas de acero Corten 1,9 mm de espesor, ScreenPanel.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 162 4/1/14 9:44 AM

EDIFICIO ALCÁNTARA 99

Arquitecto: Borja Huidobro y Arquitectos A4
Está ubicado en la comuna de Las Condes

Este edificio se destaca porque no contempla pilares para sostener las losas de sus 10 pisos, sino que está sostenido estructuralmente por un sistema de cables; por ello se le considera el "primer edificio semicolgante" del país.

En efecto, el edificio posee una estructura perimetral colgante y un núcleo rígido central, en que la estructura está colgada desde unas vigas superiores metálicas de dos metros, más un núcleo rígido central, dado por los ascensores y escaleras. Debido a lo anterior, el edificio destaca porque tiene una conformación estructural y arquitectónica que genera una sensación visual diferente; que contribuye a la espectacularidad de la obra.

EDIFICIO OIT, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO

Arquitecto: Iglesis, Prat + Cristián Boza
Está ubicado en la comuna de Vitacura, en Santiago, frente al Parque Bicentenario.

Es un edificio bajo y pequeño, que exhibe en sus 4 fachadas elementos de diseño pasivo para el mejoramiento del desempeño energético.

Se observa un alero de dimensiones importantes en la fachada norte; elementos quiebrasoles verticales en las fachadas oriente y poniente; mientras que la fachada sur exhibe superficies vidriadas de menor tamaño.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 163 4/1/14 9:44 AM

13. Especificaciones Técnicas del Proyecto de Muro Cortina

13.1. CONSIDERACIONES GENERALES DESDE LA ARQUITECTURA[1]

El proyecto arquitectónico de las pieles, revestimientos y Muro Cortina, se debe definir formalmente en su totalidad como objetivo de diseño. Esto es: formas, elementos expuestos, tamaños deseados, terminaciones, texturas, expresión final.

Las empresas de "armado" del sistema, deben cumplir los aspectos normativos y formales pudiendo incorporar ajustes al proceso de extrusiones, pre-armado y montaje en acuerdo con la tecnología que disponen con el objetivo de lograr optimización de los procesos.

En el caso de las especificaciones de cristales arquitectónicos, el arquitecto deberá establecer los parámetros de desempeño y prestaciones requeridas. Garantías, especificaciones de cristales (templado, termo endurecido o crudo), y su proceso de armado en caso de cristal aislado.

En cuanto a normativas aplicables se debe especificar y solicitar la procedencia de la norma y el laboratorio de ensayo en el cual se ha certificado las respectivas prestaciones. Esto último resulta relevante en caso de "homologar" topologías ya que muchos cristales señalan cumplimiento de normas especificadas pero no certifican la metodología del ensayo.

13.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Resulta fundamental disponer de un proyecto con una especificación técnica completa que evite las incertidumbres e imprevistos que repercuten en la calidad final, el costo total y el plazo de la obra. La responsabilidad de alcanzar el máximo grado de definición corresponde al arquitecto del proyecto, quien puede contar con la colaboración de especialistas capaces de orientar desde las soluciones constructivas adecuadas según las necesidades del proyecto hasta la completa definición del mismo.

Las prestaciones del muro cortina y/o de la ventana, tal como ha quedado explicitado en los capítulos anteriores, deberán establecerse en el proyecto especificando los desempeños de hermeticidad al aire, de estanquidad al agua, de resistencia al viento, aislamiento acústico, control solar, aislamiento térmico, durabilidad mecánica, etc. en función de la normativa vigente, del estado del arte de la industria a nivel nacional o internacional y de las recomendaciones entregadas por los fabricantes.

El proyecto a desarrollar deberá entonces disponer de una completa definición de las prestaciones, características físicas (materiales, componentes y sus limitaciones), sistemas constructivos y de puesta en obra de los módulos de fachadas y su relación con otros sistemas constructivos adyacentes y complementos (elementos de protección solar, sistemas de control de acceso, sistemas de mantenimiento), elementos de verificación (muestras y prototipos) y sistema de control de calidad de los productos suministrados y trabajos ejecutados en obra (ensayos de laboratorio, control de ejecución, ensayos en situ y pruebas de servicio). Estos aspectos además de estar detallados, deberían también estar valorizados y medidos lo más objetivamente posible.

Una completa y correcta especificación del muro cortina permite que la dirección técnica del proyecto pueda:

- Vetar el suministro de materiales que no cumplan los requisitos técnicos establecidos y las normas vigentes.
- Vetar las ejecuciones de obra que no se atengan a las prescripciones de proyecto y normas vigentes.
- Ordenar y exigir la ejecución de pruebas de verificación (ensayos de laboratorio y ensayos in situ) para comprobar las prestaciones y calidad de los productos suministrados y los trabajos ejecutados en obra.

Para conseguir la completa y correcta definición del muro cortina y sus sistemas constructivos, se debería disponer de los siguientes documentos que integran el Proyecto Arquitectónico y que definen el total de requisitos de una obra:

■ Documentación gráfica:

Son los planos de elevación, planta, secciones y detalles que definen la ubicación, orientación, dimensiones, tipologías y detalles constructivos de los módulos de fachadas y ventanas.

Los detalles de la carpintería deben mostrar los aspectos concretos de los paneles y módulos, y su sistema de instalación, referidos a cada proyecto en específico.

■ Especificaciones Técnicas:

Se especifican las prestaciones de los sistemas construc-

1. Arquitecto Luis Corvalán.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 164 4/1/14 9:44 AM

tivos, su definición, las características y calidades de los materiales a usar, las justificaciones de cálculo (de la perfilería, de los cristales, del aislamiento térmico, acústico, etc.)

Se detallan además los componentes, condiciones de ejecución, normativas, controles de calidad, criterios de medición y de mantenimiento.

También se incluye las muestras de materiales y acabados, los prototipos, los criterios de aceptación y rechazo, etc.

El arquitecto deberá velar por la coherencia entre la especificación técnica y la documentación gráfica, de arquitectura, proyecto de muros cortina y otras especialidades, fundamentalmente el Ingeniero Calculista del Edificio quien es el responsable finalmente del comportamiento dinámico coherente entre el sistema estructural y el sistema de revestimiento. En caso de diferencias, se deberán aclarar en las instancias de coordinación, hasta lograr el entendimiento entre las partes involucradas.

Esta documentación debería ser considerada en la etapa de entrega de la obra, que analizamos en detalle en el capítulo 10. Además, las "Listas de Chequeo" que se anexan en dicho capítulo deberían facilitar la verificación del cumplimiento de las especificaciones técnicas, por parte del sub-contratista del muro cortina, inspección técnica y de la constructora.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 165 4/1/14 9:44 AM

14. Requisitos de Mantención del Muro Cortina

14.1. ROL DEL PROYECTO DE ARQUITECTURA Y DEL SISTEMA DE MURO CORTINA

Antes de revisar las recomendaciones de limpieza y tratamiento de las superficies de las fachadas, parece importante destacar la relevancia que puede alcanzar el proyecto de arquitectura, o el sistema de muro cortina que se emplee, para reducir las necesidades de limpieza y mantención de una fachada.

Sobre todo en las ciudades grandes, con mayor contaminación ambiental, la arquitectura puede jugar un rol fundamental en mejorar las condiciones de mantención de un muro cortina.

Como se evidencia en las figuras 14.1 y 14.2 que siguen, una fachada que tenga elementos decorativos exteriores favorece la acumulación de polvo y suciedad; mientras que una superficie lisa y aplomada permite una mejor evacuación de contaminantes. Resulta evidente que una fachada lisa permitirá una operación de limpieza más rápida y fácil.

Igualmente, en la figura 14.3 se observa que la presencia de superficies inclinadas, o incluso horizontales (como las lucarnas), también facilitan el ensuciamiento de la fachada, y el posterior chorreo.

Por último, en las figura 14.4 y 14.5 se muestra como las fachadas que usan las juntas abiertas permiten la acumulación de polvo y contaminantes, que más tarde (con la llegada de una lluvia) iniciará su recorrido hacia abajo, manchando los muros del edificio.

Figura 14.1. fachada con perfiles decorativos.

Figura 14.2. fachada vidriada lisa.

14.2. MANTENCIÓN Y LIMPIEZA DE CRISTALES

El cristal al estar en contacto con el medio ambiente, está sujeto al ataque de suciedad orgánica, residuos de grasa, escurrimientos, sedimentos de óxidos, entre otros que pueden producir degradación o manchado.

Para evitar daños en las superficies y éstos permanezcan en condiciones estéticas adecuadas deben ser limpiados regularmente; y si el ambiente está muy contaminado deben efectuarse limpiezas más frecuentes.

Para mantener los cristales limpios es importante conocer el sistema de limpieza del edificio para evitar que los rieles

muro cortina cap 6 en adelante.indd 166 4/1/14 9:44 AM

Figura 14.3. fachada con vidrios inclinados

Figura 14.4. paneles ACM con junta abierta.

de los carros de limpieza se coloquen de manera inapropiada, perforando los forros o interfiriendo en la coronación del muro cortina.

14.2.1. PRODUCTOS PARA LA LIMPIEZA DE CRISTALES

Los productos de limpieza deben ser elegidos de acuerdo al estado de suciedad en que se encuentre el cristal, para dejarlo con su apariencia original, y siempre considerando su compatibilidad con los selladores utilizados y siguiendo las recomendaciones del fabricante.

En el mercado es posible encontrar diferentes productos

Figura 14.5. Fachada de piedras con junta abierta.

de limpieza, formulados para tratar diferentes tipos de suciedades, como ser:

Productos desmanchadores: para limpiar las manchas e incrustaciones del vidrio dejadas por las gotas de agua, por la lluvia, por el smog.

Productos removedores: para retirar restos de selladores de silicona.

Productos protectores y embellecedores: que permiten aplicar un tratamiento de protección y embellecimiento de la fachada, que facilita el posterior escurrimiento del agua. Sin embargo, se debe poner atención porque hay productos que dejan un film (o, tipo cera) y eso podría crear un problema para la adhesión de un sellador.

En todos los casos, se recomienda seguir las instrucciones contenidas en la ficha técnica del fabricante, y realizar muestras en una zona pequeña, antes de aplicar el tratamiento a toda la fachada.

Respecto de las soluciones de limpieza se recomienda:

Para contaminación diaria usar productos y marcas de detergentes suaves reconocidos en Chile,

Se recomienda no usar espátulas gastadas u otro elemento que pueda rayar los cristales.

14.2.2. Procedimiento de limpieza de cristales

La limpieza debe realizarse de la siguiente forma:

■ **Medidas de seguridad**

Se recomienda que la limpieza sea efectuada por una em-

muro cortina cap 6 en adelante.indd 167 4/1/14 9:44 AM

presa especializada que cumpla con todas las medidas de prevención de riesgo relacionadas a la faena.

En este sentido, se debe considerar tanto a los trabajadores como a peatones.

■ **Procedimiento de limpieza**

Lavar la superficie completa con una solución de detergente suave para remover cualquier suciedad o residuo que podría rayar la superficie. Posteriormente se procede a enjuagar y luego se debe limpiar el cristal con la solución de óxido de cerio.

Para lavar se recomienda utilizar un cuero suave empapado en la solución y ejercer una presión suave. Si se aplica una presión fuerte se podría dañar el cristal, ya que el óxido de cerio podría actuar como abrasivo. Luego se debe enjuagar nuevamente y secar.

Si el ambiente en que se ubica el edificio es un área de alta contaminación se debe realizar la operación descrita anteriormente por lo menos una vez al año.

Con respecto a los productos de limpieza no se deben utilizar soluciones ácidas, particularmente aquellas que contengan cloro, flúor u otros, ni soluciones alcalinas. Tales soluciones pueden dañar la superficie del cristal, y también a los materiales acristalados como sellos de DVH, el film de los cristales laminados, estructuras y fachadas.

Existen sub-contratistas especializados en la limpieza de fachadas, que disponen de los insumos y equipos necesarios para realizar una mantención apropiada, como ser: plataformas colgantes, sillines, elementos telescópicos, etc.

14.3. MANTENCIÓN DE LOS PERFILES DE ALUMINIO

El aluminio es un metal muy sensible a la acción de sustancias acidas (ácido muriático, nítrico y sulfúrico) y sustancias alcalinas (cal, yeso y cemento). La acumulación de suciedad puede producir circunstancias favorables a la corrosión.

Para proteger al aluminio durante las faenas de instalación y terminaciones en obra y evitar los problemas de suciedad, las manchas de corrosión, lo más aconsejable es frotar cera sobre las superficies o aplicar una delgada capa de laca del tipo metacrilato, que facilita las faenas de la próxima limpieza. Algunos instaladores utilizan vaselina, que protege bien contra la corrosión, pero la limpieza posterior complica su uso.

Cuando el material está ligeramente sucio, bastará frotarlo con una tela húmeda y si se desea darle brillo puede ser frotado con cera líquida que además evitará que se acumule polvo tan fácilmente.

Cuando la suciedad es más pesada puede aplicarse jabón neutro o detergente de las mismas características frotando la superficie con un cepillo duro o estopa de acero. Si ninguno de estos métodos es suficiente, será necesario usar un abrasivo tipo óxido de aluminio grano N° 200 a 400. Este abrasivo se mezcla con aceite emulsionado con agua y se aplica con estopa de acero fina, frotando ligeramente. Después se lava la superficie para eliminar todo residuo que haya quedado sobre la superficie. Es muy importante que los residuos metálicos sean completamente eliminados de la superficie del aluminio para que con la humedad no formen pares galvánicos que son el origen de todo fenómeno de corrosión.

Si el aluminio es natural (sin recubrimiento), es necesario aplicar trementina para eliminar los depósitos negros.

Finalmente, puede aplicarse una capa de laca metacrílica para facilitar la limpieza siguiente.

La limpieza se requiere sólo cuando es esencial mantener el aspecto nítido y atractivo del aluminio original o cuando es importante eliminar las acumulaciones de depósitos de suciedad que promueven algún tipo de corrosión.

La frecuencia con que debe limpiarse el aluminio en servicio está dada por la calidad del medio ambiente en el que se encuentre instalado. En ambientes marino o industrial agresivo, se sugiere una vez cada tres meses, pero si la acción del medio se acompaña con abrasión de brisa salina con arenisca, entonces la frecuencia debe ser una por mes o más aún. En ambientes de ciudad sin contaminación o rurales la limpieza puede ser tan lejana como se desee. Sin embargo, cuando la limpieza no sea con fines estéticos, puede limitarse a un mínimo o eliminarse por completo sin peligro que el metal sufra daños.

La remoción de polvo superficial puede ser realizada de diferentes maneras. El procedimiento más simple consiste en aplicar agua con una presión moderada, para soltar la suciedad. Si esto no remueve la suciedad, entonces debe probarse con chorro de agua con escobillas o esponjas. Si la suciedad aún está adherida después del secado, será necesario un detergente suave. El lavado debe ser hecho con presión uniforme, primero con movimientos horizontales y después con movimientos verticales.

Posterior a la aplicación de detergentes, la superficie debe ser enjaguada cuidadosamente con agua limpia. Puede ser necesario limpiar con esponjas mientras se enjuaga, particularmente si se dejó secar el limpiador sobre la superficie.

La superficie enjaguada se puede dejar secar con el aire o acelerar el secado con una gamuza, rodillo de goma o paño sin pelusas.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 168 4/1/14 9:44 AM

14.4. RECOMENDACIONES DE INSPECCIÓN PERIÓDICA DEL MURO CORTINA

Los sistemas de muros cortinas, como cualquiera instalación de cristal, debiera inspeccionarse regularmente para asegurar que no existe ninguna pérdida de adhesión o falta cohesiva del sellador del vidriado estructural / que todo el cristal, espaciadores y componentes del sistema han sido correctamente instalados, comprobando que no han ocurrido daños que afecten su integridad estructural.

Se sugieren los procedimientos de inspección establecidos en la norma ASTM C24.

Un calendario de inspección apropiado es:

- Primer año - inspección cada seis meses.
- Todos los años siguientes - inspección cada doce meses.

Principalmente la inspección debe incluir, al menos, la comprobación de adhesión del sello estructural y otros selladores climáticos, verificando que los agujeros de drenaje son funcionales, revisión de los paneles, condición de los revestimientos orgánicos en las superficies de metal, verificar que las uniones con sellador sean funcionales, revisión de los anclajes y el control de otros artículos específicos al sistema particular.

Cualquiera humedad encontrada en el sistema SSG debiera investigarse desde la fuente, entre otros, por fallas del sellador, o condensación. Estos, entre otros aspectos, debieran inspeccionarse periódicamente para identificar áreas problemáticas. La evaluación general de la instalación debiera ejecutarse como mínimo cada dos años.

También es recomendable inspeccionar a cualquier otro tiempo cuando, a juicio razonable, sea apropiado debido a hechos eventuales como asaltos, desórdenes civiles, vandalismo u otras ocurrencias naturales como terremotos y condiciones climáticas muy severas como fuertes vientos, altas precipitaciones, etc.

Esta inspección puede ser ejecutada por cualquier agencia confiable que está familiarizado con muros cortinas, además un arquitecto o ingeniero debe ser responsable de los reportes de dicha inspección y rectificar los problemas encontrados.

Después de la construcción y terminación del muro cortina debe elaborarse un programa de control escrito para los sistemas vidriados y para la silicona estructural.

El programa puede identificar áreas para inspeccionarse a cada intervalo de inspección y el grado de inspección a esas áreas.

14.5. PROCEDIMIENTOS ANTE EVENTOS ESPECÍFICOS

A pesar de que el sistema puede haber sido realizado desde el punto de vista de la aplicación y la ejecución como un producto de "defecto cero", puede existir después de un tiempo la necesidad de reemplazar algunos elementos del sistema debido a fallas propias el sistema o a causas externas.

Las razones típicas de reemplazo de elementos se deben a:

- Fractura de cristal.
- Falta de sellador en cristales, sea estructural o climático.
- Falta de adhesión de sellador alrededor del cristal o panel.
- Envejecimiento natural, puede existir una reducción en la fortaleza del sellador estructural o hay materiales que han alcanzado su expectativa de vida.
- Características de deformación en elementos.

Los procedimientos de reemplazo de partes del muro cortina deben ser considerados durante el diseño inicial del sistema vidriado, como considerar los accesos disponibles adecuados para el equipo de instalación, particularmente si las uniones con sellador estructural tienen que ser reemplazadas.

Para facilitar el reemplazo, muchos dueños de edificios almacenan grandes cantidades de material extra o "existencias" en el edificio. Típicamente, cuando el sistema se está diseñando, las cantidades de material extra son establecidas, así pueden ser suministrados con la orden de cristal original. Esto es importante ya que no es poco común que, después de algún tiempo, ciertos tipos de cristal puedan agotarse en el mercado, y que los reemplazos disponibles puedan resultar con una característica o color distintos.

14.5.1. REEMPLAZO DE VIDRIADO DEBIDO A ROTURA

El procedimiento que se describe a continuación supone que originalmente se utilizó un adhesivo estructural certificado en el proyecto, y que las recomendaciones originales se encuentran disponibles para el contratista que realiza las reparaciones. Si esta información no estuviera disponible, contacte al fabricante del sello utilizado, quien quizás necesite determinar qué productos fueron utilizados inicialmente.

Las reposiciones en obra son una operación delicada, dado que se realiza en un ambiente poco adecuado para un trabajo prolijo y limpio. Por este motivo, se deberán extremar los cuidados para realizar el trabajo de reposición en obra. Se recomienda disponer de un Procedimiento Escrito con

muro cortina cap 6 en adelante.indd 169 4/1/14 9:44 AM

Registros de Control. El personal que intervenga en la reposición deberá previamente ser entrenado.

En caso de rotura del cristal exterior de un DVH, se debe reemplazar todo el elemento y no sólo el cristal exterior. Ello para mantener las características térmicas del elemento.

Realizar una prueba de adherencia de campo para confirmar la adhesión de la silicona existente a las superficies. Si no se observa una excelente adherencia, contacte inmediatamente al fabricante de silicona.

Desmontar el cristal del área. Dependiendo del diseño de las juntas, esto podría requerir herramientas especialmente diseñadas o cuerdas de piano para cortar el cordón de silicona.

Cortar y retirar la silicona, dejando una película fina (0,02 - 0,04" / 0,51 mm de espesor) de adhesivo sobre el marco. No dañar el acabado superficial del substrato. En el caso de remover completamente el sellador, tenga cuidado de no dañar el acabado de la superficie.

Limpiar el sellador residual con solvente. Si se va a aplicar sellador nuevo inmediatamente después de cortar el sellador curado, entonces la limpieza del sellador curado residual podría no ser necesaria.

El sellador nuevo se adherirá al sellador curado sin necesidad de imprimador. Si se ha quitado completamente el sellador podría ser necesaria la imprimación.

La silicona podría absorber algo de solvente. Permitir que se evapore este solvente de manera que el sellador curado existente esté completamente seco antes de aplicar sellador adicional.

Limpiar el cristal o el panel nuevo y colocarlo en su lugar. Instalar los retenedores temporales. Luego se debe enmascarar la junta.

Llenar la junta con un cordón de sellador estructural, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Después de que el sellador se haya curado completamente, verificar que se haya logrado la adhesión total y luego remover los retenedores temporales.

En algunas ocasiones no se puede acceder a la junta estructural una vez que se ha colocado el cristal. En dichos casos excepcionales, aplicar el sellador directamente en el marco, posicionando al cristal en su lugar, comprimiendo el sellador dentro de la junta. La junta se debe llenar en exceso con sellador y el cristal debe montarse dentro de los 10 minutos o antes de que el sellador forme piel. Las juntas estructurales llenadas deficientemente constituyen problemas de mano de obra. Quien aplica el sellador es responsable de asegurar el llenado adecuado de la junta.

El proveedor de sellos y siliconas estructurales debe revisar y realizar comentarios acerca de los procedimientos de re-envidriado, antes de proceder a la reposición de vidrios en obra.

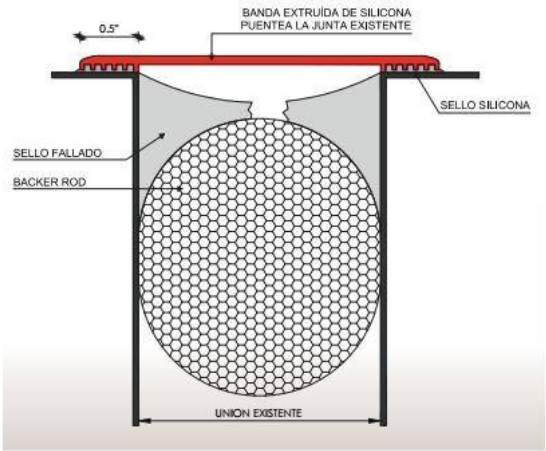


Figura 14.5. banda de silicona para reparar junta dañada.

14.5.2. REEMPLAZO DE VIDRIOS DEBIDO A FALLAS EN EL SISTEMA

Si la reposición involucra una gran operación de reparación, consulte al fabricante de siliconas durante el proceso de planificación. Típicamente, el vidriado de reparación que utiliza adhesivos de silicona se da cuando un edificio que ha sido vidriado convencionalmente experimenta problemas de filtraciones y se renueva la fachada completa del muro cortina. En cualquier situación de una gran reparación es muy importante evaluar el problema con el sistema y registrar cuidadosamente las fechas y la ubicación de las fallas específicas.

Es común que las necesidades de reparación de un muro cortina se presentan en forma urgente (porque se verifican en invierno, durante el período de lluvias). Entonces normalmente no se dispone de mucho tiempo para hacer un diagnóstico completo, y muchas veces, tampoco se cuenta con el tiempo requerido para hacer una reposición de los elementos que estén infiltrando.

En estas condiciones, aparecen otras técnicas de reparación de juntas falladas en una fachada, como ser el uso de "bandas de silicona" (ver figura 14.5) que permiten "puentear" por el exterior la junta (sin tocar el sellador y el cordón de respaldo), con lo cual el proceso de reparación es muy rápido.

Las bandas de silicona son especificadas en el ancho y color requerido para cada proyecto, y luego se adhieren a la fachada usando un sellador de silicona neutra, que sea compatible con la banda de silicona.

Esta técnica se ha usado extensamente en todo tipo de edificaciones: comerciales, corporativos, residenciales; y en todo tipo de detalle, como: lucarnas, coronación, remate, perímetros, etc.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 170 4/1/14 9:44 AM

15. Glosario Técnico

En este capítulo se definen los términos técnicos más utilizados en relación al tema de los muros cortinas y de revestimiento de fachadas.

Acrílicos: Grupo de resinas termoplásticas formadas por polimerización de esteres de ácido acrílico. Se caracterizan por tener baja capacidad de movimiento ty por sufrir amarillamiento cuando se exponen a la radiación UV.

Activador: Un material que cuando es agregado a la base de un compuesto o agente de curado, como en el caso de sistema de selladores de dos partes, acelera o inicia el mecanismo de curado. También conocido como Catalizador.

Adhesión: Propiedad de un material o sellante para unirse o pegarse a las superficies donde es aplicado. Es muy importante conseguir una adhesión de largo plazo.

Adhesión, Ensayo de Pelado (o, de Peel Off): Permite medir la fuerza de unión, cuando el sellante, una vez fraguado, es tirado, en un ángulo de 90º o 180º con el plano en el cual está adherido. Los valores generalmente están expresados en libras por pulgadas, PSI, y permite ver si la falla es por adhesión o cohesión.

Adhesión, falla de: Falla de un compuesto adhesivo por separación de la superficie con la cual está en contacto (substrato).

Agente de curado: Generalmente una parte de un sistema de sellador de dos componentes, el cual cuando es agregado al material base, cura por una reacción química.

Ancho del canal de los perfiles: La medida entre topes de acristalamiento (junquillos removibles o fijos) en un perfil U preformado.

Anclaje: Pieza metálica fabricada para asegurar la conexión mecánica entre la fachada y la estructura.

Antepecho: Parte de una pared exterior situada entre dos elementos horizontales, normalmente bajo 80 cm medidos desde el nivel de piso terminado.

Asentamiento de junquillo o tope: Aplicación de compuesto en la base del canal de acristalamiento, justo antes de colocar el junquillo, o bien pre colocado en la cara interior de este.

Asiento, o cama, (Bed): Cordón de compuesto aplicado entre un cristal y la parte fija de la hoja o marco. Generalmente es el primer cordón aplicado.

Autonivelante, sellante: Una formulación de sellante, que tiene la viscosidad tal, que permitirá que se coloque a nivel cuando sea aplicado en una junta horizontal.

Backer rod (o, cordón de respaldo): Cordón de respaldo para sello de juntas de muro cortina, entre cristales, paneles y juntas de perímetro, permite una adecuada dimensión y espatulado de sellos.

Baja Emisividad, Cristal: Cristal con revestimiento transparente metálico o no metálico en el interior o sobre la superficie, la cual refleja la energía infrarroja de longitud de onda larga y por lo tanto mejora el valor "U"

Barrera de vapor: Material o película suficientemente resistente a la transmisión de vapor para retrasar el paso de vapor de agua entre las zonas con alta humedad relativa y las zonas con débil humedad relativa.

Base asfáltica: Descripción de un compuesto cuyo contenido liquido está compuesto de materiales Asfálticos, resultantes de la destilación del petróleo.

Bitumen: Una mezcla de hidrocarburos ocurrida en estado natural o bien como destilación del petróleo. Usado en revestimientos, adhesivos, pinturas, y sellantes y techos.

Burbujeo (Bubbling): Protuberancias abiertas o cerradas en el sellador climático causadas por la liberación, o producción o de gases.

Burlete (Gasket): Extrusiones preformadas, de caucho o composición similar a la silicona, EPDM. El PVC y los termoplásticos deben demostrar una adecuada recuperación elástica.

Burlete base: Extrusiones preformadas, de caucho o composición similar a la silicona, EPDM, PVC, termoplásticos. Que se instala en el perimetro de los cristales o paneles, generalmente de una dureza de 55 a 65 shores a, debe quedar comprimido un 20% en su posición de trabajo

Burlete cuña: Extrusiones preformadas, de caucho o composición similar a la silicona, EPDM, PVC, termoplásticos. Que cierra en el perímetro de los cristales o paneles, generalmente de una dureza de 65 a75 shores a, este burlete debe comprimir el burlete base.

Burlete de contacto: Extrusiones preformadas, de caucho o composición similar a la silicona, EPDM, PVC, termoplásticos. Que cierra una apertura perimetral.

Butilo: Caucho sintético, formado por la polimerización de isobutileno con isopreno. Sello utilizado como barrera de vapor en la fabricación de DVH o como sellante especifico.

Buttering: Aplicación de un compuesto o sellante en la superficie de un miembro antes de ser colocado en su posición

Caja de sombra: Caja o espacio generado entre el cristal, ubicado frente a una losa o área de antepecho con una placa de fondo, de forma de generar profundidad estética.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 171 4/1/14 9:44 AM

Calzo: Pieza de un material compatible con los selladores, empleado alrededor de la perfilería del acristalamiento o de cualquier otro relleno para asegurarlo en su marco.

Calzo, bloque de apoyo (setting block): O calzos de apoyo, Pequeños elementos o bloques de caucho EPDM, PVC, etc., y compatibles con los selladores. Ubicados bajo el canto inferior de un panel o cristal para recibir el peso del cristal son dos, ubicados según indicación de Shop Drawings y memoria de cálculo.

Cama: Una cantidad de compuesto en la base de un canal

Cámara de ensayos: Construcción estanca abierta por un lado donde se colocaran las muestras a ensayar, de acuerdo a una norma técnica homologada.

O bien, la Cámara de Ensayos podrá reproducir las condiciones de diseño correspondientes a los distintos agentes climáticos, previstos en el diseño del edificio, tales como, variaciones de temperatura, lluvia y presión del viento permitiendo evaluar el comportamiento de la fachada frente a estos agentes.

Canal: De tres caras, Perfil "U" abierto colocado de manera de recibir el panel o vidrio, con o sin junquillos o topes removibles.

Canal de acristalamiento: El sellado de las juntas alrededor de un panel o cristal colocados en una canal en forma de "U", empleando junquillos o topes removibles.

Canal, profundidad de: La dimensión desde la base de una canal a la parte superior del junquillo o tope, o medida desde la línea visible a la base de la canal de acristalamiento.

Cantería abierta: Junta entre cristales o paneles sin sello de silicona, generalmente utilizada en sistemas de pantalla de lluvia y ecualizados de presiones.

Cantería sellada: Junta entre cristales o paneles con sello de silicona, lo cual actúa como barrera climática, y atenúa el mancamiento y chorreo de la fachada.

Cinta resiliente: Cinta preformada, de material elástico sellante conformado en variados espesores y anchos, en forma de rollos. Puede ser plano o reforzado con malla, fibras, caucho u otro material

Cinta ventana: Cinta ventana, son cerramientos de cristal que reciben las mismas solicitaciones de un muro cortina a excepción de las exigencias de un cortafuego ya que en este caso las losas o vigas van interrumpiendo el revestimiento de fachadas.

Coeficiente de expansión: Valor adimensional, que define la proporción a la cual un material se expande con el incremento de la temperatura.

Coeficiente de sombra (CS): Índice que mide la capacidad del cristal de filtrar el calor producido por los rayos directos del sol (radiación solar de onda corta). Mientras menor sea este número, mejor performance tiene el cristal. El coeficiente de sombra se calcula dividiendo el factor solar por 0,87, que corresponde a un cristal incoloro de 3 mm. El coeficiente de sombra de un cristal incoloro de 3 mm de espesor es 1.

Coeficiente ganancia térmica: Es el calor total absorbido a través del acristalamiento bajo un conjunto de condiciones específicas.

Coeficiente de transmitancia térmica U: Coeficiente de transmisión térmica global entre uno o varios elementos de pared, debido a una diferencia de temperatura entre interior y exterior.

Cohesión, Falla: Desgarramiento de la masa de un sellador o compuesto como resultado de una prueba de elongación hasta el punto de rotura.

Columna de agua: Unidad de medida de la presión que representa el peso de una columna de agua pura (densidad 1000 kg/m³). El múltiplo más utilizado es el metro de columna de agua (mca), que será la presión en el fondo de una piscina de un metro de profundidad.

Compatibilidad: Capacidad de dos o más materiales de permanecer en asociación cercana, por un periodo indefinido sin generar una incompatibilidad química.

Contratapa o presor: Pieza metálica, por lo general de aluminio extruído, colocada en la perfilería (acristalamientos o elementos de relleno) que permite la transmisión de esfuerzos por medio de los burletes de estanqueidad.

Cordón, (Bead): 1. Cordón, de sellante o compuesto después de su aplicación en una junta, independiente a su forma de aplicación, tal como cordón de calafateo, cordón de acristalamiento. **2.** Extrusión de sellante sobre una junta o superficie.

Corte, (Bite): 1. Cantidad de traslapo entre la parte superior del junquillo y el canto del panel o cristal. **2.** Profundidad de traslapo de vidrio dentro del canal de acristalamiento. **3.** Es la dimensión del contacto estructural efectivo de un sellante estructural (o, contact width)

Curado químico: Cambio en las propiedades de un material debido a la polimerización o vulcanización, la cual puede ser resultado del calor, catálisis, exposición a la atmosfera o combinación de estas.

Escurrimiento (o, sagging): Causada por un compuesto no capaz de soportar su propio peso en una junta, o por la aplicación en juntas más grandes para el diseño del compuesto, o por aplicación inapropiada.

Drenaje: Apertura al exterior que permite la salida se agua de infiltración en un muro cortina o ventana.

Durómetro: Instrumento usado para medir la dureza de un material. Se usan diferentes escalas de medición: Shores A, Brinell, Vickers, Rockwell.

DVH (o, Termopanel): Unidad de doble vidrio hermético.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 172 4/1/14 9:44 AM

Elementos de estanqueidad: Tapones de estanqueidad (al agua, o al aire) dispuestos en las uniones.

Emulsión: Suspensión de partículas microscópicas en agua, en contraste de las soluciones químicas

EPDM: Compuesto de caucho, (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM) es un termopolímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste. La composición de este material contiene entre un 45% y un 75% de etileno, siendo en general más resistente cuanto mayor sea este porcentaje. Utilizado en la fabricación de burletes , calzos de apoyo de cristales

Epóxico: Resina utilizada en los anclajes químicos en hormigón o piedra. Requiere un agente de curado para regular la temperatura o elevarla fuertemente.

Ecualización de presión: Principio de puesta en comunicación con el exterior de cámaras formadas en la fachada ligera.

Los burletes de estanqueidad interior aseguran la estanqueidad al aire, y los exteriores funcionan como paraguas. Un conjunto de orificios de ventilación y salidas en zig-zag aseguran un equilibrado de presión minimizando los efectos del viento sobre el burlete exterior.

Espesor de sello: En acristalamiento estructural, la dimensión mínima de sellante estructural entre los sustratos adheridos.

Extendedor (o, carga): Un material relativamente económico, agregado a un compuesto con el propósito de reducir el costo y/o con el propósito de incrementar ciertas características deseables

Fachada ventilada: Solución constructiva que permite revestir el exterior de una fachada con algún material (ejemplo piezas de cerámica), siendo su función principal, la separación física del ambiente interior y exterior del edificio. La principal característica de las fachadas ventiladas es que en ellas se crea una "cámara de aire en movimiento" o efecto chimenea que crea un colchón térmico entre la pared revestida y el parámetro exterior de revestimiento.

Factor solar (FS): Es la relación ente la energía total solar que pasa a través del cristal y la energía solar incidente. Incluye la energía solar transmitida directamente a través del cristal más la energía solar absorbida y subsecuentemente irradiada por convección hacia el interior.

Fenólico: Termino referido a resinas sintéticas formadas por la condensación de fenol y formaldehido

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

Impaling clip: Fijación de acero galvanizado que mantiene el material de cortafuego que rellena el espacio entre el MC y la estructura, su espaciamiento no debería superar los 400 mm.

Impaling pin: Fijación de acero galvanizado que mantiene el material de aislación del revestimiento, su espaciamiento no debería superar los 400 mm.

Imprimante (o, Primer): Producto especialmente diseñado para mejorar la adhesión de un sistema sellante a ciertas superficies. También puede permitir un desarrollo de adhesión más rápido, o bien una adhesión de más largo plazo.

Inmanchable (Non staining): Sellador que impide o evita manchas en su superficie, debido a la reducción (o, eliminación) de la plastificación externa.

Inserto, anclaje: Elemento metálico, que quedara embebido en hormigón, con anclajes y que servirá de apoyo al anclaje del sistema Muro Cortina.

Junta de dilatación: En edificación, junta formada o ensamblada en una ubicación predeterminada, la cual previene la transferencia de fuerzas a través de la junta como resultado de los movimientos o cambios dimensionales de diferentes elementos de una estructura o edificación.

Junta perimetral: Burlete de estanqueidad, o elemento sellador, aplicado entre el borde de la fachada y la estructura del edificio.

Banda de silicona: Cinta preformada de silicona, que sirve de sello entre juntas de dilatación de elementos del Muro cortina. También se usa para la reparación de juntas falladas.

Migración (o, bleeding): Propagación o desplazamiento de un constituyente de un compuesto, o sellador, hasta las superficies adyacentes. Provocando problemas estéticos o estructurales no deseados.

Módulo elástico: En selladores es la relación entre la tensión (fuerza/unidad de área) y su correspondiente deformación expresada como un porcentaje de su dimensión original.

Montante: Elemento vertical del armazón secundario que separa y por lo general soporta ventanas, acristalamientos, rellenos y puertas adyacentes.

Montante lateral: Elemento vertical del armazón secundario colocado en el lateral de la fachada ligera, adyacente a una trama en esquina que puede estar formada de acristalamientos, ventanas, rellenos o puertas.

Mullion: Miembro vertical a la vista u oculto, que soporta y mantiene tanto las unidades como: los paneles, cristales, hojas de ventanas o secciones del muro cortina.

Neopreno: Caucho sintético

Orgánico: Compuesto que contiene carbón y generalmente hidrogeno, con un restringido número de otros elementos, tales como oxígeno, nitrógeno, sulfuros, fósforos, cloro, etc.

Panel de aluminio compuesto (o, ACM panel): Material constituido de dos láminas delgadas de aluminio, separadas por un material de polietileno. Las láminas de aluminio pueden ser revestidas con PVDF o pintura poliéster.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 173 4/1/14 9:44 AM

Panel "honeycomb" de aluminio: Material constituido de dos laminas delgadas de aluminio separadas por una estructura tipo panal de abeja. Las láminas de aluminio pueden ser revestidas con PVDF o pintura poliéster.

Pantalla de agua: Elemento de diseño de una junta que permite eliminar las infiltraciones de agua por dispositivos de equilibrado de presión de una y otra parte de la piel exterior. Este elemento de pantalla de agua funciona por la utilización de burletes de estanqueidad, de salidas en zig-zag, de gotas de agua y de drenaje.

Plastisol: Una mezcla de resinas (usualmente vinilo) plastificadores compatibles, estabilizadores y pigmentos. Mezclas requieren fusión y elevadas temperaturas en orden a convertir el Plastisol en un material plástico homogéneo.

Poli buteno (o, poli-isobutileno): Es un hidrocarburo alifático de cadenas lineales. No seco y ampliamente usado como componente principal en selladores. Siendo esencialmente no reactivo e inerte.

Poli sulfuro: Los polímeros poli sulfuros líquidos (Thiokol) son Mercaptan terminados en largas cadenas de polímeros alifáticos conteniendo vínculos de di-sulfuros. Ellos pueden convertirse en caucho a temperatura ambiente sin contracción, una vez añadido el agente de curado. No son aplicables a muros cortina de tipo adhesión estructural de dos o cuatro lados.

Polietileno: Plástico de Polímero de etileno de cadenas lineales

Polímeros con cadenas lineales: Polímeros compuesto de grupos de moléculas unidas una a otra en una línea recta

Puente térmico: Material, o elemento, de baja conductividad térmica instalado en un ensamblaje para reducir los flujos térmicos entre dos materiales que tienen una alta conductividad térmica.

Reflexión: Porcentaje de luz visible o energía solar que, incidiendo en forma normal, es reflejada al exterior. aplicable a cristales o revestimientos.

Respaldo de sello (Backer rod): Material compresible colocado en una junta antes de aplicar un sellante, para limitar la profundidad del sello y permitir una apropiada configuración del sellante. Este material puede también actuar como Bond breaker.

Ruptor de adhesión (o, Bond breaker): Tipo de material (tal como film de polietileno con pegamento en un lado) usado para prevenir la adhesión del sellantes en la parte trasera del material o atrás de la junta, evitando fallas por adhesión en tres lados.

Sellador o Producto de dos componentes: Producto compuesto de una base y un agente de curado o acelerador. Los dos componentes son uniformemente mezclados justo antes de su uso. Cuando son mezclados , el tiempo de cura es corto.

Sellante: Material elastomerico con cualidades adhesivas que une componentes de similar o distinta naturaleza a fin de proporcionar una barrera efectiva contra el paso de los elementos.

Sellante de Curado químico: Sellante que cura primeramente a través de una reacción química.

Sellante de silicona: Sellante que tiene como composición química, una estructura consistente en átomos alternados de sílice y oxigeno.

Sellante estructural: En edificación, un sellante capaz de transferir cargas dinámicas o estáticas (vivas, muertas o ambas) a través de los componentes de la junta expuestos a las condiciones típicas de servicio de la estructura incluida. Según la normas norteamericanas, las siliconas estructurales deben cumplir con la norma ASTM C1184.

Separador, laina (Shim): Pequeños bloque de Neopreno, PVC, etc., colocados en cada cara de un panel o cristal, o al centro de ellos para mantener un ancho uniforme del sellante.

Shore "A", dureza: Medida de la dureza de un compuesto según el calibre de dureza del Durómetro.

Sleeve: Conector metálico que permite dar continuidad y alineación a un, componente secundario de un muro cortina.

Spandrel area: Área opaca de un fachada generalmente usada para cubrir antepechos, cabezas de losas u otros elementos del edificio como pilares, etc.

Splice: Conector metálico que permite dar continuidad y alineación a un elemento mullion, componente estructural de un muro cortina.

Tamaño del cordón: Normalmente se refiere al ancho del cordón de sellante, pero hay muchas situaciones en la cuales tanto el ancho como la profundidad debieran ser tomados en cuenta en el diseño, especificación y aplicación.

Teñido, manchado: Cambio en el color o apariencia de la planchas de piedra natural, adyacentes al sellante.

Tixotropía: Capacidad de un compuesto para mantenerse en forma gelatinosa cuando está en reposo y fluye libremente cuando se le aplica alguna fuerza.

Transmisión de calor solar: Se refiere a la cantidad de energía solar radiante admitida a través del cristal. Se mide a través del coeficiente de sombra.

Transmisión lumínica: Porcentaje de luz visible o energía solar que, incidiendo en forma normal, pasa directamente a través del cristal.

Transmisión rayos UV: Fracción de la radiación ultravioleta transmitida a traves de un cristal.

Transmisión Térmica: Se refiere al paso del calor que, por conducción y convección superficial, fluye a través de su masa. Se mide a través del valor K o valor U.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 174 4/1/14 9:44 AM

Travesaño: Elemento horizontal del armazón secundario que separa y por lo general soporta ventanas, acristalamientos, rellenos o puertas adyacentes.

Ultravioleta: Rayos que están fuera del espectro visible donde el violeta termina.

Valor U: Coeficiente de transmitancia térmica. Es el calor total, expresado en vatios, transmitido a través de un acristalamiento de 1 m^2 en una hora, por cada grado Celsius de diferencia entre el interior y el exterior. Se expresa en la unidad $W/m^2{}^oK$.

Mientras menor sea el valor K, menor es el calor transmitido a través del acristalamiento. El valor K de un cristal de 3 mm de espesor, incoloro, es 5,8.

Tiempo de trabajo (o, tiempo de espatulado): Periodo de tiempo siguiente a la aplicación de un acelerador, antes que el curado químico de un material llegue a ser demasiado viscoso para aplicarlo satisfactoriamente.

Viscosidad: Resistencia interna al flujo exhibida por un líquido. La viscosidad de un sellador se puede medir en centipoise (cps).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 175 4/1/14 9:44 AM

16. Referencias Bibliográficas

Capítulo 1. Consideraciones Generales

- Manual de "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortina". Editado por la CDT año 2006.
- Manual de Producto – "Fachadas Ligeras", de ASEFAVE (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas). Editado por AENOR Ediciones año 2006.
- "Comentarios al capítulo 1", aportes realizados por el Arquitecto Luis Corvalán, año 2012.
- D.S. N°47 Ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC)
- Actas del Seminario "Ley de la Calidad y sus implicancias" (Ley N° 20.016), organizado por el Colegio de Arquitectos de Chile A.G., año 2006

Capítulo 2. Consideraciones de Diseño del Muro Cortina

- "Facade Construction Manual". Thomas Herzog, Roland Krippner, Werner Lang. Producido por el Institut für Internationale Achitektur and Building Technology, Munich, Alemania. Editado por Birkhaüser Edition Retail, año 2004.
- "Glass Construction Manual", 2nd revised and expanded Edition. Christian Schittich, Gerald Staib, Dieter Balkow, Mattias Schuler, Werner Sobek. Publicado por Institut für Internationale Achitektur – Dokumentation GmbH & Co. KG, Munich. Editado por Birkhaüser Verlag AG, año 2007.
- "Principles of Curtain Walling", Kawneer, documento de Alcoa Company, año 1999.
- "The Rain Screen Principle and Pressure Equalized Wall Design", AAMA, 1996.
- "Curtain Wall Design Guide Manual", AAMA, 1996.

Capítulo 3. Consideraciones de Diseño Estructural

- G. Rodolfo Saragoni, Marshall Lew, Farzad Naeim, Lauren D. Carpenter, Nabih F. Youssef, Fabian Rojas and Macarena Schachter Adaros, "Accelerographic Measurements of the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Struc. Design Tall Spec. Build. 19, 866-875 (2010).
- "Perfil Bio-Sísmico de Edificios", Tomás Guendelman, Mario Guendelman y Jorge Lindenberg, I.E.C. Ingeniería S.A., Santiago, Chile. Año 1997.
- "Valores de medición sísmica durante el terremoto del 27 Febrero, del edificio de la Cámara Chilena de la Construcción". Informe disponible en sitio Internet de la Universidad de Chile: http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/camara.html. Año 2012.
- Tabla de valores de aceleración, velocidad e intensidad de sismos. Elaborado por USGS, United States Geological Survey, año 1995.
- "Seismic Performance of Four-Side Structural Silicone Glazing Systems". Ali M. Memari, Paul A. Kremer, Richard A. Behr. Glass Curtain Wall Journal, año 2010.
- "Seismic Performance of Structural Silicone Glazing Systems". Ali M. Memari1, Xuezhen Chen, Paul A. Kremer, and Richard A. Behr. Paper presentado en el symposium ASTM, año 2005.
- Ensayos de corte dinámico con silicona estructural y cinta de "alto pegado", realizado por la University of Dayton Research Institute para la empresa Momentive GE, año 2012.
- "Perfil Bio-Sismico de Rascacielos", Ricardo Henoch, Jorge Lindenberg, Tomás Guendelman y Mario Guendelman. Trabajo presentado en el 10° Congreso Chileno de Sismología e Ingeneria Anti-Sísmica. Año 2010.
- "Development of Failure Prediction Models for Structural Sealant Glazing Systems under Cyclic Racking Displacement Conditions", A. M. Memari, X. Chen, P. A. Kremer, R. A. Behr. Paper presentado en el AEI (Asociación de Ingenieros Estructurales), Usa. Año 2005.
- Errol Bull, Jorge Cholaky, "A Review of the Behavior of Structural Glazing Systems Subjected to a Mega-Earthquake", Journal of ASTM International, 2012. Ver sitio web ASTM: www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/JAI/PAGES/JAI104151.htm

muro cortina cap 6 en adelante.indd 176 4/1/14 9:44 AM

- Errol Bull, Jorge Cholaky, "A Comparative Evaluation of the Behaviour of Structural Silicone vs. Acrylic Tape Subjected to High Strain Rates", Paper in progress for the Symposium on the Durability of Building and Construction Sealants and Adhesives, 2014.
- D.S. N°47 Ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC).

Capítulo 4.
Acondicionamiento Interior: Control Solar y Aislación Térmica

- "Man, Climate and Architecture", Baruch Givoni, editado por Elsevier, 1969.
- "Arquitectura Sustentable, una contribución al desarrollo sustentable", Pierre Lavigne – Editorial Universidad de Talca, año 2003.
- Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos – Editado por la Dirección de Arquitectura, del MOP (Ministerio de Obras Públicas), de Chile. Año 2012.
- "Zonificación térmica de Chile", norma técnica NCh1079. Of2008.
- "Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social", Waldo Bustamante, Facultad Arquitectura UC, editada por el Minvu. Año 2009.
- "Iluminancias Mínimas para locales comerciales", norma chilena NCh Electrica 4-2003, Tabla 11.24.
- "Reglamentación Térmica en Edificaciones Residenciales", Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), artículo 4.1.10.
- "Valores de transmitancia de los perfiles de Ventanas", norma EN ISO 10077-1 (2000).
- "Ensayos de Hermeticidad de Ventanas de Aluminio y Pvc", Banco de Infiltraciones de CITEC UBB en la Universidad del Bío-Bío. Años 2010-2012.
- "Manual de Aislación Exterior"- Editado por la CDT, año 2008.
- "A Thermal Modeling Comparison of Typical Curtainwall Glazing Systems", realizado por Lawrence Carbary, GPD07 - August 2009.
- Tips for daylighting with windows – The integrated approach, Ernest Lawrence Berkeley National Laboratory, año 1997.
- Registro Solarimétrico Nacional. Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Santa María. Disponible en la dirección Internet www.labsolar.utfsm.cl

Capítulo 5.
Consideraciones para el Diseño Acústico del Muro Cortina

- "Mapa de Ruido de Gran Santiago", Sistema de Información Ambiental (SINIA), Ministerio Medio Ambiente, portal web de SINIA (www.sinia.cl).
- "Aislamiento Acústico de Ventanas", Idiem de Universidad de Chile. Publicado en revista BIT, N° 55 de Julio 2007.
- "The Design and Testing of a Highly Insulating Glazing System for use with Conventional Window Systems", de D. Arasteh, S. Selkowitz, J. Wolfe, del Lawrence Berkeley Laboratory, publicado en el ASME, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. III, February 1989.

Capítulo 6.
Consideraciones para la Protección al Fuego

- Ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC), artículo 4.3.1 relativo a: "De las condiciones de seguridad contra incendio".
- AAMA FSCOM-1-09, "Fire safety in high-rise curtain walls".
- ASTM E 119 – 00a, Appendixes (Nonmandatory Information), X1. Standard Time – Temperature Curve for Control of Fire Tests.
- ASTM E2307, Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-Story Test Apparatus.

Capítulo 7.
Reacondicionamiento de Fachadas

- "Sun, Wind & Light – Architectural Design Strategies", de G.Z. Brown and Mark Dekay, second edition, publicada por John Wiley & Sons, Inc. en el año 2000.
- "Encuesta sobre Confort Térmico y Solar", realizado por el portal Internet de la CDT. Año 2012.
- Artículo "Eficiencia energética de Fachadas Vidriadas", Arq. Claudio Vasquez de la Facultad de Arquitectura UC. Artículo publicado por La Tercera. Julio 2012.
- "Etiquetado del desempeño energético de láminas de control solar", National Fenestration Rating Council (NRFC), Usa. Ver portal www.nfrc.org.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 177 4/1/14 9:44 AM

Capítulo 8. Sellos Estructurales y Climáticos

- Manual de "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortina", editado por la CDT, año 2006.
- "Evaluation Assistance Program for Structural Glazing Projects", guía elaborada por GE Silicones. Año 1996.
- GE SSG Technical Information, manual de aplicación de silicona estructural y climática, elaborado por Momentive General Electric, año 2011.
- Guía Técnica: Joint Design and Sealant Selection Design Guide, de General Electric, año 1995.
- Performance of insulating glass units – field correlation study over 25 years, 1980-2005, A. William Lingnell, P. E.1 & James L. Spetz, P. E., Glass Performance Days 2007.
- "Sistemas Sika para fachadas – Pegado y Sellado de fachadas: guía de especificaciones", catálogo técnico editado por Sika, año 2012.
- ASTM C 1401 – 02, Standard Guide for Structural Sealant Glazing.
- ASTM C 1184 Specification for Structural Silicone Sealants.
- ASTM C 1249 – 93 (Reapproved 2000) Standard Guide for Secondary Seal for Sealed Insulating Glass Units for Structural Sealant Glazing Applications.
- ASTM C 1472-00, Standard Guide for Calculating Movement and Other Effects When Establishing Sealant Joint Width".
- ASTM C1193 – Standard Guide for Use of Joint Sealants (see section 12.5).
- ASTM STP1286 – Movement During Cure of High Performance Building Joint Sealants.
- ASTM STP1168 – Deformation of Building Sealants Due to Movement During Cure.
- ASTM C 794 Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants2.
- ASTM C 1087 Test Method for Determining Compatibility of Liquid-Applied Sealants with Accessories Used in Structural Glazing Systems.
- ASTM C 1248 Test Method for Staining of Porous Substrates by Joint Sealants2.
- ASTM C 864-05 – Requirements for Dense Gaskets (Epdm & Neoprene).
- Serramenti & alluminio, a cura di Renata Giusiana y Ennio Braicovich, Edizioni Tecnomedia, año 1990.
- Manual de cintas acrílicas UltraBond, elaborado por Genkem. Año 2012.
- Manual de cintas acrílicas VHB, elaborado por 3M. Año 2009.

Capítulo 9. Materiales y Requisitos & Fachadas Ventiladas

- Aluminum Design Manual 2000, Specifications & Guidelines for Aluminum Structures, de la The Aluminum Association, de USA, año 2000.
- Conoscere i serramenti d'alluminio, Metra - Tekna, año 1990.
- Manual del vidrio plano, Caviplan (Cámara del vidrio plano y sus manufacturas de la República Argentina), año 2005.
- Catálogo de productos Indalum IBS, de empresa Indalum S.A., versión 2006.
- Manual de Instalación de sistemas IBS - versión 2006, de Indalum S.A., año 2006.
- Manual técnico : « Demi – produits en aluminium", empresa Pechiney – Rhenalu, año 1997.
- Manual de producto Ventanas, de Asefave (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas), año 2005.
- Manual de Ventanas de Aluminio, secretario técnico: Jorge Cholaky, editado por Achival A.G., Chile, año 2007.
- Manual de recomendaciones técnicas para uso de selladores, elaborado por Jorge Cholaky, año 2004.
- Manual del Vidrio Plano, colaboradores: Mónica Budge, Hector Calbucura, Maria Opazo, Oscar Zavala, Claudio Poo, editado por Achival A.G., Chile, año 2007.
- Manual del Vidrio Plano, ing. Carlos Pearson, editado por Caviplan, Argentina, año 2005.
- Certification Program for Sealed Insulating Glass, Procedural Guide Document II-10, IGCC (Insulating Glass Certification Council), año 2004.

Capítulo 10. Recomendaciones para la Instalación en Obra

- Norma de hormigón - ACI 317 (American Concrete Institute).
- Documento de trabajo 004 del ICH (Instituto Chileno del Hormigón).
- "Manual de Tolerancias en la Construcción", editado por la CDT", año 2013.
- "Tabla de Identificación de Peligros", basado en clasificación OIT (Organización Internacional del Trabajo.
- Metodología de "Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos" (IPER).

muro cortina cap 6 en adelante.indd 178 4/1/14 9:44 AM

Capítulo 11.
Normas Técnicas y Requisitos de Ensayo

- Manual de producto Ventanas, de Asefave (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas), año 2005.
- Ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC).
- Listado de normas técnicas NCh, ASTM, AAMA, ISO (ver detalle en capítulo).

Capítulo 12.
Presentación de Casos Íconos

- Sin referencia bibliográfica específica.

Capítulo 13.
Recomendaciones de Especificaciones Técnicas del Muro Cortina

- Sin referencia bibliográfica específica.

Capítulo 14.
Uso y Mantención del Muro Cortina

- Manual de "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortina". Editado por la CDT año 2006.
- Brochure "Caring for your windows and doors", de la AAMA (American Architectural Manufacturers Association), de USA, año 2005.

Capítulo 15.
Glosario Técnico

- Manual de "Recomendaciones Técnicas para el Diseño, Fabricación, Instalación y Mantención de Muros Cortina", editado por la CDT, año 2006.
- "Anexo - Terminología de Muros Cortina", documento elaborado por Achival A.G., año 2011.

muro cortina cap 6 en adelante.indd 179 4/1/14 9:44 AM

Recomendaciones Técnicas para Muro Cortina
2014

Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Conectados a Red
2013

Manual de Tolerancias para Edificaciones
2013

Anuario Energético 2013
2013

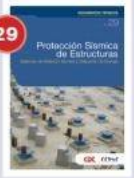
Gestión de la Innovación en la Construcción
2012

Humedad por Condensación en Viviendas
2012

Evaluación de Daños y Soluciones para Construcciones en Tierra Cruda
2012

Cielos Falsos: Rasos y Modulares
2012

Anuario Energético
2012



Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía
2011

Descarga gratuita en **www.cdt.cl**

Recomendaciones Técnicas para la Especificación de Ventanas
2011

Inspección Técnica de Obras: Una Mirada al Futuro de la Calidad
2011

Construyendo Innovación
2010

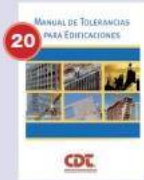
Sistemas Solares Térmicos II
2010

Anuario Solar 2011
2010

Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales
2010

Compendio Técnico para Maquinaria de Movimientos de Tierra
2010

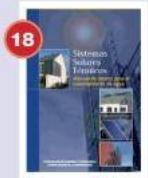
Reacondicionamiento Térmico de Viviendas en Uso
2010



Manual de Tolerancias para Edificaciones
2009

Aislación Térmica Exterior Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones
2008

Descarga gratuita en **www.cdt.cl**



Sistemas Solares Térmicos
2007

Guías para resultados para la optimización de la logística interna en obras de construcción
2007

Diagnóstico de la relación Mandante Contratista
2006

Recomendaciones Técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas
2006

Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en Faenas y Campamentos
2005

Guía de Diseño y Construcción Sustentable
2005

Estructuras de Contención en Gaviones
2004

Recomendaciones Técnicas para Demarcaciones Horizontales
2004

Recomendaciones para proyectar y ejecutar Instalaciones Sanitarias Domiciliarias
2003

Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Suelo Mecánicamente Estabilizado con Armadura Inextensible
2002

Descarga gratuita en **www.cdt.cl**

Industria del Árido en Chile
TOMO II
2001

Industria del Árido en Chile
TOMO I
2001

Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Anclajes Inyectados y Postensados en Suelos y Rocas
2001

Recomendaciones para Pintado Arquitectónico
2000

Recomendaciones para la Selección e Instalación de Ventanas
1999

Efectos del Agua Lluvia en Muros de Albañilería y Problemas de Humedad en Elementos Constructivos
1998

Incentivos en la Construcción
1998

Recomendaciones para el Diseño de Pavimentos en Chile Según AASHTO
1997

Descarga gratuita en **www.cdt.cl**