

# NEC

NORMA ECUATORIANA  
DE LA CONSTRUCCIÓN

# VIDRIO

Ministerio  
de **Desarrollo**  
**Urbano y Vivienda**



CÓDIGO  
NEC - HS - VIDRIO

Econ. Diego Aulestia Valencia  
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

Econ. Luis Felipe Guevara Urquiza  
**Subsecretario de Hábitat y Asentamientos Humanos**

Arq. Rubén Darío Paredes Cortez  
**Subsecretario de Vivienda**

Arq. Jose Antonio Toral Valdivieso  
**Director de Hábitat y Asentamientos Humanos**

Arq. Jose Antonio Martín Erquicia  
**Coordinador de proyecto**

**Textos:**

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)  
Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON)

**Producción Editorial:**

Dirección de Comunicación Social, MIDUVI

Diciembre 2014

ISBN:0000000000

# ■ Prólogo

Al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, ente rector de las políticas de hábitat y vivienda a nivel nacional, le corresponde formular la normativa que propicie el desarrollo ordenado y seguro de los Asentamientos Humanos, la densificación de las ciudades y el acceso a la vivienda digna.



Bajo ese marco, y considerando además que nuestro país está localizado en una zona calificada de alto riesgo sísmico, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda llevó a cabo un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones (Código Ecuatoriano de la Construcción de 2001). Esta labor fue realizada en conjunto con la Cámara de la Industria de la Construcción, entidad que coordinó el desarrollo de varios documentos normativos a través de comités de expertos de entidades públicas, del sector privado y representantes de instituciones académicas. Se realizaron talleres de trabajo con los profesionales del sector y se aplicaron las mejores prácticas internacionales en el ámbito de la edificación.

El objetivo fue determinar nuevas normas de construcción de acuerdo a los avances tecnológicos a fin de mejorar los mecanismos de control en los procesos constructivos, definir principios mínimos de diseño y montaje en obra, velar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad, y fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados en los procesos de edificación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diego Aulestia Valencia'.

Econ. Diego Aulestia Valencia  
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

## ■ TABLA DE DATOS

NOMBRE DEL DOCUMENTO HABILITANTE	FECHA
Actualización mediante Acuerdo Ministerial Nro. 0047	15 de diciembre de 2014
MIDUVI, Registro Oficial, Año II, Nro. 413	10 de enero de 2015

## ■ LISTADO DE PERSONAS Y ENTIDADES PARTICIPANTES

INSTITUCIÓN	NOMBRE
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ing. José Vicente Chiluisa Ochoa
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Francesca Blanc
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ab. Jonathan Santiago Gómez Pumagualle
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Jose David Saura Gonzalez
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Hermel Flores Maldonado
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Ginno Manciatì Jaramillo
Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha	Ing. Carlos Baldeón Valencia
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Sigifredo Décimo Díaz Mendoza
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Patricio Honorato Placencia Andrade
Escuela Politécnica Nacional	Arq. Félix Policarpo Vaca Moncayo
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Hugo Alfonso Yépes Arosteguí
Universidad San Francisco de Quito	Ing. Telmo Andrés Sánchez Graunauer
Universidad San Francisco de Quito	Dr. Fabricio Oswaldo Yépez Moya
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Guillermo Ricardo Realpe Rivadeneira
Universidad Central del Ecuador	Msc. Ing. Hernán Estupiñan Maldonado
American Concrete Institute	Ing. Juan Carlos Garcés P.
FRACTALES Cia. Ltda.	Dr. Vinicio Andrés Suárez Chacón
GEOESTUDIOS S.A.	Dr. Xavier Fernando Vera Graunauer
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. José Andrés Vallejo Bermeo
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Michael Joseph Maks Davis
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Mathieu Lamour
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Miguel Angel Jaimes Téllez
Consultor Particular	Dr. Pedro Pablo Rojas Cruz
Consultor Particular	Ing. Jaime Enrique García Alvear
Consultor Particular	Ing. Fabián Enrique Espinosa Sarzosa
Consultor Particular	Ing. Jorge Luis Palacios Riofrío
Consultor Particular	Ing. Jorge Enrique Orbe Velalcázar
Consultor Particular	Msc. Ing. Alex Francisco Albuja Espinosa

# NEC

NORMA ECUATORIANA  
DE LA CONSTRUCCIÓN

# VIDRIO

Ministerio  
de **Desarrollo**  
**Urbano y Vivienda**



CÓDIGO  
NEC - HS - VIDRIO

# Contenido

Índice de Tablas.....	4
Índice de Figuras .....	5
<b>1. Generalidades.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Definiciones .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Símbolos y unidades.....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Unidades.....	6
1.2.2. Simbología.....	7
<b>1.3. Marco normativo.....</b>	<b>8</b>
1.3.1. Normas ecuatorianas de la construcción .....	8
1.3.2. Normas ecuatorianas para vidrios de seguridad.....	8
1.3.3. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-HS-VIDRIO de las NECs.....	9
<b>2. Alcance del capítulo.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Alcance .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Requisitos .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Clasificación y características de los vidrios.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Estanquidad al agua.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Permeabilidad al aire.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Clasificación del vidrio .....</b>	<b>13</b>
3.3.1. Vidrios básicos .....	13
3.3.2. Clasificación del vidrio por su proceso de fabricación.....	13
3.3.3. Clasificación del vidrio por su visibilidad.....	15
3.3.4. Clasificación del vidrio por su coloración .....	15
<b>3.4. Vidrios procesados .....</b>	<b>15</b>
3.4.1. Vidrio templado (INEN 2067 / ANSI Z-97.1).....	15
3.4.2. Vidrio laminado (INEN 2067 / ASTM C-1172).....	15
<b>3.5. Propiedades acústicas.....</b>	<b>17</b>
<b>3.6. Propiedades térmicas y solares .....</b>	<b>18</b>
3.6.1. Coeficiente de transmisión térmica U.....	18
3.6.2. Propiedades solares .....	19
3.6.3. Propiedades luminosas .....	20
3.6.4. Rendimiento de protección (ASTM F1233) .....	20
<b>4. Diseño y selección de los vidrios.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Conceptos y criterios para seleccionar vidrios y sistemas de aplicación en obras de arquitectura.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Espesores y tolerancias para el vidrio (ASTM C 1036) .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3. Elección del espesor adecuado de un vidrio .....</b>	<b>22</b>
4.3.1. Cálculo de las cargas de diseño por viento.....	22
4.3.2. Conceptos básicos .....	22
4.3.3. Definición del espesor adecuado .....	31
4.3.4. Cálculo de espesor equivalente para vidrio laminado.....	31

<b>4.4.</b>	<b>Elección de vidrios de seguridad en locación de riesgos .....</b>	<b>32</b>
4.4.1.	Área vidriada en riesgo.....	32
4.4.2.	Áreas de riesgo para vidrio vertical .....	32
4.4.3.	Áreas de riesgo para vidrio inclinado .....	34
<b>4.5.</b>	<b>Sistemas de sujeción del vidrio .....</b>	<b>35</b>
4.5.1.	Sistemas de fachada flotante .....	35
4.5.2.	Fachadas flotantes con perfiles de fijación mecánica .....	35
4.5.3.	Fachadas flotantes con aplicación de silicona estructural .....	36
4.5.4.	Cálculo para fachadas flotantes .....	38
4.5.5.	Fachadas con sistemas de cables y arañas de fijación de cristales .....	41
<b>4.6.</b>	<b>Cálculo y verificación de la perfilería de ventanas y otros elementos de carpintería .....</b>	<b>44</b>
4.6.1.	Carga soportada por un solo perfil, caso de la pilastra que divide un paño fijo.....	44
4.6.2.	Carga soportada por dos perfiles .....	45
<b>5.</b>	<b>Apéndice normativo complementario:.....</b>	<b>48</b>

# Índice de Tablas

Tabla 1: Estanquidad al agua.....	11
Tabla 2: Clasificaciones exigibles en función de la Zona pluviométrica .....	12
Tabla 3: Exigencia de resistencia a la carga de viento .....	13
Tabla 4: Nivel máximo de ruido .....	17
Tabla 5: Espesores y tolerancias de los vidrios .....	22
Tabla 6: Vidrio flotado - Sujeción: 4 lados.....	23
Tabla 7: Vidrio flotado - Sujeción: 2 lados.....	25
Tabla 8: Vidrio templado - Sujeción: 4 lados.....	27
Tabla 9: Vidrio templado - Sujeción: 2 lados.....	29
Tabla 10: Recomendaciones de diferentes configuraciones .....	34
Tabla 11: Clasificaciones normalizadas .....	47



# Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de zonas de precipitación media anual (isoyetas) .....	12
Figura 2: Niveles indicativos de las características acústicas de distintos vidrios .....	18
Figura 3: Resistencia a la carga del vidrio flotado - Sujeción: 4 lados .....	24
Figura 4: Resistencia a la carga del vidrio flotado - Sujeción: 2 lados .....	26
Figura 5: Resistencia a la carga del vidrio templado - Sujeción: 4 lados .....	28
Figura 6: Resistencia a la carga del vidrio templado - Sujeción: 2 lados .....	30
Figura 7: espesor equivalente para vidrio laminado.....	31
Figura 8: Ubicación de Vidrio de Seguridad en una Mampara .....	32
Figura 9: Forma de distribución de la carga (a) .....	40
Figura 10: Forma de distribución de la carga (b) .....	41
Figura 11: Forma de distribución de la carga (c).....	41
Figura 12: Configuraciones que posibles que puede adoptar un perfil resistente .....	45

# 1. Generalidades

---

## 1.1. Definiciones

---

### Vidrio

Es una sustancia líquida subenfriada, sobrefundida, amorfa, dura, frágil, que es complejo químico de silicatos sólidos y de cal que corresponde a la fórmula:  $\text{SiO}_2 \cdot (\text{Na}_2\text{O})_m (\text{CaO})_n$ .

El silicato  $\text{SiO}_2$ , que constituye el elemento ácido, proviene de la arena sílica, limpia y seca.

Los óxidos básicos provienen:

- Para el  $\text{Na}_2\text{O}$ ; del carbono o del sulfato de sodio
- Para el  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ ; de la caliza natural (carbonato de calcio) y de la dolomita.

### Vidrio de seguridad

Es el vidrio básico al que se lo somete a procesos especiales de fabricación (laminado y templado), mediante los cuales se modifican las propiedades físico-mecánicas del mismo, que le confieren características de seguridad.

*NOTA: Las características detalladas de los vidrios se encontraran en la sección 0.*

## 1.2. Símbolos y unidades

---

### 1.2.1. Unidades

- Aceleraciones:  $\text{m}^2/\text{s}$
- Alturas: m
- Áreas:  $\text{m}^2$
- Deflexión: mm
- Fuerzas y cargas: kPa, kN o  $\text{kN}/\text{m}^2$
- Masas: kg
- Periodos: s
- Peso específico:  $\text{kg}/\text{m}^3$
- Presión: Pa o  $\text{N}/\text{m}^2$
- Resistencias: kPa
- Temperatura: K (kelvin) o °C (grados Celsius)
- Transferencia de calor:  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
- Velocidad: m/s

### 1.2.2. Simbología

Símbolo	Definición
$A_0$	Aceleración efectiva máxima del suelo
$a$	Distancia de extremos al apoyo del vidrio
$b$	Bite ancho de contacto (mm)
$C_p$	Coficiente sísmico para elementos secundarios
$e$	Espesor de la lámina de vidrio
$e_1$	Espesor de la primera lámina de vidrio
$e_2$	Espesor de la segunda lámina de vidrio
$E$	Módulo de elasticidad
$f$	Deformación (flecha)
$g$	Aceleración de gravedad ( $m/s^2$ )
$K_d$	Factor de desempeño asociado al comportamiento sísmico de elementos secundarios
$l_c$	Mayor lado menor panel (mm)
$I$	Inercia de un elemento ( $cm^4$ )
$L$	Longitud entre apoyos del elemento vertical
$P$	Presión de cálculo (Pa ó $N/m^2$ )
$P_p$	Peso total del elemento secundario, incluyendo la sobrecarga de uso y el contenido
$P_v$	Carga (s) de viento de diseño ( $kg/m^2$ )

Símbolo	Definición
$P_{vi}$	Peso del vidrio
$Q_p$	Esfuerzo de corte que se presenta en la base del elemento secundario
$V_a$	Fuga ( $m^3/h.m^2$ de carpintería)
$V_L$	Fuga ( $m^3/h.m$ de juntas)
$W$	Cara uniformemente repartida

### 1.3. Marco normativo

#### 1.3.1. Normas ecuatorianas de la construcción

- [NEC-SE-CG](#): Cargas (no sísmicas)
- [NEC-SE-DS](#): Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
- [NEC-SE-RE](#): Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras
- [NEC-SE-GM](#): Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- [NEC-SE-HM](#): Estructuras de Hormigón Armado
- [NEC-SE-AC](#): Estructuras de Acero
- [NEC-SE-MP](#): Estructuras de Mampostería Estructural
- [NEC-SE-MD](#): Estructuras de Madera
- [NEC-SE-VIVIENDA](#): Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

#### 1.3.2. Normas ecuatorianas para vidrios de seguridad

- NTE INEN 2066: VIDRIOS DE SEGURIDAD PARA EDIFICACIONES. METODOS DE ENSAYO.
- NTE INEN 2067: VIDRIOS DE SEGURIDAD PARA EDIFICACIONES. REQUISITOS.

### 1.3.3. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-HS-VIDRIO de las NECs

Las normas referente de la presente [NEC-HS-VIDRIO](#) son:

Abreviación	Nombre y detalles
<a href="#">ASTM C-1036</a>	STANDARD ESPECIFICATION FOR FLAT GLASS.
<a href="#">ANSI Z97.1</a>	AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR SAFETY GLAZING MATERIALS USED IN BUILDINGS – SAFETY PERFORMANCE SPECIFICATIONS AND METHODS OF TEST.
<a href="#">ASTM C-1048</a>	STANDARD SPECIFICATION FOR HEAT-STRENGTHENED AND FULLY TEMPERED FLAT GLASS.
<a href="#">ASTM C-1172</a>	STANDARD SPECIFICATION FOR LAMINATED ARCHITECTURAL FLAT GLASS
<a href="#">NORMA E.040</a>	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES PERUANO. VIDRIO.
<a href="#">NSR – 10</a>	REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMORESISTENTE

## **2. Alcance del capítulo**

---

### **2.1. Alcance**

---

La presente norma establece los requisitos, características y metodologías de análisis para la aplicación del vidrio utilizado en la construcción, a fin de proporcionar el mayor grado de seguridad para el usuario, o terceras personas que indirectamente puedan ser afectadas por fallas del material o factores externos.

Esta norma considera los diversos sistemas de acristalamiento existentes, en concordancia con el material y características de la estructura portante (entre vanos, suspendida, fachadas flotantes, etc.), y la calidad (vidrio básico o procesado) y dimensiones de las planchas de vidrio, según sus características, condiciones sísmicas, climatológicas y altura de la respectiva edificación, en el área geográfica localizada.

Esta norma es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, complementariamente a las normas de edificación vigentes, para el otorgamiento de la licencia de construcción, de acuerdo a la sección 1.3. La persona natural o empresa instaladora deberá entregar un documento de responsabilidad certificando el cumplimiento de esta norma en la instalación realizada. Este documento es requisito para la entrega del permiso de habitabilidad por parte de la autoridad competente.

Los cálculos, planos de diseño, detalles y especificaciones técnicas deberán llevar la firma del profesional responsable del proyecto (arquitecto o ingeniero), quien es el único autorizado a realizar modificaciones a los mismos.

### **2.2. Requisitos**

---

Los requerimientos generales para la elección de vidrios y sistemas de acristalamiento adecuados para una u otra aplicación, son abordados según su seguridad, funcionalidad y aporte a la habitabilidad de un espacio.

### 3. Clasificación y características de los vidrios

#### 3.1. Estanquidad al agua

Se define la estanquidad al agua como la no entrada de agua a partes no previstas o no deseables. Por tanto, la penetración de agua a zonas interiores del cerramiento, que han sido previstas para este fin, con objeto de su recogida y posterior evacuación no se considera un fallo de estanquidad.

La acción del agua de lluvia sobre una carpintería depende de la pluviometría del lugar, el tamaño y situación de exposición del elemento considerado y la presión de viento que actúe simultáneamente con la lluvia.

Se establecen ocho clasificaciones normalizadas de estanquidad al agua, en función de la capacidad de la carpintería para evacuar un caudal "patrón" de agua de lluvia, que se define como 1.50 litros por minuto por metro cuadrado de carpintería en los casos de elemento expuesto y 0.75 litros por minuto por metro cuadrado de carpintería en los casos de elemento protegido, frente a cuatro velocidades de viento (que coinciden con las velocidades de clasificación de resistencia a la carga de viento), y de la situación de exposición de la ventana. Esto se resume en la [Tabla 1](#):

Velocidad de viento (Km/h)	Presión de viento (Pa)	Elemento expuesto	Elemento protegido
75	272 Pa	ECEA1	ECEB1
90	391 Pa	ECEA2	ECEB2
105	532 Pa	ECEA3	ECEB3
120	695 Pa	ECEA4	ECEB4

Tabla 1: Estanquidad al agua

Se considera elemento protegido toda aquella carpintería que se sitúen que esté ubicada a una distancia más de 20 cm hacia el interior de la línea de fachada, o se sitúen en fachadas protegidas de la acción del viento.

Para establecer las zonas pluviométricas se toma como base el mapa de isoyetas de la República del Ecuador y se recomienda establecer cuatro zonas pluviométricas, en función del índice de precipitación:

- Zona 1: precipitación anual menor o igual de 2000 mm
- Zona 2: precipitación anual mayor de 2000 mm y menor o igual de 4000 mm
- Zona 3: precipitación anual mayor de 4000 mm y menor o igual de 6000 mm
- Zona 4: precipitación anual mayor de 6000 mm

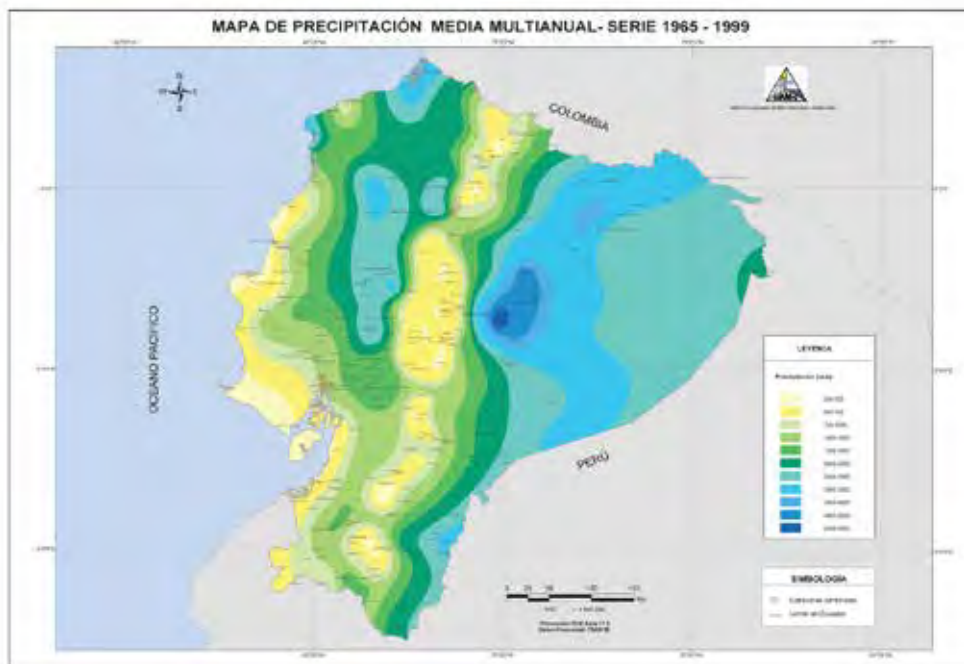


Figura 1: Mapa de zonas de precipitación media anual (isoyetas)

Las clasificaciones exigibles, en función de la Zona Pluviométrica, grado de exposición y clasificación al viento exigible, se establecen en la siguiente [Tabla 2](#):

Zona Pluviométrica	Grado de exposición	Velocidad de viento considerada			
		75 Km/h	90 Km/h	105 Km/h	120 Km/h
Zona 1	Protegida	ECEB1	ECEB1	ECEB2	ECEB3
	Expuesta	ECEA1	ECEA1	ECEA2	ECEA3
Zona 2	Protegida	ECEB1	ECEB1	ECEB3	ECEB3
	Expuesta	ECEA1	ECEA1	ECEA3	ECEA3
Zona 3	Protegida	ECEB1	ECEB2	ECEB3	ECEB4
	Expuesta	ECEA1	ECEA2	ECEA3	ECEA4
Zona 4	Protegida	ECEB2	ECEB2	ECEB4	ECEB4
	Expuesta	ECEA2	ECEA2	ECEA4	ECEA4

Tabla 2: Clasificaciones exigibles en función de la Zona pluviométrica

### 3.2. Permeabilidad al aire

Se define la permeabilidad al aire como la infiltración de aire a través de las juntas del elemento de carpintería o fachada, debido a las diferencias de presión entre el interior y el exterior del mismo. Dicha permeabilidad debe determinarse tanto a presiones positivas (presión) como a presiones negativas (succión). La permeabilidad se comprueba en fugas por metro cuadrado de carpintería y en fugas por metro lineal de juntas.



$V_a$  Fuga ( $m^3/h.m^2$  de carpintería)

$V_L$  Fuga ( $m^3/h.m$  de juntas)

La clasificación de un elemento frente a la permeabilidad al aire se define midiendo el caudal de aire que pasa por el elemento cuando se lo somete a una presión diferencial. Las mediciones se realizan a distintas presiones, de acuerdo con un procedimiento de ensayo y clasificación basado en las normas [EN 12207](#) y [EN 1026](#). De acuerdo con esto podemos establecer 4 clasificaciones:

- ECA1 (equivalente a la clase 1 de la norma [EN 12207](#)),
- ECA2 (equivalente a la clase 2 de la norma [EN 12207](#)),
- ECA3 (equivalente a la clase 3 de la norma [EN 12207](#)),
- ECA4 (equivalente a la clase 4 de la norma [EN 12207](#)).

La determinación de las exigencias de permeabilidad al aire se hace a partir de los datos de exposición al viento. Por tanto, la prestación de permeabilidad se establecerá a partir de la exigencia de resistencia a la carga de viento, que ya tiene en cuenta estos datos, mediante la [Tabla 3](#)

Velocidad de viento (Km/h)	Presión de viento (Pa)	Clasificación al viento exigible
75	272	ECA1
90	391	ECA2
105	532	ECA3
120	695	ECA4

Tabla 3: Exigencia de resistencia a la carga de viento

### 3.3. Clasificación del vidrio

#### 3.3.1. Vidrios básicos

Son los que se obtienen directamente del horno de fundición.

#### 3.3.2. Clasificación del vidrio por su proceso de fabricación

##### a. Vidrio estirado

Proceso por el cual una máquina estiradora levanta de la superficie del vidrio fundido del horno, la masa viscosa que se transforma en una lámina, mediante un enfriamiento progresivo y controlado en la chimenea de recocido. El espesor del vidrio depende de la velocidad de estiramiento y de la temperatura de la masa en fusión.

##### Vidrio estirado vertical

Hay dos métodos de fabricación, según el modo de estiramiento:

- El procedimiento Fourcault utiliza para recoger la hoja un colector de refractario.
- El procedimiento Pittsburgh levanta la hoja de vidrio a partir de un baño libre (drawbar).

### Vidrio estirado horizontal

Este procedimiento presenta la particularidad de doblar la hoja de vidrio hasta la horizontal después del pulido a fuego y antes de entrar en el horno horizontal de recocido.

#### **b. Vidrio pulido**

El vidrio en fusión sale del horno y es prensado entre dos cilindros. Después de atravesar el horno de recocido, donde la lámina va enfriándose lentamente de manera controlada, la cinta pasa en el «twin» que es una máquina que desbasta simultáneamente las dos caras del vidrio.

El vidrio desbastado obtenido a la salida del «twin» tiene sus dos caras planas y paralelas. El vidrio pasa luego debajo de las pulidoras que le dan su transparencia.

#### **c. Vidrio rolado**

Es el vidrio que no permite el registro ni la visibilidad de un lado a otro. Se consideran dentro de este rubro a los vidrios que distorsionan a los objetos que se aprecian a través del elemento. (Como es el caso de los vidrios grabados).

### Vidrio grabado

En el proceso del vidrio rolado, uno de los rodillos o ambos pueden tener dibujos o grabados, lo que permite obtener el vidrio grabado o impreso. El vidrio grabado o también llamado catedral, transmite la luz en forma difusa e impide la visión clara, brindando según el dibujo, diferentes grados de translucidez e intimidad.

### Vidrio alambrado

Vidrio translúcido, al cual se ha incorporado durante su fabricación una malla de alambre de acero, que, en caso de rotura, actúa como soporte temporáneo del paño de vidrio, evitando la caída de fragmentos de vidrio roto. Una de las propiedades más significativas del vidrio alambrado, es que permite retardar la propagación del fuego en aberturas.

### Vidrio decorativo

Se produce este tipo de material por el mismo proceso pero en pequeñas cantidades. También se le denominan «vitales» o vidrios para uso artístico.

#### **d. Vidrio flotado ([ASTM C-1036](#))**

Consiste en hacer pasar una lámina de vidrio fundido, alimentada por rebalse del horno de cuba, sobre un baño de estaño metálico fundido. La lámina sale de la cámara de flotado y prosigue en forma horizontal dentro del horno de recocido hasta su salida al corte. El vidrio plano flotado tiene superficies planas, paralelas y «pulidas al fuego», aunque no son idénticas: una está en contacto con el metal fundido y la otra con la atmósfera, pero en la práctica son indistinguibles a simple vista.

#### **e. Baldosa de vidrio**

La fusión se efectúa en crisoles de tierra refractada. Estos vidrios son transportados por medio de un monorriel y vertidos entre dos rodillos laminadores. Después del laminado la hoja de vidrio en bruto es introducida en el túnel calorifugado donde es recocida, luego es cortada según los tamaños del pedido y pasa entre los elementos de desbaste y pulido.

### **3.3.3. Clasificación del vidrio por su visibilidad**

#### **a. Vidrio transparente**

Se define al vidrio que permite el registro y la visibilidad de un lado a otro.

#### **b. Vidrio translúcido**

Es aquel que no permite el registro ni la visibilidad de un lado a otro. Se consideran dentro de este rubro a los vidrios que distorsionan a los objetos que se aprecian a través del elemento. (Es el caso de los vidrios grabados).

### **3.3.4. Clasificación del vidrio por su coloración**

#### **a. Vidrio incoloro**

Es aquel que permite una transmisión de visibilidad entre un 75% y 92% dependiendo del espesor.

#### **b. Vidrio coloreado en su masa**

Es aquel que permite una transmisión de visibilidad menor a 83% dependiendo del color y del espesor.

Los vidrios de color de alta performance deben sus excelentes propiedades de control solar a la selectividad del color empleado en su composición que permite obtener un excelente grado de control solar sin recurrir a la aplicación de revestimientos reflectivos.

## **3.4. Vidrios procesados**

---

Estos vidrios son el resultado de un proceso por parte de una industria transformadora, que utiliza como materia prima el vidrio básico

### **3.4.1. Vidrio templado ([INEN 2067](#) / [ANSI Z-97.1](#))**

Es un vidrio de seguridad, plano o curvo, que sometido a un tratamiento térmico de templado, (El tratamiento térmico de templado consiste en producir un calentamiento gradual dentro del horno hasta una temperatura de reblandecimiento. Logrado esto, se retira la pieza del horno, para proceder a un endurecimiento violento, mediante aire a presión) adquiere un aumento significativo de su resistencia a los esfuerzos mecánico y térmico. El proceso de templado puede realizarse, colocando el vidrio en posición vertical, temple vertical; o en posición horizontal, temple horizontal.

### **3.4.2. Vidrio laminado ([INEN 2067](#) / [ASTM C-1172](#))**

Es un vidrio de seguridad, plano o curvo, que está compuesto por dos o más láminas de vidrio unidas íntimamente por interposición de interláminas (polivinil butiral -PVB-, u otras resinas de características similares o mejores). En caso de roturas los trozos de vidrio quedan adheridos a la interlámina, permaneciendo el conjunto dentro del marco, proporcionando seguridad a las personas e impidiendo la entrada a su través.

#### **a. Vidrio termoformado curvo**

Vidrio procesado, no considerado de seguridad, sometido a calentamiento por lo cual el vidrio plano cortado a las medidas requeridas, adopta la forma del molde del contenedor de los hornos de curvado.

#### **b. Vidrio termoendurecido plano ([ASTM C-1048](#))**

Es un vidrio procesado, producido siguiendo el mismo método que el vidrio templado, sin embargo el proceso de enfriamiento es más lento. El vidrio termo endurecido es dos veces más resistente a cargas de viento que un vidrio primario, sin embargo no es un vidrio de seguridad. El principal beneficio del vidrio termo endurecido es reducir la probabilidad de rotura por esfuerzo térmico y por deflexión. Cuando el vidrio termo endurecido se rompe, se rompe en pedazos grandes y tienden a permanecer dentro del marco de la ventana hasta que sea reemplazado.

#### **c. Vidrio reflectivo**

Es un proceso por el cual se aplica al vidrio una cubierta muy fina de metal u óxido metálico. Puede ser aplicable en dos formas:

##### En frío.

Después del proceso de fabricación del vidrio, mediante reacción química o al vacío; pero tiene la desventaja de la debilidad de la cara reflejante a la intemperie y no es recomendable para procesos posteriores como el templado o curvado, por cuanto se distorsiona su reflectividad, a excepción del proceso de laminado.

##### En caliente.

Conocido como método pyrolítico. Tienen la cara reflejante dentro de la composición del vidrio, lo que le proporciona mayor resistencia a la intemperie y permite efectuar procesos posteriores como el templado, laminado y curvado.

#### **d. Vidrio cámara**

Genéricamente denominado doble vidriado hermético, es un vidrio con propiedades de aislamiento térmico y acústico, constituido por dos hojas de vidrio flotado u otras combinaciones separadas entre sí por una cámara de aire deshidratado u otros gases inertes cuyo espesor estándar varía de 6 a 25 mm. La separación entre ambos vidrios está dada por un perfil metálico hueco de diseño especial o una cinta separadora aislante, en cuyo interior contienen sales deshidratantes que evitan la presencia de humedad en la cámara de aire.

#### **e. Vidrio acústico**

Es aquel vidrio que permite controlar la intensidad de la penetración del ruido a un espacio determinado. Por efecto de masa, un vidrio grueso presenta un índice de aislamiento acústico mayor que uno de poco espesor. En el caso del vidrio laminado su efecto amortiguador del ruido varía según el rango de frecuencias considerado y el espesor y tipo de interlámina empleado en su fabricación, en la práctica brinda un nivel de atenuación del ruido para los rangos de frecuencia de la voz humana y del tránsito automotor. En el caso del vidrio cámara la atenuación acústica depende esencialmente del espesor y de las características de los vidrios empleados en su fabricación

#### **f. Vidrio térmico**

Es aquel vidrio que permite controlar la ganancia o pérdida de calor del ambiente en donde se encuentre instalado, que por conducción o convección superficial, fluye a través de su masa.

#### **g. Vidrio opaco**

Es aquel vidrio que impide totalmente la visibilidad.

#### **h. Vidrio traslúcido**

Es aquel vidrio que impide la visibilidad pero que permite el paso de la luz.

#### **i. Espejos de vidrios**

Es aquel vidrio que refleja las imágenes sin distorsión en forma nítida y exacta. Presenta un brillo y luminosidad excepcionales. Puede ser sometido a procesos de corte, perforado, pulido y biselado.

### 3.5. Propiedades acústicas

---

#### a. Factores de aislamiento acústico ([ASTM E-90](#) / [ASTM E - 413](#))

A fin de crear el entorno acústico deseable, debe tenerse en consideración las propiedades de reducción acústica de los materiales del acristalado como parte integral del diseño total del espacio.

Los sonidos son una combinación de energía acústica a frecuencias distintas, por esto el control acústico eficaz requiere que el nivel del sonido se reduzca en toda una amplia serie de frecuencias.

Para medir el rendimiento del aislamiento acústico de los materiales se ha creado la Clase de Transmisión Acústica (CTA) que es un número que indica las pérdidas de transmisión a frecuencia de pruebas determinadas, a mayor CTA, se tiene un mejor aislamiento acústico ([ASTM E-90](#); [ASTM E-413](#)).

#### b. Control de ruido

Los valores de la [Tabla 4](#), son los usualmente recomendados en materia de confort acústico interior, para una serie de locales o actividades típicas.

DESTINO/ACTIVIDAD	NIVEL MÁXIMO DE RUIDO
Dormitorios	30 a 40 (dB)
Biblioteca Silenciosa	35 a 40 (dB)
Sala Estar	40 a 45 (dB)
Oficinas Privadas	40 a 45 (dB)
Aula de Escuela	40 a 45 (dB)
Oficinas Generales	45 a 50 (dB)
Hospitales	30 a 40 (dB)
Hoteles	35 a 40 (dB)

Tabla 4: Nivel máximo de ruido

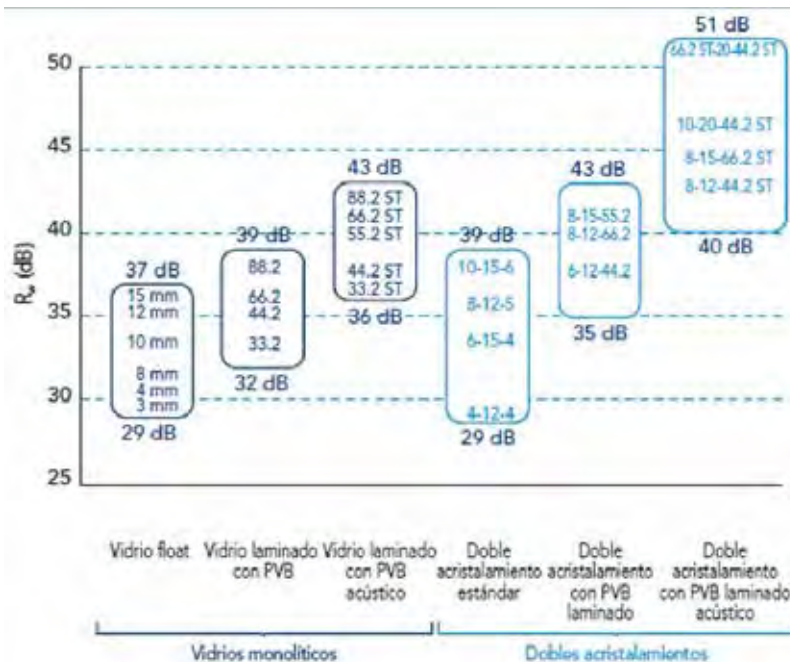


Figura 2: Niveles indicativos de las características acústicas de distintos vidrios.

Siendo el vidrio y el sistema de acristalamiento elementos de una construcción se debe tomar en cuenta el aporte del resto de materiales para lograr el rendimiento acústico del conjunto.

### 3.6. Propiedades térmicas y solares

#### 3.6.1. Coeficiente de transmisión térmica U

El calor es transferido por el proceso de conducción por la diferencia entre las temperaturas del aire interior y exterior.

- Cuando las temperaturas interiores están más bajas que las exteriores, habrá una ganancia de calor conducido del espacio interior.
- Cuando la temperatura exterior está más baja que la interior, habrá una pérdida de calor conducido del espacio interior.

El flujo de calor debido a la diferencia de temperatura entre el aire interior y el aire exterior es definida por su valor «U». La ganancia o pérdida del calor conducido en  $W/m^2.K$  puede hallarse multiplicando el valor «U» por la diferencia entre la temperatura interior y exterior.

El coeficiente de transmisión térmica **U** ( $W/m^2.K$ ), expresa el aislamiento que ofrece el vidrio al paso del calor, por conducción y convección superficial, fluye a través de su masa. Su valor no varía en forma apreciable con el espesor del vidrio, pues este siempre tiene una magnitud relativamente pequeña si la comparamos con los espesores de otros materiales de construcción.

El coeficiente **U** de un vidrio incoloro, de color o reflectivo entre 4 y 10 mm de espesor, es del orden de los  $5.6 W/m^2.K$ .

Cuando se emplean dos hojas de vidrio separadas con una cámara de aire, quieto y deshidratado, con un espesor entre 6 y 12 mm, la resistencia térmica que ofrece el aire en dichas condiciones, hace que el valor **U** sea del orden de  $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Una unidad de vidrio aislante térmico permite reducir en un 50% las pérdidas y/o ganancias de calor producidos por los sistemas de calefacción y/o el admitido por radiación solar a través de las ventanas, así mismo elimina las corrientes convectivas del aire junto a la ventana y la posibilidad de empañado de los cristales por condensación de la humedad.

Su aplicación permite disminuir la necesidad de calefacción o de aire acondicionado reduciendo el consumo de energía y los costos de operación de la edificación.

Con la utilización de vidrios especiales para control térmico y vidrio insulado de una o dos cámaras, se puede llegar a tener un valor de **U** alrededor de  $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### **3.6.2. Propiedades solares**

#### **a. Energía solar**

La energía solar es una onda electromagnética de energía del sol. Esta energía radiante está dividida por ondas de longitud en tres tipos: ultravioleta, visible e infrarrojo. Los tres tipos de energía radiante se convierten en calor cuando son absorbidos.

#### **b. Transmisión de energía solar**

La transmisión de energía solar es una medida de la cantidad de energía total (ultravioleta, visible e infrarrojo) que pasa directamente a través de un material transparente o translúcido y es expresado como un porcentaje de la energía radiante total del Sol.

#### **c. Energía ultravioleta**

Aquella porción de radiación solar por la cual las ondas de longitud son más cortas que aquellas en la región visible. Esta radiación es invisible y puede causar quemadura de sol y degradación de distintos materiales.

#### **d. Energía infrarroja**

Es aquella porción de radiación solar por la cual las ondas de longitud son más largas que aquellas en el alcance de la vista. Esta radiación, como la radiación ultravioleta, es invisible.

Cuando la energía solar toca un material transparente o translúcido, se refleja o se absorbe o se transmite a través del material. La energía transmitida y aquella porción de energía absorbida, la cual se transfiere al interior, forman parte de una porción sustancial de la carga total del aire acondicionado para edificios con grandes superficies de vidrio.

#### **e. Ganancia de calor relativa**

La ganancia de calor relativa es un número usado para comparar productos vidriados basados en una serie de condiciones fijadas. Estas condiciones son un factor de ganancia de calor de  $7.345 \times 106 \text{ kWh/m}^2$  y una diferencia de la temperatura interior y exterior de  $7.78^\circ\text{C}$ .

#### **f. Reflejo total solar**

El reflejo total solar es una medida del porcentaje de energía solar (ultravioleta, visible e infrarrojo) reflejada al exterior de una superficie. Para productos reflectivos de primera superficie, mientras más alto el porcentaje, mejor el funcionamiento del producto de control solar.

#### **g. Coeficiente de sombra**

Los coeficientes de sombras son usados para medir las propiedades de ganancias de calor solar de materiales translúcidos o transparentes. El vidrio de 3.0 mm deberá estar preparado para tener un coeficiente de sombra de 1.0: fracciones decimales son usadas para relacionar el funcionamiento de otros materiales a la base de vidrio claro de 3.0 mm. Mientras más baja la fracción natural. Más baja la ganancia de calor solar a través del material y así es el mejor funcionamiento del control solar.

### 3.6.3. Propiedades luminosas

#### a. Luz visible

Aquella porción de la radiación del Sol que el ojo humano puede ver.

#### b. Luz visible transmitida

La luz visible transmitida indica la cantidad disponible de energía de luz visible que se le es permitido pasar a través de un material transparente o translúcido. Esta medida está anotada como una figura en porcentaje y mientras más alto el porcentaje, mayor será la luz visible transmitida a través del material.

#### c. Reflejo visible exterior

El reflejo exterior es el porcentaje de energía de luz visible reflejada hacia fuera del exterior de la superficie. Mientras más alto el porcentaje, mayor será la luz reflejada y se parecerá más la superficie a un espejo.

#### d. Reflejo visible interior

Es el porcentaje interior de energía de luz visible que retorna hacia el interior.

### 3.6.4. Rendimiento de protección ([ASTM F1233](#))

Los acristalamientos para protección tienen como características el estar diseñados para resistir las cargas estructurales resultantes de determinadas amenazas a la seguridad y la protección: robo e ingreso violento, explosiones y ataques balísticos.

- En el caso de robo e ingreso violento, el acristalado debe resistir la penetración durante algún tiempo, contrarrestando ataques para una serie de armas. La eficacia del vidrio de protección en la resistencia a la entrada violenta se mide a través de una secuencia de pruebas ([ASTM F1233](#)).
- En el caso de explosiones, se busca reducir considerablemente las lesiones resultantes de los efectos de las ondas dinámicas y del vidrio en el aire, producto de una explosión.
- Para cuantificar el segundo efecto, se ha definido el parámetro RET (Retentividad).

$$RET = \frac{\text{Peso después de la explosión}}{\text{Peso de la instalación original}}$$

Dónde:

RET=1 Si todo el vidrio permanece en el marco

RET= 0 Si todo el vidrio sale del marco

- Para ataques balísticos se busca resistir la penetración de balas y el astillaje (lado protegido del vidrio) causado por el impacto resultante de ataques balísticos. Para establecer la resistencia balística del acristalado protector se utiliza la Norma [ASTM E1232](#).



## 4. Diseño y selección de los vidrios

---

Los requerimientos generales para la elección de vidrios y sistemas de acristalamiento adecuados para una u otra aplicación, son abordados según su funcionalidad y aporte a la habitabilidad de un espacio.

### 4.1. Conceptos y criterios para seleccionar vidrios y sistemas de aplicación en obras de arquitectura

---

La elección correcta de un vidrio para una aplicación concreta, debe considerar una serie de características diferentes, teniendo en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- Determinar cuáles son los valores de transmisión de luz visible y coeficiente de ganancia solar (SHGC) que satisfagan las premisas de su proyecto. La relación de estos dos coeficientes debe tener un sentido que aporte a la eficiencia energética de la edificación.
- Adoptar una decisión estética seleccionando las alternativas de color o aspecto deseado, vidrio reflejante o vidrio no reflejante.
- Determinar los valores del coeficiente de transmisión térmica K que satisfagan las necesidades del proyecto pudiendo variar en función de un solo vidrio o de un componente de vidrio cámara (vidrio aislante térmico)
- Si el vidrio está ubicado en un área de riesgo, adoptar el proceso más adecuado para satisfacer las normas de seguridad: templado, laminado u otras opciones, como dividir el paño. Las áreas de riesgo están detalladas en la sección [0](#).
- Seleccionado el tipo de vidrio, determine el espesor adecuado, verificando que su resistencia satisfaga la presión de diseño de viento.
- Verificar que el sistema de acristalamiento elegido tenga un nivel de aislamiento térmico y acústico compatible con la función del edificio y el confort de sus ocupantes.
- Verificar que el sistema de acristalamiento cumpla con el diseño de presión de viento, permeabilidad del aire y estanqueidad del agua compatible con la función y ubicación del edificio.
- Efectuar otras verificaciones específicas con respecto a su proyecto, como cristales especiales antifuego, antibalas, etc.
- Considerar el modo de realizar mantenimiento a la superficie vidriada.

## 4.2. Espesores y tolerancias para el vidrio ([ASTM C 1036](#))

---

En la [Tabla 5](#), se muestran los diversos espesores y tolerancias de medida expresadas en milímetros para los diferentes tipos de vidrio.

Espesor (mm)	Min	Máx.
1	0.79	1.24
1.5	1.27	1.78
2	1.8	2.13
2.5	2.16	2.57
2.7	2.59	2.9
3	2.92	3.4
4	3.78	4.19
5	4.57	5.05
6	5.56	6.2
8	7.42	8.43
10	9.02	10.31
12	11.91	13.49
16	15.09	16.66
19	18.26	19.84
22	21.44	23.01
25	24.61	26.19

Tabla 5: Espesores y tolerancias de los vidrios

## 4.3. Elección del espesor adecuado de un vidrio

---

### 4.3.1. Cálculo de las cargas de diseño por viento

El cálculo de la presión del viento se hará de acuerdo a la [NEC-SE-CG](#).

### 4.3.2. Conceptos básicos

La presión de viento es la principal sollicitación a la que está sometido un vidrio en una ventana o una fachada. Para nuestro país, será la generada por una velocidad de viento de mínimo 75 Km/h. La resistencia del vidrio depende de su espesor, tamaño, tipo de proceso al que fue sometido, y de su forma de sujeción en la abertura. Es responsabilidad del diseñador establecer la presión de viento y otras sollicitaciones a las que será sometido un vidrio.

Una vez determinado el tipo de vidrio: básico (flotado) o procesado (laminado, templado, etc.). Se determina el tipo de sujeción (uno o más lados apoyados) y se aplica las tablas descritas en [NORMA ASTM E1300](#) para determinar el espesor adecuado a utilizarse. La deflexión máxima no deberá exceder 1.5 veces el espesor del vidrio elegido.

Como referencia del cálculo descrito en norma [ASTM E1300](#) se incluye la [Tabla 6](#), [Tabla 7](#), [Tabla 8](#) y [Tabla 9](#) que están desarrolladas para vidrio flotado y templado con diferentes formas de sujeción. Los cuadros tienen las siguientes unidades:

- Área: m<sup>2</sup>
- Carga: kPa

- Flexión: mm

Para las [tablas 6, 7, 8 y 9](#), se considerara una velocidad de viento de 75 km/h, correspondiendo a una presión de 0.266 kPa.

La [Tabla 6](#) proporciona la información de cargas y flexión de los distintos espesores, tomando en cuenta un vidrio flotado enmarcado en sus cuatro lados.

X	Y	Relación	Área	3mm		4mm		5mm		6mm	
				Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	1.00	0.49	3.46	1.70	4.51	0.77	5.60	0.30	7.26	-
1000	1000	1.00	1.00	1.92	4.74	2.65	3.03	3.27	1.91	3.94	0.98
1000	2000	0.50	2.00			1.32	6.58	1.55	4.37	1.90	2.53
1200	2200	0.55	2.64					1.37	7.21	1.65	4.69
1500	2500	0.60	3.75							1.35	8.66
1800	2800	0.64	5.04								
2100	3100	0.68	6.51								

X	Y	8mm		10mm		12mm		15mm		19mm	
		Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	10.00	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-
1000	1000	5.87	0.14	7.88	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-
1000	2000	2.80	0.76	3.97	0.18	6.81	-	10.00	-	10.00	-
1200	2200	2.24	1.88	2.96	0.70	4.85	0.03	7.79	-	10.00	-
1500	2500	1.80	4.45	2.21	2.29	3.30	0.45	5.05	-	7.33	-
1800	2800	1.49	7.79	1.82	4.73	2.50	1.57	3.69	0.23	5.19	-
2100	3100	1.27	11.60	1.54	7.80	2.04	3.38	2.85	0.99	3.89	0.11

Tabla 6: Vidrio flotado - Sujeción: 4 lados

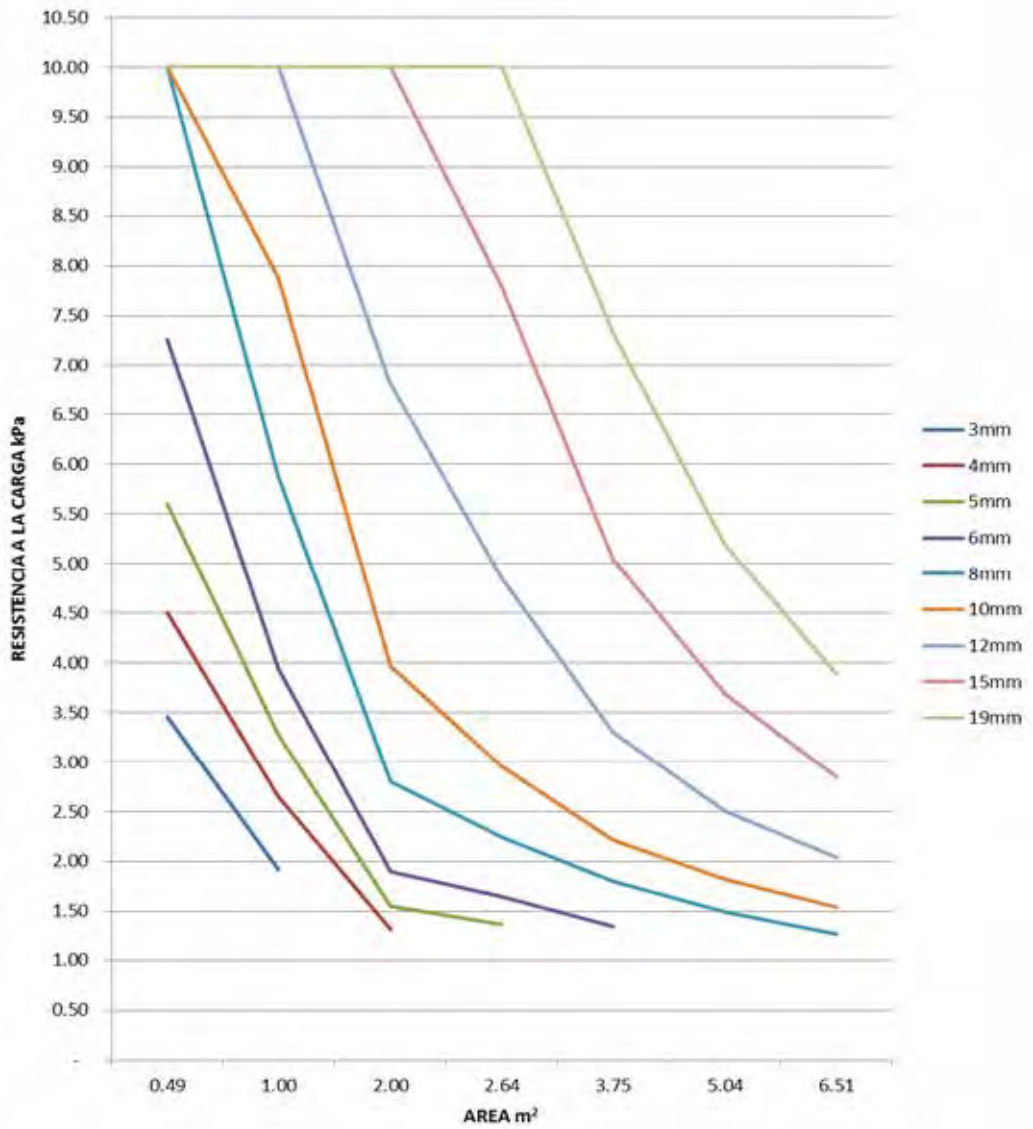


Figura 3: Resistencia a la carga del vidrio flotado - Sujeción: 4 lados

La [Tabla 7](#) proporciona la información de cargas y flexión de los distintos espesores, tomando en cuenta un vidrio flotado enmarcado en sus dos lados.

Sin Apoyo				3mm	4mm	5mm	6mm				
X	Y	Relación	Área	Carga	Flexión	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	1.00	0.49							1.39	0.82
1000	1000	1.00	1.00							0.68	3.42
1000	2000	0.50	2.00								
1200	2200	0.55	2.64								
1500	2500	0.60	3.75								
1800	2800	0.64	5.04								
2100	3100	0.68	6.51								

Sin Apoyo		8mm	10mm	12mm	15mm	19mm					
X	Y	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	2.48	0.35	3.66	0.19	6.39	0.08	10.00	0.04	10.00	0.02
1000	1000	1.21	1.44	1.80	0.80	3.13	0.35	5.02	0.17	7.36	0.10
1000	2000	0.30	23.00	0.45	12.80	0.78	5.57	1.26	2.74	1.84	1.55
1200	2200			0.37	18.80	0.65	8.16	1.04	4.01	1.52	2.16
1500	2500			0.29	31.30	0.50	13.60	0.80	6.69	1.18	3.78
1800	2800					0.40	21.40	0.64	10.50	0.94	5.94
2100	3100					0.33	32.20	0.52	15.80	0.77	8.93

Tabla 7: Vidrio flotado - Sujeción: 2 lados

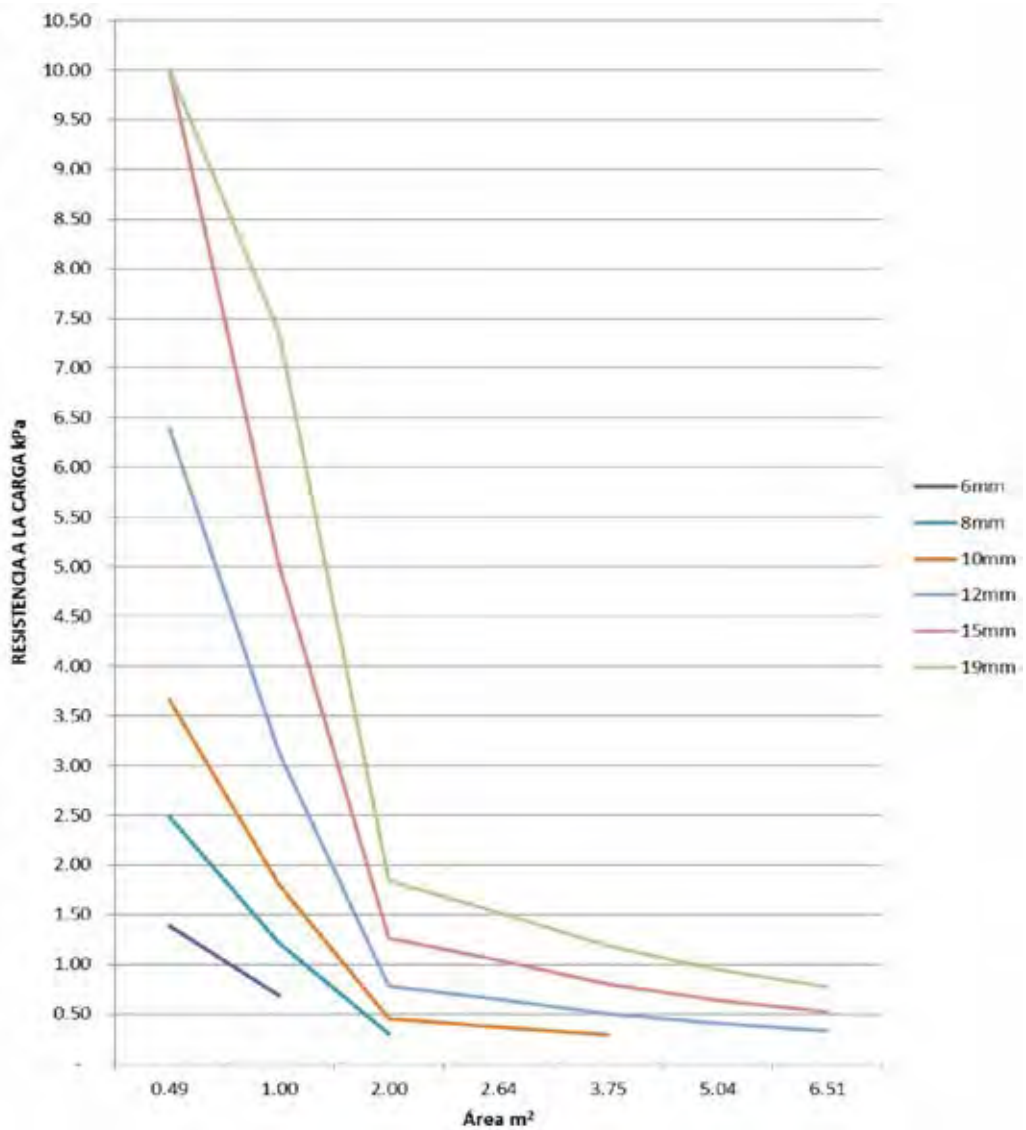


Figura 4: Resistencia a la carga del vidrio flotado - Sujeción: 2 lados

La **Tabla 8** proporciona la información de cargas y flexión de los distintos espesores, tomando en cuenta un vidrio templado enmarcado en sus cuatro lados.

X	Y	Relación	Área	3mm		4mm		5mm		6mm	
				Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	1.00	0.49	10.00	1.70	10.00	0.77	10.00	0.30	10.00	-
1000	1000	1.00	1.00	7.76	4.74	10.00	3.03	10.00	1.91	10.00	0.98
1000	2000	0.50	2.00			5.27	6.58	6.20	4.37	7.62	2.53
1200	2200	0.55	2.64					5.46	7.21	6.59	4.69
1500	2500	0.60	3.75							5.40	8.66
1800	2800	0.64	5.04								
2100	3100	0.68	6.51								

X	Y	Relación	Área	8mm		10mm		12mm		15mm		19mm	
				Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	1.00	0.49	10.00	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-
1000	1000	1.00	1.00	10.00	0.14	10.00	-	10.00	-	10.00	-	10.00	-
1000	2000	0.50	2.00	10.00	0.76	10.00	0.18	10.00	-	10.00	-	10.00	-
1200	2200	0.55	2.64	8.96	1.88	10.00	0.70	10.00	0.03	10.00	-	10.00	-
1500	2500	0.60	3.75	7.18	4.45	8.82	2.29	10.00	0.45	10.00	-	10.00	-
1800	2800	0.64	5.04	5.95	7.79	7.29	4.73	9.99	1.57	10.00	0.23	10.00	-
2100	3100	0.68	6.51	5.09	11.60	6.16	7.80	8.11	3.38	10.00	0.99	10.00	0.11

Tabla 8: Vidrio templado - Sujeción: 4 lados

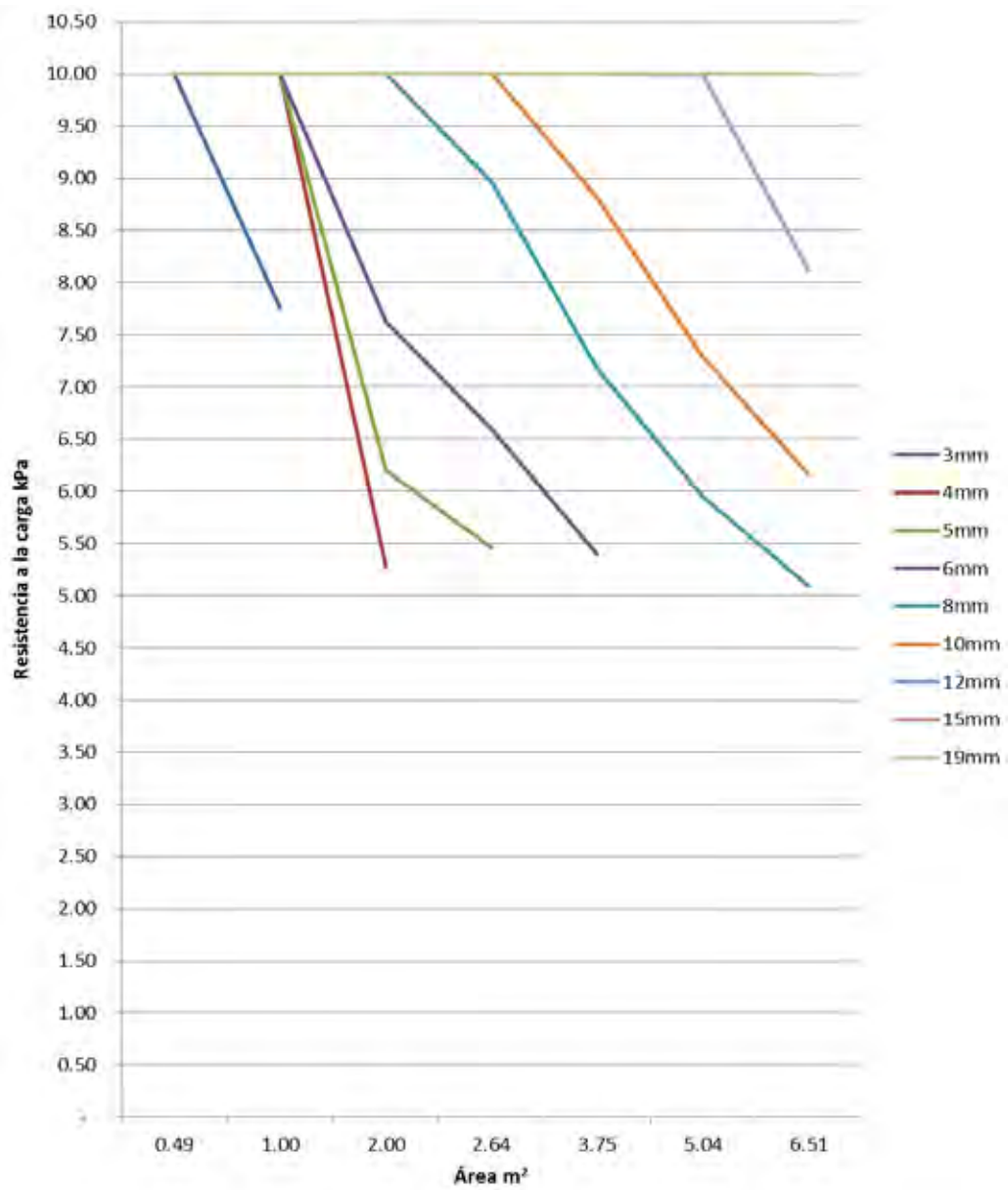


Figura 5: Resistencia a la carga del vidrio templado - Sujeción: 4 lados



La **Tabla 9** proporciona la información de cargas y flexión de los distintos espesores, tomando en cuenta un vidrio templado enmarcado en sus dos lados.

Sin Apoyo		3mm 4mm 5mm 6mm										
X	Y	Relación	Área	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	
700	700	1.00	0.49								1.39	0.82
1000	1000	1.00	1.00								0.68	3.42
1000	2000	0.50	2.00								-	-
1200	2200	0.55	2.64								-	-
1500	2500	0.60	3.75									
1800	2800	0.64	5.04									
2100	3100	0.68	6.51									

Sin Apoyo		8mm 10mm 12mm 15mm 19mm											
X	Y	Relación	Área	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion	Carga	Fléxion
700	700	1.00	0.49	2.48	0.35	3.66	0.19	6.39	0.08	10.00	0.04	10.00	0.02
1000	1000	1.00	1.00	1.21	1.44	1.80	0.80	3.13	0.35	5.02	0.17	7.36	0.10
1000	2000	0.50	2.00	0.30	23.00	0.45	12.80	0.78	5.57	1.26	2.74	1.84	1.55
1200	2200	0.55	2.64	-	-	0.37	18.80	0.65	8.16	1.04	4.01	1.52	2.26
1500	2500	0.60	3.75					0.50	13.60	0.80	6.69	1.18	3.78
1800	2800	0.64	5.04					0.40	21.40	0.64	10.50	0.94	5.94
2100	3100	0.68	6.51							0.52	15.80	0.77	8.93

Tabla 9: Vidrio templado - Sujeción: 2 lados

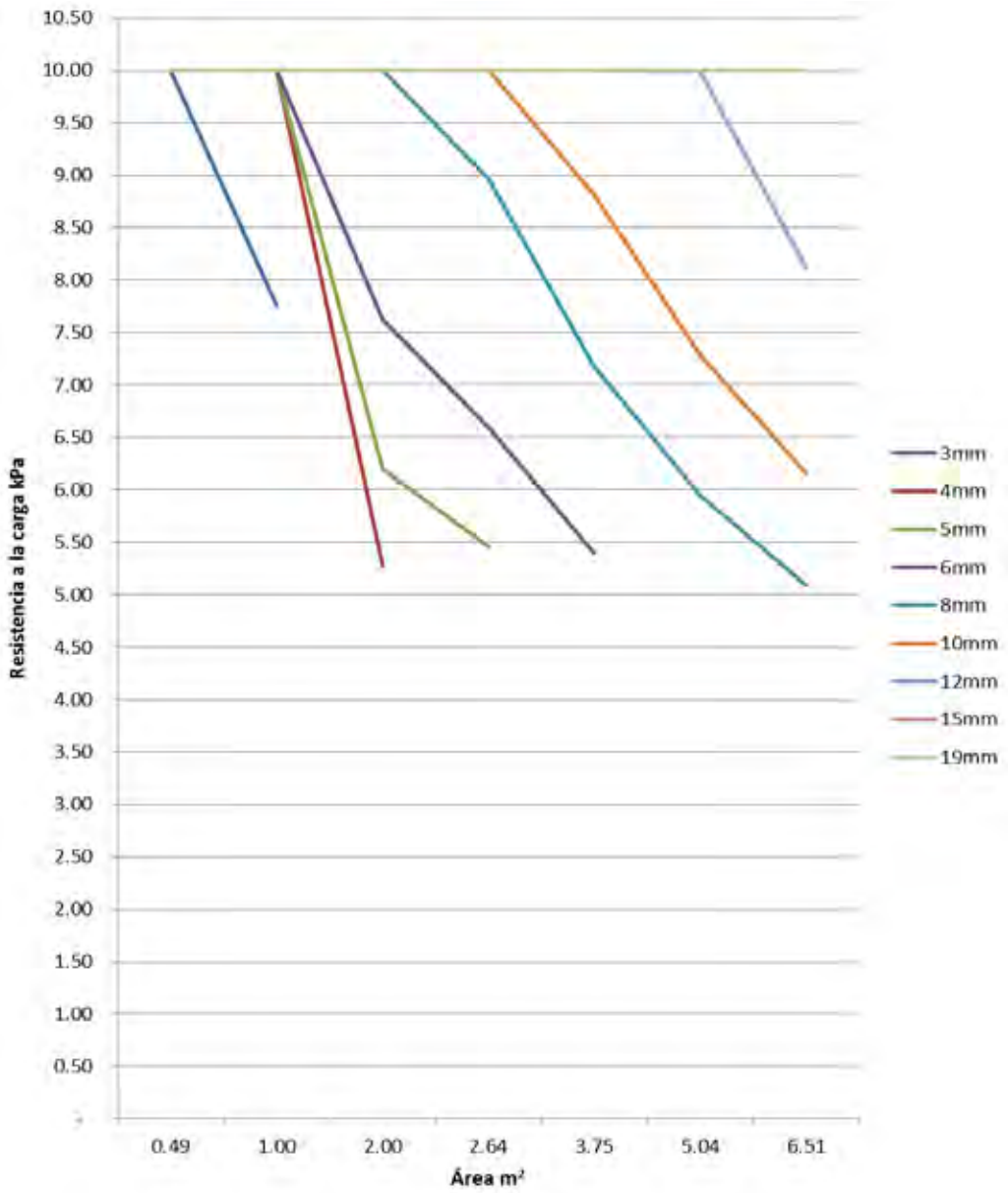


Figura 6: Resistencia a la carga del vidrio templado - Sujeción: 2 lados

### 4.3.3. Definición del espesor adecuado

El diseñador, deberá considerar otros aspectos que puedan influir en la selección del espesor adecuado de un vidrio. (Aspecto que debe tener en cuenta es el grado de aislamiento acústico que brinda cada espesor de vidrio, pudiendo ser necesario emplear uno mayor para satisfacer simultáneamente la resistencia a la presión del viento y el nivel de control acústico). Cuando es utilizado vidrio de color en fachada es aconsejable unificar su espesor, pues cuando varía el mismo, también varían sus propiedades de transmisión de luz visible y calor solar radiante. De lo contrario se corre el riesgo de producir variaciones en el tono de la fachada, tanto vista desde el exterior como desde el interior.

### 4.3.4. Cálculo de espesor equivalente para vidrio laminado

Cuando se ha elegido vidrio laminado se debe tomar en consideración la siguiente ecuación para determinar el espesor adecuado de este tipo de vidrio, de acuerdo a la [Figura 7](#).

$$e = \sqrt[3]{(e_1^3 + e_2^3)}$$

**Dónde:**

Si:  $e_1 = e_2$ ,  $e = e_1 \times 1.26$

$e_1$  Espesor primera lámina

$e_2$  Espesor segunda lámina

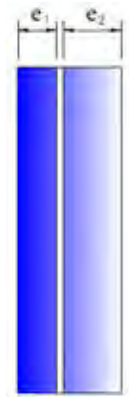


Figura 7: espesor equivalente para vidrio laminado

## 4.4. Elección de vidrios de seguridad en locación de riesgos

La elección de un vidrio debe tener siempre presente las posibles consecuencias en caso de rotura.

Los vidrios se denominan de seguridad porque en caso de rotura lo hacen en forma segura y/o minimizan las consecuencias a las personas.

### 4.4.1. Área vidriada en riesgo

Se considera un área vidriada de riesgo toda aquella superficie que presenta por su posición, función o características del entorno de colocación una mayor exposición al impacto de personas y/o puede implicar un riesgo físico para las mismas en caso de rotura de vidrios.

Las áreas vidriadas consideradas de riesgo se clasifican en verticales e inclinadas.

### 4.4.2. Áreas de riesgo para vidrio vertical

Incluye a todas aquellas áreas vidriadas susceptibles de impacto humano accidental. La Norma considera las siguientes aplicaciones del vidrio.

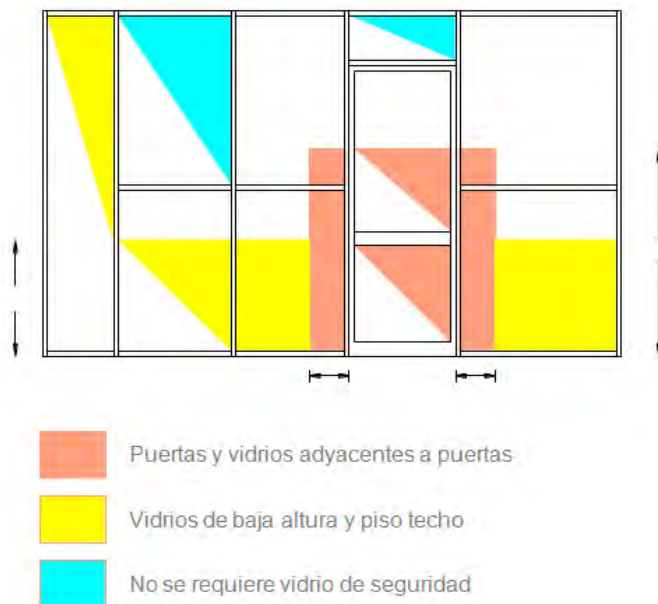


Figura 8: Ubicación de Vidrio de Seguridad en una Mampara

Las áreas vidriadas susceptibles de impacto humano accidental a considerarse son:

- Puertas de acceso y lugares de paso: Incluye puertas de vidrio y/o vidrio enmarcado, puertas ventanas que vinculan zonas habitables con sus expansiones (jardines, patios, balcones, etc.).
- Paneles laterales vidriados que puedan ser confundidos con accesos: Incluye aquellos paños adyacentes a accesos, hasta 1.50 m, de distancia desde el borde del vano, y hasta 1.50 m de

altura desde el nivel de piso.

- Áreas vidriadas de circulación en donde se transite a menos de 0.90 m del acristalamiento y cuyo borde inferior está a menos de 0.50 m del piso.
- Vidrios adyacentes a áreas resbaladizas: Incluye cortinas para duchas en baños y vidrios adyacentes a zonas resbaladizas tales como piscinas, lavaderos de automóviles, etc.
- Vidrios colocados a baja altura: Incluye vidrios a menos de 0.80 m respecto del piso.
- En edificaciones de hasta 10 metros con antepechos menores a 0.80 m en fachadas el vidrio a utilizarse tiene que ser vidrio de seguridad
- En edificaciones mayores a 10 metros de altura, el vidrio de las fachadas tiene que ser vidrio de seguridad.
- Pasamanos: Se considera pasamanos o barandas de vidrio, cuando el elemento principal o de relleno es vidrio. La altura mínima medida desde la parte superior hasta el piso terminado deberá ser 1.07 m, de tal forma que el centro de gravedad de una persona esté más bajo que el pasamano. En lugares públicos: centros comerciales, centros de estudio, instituciones públicas, centros de recreación o similares, donde la altura desde el lugar de tránsito de personas hasta el piso inferior sea mayor a 6.10 m, la altura del pasamano será por lo menos 1.22 m ([ASTM 2358](#), [ASTM E935](#)). El ensayo de rotura que se emplea se describe en [NTE INEN 2067](#) y debe cumplir con el siguiente requisito:

Altura de caída del impactador	
1200 mm	Mayor a 1200 mm
No se rompe o permanece adherido a la estructura soportante	No se rompe o se rompe en forma segura

- Piso de vidrio. Será elaborado en cristal laminado tomando en cuenta los siguientes tipos de cargas y seguridades:
  - Seguridad 1: 300 kg/m<sup>2</sup>: Cargas para pisos de departamentos y dormitorios de hoteles, pisos de oficinas, hospitales, asilos, escuelas y salas de exposición.
  - Seguridad 2: 400 kg/m<sup>2</sup>: Cargas para pisos de teatros, salas de conferencias, salas de bailes, gimnasios, iglesias, salas de exposición de más de 50 m<sup>2</sup>, tribunas de asientos fijos, almacenes, centros comerciales, edificios de uso público en general y suelos de patios en que no circulen vehículos.
  - Seguridad 3: 500 kg/m<sup>2</sup>: Cargas para talleres y fábricas con maquinarias livianas y recintos por los que se desplazan vehículos (se entenderá por maquinaria liviana la de una reacción inferior a 7500 N, por apoyo)

#### Base para cálculo y recomendaciones

1. Factor de seguridad, probabilidad de quiebre 1/1000
2. Tensión admisible a la flexión 10.0 MPa
3. Relación de largo ancho menor o igual a 2
4. Cristal apoyado en cuatro lados

5. Tipo de canto: pulido
6. Módulo de elasticidad:  $7.3 \times 10^4$  MPa
7. Densidad de vidrio:  $2.500 \text{ kg/m}^3$
8. Deformación máxima (Flecha) de los marcos porta vidrio L/500

#### Recomendaciones de diferentes configuraciones

<b>Configuración cristal laminado</b>	<b>S1(m<sup>2</sup>)</b>	<b>S2(m<sup>2</sup>)</b>	<b>S3(m<sup>2</sup>)</b>
Flotado 8 mm + PVB 0.76 + Flotado 8 mm	0.70	0.50	0.35
Flotado 10 mm + PVB 0.76 + Flotado 10 mm	1.05	0.70	0.55
Flotado 12mm + PVB 0.76 + Flotado 12 mm	1.50	1.05	0.75
Flotado 15 mm + PVB 0.76 + Flotado 15 mm	2.30	1.40	1.20
Flotado 8 mm + PVB 0.76 + Flotado 8 mm + PVB 0.76 + Flotado de 8 mm	1.00	0.95	0.65
Flotado 10 mm + PVB 0.76 + Flotado 10 mm + PVB 0.76 + Flotado de 10 mm	1.55	1.35	1.00
Flotado 12 mm + PVB 0.76 + Flotado 12 mm + PVB 0.76 + Flotado de 12 mm	2.20	1.70	1.50
Flotado 15 mm + PVB 0.76 + Flotado 15 mm + PVB 0.76 + Flotado de 15 mm	3.20	2.60	1.50

Tabla 10: Recomendaciones de diferentes configuraciones

#### Requisitos

Definidas las situaciones potencialmente peligrosas, es preciso definir el tipo de vidrio adecuado para cada caso, evaluarlo y clasificarlo. Para ello los vidrios se someten a ensayos de impacto empleando el método establecido en la Norma [INEN 2066 2067 /ANSI Z97-1](#).

El vidrio de seguridad deberá ser identificado mediante el método de marcado según se detalla en [INEN 2067](#).

#### **4.4.3. Áreas de riesgo para vidrio inclinado**

Todas las superficies vidriadas contenidas en un plano que se aparte más de  $15^\circ$  respecto del plano vertical, debajo de los cuales hay permanencia o circulación de personas, se consideran como áreas de riesgo. Como ejemplos de aplicación pueden mencionarse: techos totales o parcialmente vidriados, fachadas y/o aberturas inclinadas, coberturas, parasoles, viseras etc.

Desde el punto de vista de la seguridad, ya no estamos ante la posibilidad de impacto humano, sino de las posibles consecuencias que puedan derivar de la caída de trozos de cristal en caso de rotura de un paño inclinado.

Respecto del vidriado vertical existen varias diferencias conceptuales que deben ser observadas por el proyectista y el calculista de una obra. Desde el punto de vista estructural, además del viento, debe tenerse en cuenta la flexión por el peso propio del paño y otras consideraciones como la acumulación de agua, granizo, ceniza, hojas, ramas de árboles contiguos o nieve y la acción de cualquier otro factor atmosférico mecánico o físico que se pudiese presentar.

El vidrio utilizado debe ser un vidrio de seguridad, con un nivel de protección de acuerdo al requerimiento del proyecto. Cuando se diseña un vidriado inclinado, además de tener en cuenta las áreas de riesgo establecidas en la presente Norma, el proyectista siempre debe analizar las causas potenciales que podrían producir rotura de un vidrio inclinado, con propósito de minimizarlas o eliminarlas.

## 4.5. Sistemas de sujeción del vidrio

---

### 4.5.1. Sistemas de fachada flotante

Se define a un muro cortina como una fachada integral liviana, generalmente de aluminio en la cual se insertan paños de vidrio o placas opacas que, conjuntamente, logran cerrar exteriormente un edificio. Estas fachadas no contribuyen a aumentar la resistencia de la estructura de la edificación sino que gravitan sobre ella.

La fachada ligera puede pasar por delante de las losas (muro cortina) o puede estar situada entre losas (fachada panel).

Existen las siguientes tipologías de fachadas:

- Con perfiles de fijación mecánica de los paneles de vidrio.
- Con aplicación de silicona estructural (4 o 2 lados)
- Con sistemas de cables y arañas de fijación de cristales

### 4.5.2. Fachadas flotantes con perfiles de fijación mecánica

Sistemas diseñados bajo el concepto de una estructura reticulada, en la que los elementos verticales son continuos y resisten las cargas externas producidas por presión de viento, mientras que los elementos horizontales soportan el peso del vidrio y dan el arriostamiento requerido lateralmente. El vidrio es asegurado mediante un perfil exterior. Para evitar el contacto directo entre el vidrio y metal, en el perfil de la estructura se tienen un empaque, mientras que en el perfil exterior se instala una cinta aislante y resistente a la presión que hacen los pernos al asegurar el vidrio. Para cubrir los pernos y como elemento decorativo se instala un perfil adicional con su respectivo sello de silicona evitando filtraciones.

Los elementos constitutivos y sus características son:

#### a. Mullions o columnas

Son los elementos verticales de la estructura portante del sistema. Estarán fijados a nivel de las losas mediante anclajes. Existen diferentes tipos, en cuanto a forma y espesor. La diferencia está dada por los momentos de inercia que ofrecen cada uno de ellos y la forma como se anclan a la estructura portante del edificio. Estos elementos soportan además de su propio peso el de los elementos que se fijan a ellos y la carga de viento.

#### b. Travesaños

Son los elementos horizontales de la estructura portante del sistema. Forman, junto a los mullions, la retícula que contiene a los paños vidriados y soportan la carga de éstos.

#### c. Elementos de fijación

Aunque quedan ocultos, son la parte fundamental de los sistemas. El anclaje debe soportar el peso propio del sistema: mullions, travesaños y vidriado y, a la vez transmitir correctamente estos esfuerzos a la estructura portante del edificio. Deben absorber las dilataciones y movimientos propios de uno y otro material, deben transmitir cargas de viento y resistir otras cargas a que puedan estar sometidos. Los anclajes deben calcularse y ser provistos como parte del sistema. Existen de dos tipos: fijos y móviles

Las condiciones de carga y movimiento a que un sistema de anclaje está sometido son:

- Cargas muertas
- Cargas de viento
- Fuerzas de sismo
- Movimientos térmicos Movimientos del edificio

#### **d. Anclaje fijo**

Para carga muerta, está firmemente unido tanto al muro cortina como a la estructura del edificio, actuando como una conexión articulada. Deberá ser diseñado para resistir cargas aplicadas en una dirección, esto incluye la carga muerta de la unidad de muro, cargas producidas interior y exteriormente por el viento, las cargas actuando en una dirección que pueden ser causadas por fuerzas sísmicas y cualquier carga miscelánea que el anclaje pueda sujetar. Pueden instalarse en cada piso dependiendo de las consideraciones de diseño. Pueden ubicarse al inicio, al término o, en el caso de verticales separados dos pisos en el punto medio.

#### **e. Anclaje móvil**

Para carga de viento, restringe el movimiento debido a cargas de viento positivas o negativas que actúan en el plano normal al sistema del muro cortina. Para un correcto funcionamiento, debe permitir movimientos térmicos, deflexiones relativas piso a piso, oscilaciones del edificio, movimientos sísmicos y movimientos en el plano del muro debido a cualquier otra fuerza que pueda actuar.

#### **f. Elementos de relleno**

Se dividen en dos grupos, vidriados y paneles. El vidriado está ubicado en la parte de visibilidad al exterior. El panel por lo general está ubicado en la zona del antepecho (alfeizar) o como recubrimiento de losas y vigas entre pisos.

### **4.5.3. Fachadas flotantes con aplicación de silicona estructural**

Existen dos sistemas generales:

#### **a. Sistema de retícula (STICK)**

Se fabrica en taller la estructura de aluminio y el conjunto del cerramiento llamado panel (aluminio, cristal, etc.). Se instala la estructura vertical primero y luego la horizontal, para después proceder a instalar el panel del cerramiento, paños tanto fijos como móviles. En general, los verticales se colocan de arriba hacia abajo y los paños y travesaños de abajo hacia arriba, cuidando muy bien el plomo del sistema con respecto a la estructura. El sistema de instalación no es rígido pues sus módulos son independientes.

#### **b. Sistema de módulos pre-fabricados (FRAME)**

El panel es armado en fábrica y se recibe en obra con mullions, travesaños y paños de vidrio incluidos, y se fija a los anclajes previamente instalados. Su característica más relevante es la velocidad en el montaje y el control de calidad en el taller, especialmente en la aplicación de la silicona estructural. Es un sistema que requiere un gran nivel de precisión en cuanto a tolerancias de la obra y de la carpintería propiamente dicha. La forma de montaje puede ser de avance horizontal (cerrando plantas), o vertical (cerrando niveles).

De requerirse en el proyecto paños de apertura, estas podrán ser de diversos tipos y formas, según los requerimientos del diseño.



### c. Sello estructural

La silicona estructural es de alta resistencia y alto módulo, con capacidad de movimiento  $\pm 12.5 \%$ . En esta aplicación, la silicona es utilizada para retener los paneles de cristal a la estructura del muro y a la del 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 suficiente flexibilidad a fin de adaptarse a la expansión térmica entre el cristal y el aluminio.

Los selladores de silicona son virtualmente inalterables ante la luz UV, el frío o calor. Por lo tanto, sólo las siliconas pueden garantizar una prolongada vida útil. Las siliconas que pueden ser usadas para aplicaciones estructurales deben cumplir con la norma técnica [ASTM C1183](#) ("A structural sealant for SSG / structural sealant glazing application"). De acuerdo a esta norma, para fines de cálculo se adopta para los selladores estructurales de silicona una resistencia de diseño de 0.14 MPa (20 psi), en todas sus aplicaciones, tanto en sistemas de 2 como de 4 lados y siempre deberán utilizar selladores estructurales de cura neutra certificados por su fabricante para aplicaciones de sellado estructural.

Desde el punto de vista de instalación, el sellador retiene al cristal contra los mullions de la fachada. En cuanto a las condiciones del diseño de la junta estructural, obviamente, la junta debe ser accesible, a fin de instalar el sellador. El aluminio crudo o mil-finish no es una superficie aceptable para vidrio estructural, debido a temas relativos a la adherencia y a la durabilidad superficial.

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

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

$$b = \frac{P_v (kg/m^2) \times I_c (mm)}{14000 (kg/m^2)}$$

Dónde:

**Ancho de contacto requerido  $\geq 6$  mm.**

**$P_v$**  Carga (s) de viento de diseño ( $kg/m^2$ )

**$T_{adm}$**  Tensión de cálculo = 20 psi = 14.000

**$I_c$**  Mayor lado menor panel ( $kg/m^2$ )

**$b$**  Bite ancho de contacto (mm)

También se debe verificar que:

El espesor mínimo de la línea de pegado, es decir la distancia entre el cristal y el mullion, para todos los sellos estructurales debe ser como mínimo 6 mm. Esto es necesario para absorber los movimientos en el plano, usualmente impuestos sobre el sellador por las dilataciones y contracciones del cristal debido a los cambios de temperatura. Pero también pueden ser generados por movimientos del edificio, entre otras sollicitaciones presentes.

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

#### d. Sello climático

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

Recomendaciones generales para sellos climáticos:

- 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 mínimo de junta recomendado es de 6 mm en muchos casos es para asegurar una buena limpieza previa, una adecuada penetración y espatulado del sello.
- Profundidad del sello (medido sobre la corona del cordón de respaldo) es mínimo 3 mm hasta un máximo de 12 mm.
- La razón ancho – profundidad del cordón de sello para juntas dinámicas debe ser 2:1.
- Las juntas dinámicas necesitan que se considere el uso de ruptores de adhesión o backer rods (cordones de respaldo) para prevenir la adhesión en 3 lados, cuando el movimiento excede  $\pm 15\%$ . Si no puede utilizarse un cordón de respaldo, puede emplearse una cinta de ruptura de adherencia.
- El contacto o “bite” del sellador en cualquier sustrato debe ser mínimo de 6 mm.
- Los sellos deben ser aplicados y espatulados de modo de asegurar que el agua sea evacuada y alejada de la junta.

#### e. Vinilos y calzos

El vinyl es un elemento extruido de plástico o de goma (sintética o natural) o cualquier material que se considere adecuado para los requerimientos de la obra, que cumple la función de asentar el cristal dentro del perfil. Además sella y absorbe los movimientos propios entre el cristal y los perfiles. Deben tener una vida útil mínima de 10 años.

Los calzos son aquellos elementos que permiten transmitir las cargas entre los cristales y la perfilería de aluminio, especialmente peso propio. En general los calzos deben ser de material compatible con los selladores y tener una dureza entre 85 y 95 Shore A. Se ubicaran a L/10 de la esquina. Cubrirán el 100% del espesor para vidrios monolíticos y al menos el 50% del cristal exterior para vidrios laminados ó cámara.

#### 4.5.4. Cálculo para fachadas flotantes

Se deberán tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Cálculos de la estructura de aluminio, secciones de los perfiles, medidas máximas entre apoyos, separación entre los elementos verticales y horizontales, deberán ser realizados bajo la norma AAMA (American Architectural Manufacturers Association) y la A.A. (Aluminum Association).
- Velocidad y carga de viento será considerada de acuerdo a lo indicado en la [NEC-SE-CG](#). En ningún caso la velocidad de viento será menor a 75 Km/h. Luego de identificar la presión de viento, es necesario conocer la forma de distribución de la carga para el diseño de elementos

verticales y horizontales ([Figura 9](#) ,[Figura 10](#) [Figura 11](#)), para posteriormente calcular los esfuerzos de trabajo y esfuerzos admisibles para cada elemento, tanto para compresión como para flexión.

- Los elementos no deben presentar deformaciones permanentes apreciables frente a la presencia de viento, la flecha frontal máxima debe ser menor o igual a L/175 o 19 mm para el caso de utilizarse cristales monolíticos. Para el caso de doble vidriado hermético, la flecha máxima aceptada debe ser menor o igual a L/225. La flecha frontal no debe ser más que una deformación temporal y debe desaparecer en un período de una hora en al menos un 95% tras haber desaparecido la carga de viento.
- En general el cálculo de los elementos que forman una cortina, se efectúa solamente atendiendo a la acción del viento. No se tienen en cuenta en los cálculos la rigidez y deformación que aportan los elementos exteriores de soporte del vidrio. Se considera al elemento vertical actuando como una viga apoyada en ambos extremos, bajo la acción de una carga uniformemente repartida.
- Para el cálculo de la deformación (flecha) del elemento vertical se aplicará la ecuación siguiente

$$f = \frac{5 W L^4}{384 E I}$$

Dónde:

**f** Deformación (flecha)

**W** Carga uniformemente repartida

**L** Longitud entre apoyos del elemento vertical

**E** Módulo de elasticidad (710.000 Kg/cm<sup>2</sup>)

**I** Inercia del elemento vertical

- En el caso de los elementos horizontales es necesario considerar el peso del vidrio, para ello se considerará el vidrio apoyado en dos puntos, a una distancia determinada del extremos que se aconseja sea L/10. La deformación de cualquier elemento en el sentido vertical no excederá de L/360 ó 3.2 mm la que sea menor.
- Para el cálculo se utilizará la ecuación siguiente:

$$f = \frac{P_{vi} a}{24 E I} (3L^2 - 4a^2)$$

Dónde:

**P<sub>vi</sub>** Peso del vidrio (2.5 Kg/m<sup>2</sup> / mm)

**a** Distancia de extremos al apoyo del vidrio (L/10)

**E** Módulo de elasticidad (71000.0 MPa)

**I** Inercia del elemento horizontal

- Por otro lado, el desplazamiento de las fijaciones de los elementos de estructura al nivel de sus

conexiones con la estructura del edificio o con otros elementos estructurales debe limitarse a 1 mm y este valor será admitido como deformación residual.

- El muro cortina deberá absorber las dilataciones y contracciones provocados por el cambio de temperatura entre 0° C y + 80°C. Se tomará como coeficiente de cálculo para el aluminio  $24 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  por el diferencial de temperatura. Los perfiles deberán tener juntas de dilatación estancas que permitan la continuidad estética del elemento.
- El muro cortina se debe diseñar con la siguiente fuerza sísmica horizontal actuando en cualquier dirección:

$$F_h = Q_p C_p K_d$$

Dónde:

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

$C_p$  Coeficiente sísmico para elementos secundarios (muro cortina = 2)

$K_d$  Factor de desempeño asociado al comportamiento sísmico de elementos secundarios (superior = 1.35; bueno = 1; mínimo = 0.75)

- La fuerza sísmica vertical debe tener una magnitud igual a:

$$F_v = 0.67 (A_o P_p / g)$$

Dónde:

$A_o$  Aceleración efectiva máxima del suelo.

$P_p$  Peso total del elemento secundario, incluyendo la sobrecarga de uso y el contenido cuando corresponda  
 $g$  = Aceleración de gravedad.

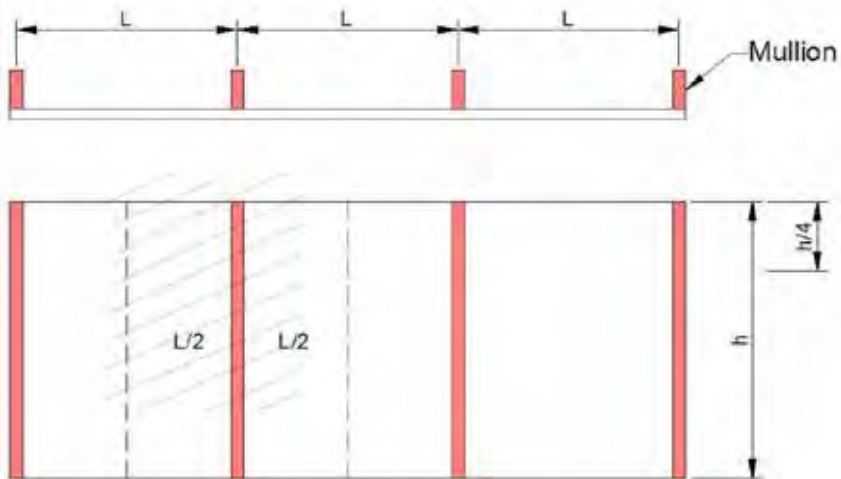


Figura 9: Forma de distribución de la carga (a)

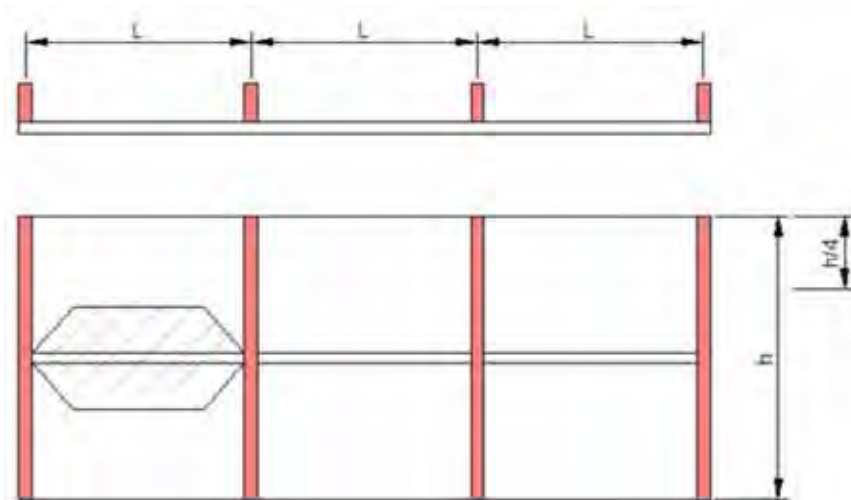


Figura 10: Forma de distribución de la carga (b)

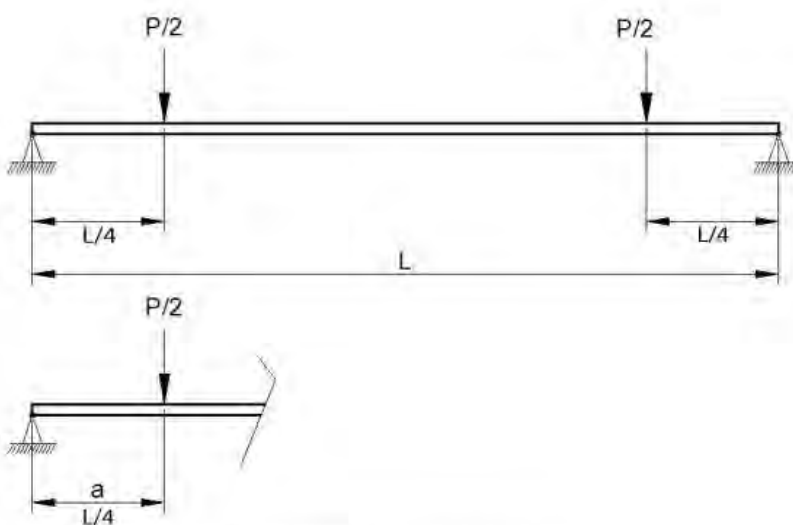


Figura 11: Forma de distribución de la carga (c)

#### 4.5.5. Fachadas con sistemas de cables y arañas de fijación de cristales

##### a. Generalidades

En general, el sistema de vidrioado estructural 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 portante y según sea el caso se les aplica una fuerza de tensión para rigidizar la estructura. Finalmente, se utiliza un sellador de silicona de alta calidad para el sellado climático entre los elementos del vidrioado.

## **b. Elementos constitutivos**

### Cruces:

Elemento rígido, que amarra las rótulas que fijan el vidrio a la estructura portante, estos elementos contienen una perforación circular o helicoidal, para la colocación de las rótulas o de los elementos de sujeción al vidrio.

- Material: aluminio ó acero inoxidable.
- Modelos:
  - 1 brazo de 180°
  - 1 brazo de 90°
  - 2 brazos de 180°
  - 2 brazos de 90°
  - 3 brazos
  - 4 brazos

### Rótulas:

Elemento que se acopla al cristal, lleva un frezado en la esquina con un agujero redondo semi-cónico que atenúa las contracciones inducidas por el peso del vidrio y las fuerzas del viento.

- Material: aluminio ó acero inoxidable
- Composición: Caja con tapa exterior
- Cabeza de rótula: Dos arandelas de material aislante
- Una arandela tubular de aluminio (se enfrentará a las deformaciones y se amoldará a las rugosidades)
- Arandelas y tuercas.

### Tensores:

Elemento que se acopla a la rótula, lleva en los extremos un terminal con un agujero redondo, helicoidal o en U cuyo comportamiento es únicamente a tensión en la estructura inducidas por el peso del vidrio y las fuerzas del viento.

- Material: aluminio ó acero inoxidable
- Composición: Cable
- Accesorio tubular:
  - Terminal de extremo con embone roscado
  - Arandelas y tuercas.

### Tipos de cables

Los cables utilizados para este sistema deberán cumplir como mínimo uno de los siguientes tipos:

- Cable rígido

Estándar (1x19) los cuales están conformados por 19 cables delgados, este cable tiene un diámetro mínimo de 2 mm hasta 25.4 mm, con una carga de rotura de 3.40 KN hasta 284.30 KN, respectivamente. Con el cable de 2 mm de diámetro se puede soportar hasta 2kg en 100m de longitud, y en el cable de 25.4 mm se puede soportar hasta 2.36 KN en 100 m de longitud. Por otro lado cuenta con un límite elástico de un 70%.

- Cable extra flexible

(7x19) Los cuales están conformados por 7 cables rígidos, este cable tiene un diámetro mínimo de 1,9mm hasta 12.5 mm, con una carga de rotura de 2.35 KN hasta 96.45 KN, respectivamente. Con el cable de 2 mm de diámetro se puede soportar hasta 14 N en 100 m de longitud, y en el cable de 25.4mm se puede soportar hasta 580 N en 100 m de longitud. Por otro lado cuenta con un límite elástico de un 60%.

### Varilla

Los cuales son varillas rígidas, estos cables tienen un diámetro mínimo de 3 mm hasta 25.4 mm, con una carga de rotura de 14.90 KN hasta 498.90 KN, respectivamente. Con el cable de 2 mm de diámetro se puede soportar hasta 81 N en 100 m de longitud, y en el cable de 25.4mm se puede soportar hasta 3973 N en 100 m de longitud. Por otro lado cuenta con un límite elástico de un 65%.

### Terminales de cables

Para los terminales de cables es importante saber lo siguiente:

- Número de cables
- Diámetro de cable o varilla
- Composición del cable
- Longitud del cable entre ejes

Tipos de terminales de cables:

- Terminal de bola prensar cable estándar
- Terminal espárrago a prensar / cable estándar
- Aislador a prensar / cable estándar
- Terminal con horquilla móvil / a prensar
- Terminal con horquilla móvil / montaje manual
- Terminal horquilla móvil / horquilla móvil

## **4.6. Cálculo y verificación de la perfilería de ventanas y otros elementos de carpintería**

---

En el caso de los elementos de carpintería, sólo se entienden solicitados a viento los perfiles interiores, entendiéndose por estos los que no se sitúan en el perímetro. Los perfiles del perímetro se suponen solidarios con el muro, por lo que no necesitan ser comprobados. Esta afirmación será cierta en la medida en que la fijación de la carpintería a los muros sea la adecuada.

El procedimiento consiste en determinar la rigidez mecánica del perfil objeto del estudio bajo la hipótesis de una carga trapezoidal de presión igual a la presión de cálculo debida al empuje del viento, y una flecha máxima admisible. El perfil seleccionado debe tener una rigidez mecánica mayor o igual a la determinada.

En la [Figura 9](#) se pueden observar las distintas configuraciones posibles que puede adoptar un perfil resistente, con su correspondiente área trapezoidal de influencia.

Los perfiles se pueden considerar con sus extremos apoyados o empotrados. Dado que la solución de apoyo simple está del lado de la seguridad (por arrojar una deformación mayor que el caso de empotramiento), se va a considerar en todo momento que los extremos del perfil son apoyos simples.

### **4.6.1. Carga soportada por un solo perfil, caso de la pilastra que divide un paño fijo**

En este caso, el perfil considerado deberá de tener un momento de inercia igual a la suma de ambos momentos (lado A más lado B).



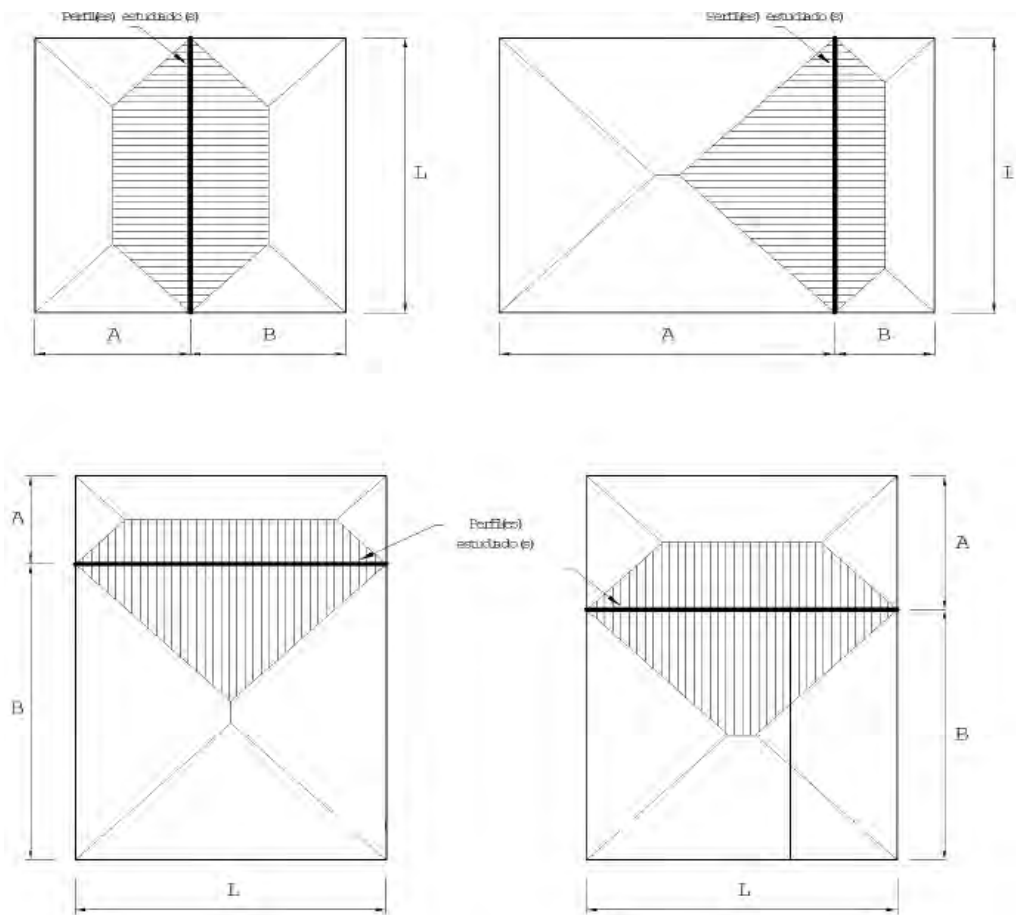


Figura 12: Configuraciones que posibles que puede adoptar un perfil resistente

#### 4.6.2. Carga soportada por dos perfiles

Si como ocurre con las dos hojas centrales de una ventana de corredera, ambos perfiles se encuentran unidos a todo lo largo, se controlará que la suma de los momentos de inercias de ambos perfiles de hoja (lado A más lado B), iguale o supere el momento de inercia total exigido. Si ambos perfiles no están unidos en toda su longitud, como suele ocurrir en los perfiles centrales "T" y "Z" de las ventanas abatibles de dos hojas, se controlará que el momento de inercia de cada perfil (lado A y lado B) supere el momento exigido para cada lado de la ventana por separado.

Con estas consideraciones respecto a los apoyos y la distribución de cargas, las expresiones que relacionan todos estos parámetros son las siguientes:

- Momento de inercia necesario para el lado A:

$$\text{Si } A > L: IA = \frac{P \cdot L^5}{2,4 \cdot 10^{12} \cdot E \cdot f}$$

$$\text{Si } A \leq L: IA = \frac{P \cdot L^4 \cdot A}{3,84 \cdot 10^{13} \cdot E \cdot f} \cdot \left[ 25 - 40 \cdot \left( \frac{A}{2 \cdot L} \right)^2 + 16 \cdot \left( \frac{A}{2 \cdot L} \right)^4 \right]$$

Dónde:

<b>P</b>	La presión de cálculo expresada en Pa (ó N/m <sup>2</sup> )
<b>I</b>	Inercia del elemento horizontal
<b>L</b>	Longitud entre apoyos del elemento vertical
<b>E</b>	Módulo de elasticidad (710.000 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>L, A y B</b>	Las dimensiones según las figuras anteriores en mm

- Momento de inercia necesario para el lado B:

$$\text{Si } B > L: I_B = \frac{P \cdot L^5}{2,4 \cdot 10^{12} \cdot E \cdot f}$$

$$\text{Si } B \leq L: I_B = \frac{P \cdot L^4 \cdot B}{3,84 \cdot 10^{13} \cdot E \cdot f} \cdot \left[ 25 - 40 \cdot \left( \frac{B}{2 \cdot L} \right)^2 + 16 \cdot \left( \frac{B}{2 \cdot L} \right)^4 \right]$$

Dónde:

<b>I<sub>A</sub>, I<sub>B</sub></b>	Los momentos de inercia de los perfiles del lado A y B en cm <sup>4</sup>
<b>P</b>	La presión de cálculo expresada en Pa (ó N/m <sup>2</sup> )
<b>L, A y B</b>	Las dimensiones según las figuras anteriores en mm
<b>E</b>	El módulo de elasticidad (o módulo de Young) del material
<b>F</b>	La flecha relativa del elemento considerado (en general L/175, L/225)

El módulo de elasticidad (o módulo de Young) **E** depende del material, pudiendo adoptarse los valores siguientes:

- Aleaciones de aluminio: 70.000 MPa
- Acero: 210.000 MPa
- PVC: 3.200 MPa
- Madera: entre 10.000 y 12.500 MPa (según la madera).
- Perfiles mixtos (con refuerzos añadidos o en los que coincidan varios materiales, como por ejemplo PVC con refuerzo de acero o aluminio con refuerzo de acero): se debe utilizar un valor del producto **E·I** (rigidez mecánica) equivalente que dependerá del tipo de unión (solidaria o no) que exista entre los perfiles que componen el perfil compuesto, y que debe ser convenientemente justificado por el proyectista. La flecha máxima admisible dependerá del tipo de acristalamiento utilizado, pudiendo como norma general adoptar los valores de L/175 para cristales laminados o monolíticos y L/225 para paneles de vidrio cámara, siendo L la longitud del elemento considerado. En cualquier caso, la flecha máxima admisible no deberá superar los 19 mm siendo una deformación temporal.
- Adicionalmente se puede establecer una clasificación mínima exigible a las carpinterías en

función de la presión de cálculo debida al viento y el tipo de flecha máxima admisible. Las clasificaciones normalizadas son las presentadas en la [Tabla 11](#)

Velocidad de viento (Km/h)	Presión de viento (Pa)	Flecha adm. Monolítico o laminado L/175	Flecha adm. Vid cámara L/225
75	272	ECVB1	ECVC1
90	391	ECVB2	ECVC2
105	532	ECVB3	ECVC3
120	695	ECVB4	ECVC4

Tabla 11: Clasificaciones normalizadas

A partir de la presión de cálculo, se seleccionará el escalón de presión inmediatamente superior de la segunda columna, y a partir del tipo de flecha máxima admisible (tipo de acristalamiento) se busca la clasificación en la columna correspondiente. Estas clasificaciones llevan implícitos unas exigencias mayores, ya que para que una ventana obtenga una determinada clasificación no basta con que cumpla los criterios de flecha máxima asociados a la misma, sino que también debe mantener sus prestaciones bajo cargas repetidas (50 ciclos de presión-succión a una presión del 50% de la presión de clasificación sin desperfectos y manteniendo una permeabilidad que no exceda en un 20% la permeabilidad obtenida antes del ensayo) y presión de seguridad (ráfagas de viento de valor 1.5 veces la presión de clasificación).

## 5. Apéndice normativo complementario:

---

### Estructura metálica de aluminio

Los perfiles que componen los sistemas de fachadas flotantes y carpintería de aluminio en general, deberán ser de aleación y temple [AA6063-T5](#), [AA6063T6](#) y ser extruidos bajo la norma [NTE INEN 2250](#), [ASTM B-221](#) (Especificación para la extrusión de piezas de aluminio) y [ASTM B-244](#) (Espesor de la capa anódica y pintura). En ningún caso se pondrá en contacto una superficie de aluminio con otra superficie de hierro ó acero, deberá haber un separador entre las superficies consistente en una hoja de polivinilo de 150 micrones de espesor en toda la superficie de contacto. Se evitará siempre el contacto directo del aluminio con el cemento, cal ó yeso.

### Silicona estructural

Sellador de silicona mono ó bi-componente, fabricado bajos las normas, [ASTM D 412](#) (Método de ensayo para determinar la tensión de elementos termoplásticos y vulcanizados), [ASTM D 2240](#) (Método de ensayo para determinar la durabilidad de cintas plásticas), [ASTM C 719](#) Método de ensayo para determinar la adhesión y adhesión elastomérica de juntas de silicona) y [ASTM C 1135](#) (Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en selladores de silicona estructural). La aplicación de estos selladores se rige bajo la norma [ASTM C 1184-91](#) (Especificación para selladores de silicona estructural), garantizando total adhesión de los vidrios a la estructura de aluminio, mediante rigurosas pruebas de laboratorio.

### Sellado climático

Siliconas fabricadas bajo las normas [ASTM D 2240](#) (Método de ensayo para determinar la durometría), [ASTM D 412](#) (Método de ensayo para determinar la tensión de elementos termoplásticos y vulcanizados), [ASTM D 624](#) (Máximo estiramiento).

### Empaques

Burletes extruidos de Cloruro de Polivinilo o EPDM u otro material que tienen la función de sellante. En caso de rotura del vidrio, el empaque sellado ayudará a que el vidrio se no desprenda de la estructura portante.

### Cinta adherente

Cinta de doble contacto para uso estructural deberá ser fabricada bajo la norma [ASTM D-882](#) (Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión de cintas plásticas) y [ASTM D-2240](#) (Método de ensayo para determinar la durometría de cintas plásticas).

### Espaciadores estructurales

En EPDM extruido, bajo norma de fabricación TR- 442E1/4>> F.C. y [ASTM D-412](#) (Método de ensayo para determinar la tensión de elementos termoplásticos y vulcanizados). El espaciador tiene una función de amortiguación en caso de movimientos sísmicos y gravitatorios. Obligatoriamente debe ser instalado en todo sistema de anclaje de los diferentes tipos de fachadas flotantes.

### Anclajes y otros

Todos los elementos de fijación de la estructura de aluminio de la fachada flotante a la estructura portante del edificio, podrán ser de aluminio aleación [AA6063-T5](#), [AA6063-T6](#), [AA6061-T6](#) ó acero A-36 zincado ó pintado con pintura anticorrosiva, según indiquen los planos del proyecto. Los pernos de sujeción podrán ser de aluminio, de acero SAE 2, SAE 5 con tratamiento de zinc ó cadmio ó de acero inoxidable.