



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES TÉCNICAS DE AISLACIÓN
TÉRMICA EXTERIOR EN EL MERCADO CHILENO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DANIELA CECILIA BURGOS MORA

**PROFESOR GUÍA:
ROLF SIELFELD CORVALÁN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE
CARLOS AGUILERA GUTIÉRREZ**

**SANTIAGO DE CHILE
AGOSTO 2008**



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES TÉCNICAS DE AISLACIÓN
TÉRMICA EXTERIOR EN EL MERCADO CHILENO**

DANIELA CECILIA BURGOS MORA

COMISIÓN	NOTA (LETRAS)	NOTA (NÚMEROS)
ROLF SIELFELD CORVALÁN PROFESOR GUÍA	_____	_____
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE PROFESOR CO-GUÍA	_____	_____
CARLOS AGUILERA GUTIÉRREZ PROFESOR INTEGRANTE	_____	_____

SANTIAGO DE CHILE
AGOSTO 2008

*A mi papá, a mi mamá
y a mis hermanos, Francisco, Pablo y Gabriel.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a todas las personas que me apoyaron durante mis estudios, a mi papá, a mi mamá, a mis hermanos, a toda mi familia y a Felipe.

Agradezco, también, a Rolf Sielfeld, quién confió en mí para la realización de este proyecto, y al profesor Gabriel Rodríguez que estuvo siempre dispuesto a ayudarme en lo que fuese necesario.

Otro agradecimiento importante es para la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, CDT, y su programa de becas para memoristas, con el cual se financió esta memoria.

Por último, esta memoria no se podría haber llevado a cabo sin la ayuda del Grupo Técnico del Manual de Aislación Térmica Exterior y de su coordinadora, Muriel Hernández.

ÍNDICE

ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN DEL INFORME FINAL	xiv
SIMBOLOGÍA.....	xvi
SUBÍNDICES.....	xix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 ALCANCES.....	3
1.3 CONCEPTOS TÉRMICOS.....	4
1.3.1 Confort térmico.....	4
1.3.2 Conductividad térmica de los materiales	6
1.3.3 Materiales aislantes.....	10
1.3.4 Ventajas del ahorro energético.....	14
1.4 HUMEDAD AMBIENTAL.....	15
1.4.2 Permeabilidad de los materiales.....	17
1.4.3 Condensación superficial.....	20
1.4.4 Condensación en elementos de la envolvente.....	22
2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS	24
2.1 CONSIDERACIONES SOBRE EDIFICIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES	24
2.1.1 Inercia térmica.....	24
2.1.2 Ventanas y otras superficies vidriadas.....	29
2.1.3 Aislamiento térmico	35
2.1.4 Ventilación.....	38
2.2 AISLACIÓN POR EL EXTERIOR DEL CERRAMIENTO	42
2.2.1 El aislamiento por el exterior del cerramiento	43
2.2.2 Ventajas de la aislación exterior	43
2.2.3 Sistema de Aislación Térmica Exterior y Acabado.....	44

2.2.4	Sistema de Fachadas Ventiladas	49
3	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	53
3.1	CONSIDERACIONES ACERCA DEL SISTEMA EIFS	53
3.1.1	Sistemas de fijación.....	54
3.1.2	Instalación de placas aislantes	54
3.1.3	Techos y pendientes	56
3.1.4	Sofitos	57
3.1.5	Subterráneos.....	58
3.1.6	Juntas.....	60
3.1.7	Guarniciones y cubrejuntas	63
3.1.8	Cabeceros, peanas y botaguas	64
3.1.9	Formas y espesores	69
3.1.10	Penetraciones.....	71
3.1.11	Objetos sobrepuestos en el muro	72
3.1.12	Barreras contra el fuego	74
3.1.13	Barreras de vapor	74
3.1.14	Reacondicionamiento de edificios.....	76
3.2	CONSIDERACIONES EN FV	79
3.2.1	Características de la capa interior del cerramiento	79
3.2.2	Sistema soportante y fijaciones estructurales	83
3.2.3	Juntas.....	85
3.2.4	Paramento o revestimiento exterior	85
3.2.5	Accesorios.....	86
4	CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	88
4.1	FACTORES CLIMÁTICOS	88
4.1.1	Humedad.....	89
4.1.2	Lluvia.....	92
4.1.3	Soleamiento	95
4.2	DURABILIDAD	97
4.2.1	Mantenimiento del EIFS	98
4.2.2	Mantenimiento de FV	98
4.3	PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO	99

4.4	IMPACTO AMBIENTAL.....	104
4.5	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	106
4.5.1	Arquitectura en EIFS	106
4.5.2	Arquitectura en FV.....	108
5	APLICABILIDAD	110
5.1	FACTORES DE INTERÉS	110
5.1.1	Ubicación geográfica	110
5.1.2	Entorno físico	111
5.1.3	Uso del edificio	111
5.1.4	Condiciones climáticas	112
5.1.5	Materiales constructivos	112
5.1.6	Características arquitectónicas.....	113
5.2	UBICACIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN EN LA ENVOLVENTE	114
5.2.1	Tipos de aislaciones	114
5.2.2	Variables	115
5.2.3	Guía para la ubicación del aislante en el cerramiento.....	119
5.3	RECOMENDACIONES DE USO SEGÚN LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA ENVOLVENTE.....	121
6	APLICACIONES PRÁCTICAS	122
6.1	GASTO ENERGÉTICO	122
6.2	CÁLCULO DE LA AISLACIÓN NECESARIA.....	129
6.3	CÁLCULO DE RESISTENCIA EN CASO DE MURO HÚMEDO	131
6.4	Relación entre resistencia y flujo de calor	131
7	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	134
7.1	APRECIACIONES FINALES	135
7.2	PROYECTOS FUTUROS	138
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
9	GLOSARIO	143
	ANEXOS	149
A.	NORMATIVA TÉRMICA.....	149
A.1.	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones	149
A.2.	Normas Térmicas	153

B. NORMATIVA CONTRA INCENDIOS	155
C. TABLAS CLIMÁTICAS	159
D. CÁLCULO DE GASTOS ENERGÉTICOS	164
ÍNDICE ALFABÉTICO	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-a. Ubicación de la aislación en la envolvente.....	2
Fig. 1-b. Flujo de calor en un elemento complejo formado por capas.....	8
Fig. 1-c. Diagramas de conductividad en materiales de diferentes características	13
Fig. 1-d. Temperaturas en un cerramiento envolvente exterior.....	20
Fig. 1-e. Temperaturas en elementos de baja y alta resistencia térmica.	21
Fig. 2-a. Termogramas tomados en el exterior y en el interior de un edificio, para un retardo ideal y un amortiguamiento severo de la onda, debido a la inercia térmica.....	26
Fig. 2-b. Efecto de la inercia térmica en el tiempo.	27
Fig. 2-c. Radiación solar y el efecto de almacenamiento producto de la inercia térmica.	28
Fig. 2-d. Transmitancia en vidrio monolítico, en DVH y en sistema de doble ventana.....	32
Fig. 2-e. Dimensiones de ventana utilizada como ejemplo.	33
Fig. 2-f. Esquema de perfiles utilizados en los cálculos.	34
Fig. 2-g. Posición del aislamiento térmico en un cerramiento no altera su resistencia total.....	36
Fig. 2-h. Combinaciones en la posición de la aislación.....	37
Fig. 2-i. Componentes del sistema de barrera, en estructura pesada	46
Fig. 2-j. Componentes del sistema de barrera, en estructura liviana.....	46
Fig. 2-k. Componentes del sistema con drenaje	47
Fig. 2-l. Ventilación de FV.	49
Fig. 2-m. Instalación de FV	50
Fig. 2-n. Componentes de una FV.	51

Fig. 3-a. Ubicación de las placas aislantes en EIFS de barrera (fijación por medio de adhesivo)	55
Fig. 3-b. Ubicación de las placas aislantes en EIFS con drenaje (fijación mecánica).....	55
Fig. 3-c. Esquema de “sofrito”	57
Fig. 3-d. Solución “a”, encapsulamiento de la placa aislante.	59
Fig. 3-e. Solución “b”, traslape de la lámina de EIFS en la fundación.....	59
Fig. 3-f. Tratamientos de juntas estéticas en EIFS.....	61
Fig. 3-g. Diseños alternativos de canterías o juntas estéticas.....	61
Fig. 3-h. Temperaturas en un muro aislado exteriormente.....	62
Fig. 3-i. Detalle constructivo de encuentro con vanos, sistema EIFS de barrera.....	66
Fig. 3-j. Detalle constructivo de encuentro con vanos, sistema EIFS con drenaje.....	66
Fig. 3-k. Detalle constructivo de refuerzo de esquina en EIFS	67
Fig. 3-l. Disposición de refuerzos en esquinas en sistema EIFS de barrera.....	68
Fig. 3-m. Disposición de refuerzos en esquinas en sistema EIFS con drenaje.	68
Fig. 3-n. Ejemplo de penetración y tratamiento.....	72
Fig. 3-o. Ejemplo de objeto sobrepuesto en EIFS.....	73
Fig. 3-p. Tipologías de fachadas ventiladas	80
Fig. 3-q. Ejemplo de perfil utilizado en FV.....	81
Fig. 3-r. FV en instalación.....	83
Fig. 3-s. Ejemplos de perfiles utilizados en FV.	84
Fig. 3-t. Pasos para la ejecución de una FV.....	87
Fig. 5-a. Configuraciones en la ubicación de la aislación en la envolvente.....	115
Fig. 6-a. Pérdidas por envolvente	123

Fig. 6-b. Planta de la vivienda tomada como ejemplo, casa básica de 1
piso..... 124

Fig. 6-c. Gráfico de comportamiento del flujo térmico en relación a la
resistencia total y al espesor del aislante. 132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-a. Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica, según NCh853.....	11
Tabla 1-b. Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica, no contemplados en la NCh853.....	12
Tabla 1-c. Humedad del aire. Temperatura de rocío	17
Tabla 1-d. Coeficiente de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ) y resistividad al vapor (r_v) de diversos materiales de construcción.....	19
Tabla 2-a. Calor específico de algunos materiales de construcción.....	25
Tabla 2-b. Ejemplos de retardo térmico de materiales constructivos con respecto a su espesor.	29
Tabla 2-c. Conductividad térmica de materiales de perfilería de ventanas	31
Tabla 2-d. Transmitancia térmica calculada de ventanas.	34
Tabla 2-e. Renovaciones de aire por hora para diferentes lugares.....	40
Tabla 4-a. Resistencia al fuego requerida para elementos verticales perimetrales de construcción	101
Tabla 5-a. Localización y descripción del clima por zonas.....	116
Tabla 5-b. Ubicaciones recomendables de la aislación según el uso del edificio y la zona climática.	120
Tabla 6-a. Materiales constructivos.	124
Tabla 6-b. Cálculo de resistencias y transmitancias de estructuras livianas.	125
Tabla 6-c. Transmitancias térmicas.....	126
Tabla 6-d. Transmitancias térmicas lineales.	127
Tabla 6-e. Pérdidas térmicas y gastos energéticos	127
Tabla 6-f. Grados días utilizados para cada zona térmica.	128
Tabla 6-g. Gasto energético por unidad de superficie, según zona térmica.....	128
Tabla 6-h. Características de las envolventes estudiadas.	129
Tabla 6-i. Cumplimiento de la resistencia mínima establecida en la OGUC para cada zona térmica.	130

Tabla 6-j. Resistencia adicional necesaria para cumplir con la OGUC, según zona térmica, en $m^2 \cdot K/W$	130
Tabla 6-k. Características de la envolvente.....	131
Tabla 6-l. Espesor aislante, resistencia térmica total, flujo de calor y ahorro energético.....	133

RESUMEN DEL INFORME FINAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

POR : DANIELA BURGOS MORA
FECHA : 13/10/2009
PROFESOR GUÍA : SR. ROLF SIELFELD C.

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES TÉCNICAS DE AISLACIÓN TÉRMICA
EXTERIOR EN EL MERCADO CHILENO

Los sistemas de aislación térmica exterior no sólo permiten un mejor aprovechamiento energético en los edificios, sino que además disminuyen las condensaciones superficiales e intersticiales, protegen la superficie exterior de la envolvente de las inclemencias del clima, disminuyen los puentes térmicos, permiten utilizar los beneficios de la inercia térmica de los elementos constructivos y se pueden instalar fácilmente en edificios nuevos como en edificios reacondicionados.

El objetivo del presente trabajo de título es generar las bases técnicas necesarias para que los actores relevantes del mercado de la construcción puedan diseñar y especificar soluciones constructivas de aislación térmica exterior. Un instrumento para lograr dicho objetivo es desarrollar guías de soluciones técnicas de aislación térmica exterior, donde se especifican las distintas alternativas que el mercado puede ofrecer para aislar exteriormente la envolvente de los edificios, indicando claramente para qué tipo de estructuras sirve cada tipo de aislación, cuándo y cómo se debe colocar la aislación y cuán efectiva es. Las soluciones de aislación térmica exterior estudiadas cumplen como mínimo con las exigencias impuestas por la reglamentación térmica nacional vigente, superándolas en muchos casos.

La investigación se centró en determinar los sistemas de aislación térmica colocados por el exterior de los muros ocupados en países desarrollados y que se pudiesen aplicar en Chile. Luego se estudia cada sistema por separado, siempre teniendo en cuenta la reglamentación térmica vigente en nuestro país. El desarrollo de la guía técnica de soluciones de aislación térmica exterior se llevó a cabo en conjunto con el área de Eficiencia Energética de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción.

Para llevar a cabo la redacción y validación del documento se trabajó con un grupo técnico el cual revisaba, analizaba y avalaba los avances entregados mensualmente para estos efectos. Éste estaba conformado por 20 empresas del mercado de la aislación térmica en Chile, conformando así una contraparte técnica que le otorga respaldo y consenso al documento final.

El resultado final es un manual consensuado de buenas prácticas donde se dan a conocer los diferentes tipos de aislaciones térmicas exteriores junto a sus ventajas y desventajas, siendo una herramienta de consulta para los actores relevantes de la construcción que les permite elegir, de acuerdo a criterios técnicos, que solución ocupar según las necesidades de cada proyecto. Se prevé además que dicho manual pueda ser consultado a través de una plataforma web, la cual será administrada por la CDT. Con ello se espera ampliar, de forma gratuita, el acceso a los conocimientos técnicos contenidos en el manual a un mayor número de personas.

TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

Mortero modificado	: Material inicial en estado húmedo del EIFS, también conocido como "mezcla base", mezclado de fábrica o en el lugar de construcción, que es utilizado para encapsular e incrustar la malla de refuerzo. Algunas mezclas base pueden ser usadas como adhesivos para pegar el panel aislante al sustrato.
CDT	: Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción.
EIFS	: Sigla en inglés con que se denomina el "Sistema de aislación térmica exterior" ("Exterior Insulation Finish System"). Este sistema también es conocido como SATE (abreviación del nombre del sistema en español)
EPS	: Panel aislante de poliestireno expandido. La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene.
INN	: Instituto Nacional de Normalización.
FV	: Abreviatura utilizada para denominar el sistema de Fachada Ventilada, sistema de aislación térmica exterior.
Capa de terminación	: Capa final o de acabado del sistema de aislación térmica exterior, EIFS, la cual aporta color y textura a la superficie exterior.
Lámina	: Combinación de mezcla base (base coat), malla de refuerzo y una mano de acabado (finish coat) del EIFS.
OGUC	: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
PUR	: Sigla con que se denomina la espuma rígida de poliuretano expandido.

SIMBOLOGÍA

δ	:	Permeabilidad o difusividad al vapor de agua $\left[\frac{g \cdot m}{MN \cdot s} \right]$
$\frac{\phi}{t}$:	Flujo térmico en el tiempo [J/s]; [W]
φ	:	Flujo térmico [W]
λ	:	Conductividad térmica [W/(m·K)]
μ	:	Factor de resistencia a la difusión de vapor (adimensional)
ϑ	:	Temperatura absoluta [K]
Δ	:	Permeanza $\left[\frac{g}{MN \cdot s} \right]$
ΔP	:	Diferencia de presión entre las cara de un material [MPa]
ΔT	:	Diferencia de temperatura [K]; [°C] <ul style="list-style-type: none">○ Oscilación diurna○ Diferencia de temperatura entre ambiente interior y exterior
e	:	Espesor [m]
h	:	Coeficiente superficial de transferencia térmica $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
i	:	Flujo de vapor $\left[\frac{g \cdot s}{m^2} \right]$
n	:	Renovaciones de aire por hora (adimensional)
pe	:	Peso específico del aire a la temperatura T_e [kg/m ³]
q	:	Densidad de flujo térmico $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

- r_v : Resistividad $\left[\frac{MN \cdot s}{g \cdot m} \right]$
- t : Temperatura de la superficie de la envolvente [K]
- t_R : Temperatura de punto de rocío [°C]
- C_e : Calor específico $\left[\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right]$ o $\left[\frac{J}{g \cdot K} \right]$ o $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$
- GD : Grados días [°C] o [K]
- $G_{energético}$: Gasto energético por metro cuadrado de superficie $\left[\frac{kWh \cdot año}{m^2} \right]$
- G_{V1} : Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente $\left[\frac{W}{m^3 \cdot K} \right]$
- G_{V2} : Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales $\left[\frac{W}{m^3 \cdot K} \right]$
- H : Altura de piso a cielo [m]
- HA : Humedad absoluta $\left[\frac{g(H_2O)}{m^3} \right]$
- HA_{sat} : Humedad absoluta de saturación $\left[\frac{g(H_2O)}{m^3} \right]$
- $\%HR$: Humedad relativa [%]
- M : Masa [kg]
- Q : Capacidad térmica [kcal] o [J]
- Q_{inf} : Pérdida de calor por infiltración [W]

- R : Resistencia térmica $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- R_s : Resistencia térmica de la capa de aire superficial $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- R_v : Resistencia a la difusión de vapor de agua $\left[\frac{MN \cdot s}{g} \right]$
- S : Superficie [m²]
- T : Temperatura del aire [°C] o [K]
- U : Transmitancia térmica $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
- U_l : Transmitancia térmica lineal $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
- V : Volumen del recinto cerrado por la envolvente considerada [m³]
- V_{inf} : Volumen del aire que ingresa al local por infiltración $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

SUBÍNDICES

<i>a</i>	: aire
<i>c.a.</i>	: con aislación
<i>e</i>	: exterior
<i>fl</i>	: fluido
<i>i</i>	: interior, material i
<i>j</i>	: capa j
<i>s.a.</i>	: sin aislación
<i>t</i>	: total
<i>w</i>	: muro

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Hoy más que nunca el mundo toma conciencia de la importancia del ahorro de energía, dada la creciente escasez de combustibles.

Dentro del ámbito de la construcción, este fenómeno tiene mucha importancia dado el gran consumo de energía que se genera en la construcción de un edificio como a lo largo de su vida útil, por ello hoy se estudian diversos métodos que ayuden a ahorrar energía en las distintas etapas de la vida de un edificio. En Chile, en el año 1996, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo estableció un Programa de Reglamentación sobre Acondicionamiento Térmico de Viviendas que contempló tres etapas:

1ª Etapa: aislación de techos

2ª Etapa: aislación de muros, ventanas y pisos.

3ª Etapa: certificación térmica

En el año 2000 entró en vigencia la primera etapa y en enero del año 2007 comenzó a regir la segunda, ambas a través de modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). La nueva reglamentación térmica contenida en el artículo 4.1.10 de la OGUCⁱ estipula que todas las viviendas deberán cumplir con ciertas exigencias de acondicionamiento térmico consistentes principalmente en aislar la envolvente de las viviendas según la zona en que se construya. Para este efecto el país se divide en siete zonas térmicas.

ⁱ Ver Anexos, Normativa Térmica.

El aislamiento térmico de edificios tiene por finalidad principal ahorrar energía de calefacción o de refrigeración para conseguir niveles adecuados de confort térmico a la vez que evita el deterioro de materiales al disminuir, por ejemplo, las condensaciones. Además, el aislamiento térmico permite mejorar la calidad de vida de las personas ya que disminuye la proliferación de microorganismos, tales como hongos, causantes de mal olor y de diversas enfermedades.

Existen diferentes soluciones para aislar la envolvente de un edificio, las cuales se pueden clasificar según la ubicación del aislante en la envolvente (ver figura 1-a), así se tiene:

- Aislamiento por la cara interior de la envolvente
- Aislamiento al interior de la envolvente (entre las capas del muro o cerramiento)
- Aislamiento por la cara exterior de la envolvente

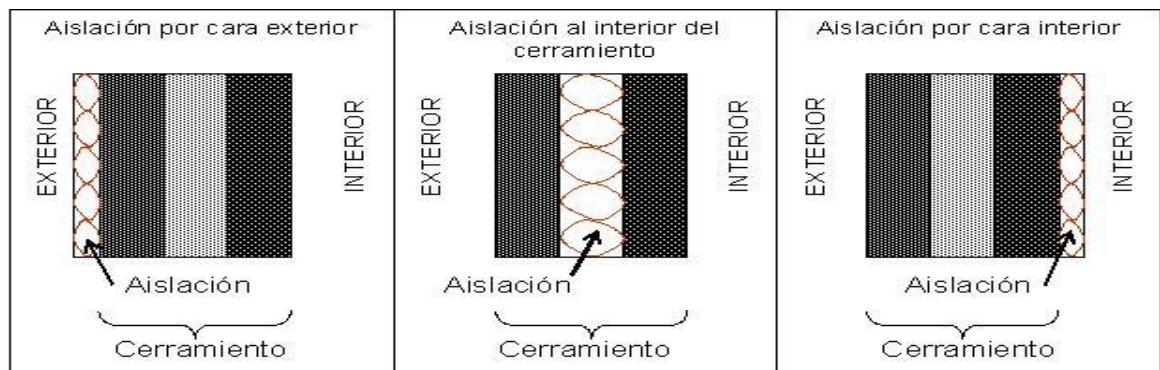


Fig. 1-a. Ubicación de la aislación en la envolvente.

Cada configuración, en cuanto a la ubicación de la aislación, tiene ventajas y desventajas las cuales variarán de acuerdo a las características propias del edificio, al uso que se le dé, a la ubicación física del edificio, al clima del lugar, etc.

1.2 ALCANCES

El presente estudio pretende dar a conocer los diferentes tipos de aislaciones exteriores junto con sus ventajas y desventajas, de modo de constituirse en una herramienta de consulta para arquitectos, ingenieros y constructores, con el fin de que puedan elegir e acuerdo a criterios técnicos qué solución ocupar según las necesidades de cada proyecto.

En el presente estudio se abordará el tema del aislamiento térmico exterior enfocándose en las características y las aplicabilidades de aquellos sistemas capaces de dar una solución eficiente en cuanto a aislamiento, tanto para construcciones nuevas como para reacondicionamiento de edificios, sean edificios de uso privado (edificios residenciales, oficinas, etc.) o de uso público (escuelas, hospitales, edificios gubernamentales, entre otros), contemplando edificios de baja, media y gran altura.

Al abordar el tema de la aislación se tratarán las posibilidades de utilización de la aislación exterior, interior e incluida interiormente de la envolvente, ya que el interés fundamental al investigar este tema es dar a conocer alternativas eficientes en cuanto a aislación térmica de edificios, dejando en claro dónde y cuándo se pueden utilizar y cuándo no son recomendables. De esta manera, al final de este trabajo se incluye un capítulo denominado “Aplicabilidad” en el cual se indica qué tipo de aislación se debe utilizar dependiendo de la ubicación del edificio, del uso que se le dé y de otros factores tales como su materialidad, clima y arquitectura.

1.3 CONCEPTOS TÉRMICOS

La aislación térmica de una vivienda influye directamente en el confort térmico de sus ocupantes, ya que protege a la vivienda de las condiciones exteriores adversas permitiendo que al interior de ésta se produzcan condiciones ambientales más agradables. Pero ¿qué es el confort térmico y de qué factores depende?

1.3.1 Confort térmico

Se entiende por confort térmico la condición en la que las personas se sienten cómodas, es decir, en equilibrio con el ambiente térmico que les rodea. Esta condición depende de la temperatura del aire, de las temperaturas de los muros del recinto habitado, de la velocidad del aire y de su humedad. Además influye la vestimenta, la actividad física que se desarrolle, la alimentación, la edad, y hasta factores subjetivos como el color y tipo de decoración, entre otros.

El organismo humano tiene un sistema termorregulador que mantiene su temperatura en 37°C. Para ello su metabolismo (producto de los alimentos que se ingieren) genera energía en cantidad tal que hace frente a las pérdidas térmicas del cuerpo más la energía gastada en actividad física. Si esas pérdidas se salen de cierto rango hacen que el organismo se sienta cada vez más incómodo, tanto más cuanto más distante esté del equilibrio térmico. Si la temperatura ambiente sube demasiado (climas tropicales) el organismo transpira. La evaporación del sudor “roba calor” a la piel, equilibrando la situación. Por el contrario, si la sensación de temperatura es baja (climas fríos) el organismo tiene que gastar más energía interna. Pero este mecanismo es relativamente más lento que la transpiración y más costoso para la biología del organismo.

El calor que recibe el cuerpo desde el exterior tiene dos orígenes: temperatura del aire circundante y temperatura radiante de los muros y objetos que nos rodean. Esta sensación térmica se ve afectada por la humedad del aire (mejor dicho por su sequedad) y por el movimiento del aire alrededor del cuerpo. Este último factor es influenciado por la vestimenta que dificulta las pérdidas por convección y radiación. Por eso en verano se prefieren ropas livianas y en invierno gruesas. En resumen, la sensación térmica, llamada comúnmente temperatura de confort, depende de 4 factores bien definidos a saber: temperatura del aire, temperatura de radiación de los elementos circundantes, humedad del aire y velocidad del mismo. De estos factores el único que no depende del aire es la temperatura de radiación. Se ha comprobado en la práctica que esta empieza a influir desfavorablemente cuando se aparta más de 3°C en más o en menos de la temperatura del aire. Por ejemplo, si la temperatura del aire es 20°C, la temperatura superficial interior no debe ser inferior a 17°C ni superior a 23°C. De lo contrario se siente frío o calor, respectivamente.

Se han encontrado pequeñas diferencias en la temperatura de confort entre mujeres y hombres, entre niños y adultos, entre gente que se alimenta principalmente de carbohidratos o de proteínas, etc. Sin embargo estas diferencias no superan los 2°C siempre que la humedad no cambie ni tampoco la velocidad del aire. Variaciones de la velocidad del aire y de la humedad relativa hacen variar la temperatura de confort, de modo que se produce una “sensación térmica” distinta.

El movimiento del aire influye porque activa la evaporación del sudor de la piel con lo cual esta se enfría, dando la impresión que la temperatura ambiente es menor. En cambio, la humedad del aire influye inversamente porque a mayor humedad hay más dificultad para evaporar ese sudor, con lo cual la sensación térmica sube. En el interior de los edificios se debe considerar un movimiento del aire inferior a 1 m/s y una humedad relativa comprendida entre 35 y 75%. Bajo estas condiciones el organismo humano se siente en equilibrio térmico cuando el aire a su alrededor es de aproximadamente $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Las condiciones climáticas influyen directamente en la energía necesaria para conseguir condiciones de confort. Las más importantes son:

- Temperaturas medias, máximas y mínimas del aire.
- Humedad relativa máximas y mínimas del aire
- Radiación solar.
- Dirección y velocidad del viento.
- Niveles de nubosidad.
- Pluviometría.

Estas variables ambientales se deben tener en cuenta al momento de proyectar un edificio ya que influyen directamente en el tipo de aislación a utilizar.

1.3.2 Conductividad térmica de los materiales

La envolvente de un edificio pierde calor por transmisión cuando el ambiente exterior es más frío (condición de invierno) y viceversa (condición de verano). El calor se puede transmitir de tres maneras:

- por conducción
- por convección
- por radiación

Al aislar un edificio lo que se hace es impedir que el calor se transmita por conducción desde el exterior al interior en verano y desde el interior hacia el exterior en invierno, manteniendo así un ambiente con temperatura de confort; si no se consigue hay que gastar energía. Para lograrlo en la envolvente se deben utilizar materiales aislantes que son los que tienen una baja conductividad térmica y un significativo espesor.

La conductividad térmica de un material es la propiedad que hace que este transmita calor desde el lado de mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Se define como la cantidad de calor que un material transmite en condiciones unitarias de volumen, tiempo y diferencia de temperatura.

La conductividad térmica, bajo flujo térmico constante, se puede expresar como:

$$\lambda = \frac{\phi \cdot e}{t \cdot S \cdot \Delta T}$$

Si se multiplica el inverso de la conductividad térmica, conocido como resistividad, por el espesor del material se obtiene la resistencia térmica de éste:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

La resistencia térmica, entonces, se define como la propiedad de un elemento material de oponerse al paso del calor.

En la superficie de cualquier elemento se forma una capa de fluido que se mueve como flujo laminar o se encuentra en reposo, a través de la cual se transfiere calor en forma de conducción. La capacidad de transferencia de calor de forma convectiva entre el fluido y el muro está dada por el coeficiente superficial de transferencia térmica, h , de la siguiente manera:

$$h = \frac{q}{\vartheta_{fl} - \vartheta_w}$$

La resistencia térmica superficial está dada por:

$$R_s = \frac{1}{h}$$

Dicha resistencia dependerá de diversos factores entre los cuales se tienen la viscosidad del fluido, la velocidad de éste, etc.

La resistencia térmica total de un elemento complejoⁱⁱ formado por capas, se calcula sumando la resistencia térmica de cada capa que forma parte del elemento, las resistencias térmicas de las capas de aire adheridas a las superficies interior y exterior del elemento, además de la resistencia de las cámaras de aire que hubiesen en el interior del elemento.

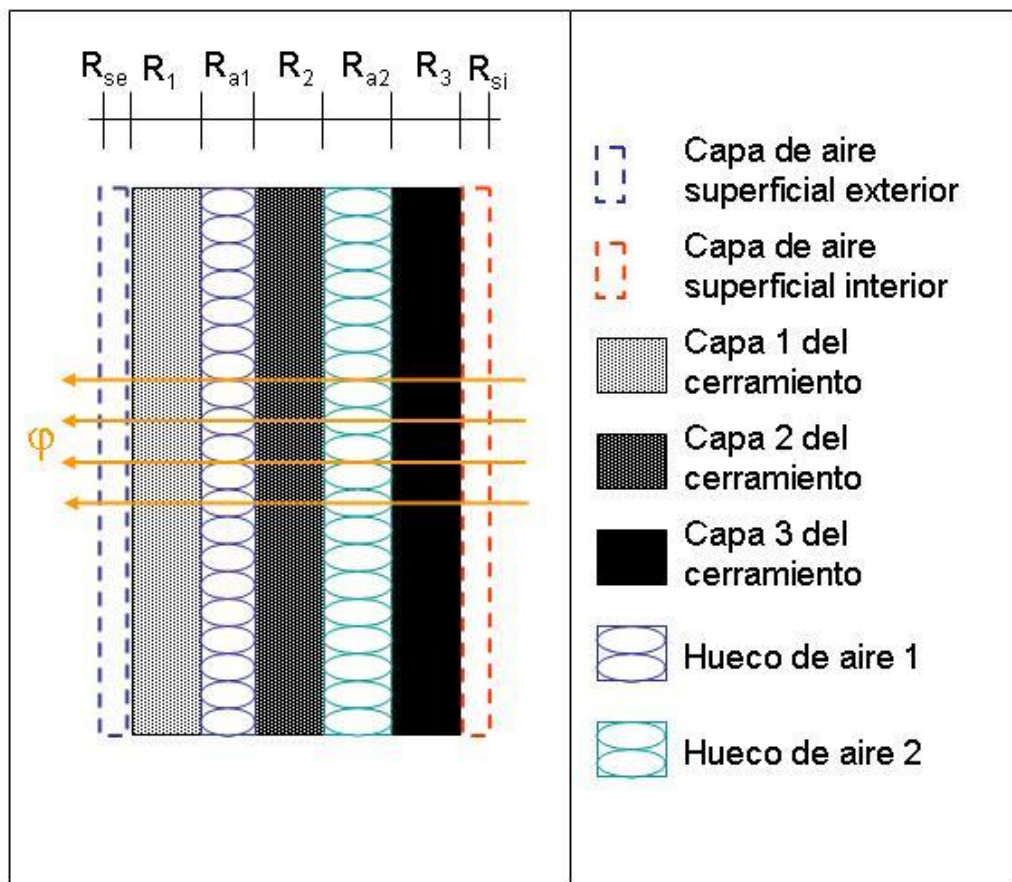


Fig. 1-b. Flujo de calor en un elemento complejo formado por capas.

ⁱⁱ Se denomina “elemento complejo” aquel elemento conformado por la unión de diversos elementos y materiales.

En la figura 1-b se muestra el esquema de un elemento complejo, en él R_1 , R_2 y R_3 representan las resistencias térmicas de las capas materiales 1, 2 y 3 respectivamente, R_{a1} y R_{a2} son las resistencias de las capas de aire 1 y 2 presentes en el interior del elemento y R_{se} , R_{si} son las resistencias de las capas de aire adherido por las caras exterior e interior respectivamente, mientras que φ es el flujo de calor, en este caso, de interior a exterior. La resistencia térmica total de un elemento se calcula, entonces, como la suma de las resistencias de los materiales involucrados más las resistencias de las capas de aire adheridas a las superficies del elemento más las resistencias de los huecos de aire, de la siguiente manera:

$$R_t = R_{si} + \sum_1^n R_i + \sum_1^m R_{aj} + R_{se}$$

Donde $\sum_1^n R_i$ es la suma de las resistencias de las capas materiales componentes y $\sum_1^m R_{aj}$ es la suma de las resistencias de los huecos de aire al interior de elemento, en el caso de la figura sería:

$$\sum_i R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4.$$

$$\sum_j R_{aj} = R_{a1} + R_{a2}$$

Para el cálculo de la resistencia térmica de un elemento se deben tomar en cuenta las resistencias de todos los materiales que componen el elementoⁱⁱⁱ.

ⁱⁱⁱ La norma NCh853 propone no tomar en cuenta los materiales cuyo espesor sea menor a 3mm.

La transmitancia térmica U de un elemento es el inverso de la resistencia térmica total y representa el flujo de calor que pasa por el elemento por m^2 y diferencia de temperatura unitaria.

El flujo de calor que pasa a través de un elemento, en una dirección dada por unidad de superficie, se puede determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$\varphi = U \cdot \Delta T = \frac{1}{R_t} \cdot \Delta T$$

La suma de todos los flujos φ de la envolvente multiplicados por sus respectivas superficies permite determinar el gasto energético total para mantener una cierta temperatura al interior de un recinto si se tiene una temperatura exterior dada.

Dado que las diferencias de temperatura exterior e interior varían lentamente durante el día es que las ecuaciones señaladas se consideran a flujo constante.

1.3.3 Materiales aislantes

Todo material aislante presenta cierta resistencia al paso de calor. Para ser más específico, se puede considerar como aislante térmico cualquier material con un bajo coeficiente de conductividad térmica, es decir, aquellos materiales que presenten una resistencia importante al flujo de calor.

El aire en reposo o quieto, a 0°C , presenta una conductividad térmica muy baja de $0,024 \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}^{\text{iv}}$, siendo el “material” más aislante que se puede considerar. Por esta razón, los buenos materiales aislantes son aquellos capaces de retener aire quieto

^{iv} Referencia: NCh853.Of91.

en su interior, es decir, materiales porosos que encapsulan el aire, impidiendo que este circule libremente.

Algunos ejemplos de materiales aislantes se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 1-a. Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica*, según NCh853.

Material	Densidad aparente [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	Material	Densidad aparente [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042	Plancha de corcho	200	0,047
	50	0,041		300	0,058
	70	0,038		400	0,066
	90	0,037		500	0,074
	110	0,04	Poliestireno expandido	10	0,043
	120	0,042		15	0,0413
Lana mineral granulada	20	0,069		20	0,0384
	30	0,06	30	0,0361	
	40	0,055	Poliuretano expandido	25	0,0272
	60	0,048		30	0,0262
	80	0,044		40	0,025
	100	0,041		45	0,0245
	120	0,042		60	0,0254
140	0,042	70	0,0274		
Perlita expandida	90	0,05	Vermiculita en partículas	99	0,047
Plancha de corcho	100	0,04	Vermiculita expandida	100	0,07

*Los valores de conductividad térmica están dados para una temperatura media de 20°C, con los materiales en estado seco. (La conductividad térmica varía con respecto a la temperatura, a la humedad y a la densidad).

Fuente: NCh853.Of91.

Tabla 1-b. Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica, no contemplados en la NCh853

Material	Densidad aparente [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]
Lana de vidrio*	10	0,044
	11	0,0424
	12	0,041
	13,1	0,04
*Informe de Ensaye IDIEM N°409.927		

Fuente: Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica.

Al disponer de un sistema aislante para la envolvente de un edificio se deben considerar como materiales aislantes del muro estructural los productos de baja conductividad térmica que forman el sistema aislante. Todos los componentes de la envolvente aportan una cierta resistencia térmica, por ello se consideran como aislantes por definición, siempre y cuando tengan un espesor igual o superior a 3mm ya que en estos materiales laminares el valor del numerador ($R = e/\lambda$) es muy pequeño ($\leq 0,003m$).

En general los materiales de alta densidad son más conductores que los de más baja densidad, excepto algunos compuestos por alveolos, tales como poliestireno expandido y poliuretano expandido, o materiales fibrosos como la lana mineral (ver tablas 1-a y 1-b).

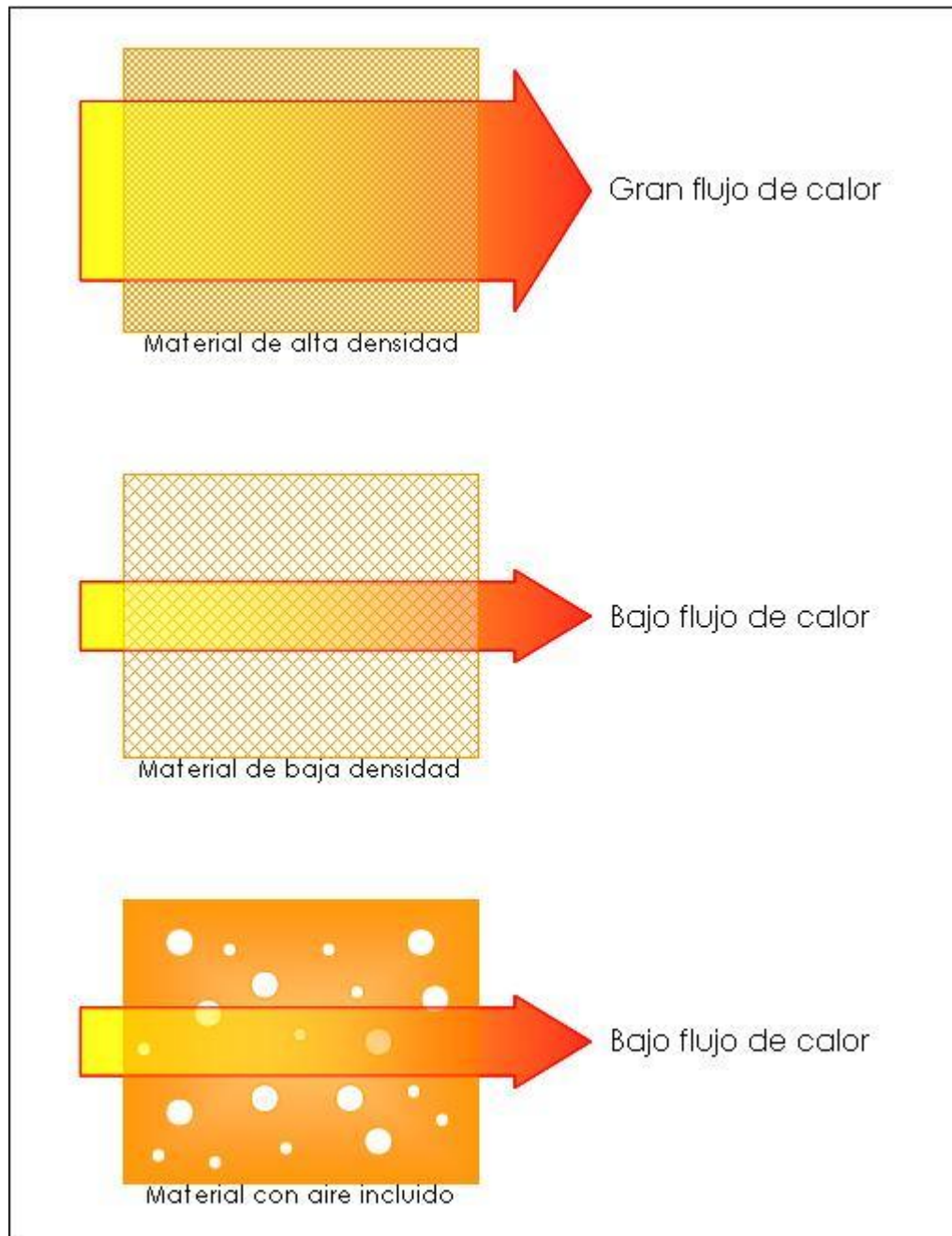


Fig. 1-c. Diagramas de conductividad en materiales de diferentes características

1.3.4 Ventajas del ahorro energético

Los gastos de calefacción y/o refrigeración pueden disminuirse apreciablemente si se dificultan las fugas de calor a través de muros y techos, siempre que se aisle adecuadamente su envolvente, lo que se consigue por medio de materiales aislantes térmicos que actúan pasivamente, como ocurre con los sistemas de aislación exterior.

Estas aislaciones, si son adecuadamente diseñadas, cumplen varias funciones, a saber:

- a) Frenan las fugas de calor ayudando a ahorrar energía y mantener la temperatura de confort.
- b) Permiten conseguir temperaturas superficiales radiantes de los muros envolventes necesarias para el mejor confort (como se dijo entre 17 y 23°C).
- c) Evita, por la misma razón anterior, que se produzca condensación en los muros perimetrales previniendo sus efectos nocivos para el edificio y para la higiene ambiental.
- d) Disminuye las manchas que se producen en las terminaciones interiores a causa de “puentes térmicos”.
- e) Elimina los puentes térmicos formados por estructuras más o menos conductoras (caso de perfiles metálicos, vigas, pilares u otros) en muros envolventes y en techos.
- f) Ayuda a mantener un mejor equilibrio higrotérmico con el ambiente, mejorando los niveles de salud, al disminuir la ocurrencia de enfermedades.
- g) A nivel país disminuyen los gastos en salud.
- h) A nivel país disminuye el gasto de energéticos en viviendas, especialmente petróleo y gas que son importados.

1.4 HUMEDAD AMBIENTAL

La presencia excesiva de humedad del aire interior de los edificios afecta directamente el bienestar y el confort térmico, además de producir daños tales como:

- Deterioro de terminaciones: pinturas, papeles, estucos, enchapes, molduras, pisos, etc.
- Deterioro estructural: corrosiones, erosiones, hinchamiento y putrefacción de maderas, etc.
- Disminución de la aislación térmica de los elementos perimetrales.
- Aumento de gastos de calefacción.
- Ambientes insanos que atentan contra la salud de sus moradores.
- Inconfort térmico.
- Aumento de los gastos de mantención.
- Desvalorización de la propiedad.
- Menor vida útil del inmueble.

Se distinguen cinco tipos principales de humedades que afectan un edificio:

- Humedad de construcción: residual luego de la construcción.
- Humedad proveniente del suelo: absorción de agua presente en el suelo que asciende por capilaridad de los elementos constructivos.
- Humedad climática o atmosférica: presencia de vapor de agua en la atmósfera a causa del clima del lugar.
- Humedad de condensación: producto de la presencia de aire cargado de vapor de agua en el interior de los recintos.
- Humedad accidental: humedad proveniente de filtraciones, accidentes, entre otras.

De estos tipos de humedades la más frecuente y, a la vez difícil de evitar es la que se produce por condensación.

Para entender el fenómeno de condensación, se deben tener claros los conceptos de “humedad de saturación” y de “punto de rocío”, y para ello se deben estudiar algunos conceptos de aire húmedo.

El aire es una mezcla de gases compuesta principalmente de nitrógeno (79%), oxígeno (casi 21%) y pequeñas cantidades variables de agua en forma de vapor. La cantidad de vapor de agua que puede contener el aire depende de la temperatura (y de la presión). Cuando el aire no puede admitir más vapor se dice que está saturado. El grado de saturación se expresa en porcentaje de humedad relativa. El contenido de vapor de agua que contiene el aire se llama “humedad absoluta” y se puede expresar en gramos de agua por metro cúbico de aire, [gH₂O/m³].

La humedad relativa se puede expresar como:

$$\% HR = \frac{HA}{HA_{sat}} \cdot 100$$

Para que la cantidad de vapor de agua presente en el aire a una temperatura dada sea igual a la humedad de saturación, la temperatura del aire debería bajar a la llamada “temperatura de punto de rocío” (t_R). Así, el punto de rocío es la temperatura, a la cual, en un aire que se enfría, comienza la formación de niebla, o también de rocío sobre los objetos; si la temperatura del aire se mantiene por sobre el punto de rocío no se producirá condensación. La temperatura de punto de rocío depende, entonces, de la temperatura del aire y de su humedad absoluta.

Tabla 1-c. Humedad del aire. Temperatura de rocío

t _R [°C]	Humedad del aire [g H ₂ O/m ³]	t _R [°C]	Humedad del aire [g H ₂ O/m ³]
-5	3,37	14	12,03
-4	3,64	15	12,82
-3	3,92	16	13,59
-2	4,22	17	14,43
-1.	4,55	18	15,31
0	4,89	19	16,25
1	5,23	20	17,22
2	5,60	21	18,25
3	5,98	22	19,33
4	6,39	23	20,48
5	6,82	24	21,68
6	7,28	25	22,93
7	7,76	26	24,24
8	8,28	27	25,64
9	8,82	28	27,09
10	9,39	29	28,62
11	10,01	30	30,31
12	10,64	31	31,89
13	11,32	32	33,64

Fuente: “Las humedades en la construcción”, F. Ulsamer.

1.4.2 Permeabilidad de los materiales

La permeabilidad o difusividad al vapor de agua, δ , se refiere a la propiedad de permitir la difusión del vapor de agua a través de un material y es la cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material de espesor dado por unidad de área, unidad de tiempo y de diferencia de presión parcial de vapor de agua.

La permeabilidad de un material se calcula como:

$$\delta = \frac{1}{\mu} \cdot 0,185$$

Donde μ es un factor adimensional de la resistencia a la humedad del material en estudio. μ se conoce como “factor de resistencia a la difusión de vapor” y se define como la relación entre la permeabilidad del aire y la del material en estudio; por definición el factor de resistencia a la difusión de vapor del aire es $\mu_{aire} = 1$.

El inverso de la permeabilidad se conoce como resistividad, $r_v = \frac{1}{\delta}$.

Conociendo la permeabilidad de un material se puede calcular su “resistencia a la difusión del vapor de agua”, $R_v = \frac{e}{\delta}$, o su inverso la “permeanza”, $\Delta = \frac{1}{R_v}$.

La resistencia al vapor de agua de un elemento compuesto se calcula como la sumatoria de las resistencias de los materiales que componen el elemento, es decir:

$$R_v = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\delta_i} = \frac{1}{0,185} \cdot (\mu_1 \cdot e_1 + \mu_2 \cdot e_2 + \dots + \mu_n \cdot e_n)$$

El flujo de vapor, i , se calcula como:

$$i = \frac{\Delta P}{R_v} = \frac{\delta \cdot \Delta P}{e}$$

La permeabilidad de los materiales se debe determinar siguiendo los procedimientos indicados en la norma NCh852: “Acondicionamiento ambiental – Materiales de construcción – Determinación de la permeabilidad al vapor de agua”. Esta norma especifica un método para determinar el traspaso de vapor de agua a través de materiales de construcción. Establece además, los términos que sirven para precisar los fenómenos y propiedades en relación con traspaso de vapor de agua a través de los materiales.

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, una tabla con valores de μ y r_v para diferentes materiales de construcción.

Tabla 1-d. Coeficiente de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ) y resistividad al vapor (r_v) de diversos materiales de construcción.

Material	μ	r_v [MN·s/(g·m)]
Aglomerado de corcho, placa de	16,7	92,0
Aglomerado de madera, tablero	2,7 ... 10,9	15,0 ... 60,0
Aire en movimiento	0,0	0,0
Aire en reposo	1,0	5,5
Aluminio, hoja de	90909000,0	50000000,0
Cartón-yeso, placa de	8,2 ... 10,9	45,0 ... 60,0
Contrachapado de madera	272,7 ... 1090,9	1500,0 ... 6000,0
Enfoscado de cemento	18,2	100,0
Enlucido de yeso	10,9	60,0
Espuma elastomérica	8727,3	48000,0
Hormigón celular curado al vapor	14,0	77,0
Hormigón con espumantes	3,6	20,0
Hormigón en masa	5,5 ... 18,2	30,0 ... 100,0
Ladrillo cerámico hueco	5,5	30,0
Ladrillo cerámico macizo	10,0	55,0
Ladrillo cerámico perforado	6,5	36,0
Ladrillo silicocalcáreo	8,4 ... 22,9	46,0 ... 126,0
Lana de roca	1,7 ... 1,9	9,6 ... 10,5
Lana de vidrio	1,6	9,0
Maderas	8,2 ... 13,6	45,0 ... 75,0
Metales	∞	∞
Piedra natural	27,3 ... 81,8	150,0 ... 450,0
Poliestireno expandido	25,1 ... 46,0	138,0 ... 253,0
Poliestireno extruido	95,1 ... 190,4	523,0 ... 1047,0
Polietileno reticulado	1745,5	9600,0
Polietileno, lámina de	418181,4	2300000,0
Poliuretano aplicado in situ, espuma de	13,8 ... 14,9	76,0 ... 82,0
Poliuretano, panel de espuma de	17,5 ... 33,5	96,0 ... 184,0
Vidrio	∞	∞
Vidrio celular	∞	∞

Fuente: "Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental", F. Javier Nelia G. y César Bedoya F.

Cabe mencionar que los materiales fibrosos o granulares presentan alta permeabilidad al vapor.

1.4.3 Condensación superficial

El fenómeno de condensación se produce generalmente en invierno, esto porque la temperatura exterior es menor a la temperatura interior. En un ciclo de invierno, con unas temperaturas exterior, T_e , e interior, T_i , definidas, se verifica siempre que el flujo de calor es constante, es decir:

$$\varphi = U \cdot \Delta T = Cte. \Rightarrow (T_i - t_i) \cdot \frac{1}{R_{si}} = (t_i - t_e) \cdot \frac{1}{R} = (T_e - t_e) \cdot \frac{1}{R_{se}}$$

En la figura 1-d se aprecia un esquema de las diferentes temperaturas presentes en torno a un elemento de cerramiento compuesto de varias capas.

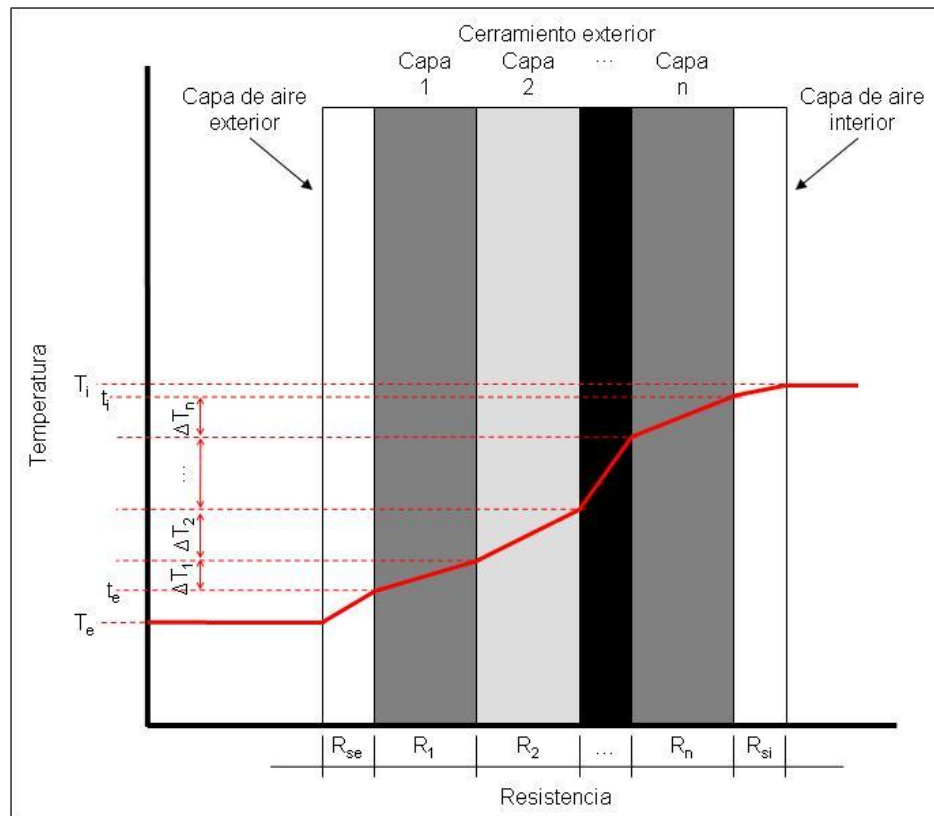


Fig. 1-d. Temperaturas en un cerramiento envolvente exterior.

Dado que se pueden considerar R_{si} y R_{se} constantes y el espesor del cerramiento es también constante, las diferencias $T_i - t_i$ sólo dependen del valor de la suma de las resistencias de las capas que componen el cerramiento, $R = \sum R_i$. Si el cerramiento no dispone de aislamiento, la resistencia térmica R suele ser pequeña y siendo el valor $T_i - t_i$ relativamente importante, se tiene por tanto un fenómeno de “pared fría”, es decir, la superficie de la cara interior del cerramiento se encuentra a una temperatura menor que la temperatura del aire interior y por ende sujeta a que se produzca condensación.

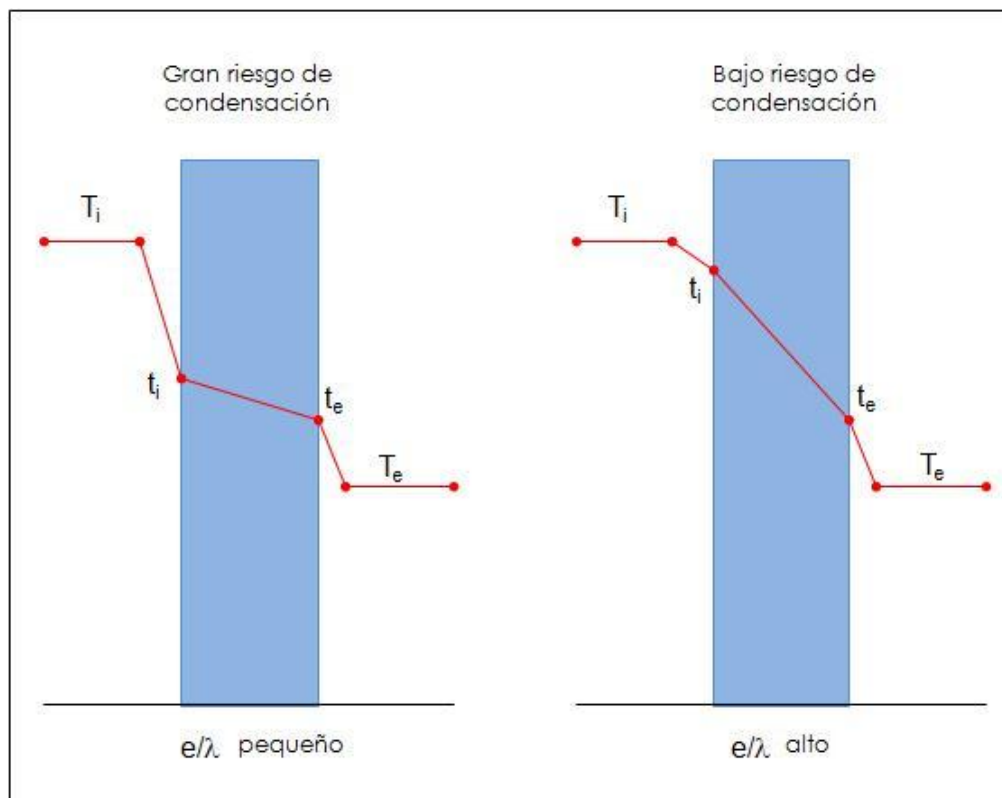


Fig. 1-e. Temperaturas en elementos de baja y alta resistencia térmica.

En el ambiente interior existirá una humedad relativa dada para la temperatura T_i , con su temperatura de rocío “ t_R ” correspondiente. Si $t_i < t_R$, se producirán condensaciones en la superficie del local. Para evitar esta situación, la única solución posible es aumentar el valor de t_i para que $t_i > t_R$, lo que supone que $T_i - t_i$ sea más

bajo; para ello, habrá que aumentar el valor de R del cerramiento, mediante la adición del aislamiento térmico adecuado. Ésta es la razón por la que los vidrios de las ventanas se empañan con tanta facilidad.

Téngase presente que $(t_e - T_e)$ no es constante porque depende del viento que si es mayor de 10 [km/h] “arrasa” con la capa de aire exterior haciendo su resistencia nula.

1.4.4 Condensación en elementos de la envolvente

Por regla general, la cantidad de vapor contenida en el ambiente de mayor temperatura, es más elevada que la contenida en el ambiente más frío; luego, existe una diferencia de presiones de vapor que tratan de equilibrarse mediante el flujo de vapor a través de las porosidades de la envolvente, en el sentido de la zona de de mayor presión a la de menor, es decir, del lado caliente hacia el lado frío.

Todos los elementos ofrecen una cierta resistencia al paso del vapor del agua, por lo que la cantidad de vapor que pasa a través de cada uno de ellos en el cerramiento es menor que la incidente. La característica que mide la resistencia al paso del vapor de agua es la “resistividad al vapor”. Muchos materiales de obra son porosos y su resistividad es baja mientras que los materiales impermeabilizantes tienen una resistividad elevada, y constituyen las llamadas “barreras de vapor”.

Si el vapor de agua en su difusión pasa por zonas de la envolvente donde la temperatura es inferior a la temperatura de punto de rocío correspondiente, se producirán condensaciones en esa zona, aumentando el valor del coeficiente de transmisión térmica de los materiales y reduciéndose la capacidad aislante de los mismos.

La solución general más eficiente es recurrir a “barreras de vapor” ya que, situadas en la cara más caliente de la envolvente, reducen notablemente el contenido de vapor que pasa a través de ella, evitando las condensaciones. Para que esta barrera sea realmente efectiva se debe considerar que sea continua, es decir, de existir traslapes estos deben ser sellados y se debe verificar que la permeabilidad al vapor de agua de la barrera esté comprendida entre 10 y 230 [MN·s/g], según NCh852.

Algunas de las barreras de vapor más utilizadas son:

- Filtros asfálticos
- Membranas de fibras de polietileno
- Papel impregnado
- Papel metalizado
- Pinturas al esmalte.

2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

2.1 CONSIDERACIONES SOBRE EDIFICIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

Para el diseño de un edificio confortable y energéticamente eficiente se deben considerar los siguientes factores:

- Inercia térmica o capacidad del edificio para acumular calor.
- Capacidad del edificio para captar energía radiante solar a través de superficies vidriadas.
- Capacidad y calidad del aislamiento térmico para mantener calor sin pérdidas inútiles.
- Ventilación mínima para obtener ambientes higiénicamente confortables.

Existen diversas formas para disponer ventanas, masa y aislamiento que ayudan a conseguir una mejor eficiencia energética y temperatura confortable. Hay que considerar distintas soluciones según se trate de diseñar un nuevo edificio o reacondicionar uno existente.

2.1.1 Inercia térmica

La aislación térmica o la dificultad mayor o menor con que el calor atraviesa un muro, no es el único ni siempre principal recurso del cual se puede echar mano para conseguir un adecuado ambiente interior. Si las fluctuaciones diarias de temperatura son fuertes, no obstante que la media es normal, junto con emplear aislación se puede aprovechar la capacidad térmica del muro, de modo que frente a una onda térmica él absorba tal cantidad de calor que demore mucho en transferirlo al interior.

La fluctuación térmica diaria u onda térmica se acerca a una senoide con periodo de 24 horas, de este modo tenemos que si el muro envolvente absorbe calor, retrasará la onda en un cierto tiempo, proporcional a la capacidad térmica del muro. Además de ello la onda es amortiguada en amplitud, suavizando las fuertes variaciones de la temperatura exterior.

Puesto que la capacidad térmica de un muro es la cantidad de calor por unidad de masa (Q) que puede absorber, y ésta viene dada por:

$$Q = M \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Tabla 2-a. Calor específico de algunos materiales de construcción

Sustancia	C _e	
	[kcal/(kg·°C)]	[J/(g·K)]
Asfalto	0,220	0,920
Ladrillo	0,201	0,840
Concreto	0,210	0,880
Vidrio, sílice	0,201	0,840
Granito	0,189	0,790
Mármol, mica	0,210	0,880
Arena	0,199	0,835
Suelo	0,191	0,800
Madera	0,115	0,480

Considerando que para un cierto lugar e intervalo de tiempo, Δt medio puede ser constante (Santiago en verano Δt ≈ 18°C) y para materiales de construcción, como ladrillo y concreto, C_e es aproximadamente 0,2 [kcal/(kg·°C)] ó 0,84 [J/(g·K)], entonces:

$$Q = 3,6 \cdot M [kcal] = 15,12 \cdot M [kJ]$$

Es decir, la capacidad térmica sólo depende de la masa. Cuanto más masivo sea un edificio, mayor inercia térmica y mejor comportamiento en regiones de gran oscilación diaria de temperatura.

Eligiendo adecuadamente el espesor y tipo de materiales de una envolvente (muros perimetrales, pisos ventilados y techo) se puede desplazar la onda térmica de tal manera que cuando el exterior pase por el máximo en el interior se tenga el mínimo y viceversa (figura 2-a). Tal condición es la ideal.

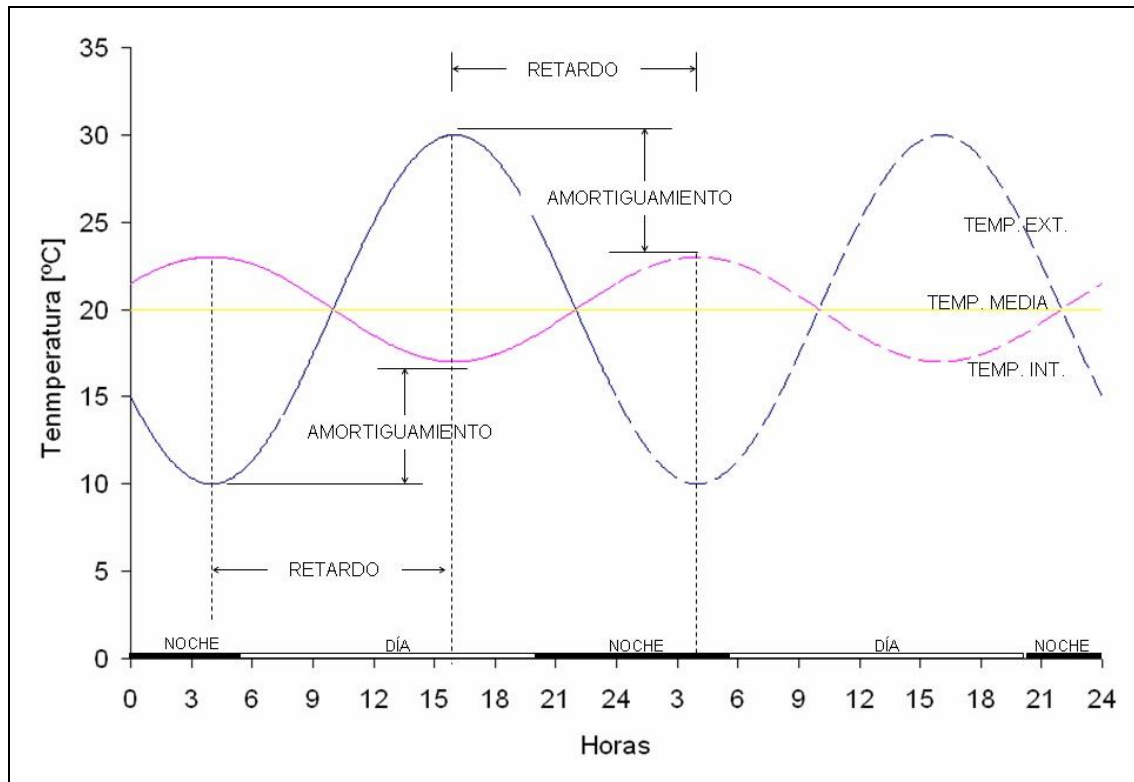


Fig. 2-a. Termogramas tomados en el exterior y en el interior de un edificio, para un retardo ideal y un amortiguamiento severo de la onda, debido a la inercia térmica^v.

Como se puede ver, uno de los más importantes beneficios de la inercia térmica es la posibilidad de moderar temperaturas extremas interiores. Edificios diseñados para aprovechar las ventajas de la inercia térmica no tienen las mismas temperaturas extremas que pueden presentarse los edificios de estructuras livianas. Una envolvente con gran inercia térmica ayuda a conservar la temperatura del interior de los locales habitables con mayor estabilidad lo largo del día, entregando el calor acumulado en

^v Gráfico tomado de la Revista del IDIEM, "El clima chileno y su relación con la construcción habitacional", Gabriel Rodríguez J. Diciembre – 1972.

horas de la noche. La inercia térmica mantiene un hogar tibio en invierno y fresco en verano, siempre que se considere cierta ventilación nocturna, y ayuda a crear un ambiente más cómodo para vivir.

A la inversa, la principal ventaja de edificios ligeros es que se calientan más rápido cuando se enciende la calefacción o se enfrían pronto al encender el aire acondicionado, ahorrando energía, siempre y cuando tengan un sistema de aislación adecuado. Esto se puede aplicar a oficinas y recintos que sólo son utilizados durante parte del día tales como escuelas, comercio y similares, pero no a edificios permanentemente ocupados como son viviendas, hospitales, hoteles, etc. en los cuales la inercia de gran masa es ventajosa.

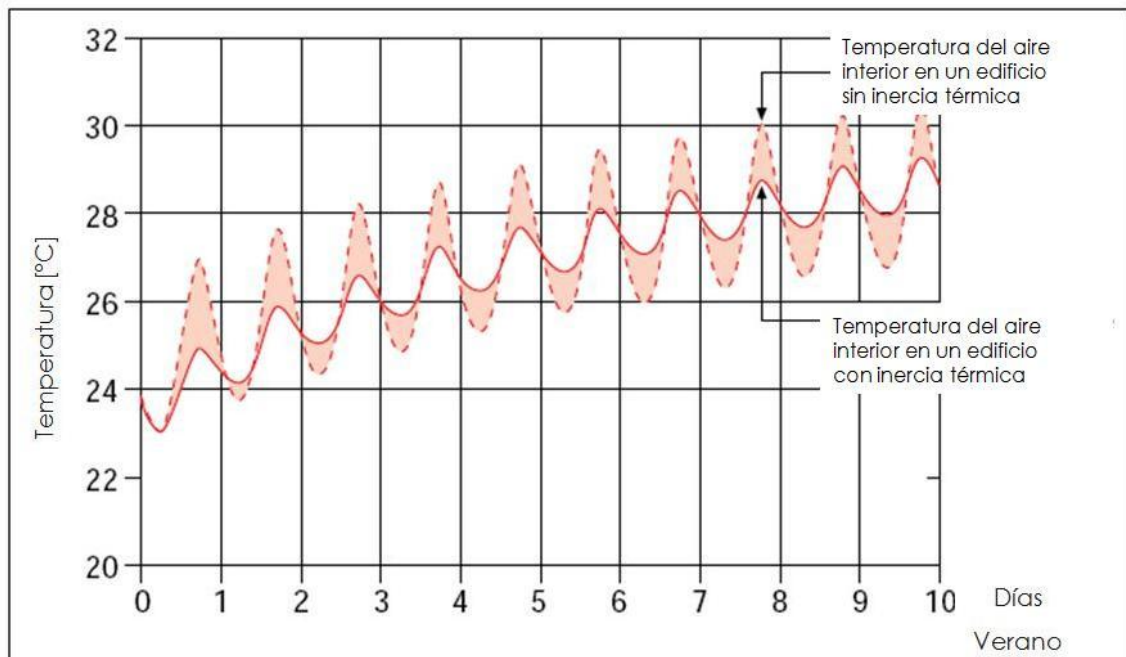


Fig. 2-b. Efecto de la inercia térmica en el tiempo.

Al aplicar inercia térmica en un edificio se debe tener en cuenta que las masas térmicas pueden estar ubicadas en pisos, losas, muros exteriores, muros interiores y techos, siempre y cuando no estén cubiertas con materiales aislantes.

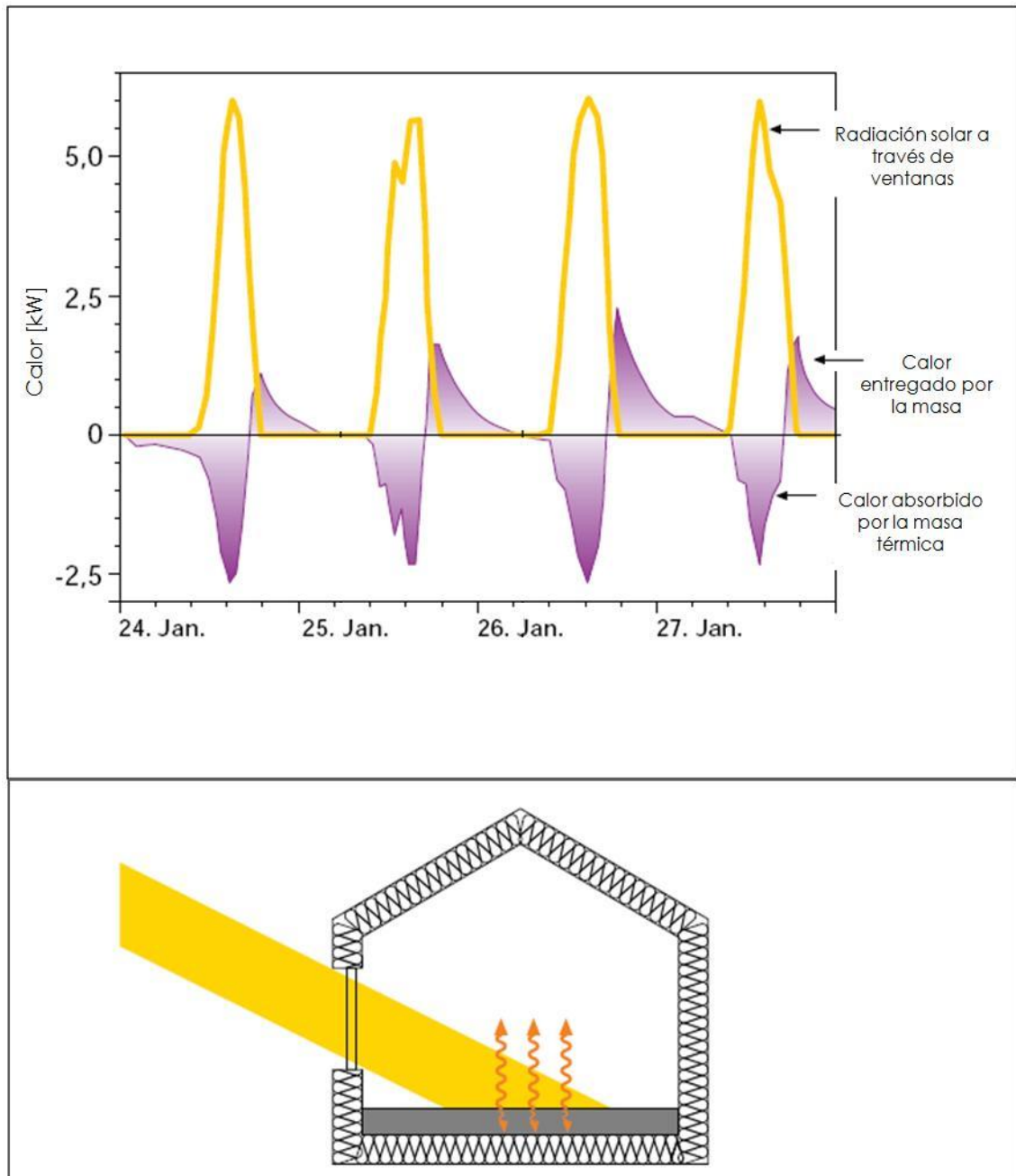


Fig. 2-c. Radiación solar y el efecto de almacenamiento producto de la inercia térmica.

A continuación se muestra el retardo térmico de algunos materiales según sus espesores, usados en la envolvente.

Tabla 2-b. Ejemplos de retardo térmico de materiales constructivos con respecto a su espesor.

Material	Espesor [cm]	Retardo
Hormigón	10	2,5 horas
	20	5 horas
	40	10 horas
Ladrillo	10	2,3 horas
	20	5,5 horas
	30	8,5 horas
Madera	1	10 min.
	2,5	27 min.
	5	1,3 horas

Fuente: Revista del IDIEM, “El clima chileno y su relación con la construcción habitacional”, Gabriel Rodríguez J. Diciembre – 1972.

Nótese que es posible proyectar muros perimetrales de materiales y en espesores adecuados para un determinado retardo. Sin embargo esto es casi imposible en la techumbre, a menos que se use losa de hormigón, y aún así no se consiguen retardos muy considerables dado que no puede ser muy gruesa.

El retardo térmico depende de la masa interpuesta y de la configuración del sistema en sí, donde influye en forma importante la ubicación del aislante térmico. A mayor masa interpuesta mayor es el retardo térmico.

2.1.2 Ventanas y otras superficies vidriadas

Las ventanas son generalmente muy buenos colectores solares, pero a su vez son las superficies más perdedoras de calor cuando hace frío.

La orientación de las ventanas es muy importante en cuanto a la capacidad de recoger calor y luz natural. Las de orientación sur son las únicas ventanas que casi no reciben calor. Las ventanas con orientación norte reciben calor casi todo el día y todo el año en latitudes altas, en tanto las de orientación y poniente y oriente reciben sol durante medio día.

La cantidad máxima de área de ventanas, según la reglamentación chilena, está determinada en la sección 2 del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción y depende de la zona térmica donde se encuentre ubicado el edificio (ver Anexos, Reglamentación térmica). No obstante entiéndase que es la cantidad máxima sólo para viviendas, la que, bajo un estudio acucioso, muchas veces resulta excesiva, ya que también se debe tener en cuenta la masa estructural del edificio, el tipo y la cantidad de aislación a utilizar, la orientación de las ventanas, etc.

La reglamentación vigente no considera en el cálculo de la transmitancia térmica de una ventana, la resistencia de la perfilería de ésta, sino que sólo toma en cuenta la resistencia térmica del vidrio utilizado, sea vidrio monolítico, doble vidriado hermético, doble ventana o algún otro tipo de vidriado.

Es importante establecer las pérdidas de calor por el contorno de la ventana, ya sea por la perfilería misma o por las juntas que pudiesen quedar luego de instalada la ventana, por esto se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Al momento de seleccionar el tipo de ventana a utilizar en un proyecto se debe tener en cuenta la perfilería de ésta, seleccionando aquel tipo de ventana que tenga una perfilería capaz de cubrir los requerimientos arquitectónicos del proyecto, así como de tener un comportamiento térmico y acústico adecuado y una resistencia mecánica apropiada; además debe ser capaz de proporcionar una estanqueidad total al aire y al agua de lluvia.
- Las ventanas deben ser instaladas por técnicos capacitados.
- La ventana se debe ajustar al vano de tal forma de evitar la presencia de orificios que permitan fugas de aire.
- Una vez instalada la ventana se debe sellar su contorno en forma exhaustiva.

Existen diferentes materiales utilizados en la perfilería de ventanas, entre los cuales se tienen perfiles de PVC, de aluminio, de madera y de fierro.

Los perfiles de PVC y de madera de calidad son los que ofrecen un mejor comportamiento térmico, mientras que la perfilería de fierro es la que tiene el peor comportamiento, tanto por su baja resistencia térmica como por la poca estanqueidad al aire que presenta su cierre poco hermético.

En la siguiente tabla se dan ejemplos de algunos de los principales materiales de perfilería de ventanas y su respectiva conductividad térmica, estableciendo el buen comportamiento térmico del PVC y la madera.

Tabla 2-c. Conductividad térmica de materiales de perfilería de ventanas

Perfiles	Conductividad térmica, λ [W/(m·K)]
Aluminio	210
PVC	0,17
Maderas	0,09 – 0,16

Fuente: Veka Chile S. A. y NCh853

Además de la perfilería se debe seleccionar el tipo de vidriado a utilizar, dentro de los cuales existe una amplia gama, desde vidrios monolíticos simples hasta doble vidriado hermético (DVH) e incluso triple vidriado hermético. Además otras variantes la dan los colores de los vidrios y la emisividad y reflectancia de los mismos. El doble vidriado hermético y las dobles ventanas presentan doble aislación térmica que el vidrio monolítico.

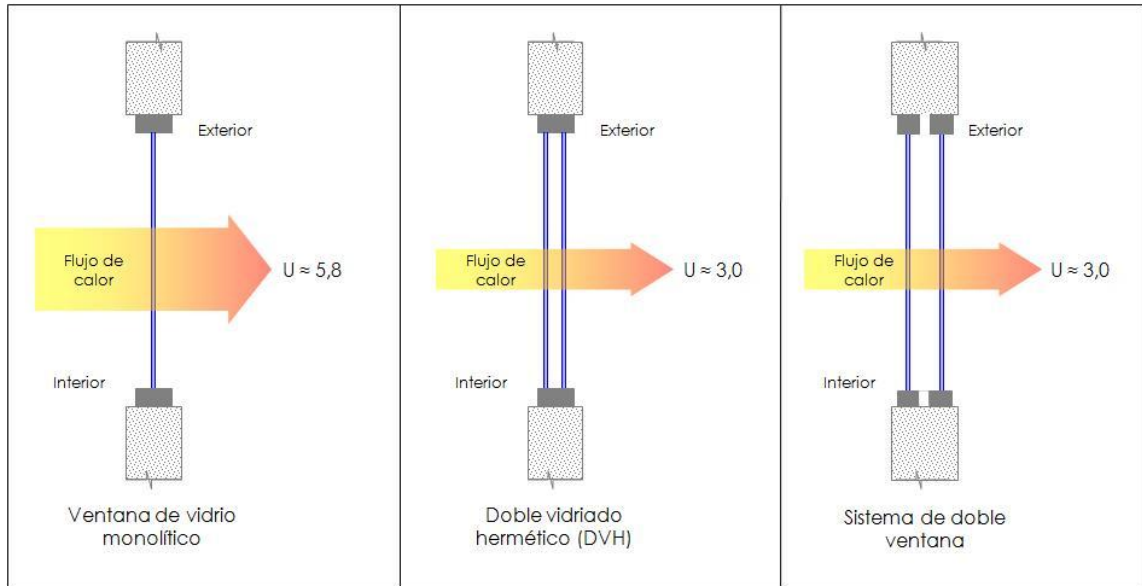


Fig. 2-d. Transmitancia en vidrio monolítico, en DVH y en sistema de doble ventana

La transmitancia térmica total de una ventana se puede calcular como la suma de los valores U del vidrio y de la perfilería ponderados por sus respectivas superficies, es decir:

$$U_{total} = \frac{U_{vidrio} \cdot S_{vidrio} + U_{perfil} \cdot S_{perfil}}{S_{total}}$$

Si el U de la perfilería es alto (perfiles de metal) conviene considerar la transmitancia térmica de la ventana igual a la del vidrio; si el perfil utilizado tiene una transmitancia baja, el término $U_{perfil} \cdot S_{perfil}$ toma importancia, disminuyendo el valor U de la ventana.

A modo de ejemplo se calculará la transmitancia térmica total de una ventana, considerando tres tipos de perfiles:

- Perfil de aluminio con cámara de aire hermética
- Perfil sólido de madera
- Perfil de PVC con cámara de aire hermética

Las dimensiones de la ventana y las características de los perfiles se muestran en los siguientes esquemas:

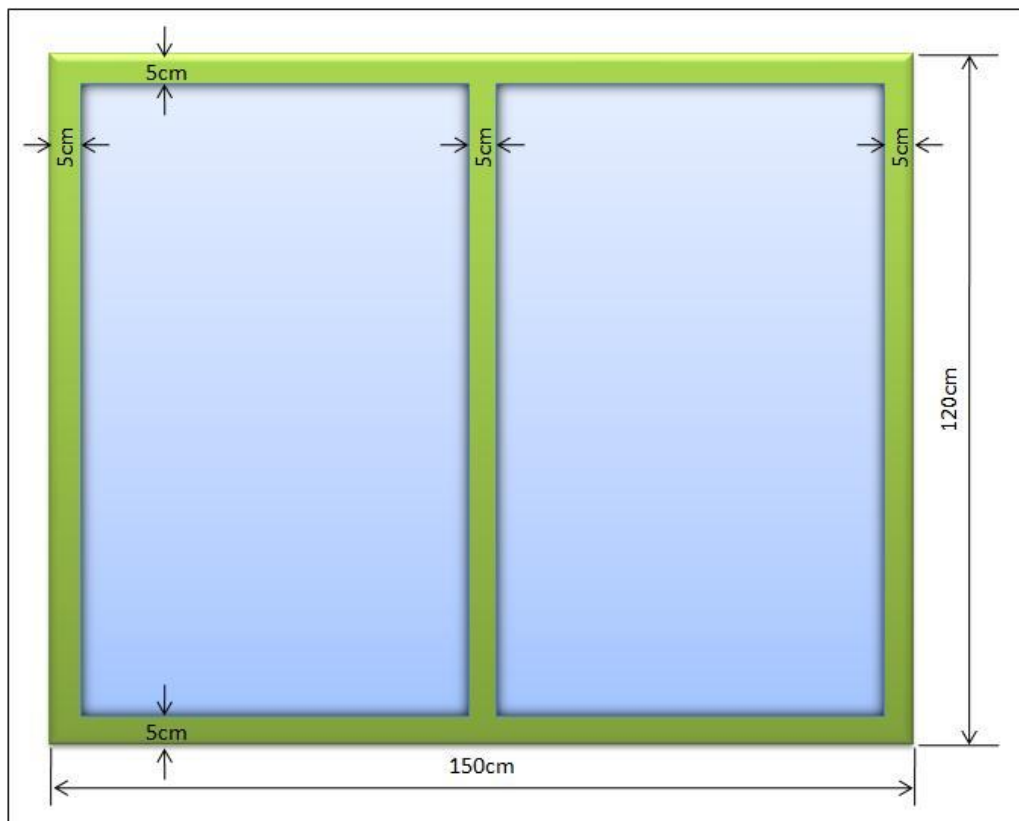


Fig. 2-e. Dimensiones de ventana utilizada como ejemplo.

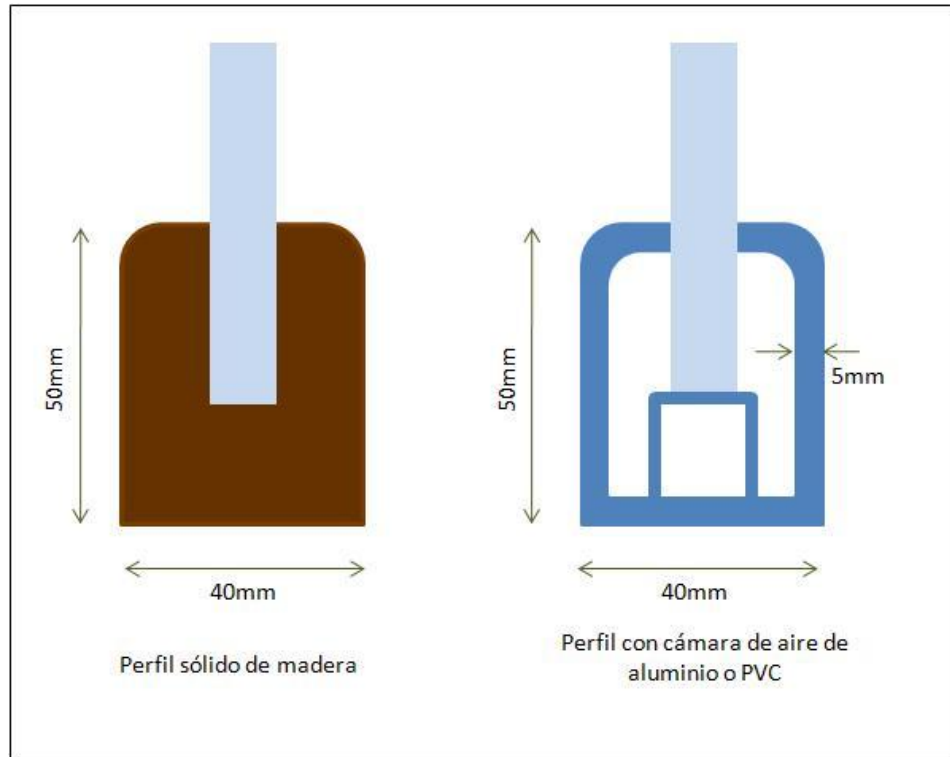


Fig. 2-f. Esquema de perfiles utilizados en los cálculos.

Además se consideran dos tipos de vidriado:

- Vidrio monolítico ($U = 5,9 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$)
- Doble vidriado hermético ($U = 3,0 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$)

Los resultados de los cálculos realizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-d. Transmitancia térmica calculada de ventanas.

Tipo de ventana	Transmitancia térmica [W/(m ² ·K)]
Perfil de aluminio con vidrio monolítico	5,06
Perfil de aluminio con DVH	2,74
Perfil de madera con vidrio monolítico	5,15
Perfil de madera con DVH	2,83
Perfil de PVC con vidrio monolítico	5,03
Perfil de PVC con DVH	2,71

Como se puede apreciar el tipo de vidriado influye enormemente en la transmitancia térmica total de la ventana, reduciendo a casi la mitad la transmitancia térmica.

Otro punto importante a destacar es el buen comportamiento térmico del perfil de aluminio, esto debido a que se consideró un perfil con aire estanco en su interior. Las cámaras de aire no ventiladas poseen una gran resistencia térmica, lo que contrarresta el efecto conductor del aluminio de forma importante.

Resumiendo, la selección adecuada de ventanas es determinante para el buen funcionamiento energético de un edificio. Es recomendable utilizar un sistema de ventanas con perfiles de PVC o madera dada su baja transmitancia térmica o bien utilizar perfiles que incluyan cámaras herméticas de aire, siempre con DVH o en un sistema de doble ventana.

2.1.3 Aislamiento térmico

La resistencia total de un cerramiento es responsable de las ganancias o pérdidas de calor. Como se vio en el capítulo anterior, se calcula como la suma de las resistencias individuales de todas las capas que componen el cerramiento más las capas de aire superficiales a ambos lados del mismo^{vi}. El artículo 4.1.10 de la OGUC señala que todo edificio de vivienda debe cumplir con una resistencia mínima según la zona térmica en la cual es emplazado el edificio. Para cumplir esta disposición, si el cerramiento inicial no lo cumple, puede agregarse una capa de aislante de un espesor adecuado. De esta manera se puede calcular la cantidad de aislante mínimo necesario agregar para cumplir con las exigencias de la reglamentación chilena.

^{vi} Fórmulas para el cálculo de la resistencia térmica total de un elemento complejo en la sección 1.3.2 del presente manual.

La posición de la capa aislante en el cerramiento no modifica la resistencia térmica total del cerramiento. Por ejemplo, las tres posiciones del aislante que se ejemplifican en la figura 2-g tienen la misma resistencia térmica.

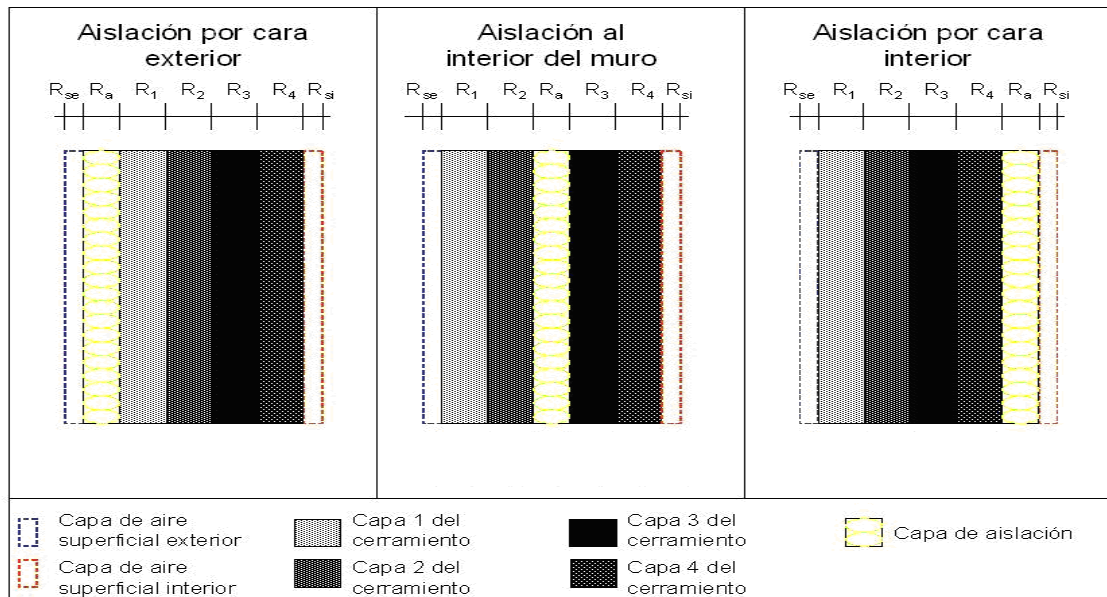


Fig. 2-g. Posición del aislamiento térmico en un cerramiento no altera su resistencia total.

Analíticamente puede representarse por la siguiente relación:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se} + R_{si} + R_a$$

Claramente puede observarse que la ubicación de la aislación no altera la resistencia total, sin embargo colocar el aislamiento por el interior, al centro o por el exterior tiene ventajas y desventajas prácticas que deben ser sopesadas.

También se puede considerar colocar la aislación por ambas caras del cerramiento en forma simétrica o asimétrica o, como se dijo, por una de las caras y en el interior o en el exterior del cerramiento (ver figura 2-h).

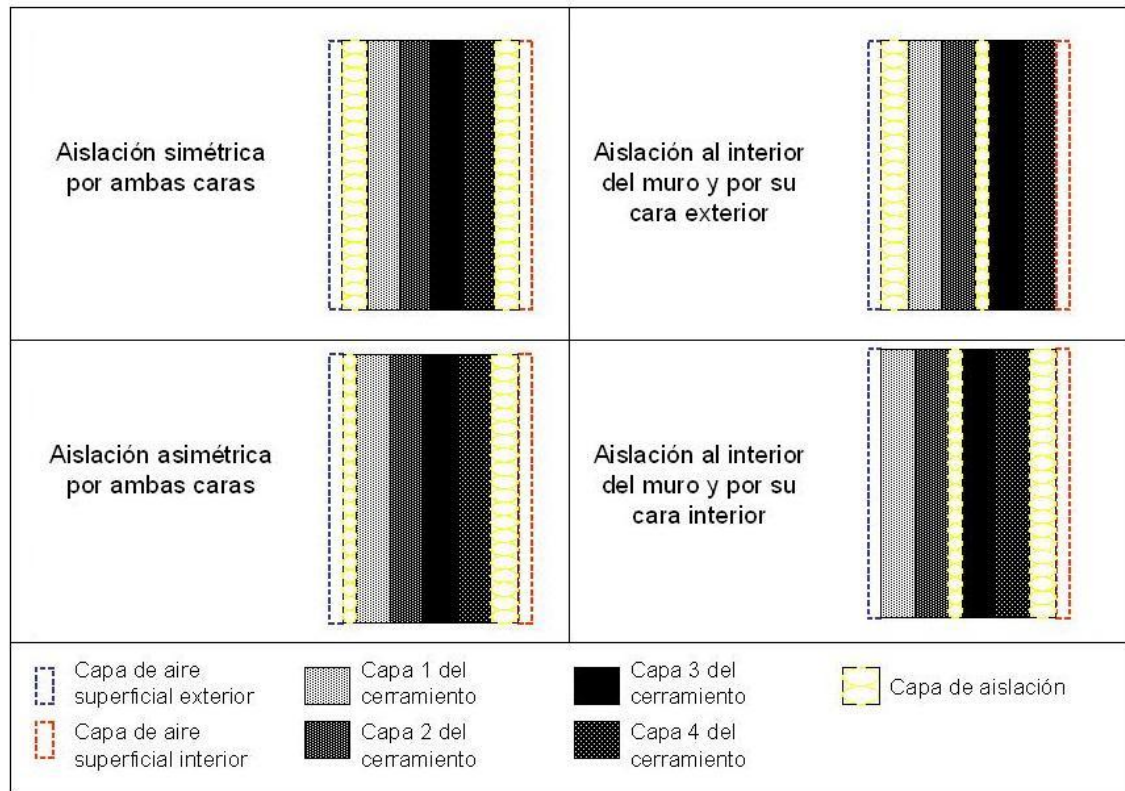


Fig. 2-h. Combinaciones en la posición de la aislación.

Sea cual sea la ubicación del aislante en el muro, éste debe colocarse en forma continua de tal manera que no se formen puentes térmicos.

También deben evitarse las pérdidas de calor por ventilación no deseada (buen ajuste de puertas y ventanas, por ejemplo) que jugaría en contra del aislamiento de la envolvente, es decir, se debe procurar una hermeticidad adecuada.

2.1.3.1 Resistencia v/s viento

Al calcular la resistencia total se debe considerar que la capa de aire exterior está presente siempre que no haya viento, ya que con viento esta capa se reduce considerablemente hasta desaparecer. El valor que se considera en la norma NCh853 para la capa de aire sin viento es de $0,12 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$, pero cuando hay vientos sobre 10 [km/h] este valor disminuye a 0.

2.1.4 Ventilación

Una fuente importante de pérdidas térmicas es la transmitancia por ventilación (pérdidas por factores convectivos). Algunos ejemplos de este tipo de pérdida son:

- Infiltración espontánea de aire por fisuras y juntas de puertas y ventanas
- Fuga de energía por necesidad de renovación de aire
- Sobreventilación producida por ductos de evacuación de artefactos

Por ello que es importante analizar la ventilación de un inmueble para evitar en lo posible dichas pérdidas, sin olvidar que se deben considerar renovaciones de aire necesarias para mantener unas condiciones higiénicas adecuadas. Se debe proyectar un sistema de ventilación acorde a las necesidades del inmueble evitando pérdidas innecesarias tales como las señaladas anteriormente, sin caer en la tentación de diseñar un edificio hermético, el cual resultaría insalubre.

2.1.4.1 *Sistemas de ventilación*

Un sistema de ventilación bien diseñado puede:

- Incrementar el confort térmico en verano, puesto que el movimiento del aire acelera la disipación de calor del cuerpo humano.
- Ayudar en la climatización de recintos, ya que el aire en movimiento puede llevarse el calor acumulado en muros, techos y suelos por el fenómeno de convección. Para ello, la temperatura del aire debe ser lo más baja posible. Esto es útil especialmente en las noches de verano, cuando el aire es más fresco.

Existen diferentes formas de ventilar el interior de un inmueble:

- Ventilación natural. Es la que tiene lugar cuando el viento crea corrientes de aire en la casa, al abrir las ventanas. Para que la ventilación sea lo más eficaz posible, las ventanas deben colocarse en fachadas opuestas, sin obstáculos entre ellas, y en fachadas que sean transversales a la dirección de los vientos dominantes. En días calurosos de verano, es eficaz ventilar durante la noche y cerrar durante el día.
- Ventilación convectiva. Es la que tiene lugar cuando el aire caliente asciende, siendo reemplazado por aire más frío. Durante el día se pueden crear corrientes de aire aunque no haya viento provocando aperturas en las partes altas del inmueble, por donde pueda salir el aire caliente. Es importante prever de donde provendrá el aire de sustitución y a qué ritmo debe ventilarse.
- Ventilación convectiva en desván. Un porcentaje importante de pérdidas de calor en invierno y ganancias de calor en verano ocurre a través del tejado. Disponer de un espacio tapón entre el último piso del edificio y el tejado (un desván) reducirá de forma importante esta transferencia de calor. En verano, se puede hacer que el desván esté autoventilado por convección.

2.1.4.2 Renovaciones de aire

Es importante reducir al mínimo las pérdidas por ventilación sin embargo, un mínimo de ventilación es necesaria para la higiene de la vivienda, especialmente en ciertos espacios. En la cocina, por ejemplo, es necesaria una salida de humos o ventilar para eliminar los olores propios de ésta. En el baño también es necesario ventilar por la misma razón.

La renovación de aire, entonces, depende básicamente del uso que se le de al recinto. En la siguiente tabla se muestran las renovaciones de aire por hora, n , recomendadas según el lugar, es decir, cuantas veces en una hora se debe renovar completamente el volumen de aire.

Tabla 2-e. Renovaciones de aire por hora para diferentes lugares.

Lugar	n
Baño público	60
Gimnasio	10
Dormitorio	0,5 – 1
Living	3 – 5
Comedor	3 – 5
Cocina	5 – 10
Baño casa	5 – 15

2.1.4.3 Pérdidas de calor por ventilación

La pérdida de calor por infiltración de aire se puede determinar de la siguiente forma:

$$Q_{\text{inf}} = C_{e_{\text{aire}}} \cdot V_{\text{inf}} \cdot p_e \cdot (T_i - T_e)$$

El calor específico del aire es 0,35 [J/(g·K)]; [kJ/(kg·K)].

Una forma sencilla de determinar las pérdidas por ventilación es multiplicando la cantidad de renovaciones de aire por hora (n) del recinto por 0,35, esto entrega las pérdidas térmicas por unidad de volumen producto de la ventilación, en $[W/(m^3 \cdot K)]$.

2.2 AISLACIÓN POR EL EXTERIOR DEL CERRAMIENTO

Al definir la envolvente de un edificio se debe tener en cuenta que los muros perimetrales deben cumplir con ciertos requisitos para ser considerados como un sistema en sí. Estos requisitos son:

- Restringir los flujos de calor y de humedad
- Ser relativamente impermeable al aire
- Restringir las ganancias térmicas por radiación solar
- Proteger de las inclemencias del clima.
- Colaborar en el aislamiento acústico del cerramiento
- Tener buen comportamiento al fuego en caso de incendio.
- Proveer estabilidad y rigidez mecánica.
- Ser durable, estéticamente agradable y económico.

Los sistemas de aislación exterior forman parte del complejo o sistema de muros y por lo tanto deben cumplir con todos estos requerimientos, de esta manera, al elegir algún tipo de aislación exterior se deben considerar los siguientes factores:

- Seguridad y estabilidad
 - o Resistencia mecánica
 - o Seguridad contra incendios
 - o Resistencia al impacto
- Durabilidad
 - o Resistencia de materiales
 - o Rendimiento del material aislante
 - o Calidad y rehabilitación de estructuras
 - o Mantenimiento del sistema durante la vida útil del inmueble

- Ambiente interno de calidad y confort
 - o Confort térmico
 - o Humedad y condensación intersticial
 - o Diseño

- Instalación
 - o Instaladores calificados y responsables
 - o Stock de materiales y productos

2.2.1 El aislamiento por el exterior del cerramiento

En Europa, Estados Unidos, Nueva Zelanda y otros países las aislaciones térmicas exteriores son ampliamente utilizadas, no sólo por su eficiencia sino también por su rapidez constructiva y por la posibilidad de usarlas en edificios ya existentes sin necesidad de molestar a sus ocupantes.

Los sistemas de aislamiento exterior aparecieron en Europa en la década de 1930 pero su desarrollo se llevó a cabo después de la II Guerra Mundial, principalmente en Alemania, dada la necesidad de ahorrar energía, un bien muy escaso en esos momentos. Desde allí esta técnica se hizo conocida en el resto de Europa y EE.UU.

2.2.2 Ventajas de la aislación exterior

- o No disminuye la superficie útil interior como lo hacen los aislantes que se colocan por dentro.
- o Protege los muros perimetrales de la lluvia con viento.
- o Protege los muros perimetrales del intenso soleamiento de verano, rebajando los gastos de refrigeración.

- Son muy ventajosos en edificios ya construidos dado que su instalación no molesta a sus ocupantes.
- Se pueden sobrepasar fácilmente los mínimos de aislación exigidos por la OGUC con las consiguientes economías de energía por concepto de calefacción y refrigeración.

Con respecto a este último punto cabe señalar que la OGUC ha basado su zonificación térmica en grados-días base 15°C en circunstancias que la mínima temperatura de confort es de 18°C, por esta razón los requerimientos de la OGUC resultan mínimos y los óptimos se obtienen fácilmente con los sistemas de aislación exterior.

Hoy en día, la forma más utilizada para aislar la envolvente de los edificios es por la cara exterior; así se tienen dos sistemas ampliamente utilizados: el Sistema de Aislación Térmica Exterior y Acabado o Exterior Insulation Finish Systems (EIFS) y el Sistema de Fachadas Ventiladas (FV).

2.2.3 Sistema de Aislación Térmica Exterior y Acabado

El sistema de terminación y aislación térmica exterior, EIFS, es un sistema de terminación y aislación de muros exteriores que puede utilizarse en casi todos los tipos de edificios, nuevos o antiguos, siendo aplicable sobre casi cualquier superficie (muros de ladrillo, hormigón y paneles livianos, entre otros). Consiste básicamente en un sándwich de mortero modificado, aislante, malla de refuerzo, mortero y recubrimiento, que se adhiere a la cara exterior de los muros perimetrales. Existen tres tipos de sistemas EIFS:

- Sistema de barrera o EIFS tradicional
- Sistema con drenaje o Drainage Systems
- Sistema con panel External Wall

2.2.3.1 EIFS de barrera

El sistema de barrera (también conocido como sistema tradicional o sistema no drenable) consta de un sustrato, una capa de aislante, una malla de refuerzo embebida en una capa base y una capa final:

- El Sustrato es el material que forma el revestimiento exterior del muro sobre el cual se colocará el sistema. Puede ser albañilería, hormigón, fibrocemento, fibrosilicato, etc.
- Capa de aislante rígida: Esta capa proporciona el aislamiento térmico del sistema. Materiales típicos son el poliestireno expandido (EPS), poliuretano expandido (PUR), placas rígidas de fibra mineral, etc.
- Capa base: Capa que se aplica directamente sobre la placa de aislante rígido.
- Malla de refuerzo: Una malla de fibra de vidrio es incorporada en la capa base. El propósito de esta malla es proporcionar un refuerzo al sistema.
- Capa de terminación: La segunda capa se aplica después que la capa base se ha curado. Esta capa, al tiempo que añade un segundo refuerzo al sistema, también ofrece el acabado o terminación.

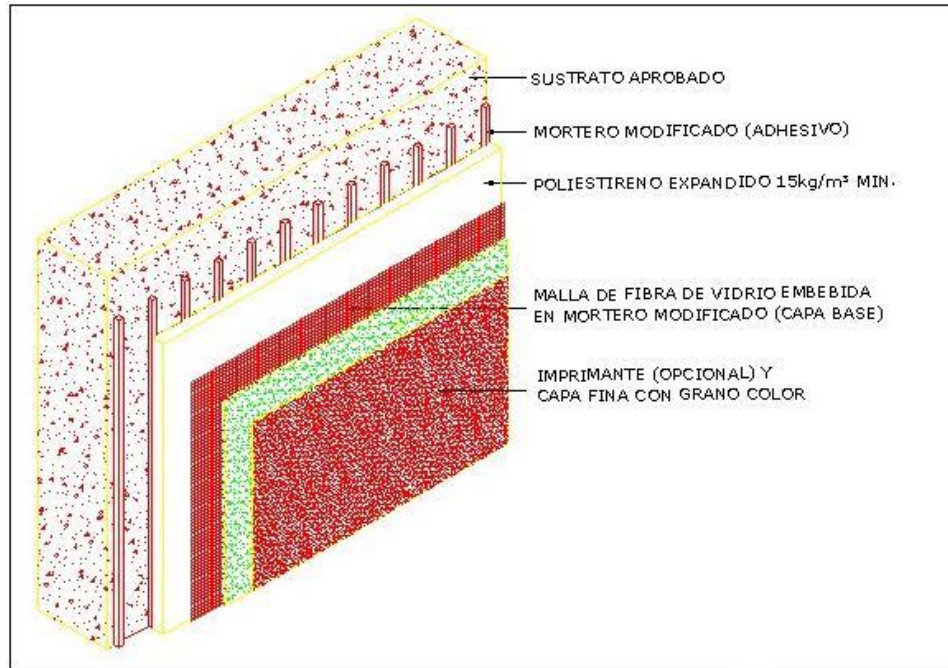


Fig. 2-i. Componentes del sistema de barrera, en estructura pesada

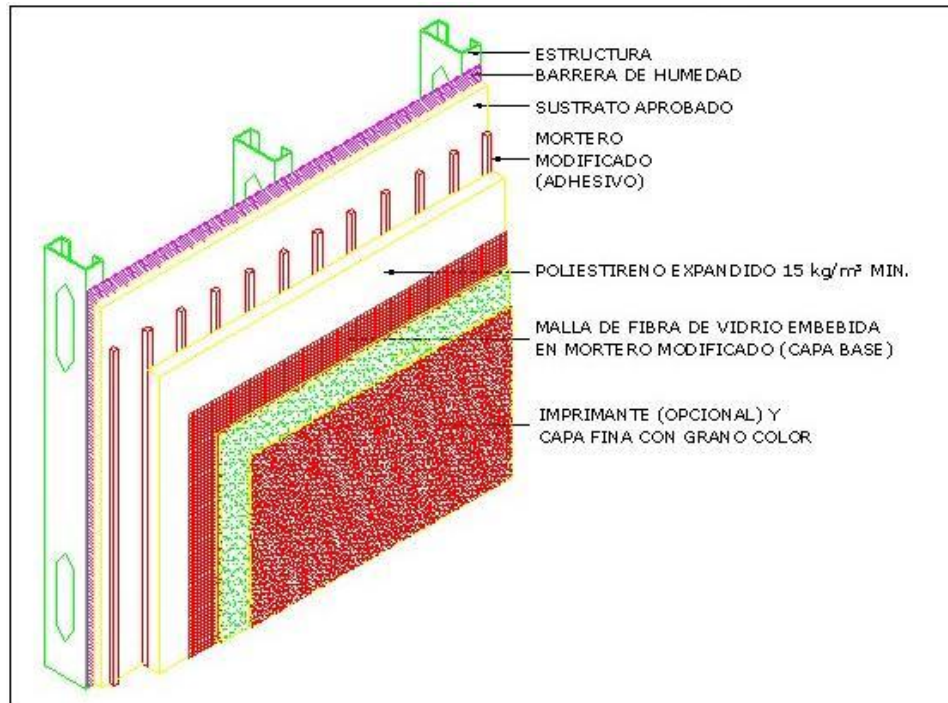


Fig. 2-j. Componentes del sistema de barrera, en estructura liviana

2.2.3.2 EIFS con drenaje

Cuando el sistema EIFS se instala sobre estructuras o sustratos absorbentes, tal como madera, yeso u otros, es necesario adicionar un mecanismo para el drenaje del agua. Dos métodos se han ideado para ello.

El primero consiste en incorporar una película retardante de humedad entre la capa aislante y el sustrato. Esta película está destinada a drenar el agua fuera del sistema antes que se aloje en la estructura del muro. Este drenaje generalmente se incorpora previamente en una de las caras de la placa aislante.

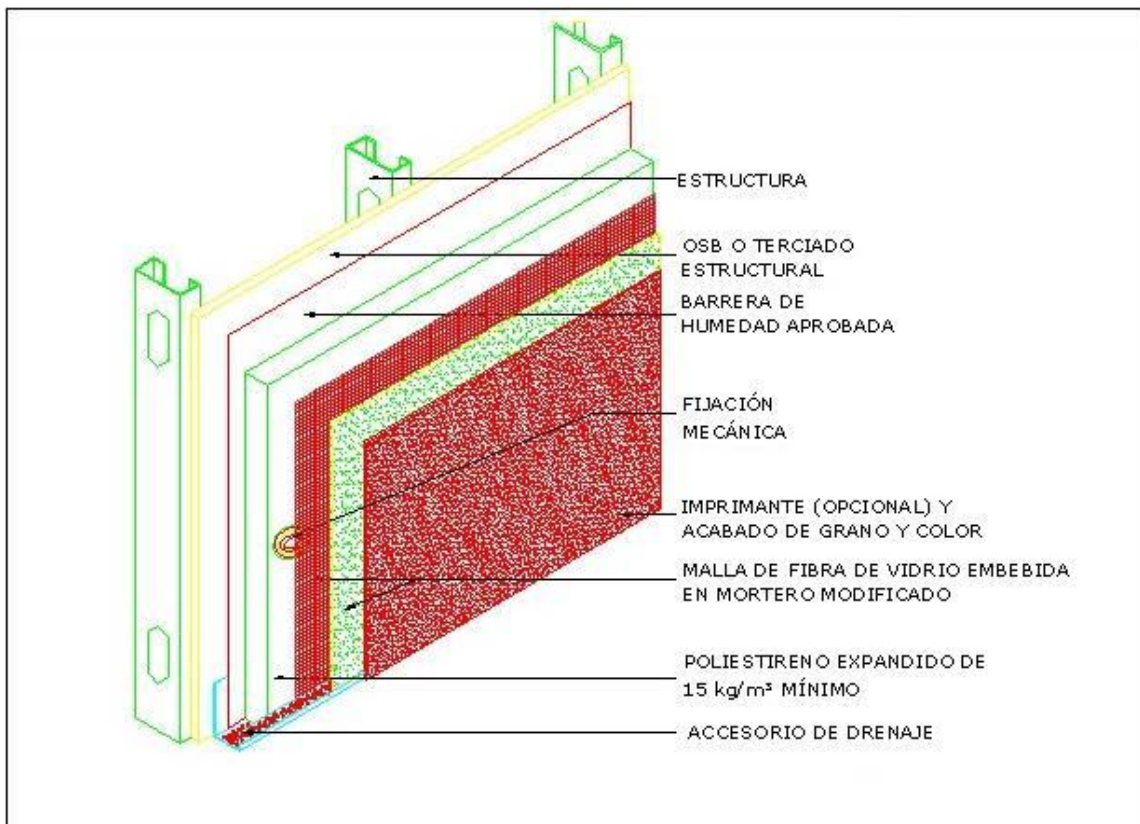


Fig. 2-k. Componentes del sistema con drenaje

El segundo método con drenaje utiliza la tecnología llamada “rainscreens”. Consiste en crear un plano de drenaje entre el sustrato y el aislante, cubriendo ambas caras con barreras de humedad. Este sistema funciona igualando la presión en las caras expuestas del sustrato y el aislante, es decir, al existir una cámara de aire ambas superficies tendrán la misma presión y de esta manera el agua no penetrará en ninguna de las dos superficies, permitiendo así su evacuación. Este sistema es similar a la FV.

2.2.3.3 *EIFS External Wall*

El sistema de barrera Exterior Wall consiste en un panel de EPS de 60 mm de espesor como mínimo, el cual lleva canales metálicas de 0,8 mm de espesor embebidas en su interior cada 30 cm. Las canales cumplen la función de sujeción del panel con la estructura mayor del edificio. La cara exterior se termina con una base embebida en algún tipo de malla de refuerzo y una capa final:

- Capa base exterior: Capa que se aplica directamente sobre la placa de aislante rígido.
- Malla de refuerzo: Una malla de fibra de vidrio es incorporada en la capa base. El propósito de esta malla es proporcionar un refuerzo al sistema.
- Capa de terminación: La segunda capa se aplica después que la capa base se ha curado. Esta capa, al tiempo que añade un segundo refuerzo al sistema, también ofrece el acabado o terminación.

El sistema External Wall no necesita sustrato alguno en la cara exterior, en la cual se aplica la terminación, ya que el panel actúa como revestimiento único.

El EIFS External Wall, además de actuar como recubrimiento de fachada, cumple la función de aislante debido a su materialidad (EPS).

2.2.4 Sistema de Fachadas Ventiladas

Una fachada ventilada o FV es un sistema constituido por un elemento de aplacado o revestimiento exterior soportado por elementos soportantes interiores, a través de una subestructura, mediante fijaciones y anclajes, quedando entre el revestimiento y la zona portante un espacio donde el aire puede circular libremente por convección, evaporando el agua que pudiese haber penetrado o condensado, protegiendo de esta forma el aislamiento térmico.



Fig. 2-1. Ventilación de FV.



Fig. 2-m. Instalación de FV

En las fachadas ventiladas se pueden instalar dos tipos de aplacados: aplacado opaco y aplacado transparente. Este último tiene por finalidad dotar al edificio de un sistema de captación pasiva de energía solar a través del cerramiento principal del edificio.

La fachada opaca representa una segunda epidermis para el edificio y por tanto protege contra los efectos de la intemperie, co-ayudando al ahorro energético en invierno y protegiendo de los rayos solares en verano.

La FV está compuesta principalmente por:

- 1- Sustrato base: Cerramiento del edificio o sistema de muro perimetral.
- 2- Aislante: PUR proyectado, placa de EPS, lana mineral, lana de vidrio u otro material.
- 3- Cámara de aire confinado.
- 4- Sistema de fijación: Subestructura soportante de madera o perfiles de aluminio adosados al muro portante.
- 5- Módulos de revestimiento: Revoques con resistencia a la intemperie, alta elasticidad y resistencia mecánica, por ejemplo, cerámica, piedra natural, metal, placas de fibro silicato, fibrocemento, etc.

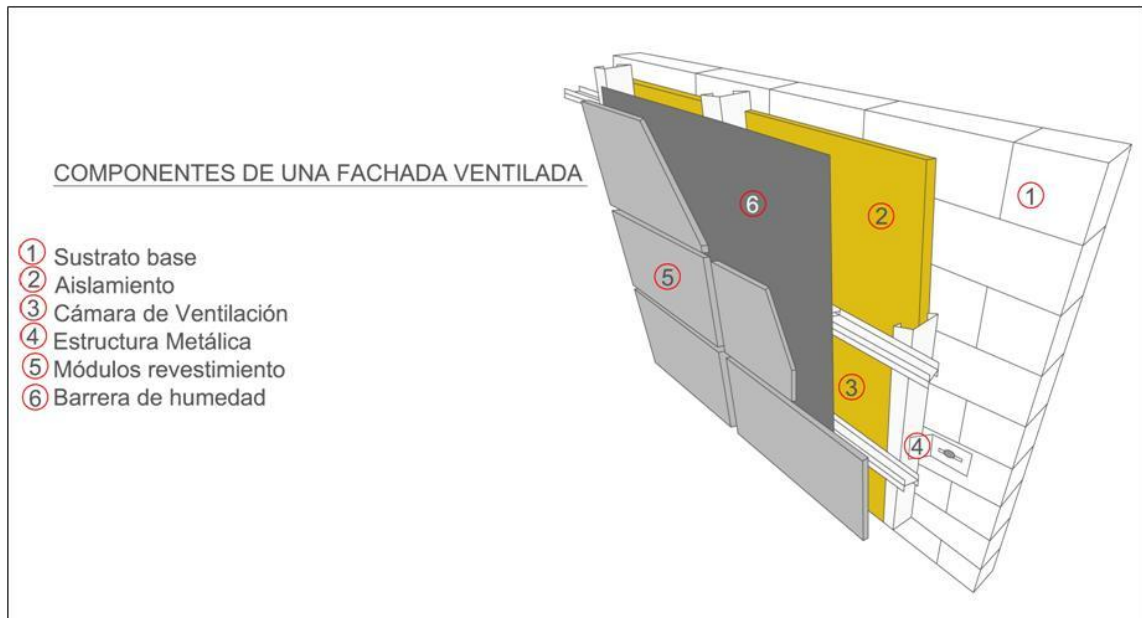


Fig. 2-n. Componentes de una FV.

Algunas de las ventajas de la FV frente a un muro sin aislación exterior son:

- Instalación del sistema por medio de faena en seco.
- Eliminación de los riesgos de fisuración en el revestimiento.
- Eliminación del riesgo de despegado del revestimiento de muro por desprendimiento.
- Protección de la estructura de albañilería, hormigón o madera contra la acción directa de los agentes atmosféricos.
- Eliminación de los puentes térmicos y el consiguiente ahorro de energía.
- Eliminación del vapor de agua superficial condensado (la presencia del espacio intermedio de aire facilita la evacuación del vapor de agua procedente del interior, favoreciendo la eliminación de la posible humedad).
- Eficiencia a lo largo del tiempo del aislante exterior, que se mantiene perfectamente seco gracias a una ventilación óptima.
- Fácil colocación en obra, independientemente de las condiciones climáticas.
- Posibilidad de efectuar mantenimiento e intervenir individualmente sobre cada una de las placas de revestimiento.

- Creación de un espacio técnico para el alojamiento de instalaciones y canalizaciones, con posibilidad de dejar entradas o registros programados para mantención posterior, sin afectar el funcionamiento de edificios.
- Disminución de costos operacionales en obra dado que corresponde a una faena en seco.

3 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Una vez que se ha decidido cuál sistema de aislación se va a utilizar en un edificio es necesario definir cómo se va a instalar, vale decir qué aspectos se deben tener en cuenta al momento de planificar la instalación y como se van a materializar las uniones y juntas entre el sistema y la estructura del edificio.

3.1 CONSIDERACIONES ACERCA DEL SISTEMA EIFS

Al utilizar un sistema de aislación térmica exterior EIFS se deben considerar ciertos factores necesarios para determinar las características básicas del sistema, entre estos factores se encuentran los siguientes:

- Sistemas de fijación
- Instalación de las placas aislantes
- Techos y pendientes
- Subterráneos
- Sofitos
- Juntas
- Guarniciones y cubrejuntas
- Cabeceros, peanas y botaguas
- Formas y espesores
- Penetraciones
- Objetos sobrepuestos en el muro
- Barreras contra fuego
- Barreras de vapor

A todos estos factores se debe agregar un estudio aparte si es que el sistema se aplica en un edificio existente.

3.1.1 Sistemas de fijación

La selección del sistema de fijación es el primer paso para determinar los detalles de un EIFS. Se puede elegir entre fijaciones mecánicas, adhesivos o ambos.

Para determinar el sistema de fijación, primero se deben reducir las opciones dejando fuera aquellos sistemas que no pueden ser utilizados. En este punto un factor determinante es el clima, por ejemplo, para temperaturas bajo cero lo recomendable es utilizar sistemas mecánicos de fijación ya que los adhesivos se pueden congelar y resquebrajar. Del mismo modo, se debe determinar la cantidad de diferentes sistemas de sujeción que son necesarias en el edificio.

Además, se debe analizar la calidad del sustrato de toda la envolvente, comprobando si es capaz de soportar las fuerzas de succión que podrían producirse. Si el sistema necesitara una alta capacidad a la tracción se recomienda el uso de adhesivo.

La incorrecta elección de las sujeciones mecánicas puede causar problemas en sustratos ondulados. Las delgadas placas aislantes se doblarán al seguir el contorno del muro cuando se apriete la fijación, causando irregularidades superficiales poco estéticas, pudiendo crear además puentes térmicos.

3.1.2 Instalación de placas aislantes

Los materiales aislantes deben ser correctamente dimensionados de tal forma de que no queden espacios entre una placa y otra, si es que llegasen a quedar huecos estos deben ser rellenados con recortes del material aislante, los cuales se deben fijar por medio de algún material adhesivo.

Las placas aislantes se deben colocar desfasadas, a modo de albañilería, cuidando de que las juntas verticales no queden alineadas.

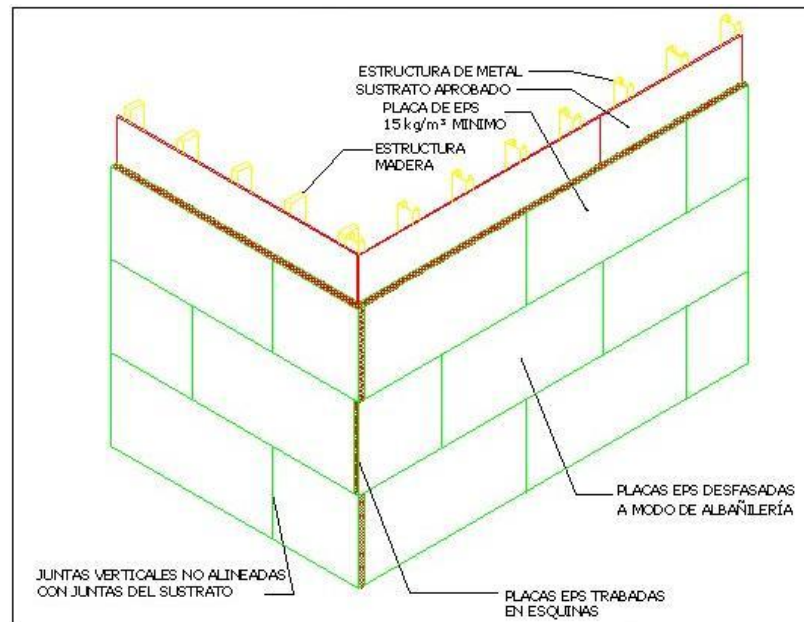


Fig. 3-a. Ubicación de las placas aislantes en EIFS de barrera (fijación por medio de adhesivo)

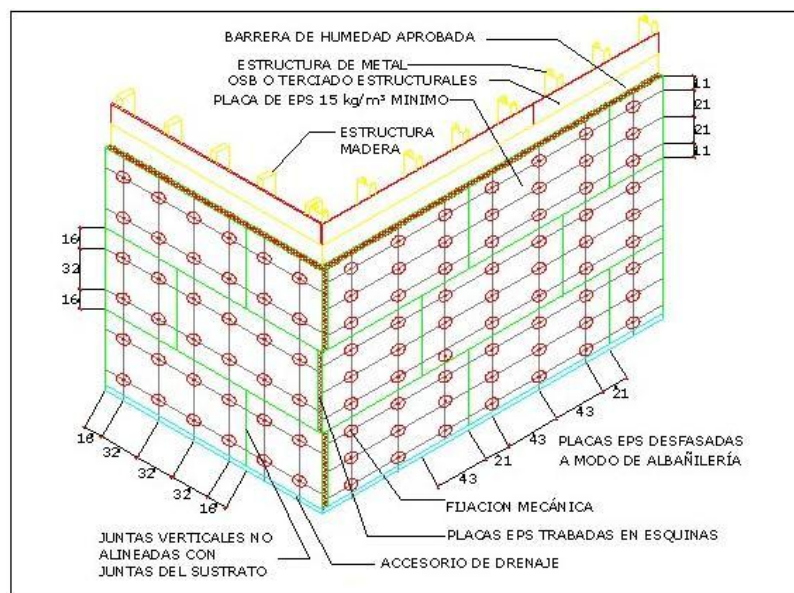


Fig. 3-b. Ubicación de las placas aislantes en EIFS con drenaje (fijación mecánica)

3.1.3 Techos y pendientes

Como el EIFS es un sistema para muros, no funciona bien en elementos extensos y horizontales o inclinados como son los techos u otras pendientes.

En cualquier edificio hay a menudo pequeñas zonas de transición entre muro y techo. Estas áreas pueden presentarse en marcos de ventanas, parapetos, etc. Un par de cosas suceden cuando el sistema EIFS se somete a condiciones similares a las de techo:

- El agua de lluvia se acumula en las ranuras de la textura de la superficie. La exposición prolongada al agua hace que el acabado se ablande. Cuando el agua se evapora, la suciedad queda y se incrusta en la superficie, produciendo manchas y fomentando el crecimiento de mohos.
- Personal de instalación o equipos pesados pueden apoyarse en las superficies inclinadas, produciendo daños en el sistema.
- Los selladores de juntas a menudo se encuentran en la superficie de la pendiente. Es probable que estos selladores de juntas se desgasten prematuramente, así eventualmente el sellador fallará y el conjunto se abrirá, produciendo fugas. La forma del talón que forma el sellador actúa como un colector de agua indeseable; si el conjunto se abre, el agua penetra al interior del edificio.

La regla básica es que las pendientes importantes garanticen que el agua de lluvia fluya hacia el exterior.

Una forma de mejorar la resistencia a fugas es utilizar cubrejuntas o botaguas, siempre que sea una zona pequeña. Para grandes zonas de pendiente no hay soluciones fáciles.

3.1.4 Sofitos

A la parte inferior de un arco, dintel o cualquier elemento saledizo, como una cornisa o cubierta, se le denomina **sofito**.

El sistema EIFS puede ser utilizado a menudo para pequeñas áreas de **sofito**, lo que incluye las áreas por encima de las ventanas y puertas. Esto proporciona un aspecto agradable a la vez que también protege al **sofito**.

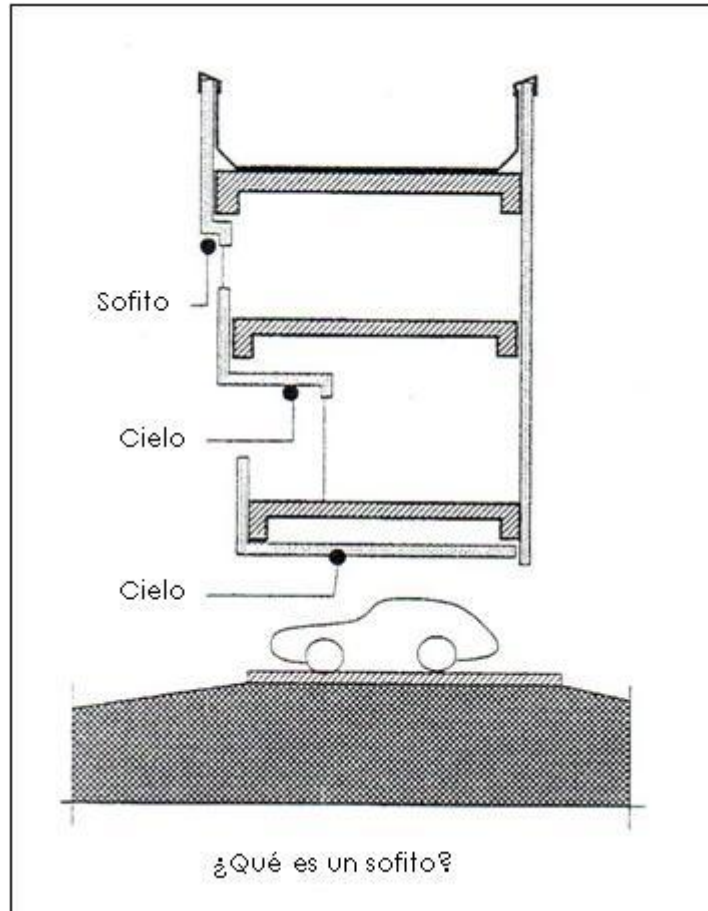


Fig. 3-c. Esquema de "sofito"

Hay varias consideraciones a tener en cuenta:

- Pequeños sofitos suelen considerarse parte del sistema y no se necesitan mayores resguardos, en cambio grandes áreas pueden ocasionar problemas en cuanto a la seguridad contra incendios. En un incendio un sofito podría estar directamente expuestos al fuego desde abajo. Una vez que la placa de aislación se derrite, no hay nada que le sostenga y el sofito podría derrumbarse.
- Los sofitos son lugares protegidos, de modo que no es probable que la humedad ataque directo desde el exterior; sin embargo, si se produce una fuga más arriba del sofito, el sistema podría verse afectado y el sofito podría venirse abajo. Para que esto no suceda, en los sofitos se recomienda utilizar sujetadores mecánicos junto con adhesivos.

3.1.5 Subterráneos

El sistema de aislación térmica exterior es un revestimiento de muro, y los revestimientos a menudo se extienden al subterráneo. Sin embargo, extender un EIFS a un muro de fundación presenta problemas especiales. Con frecuencia, la superficie del muro tendrá algún tipo de membrana impermeable, en la cual EIFS no se puede adherir y el uso de sujeciones mecánicas arruina la impermeabilidad de la membrana en los puntos de aplicación.

Una forma de manejar este problema es detener el sistema justo debajo de la rasante de terminación e iniciar la impermeabilización en ese punto. Esto se ve bien y mantiene la impermeabilización normal de la base. Si la base debe ser aislada, entonces se debe utilizar algún otro método diseñado para tal fin.

Existen dos formas de dar una terminación adecuada al sistema en la rasante de terminación:

- a) Encapsular la placa aislante con la malla de refuerzo con la ayuda del mortero modificado o por medio de un sistema de fijación mecánico.
- b) Permitir el traslape de las capas base y de acabado en la fundación.

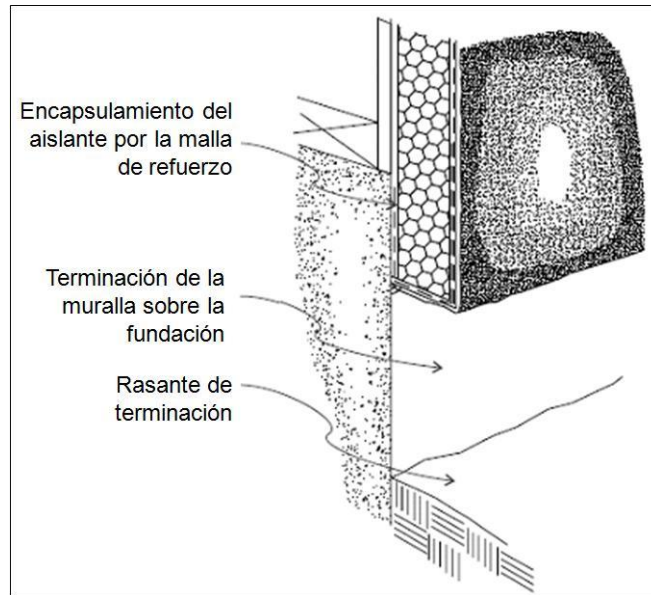


Fig. 3-d. Solución “a”, encapsulamiento de la placa aislante^{vii}.

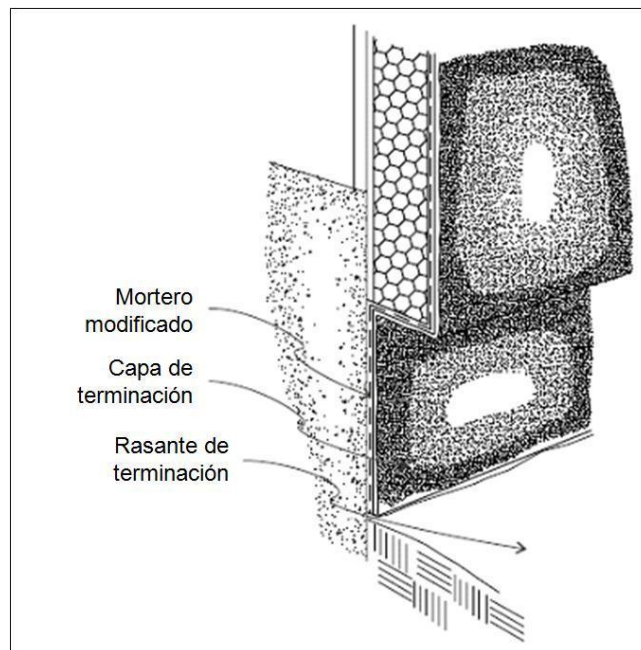


Fig. 3-e. Solución “b”, traslape de la lámina de EIFS en la fundación^{viii}.

^{vii} Referencia figura: Guide to EIFS, EIMA, 2000.

^{viii} Referencia figura: Guide to EIFS, EIMA, 2000.

Si el EIFS debe continuar por debajo hacia la fundación, la zona próxima al sistema debe rellenarse con un material que permita un drenaje adecuado.

3.1.6 Juntas

Existen dos tipos de juntas: juntas de dilatación y juntas estéticas. Las juntas de expansión son necesarias para permitir el movimiento de EIFS sin que la lámina se rompa. Las juntas estéticas se utilizan para fines de apariencia y para hacer más fácil la instalación del sistema.

Generalmente no se necesita juntas excepto en los siguientes casos

- Cuando se produce una junta en el sustrato
- Cuando cambia el tipo de sustrato detrás del EIFS
- Cuando la deformación del sustrato es mayor al $1/180$ de la luz por cargas de viento, deformaciones hídricas, dilataciones térmicas, movimiento por acción mecánica u otras.
- En los puntos de concentración de tensiones.
- En las líneas de piso en estructuras de madera.
- En líneas de cambio de estructuras y/o materiales.

Las juntas estéticas se usan en los siguientes casos:

- Para definir zonas del muro con fines de apariencia, como la creación de módulos en un edificio
- Cuando se detiene el proceso de instalación para retomarlo un tiempo después. Esta función no debe subestimarse, ya que tiene implicaciones prácticas durante la construcción.

Las juntas estéticas no atraviesan todo el espesor del sistema aislante aunque pueden penetrar hasta 18mm de la parte posterior de la placa aislante.

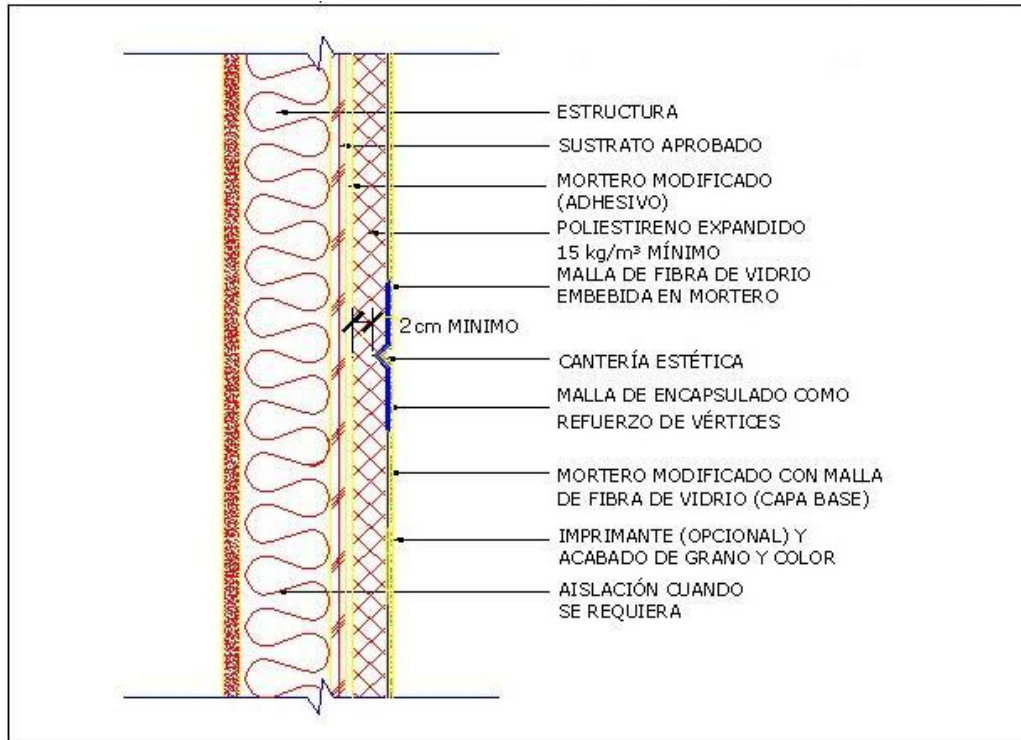


Fig. 3-f. Tratamientos de juntas estéticas en EIFS

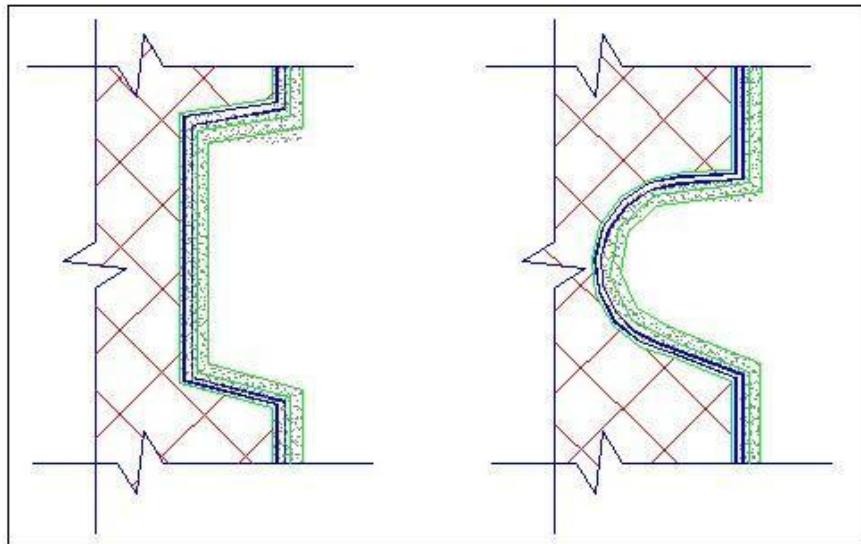


Fig. 3-g. Diseños alternativos de canterías o juntas estéticas

Las juntas estéticas crean un plano de debilidad en el muro, por esta razón la utilización de las juntas estéticas en el medio de un gran paño debe considerarse cuidadosamente. Normalmente es mejor hacer esas juntas como una junta de expansión. Esto es especialmente necesario cuando existen tensiones extremas en la lámina debido a grandes oscilaciones de temperatura, u otros movimientos del muro.

Un EIFS tiene un alto coeficiente de expansión térmica (dada su condición de aislante porque disipa muy poco la radiación que pudiese absorber) por lo cual se necesitan juntas, especialmente en muros de gran tamaño.

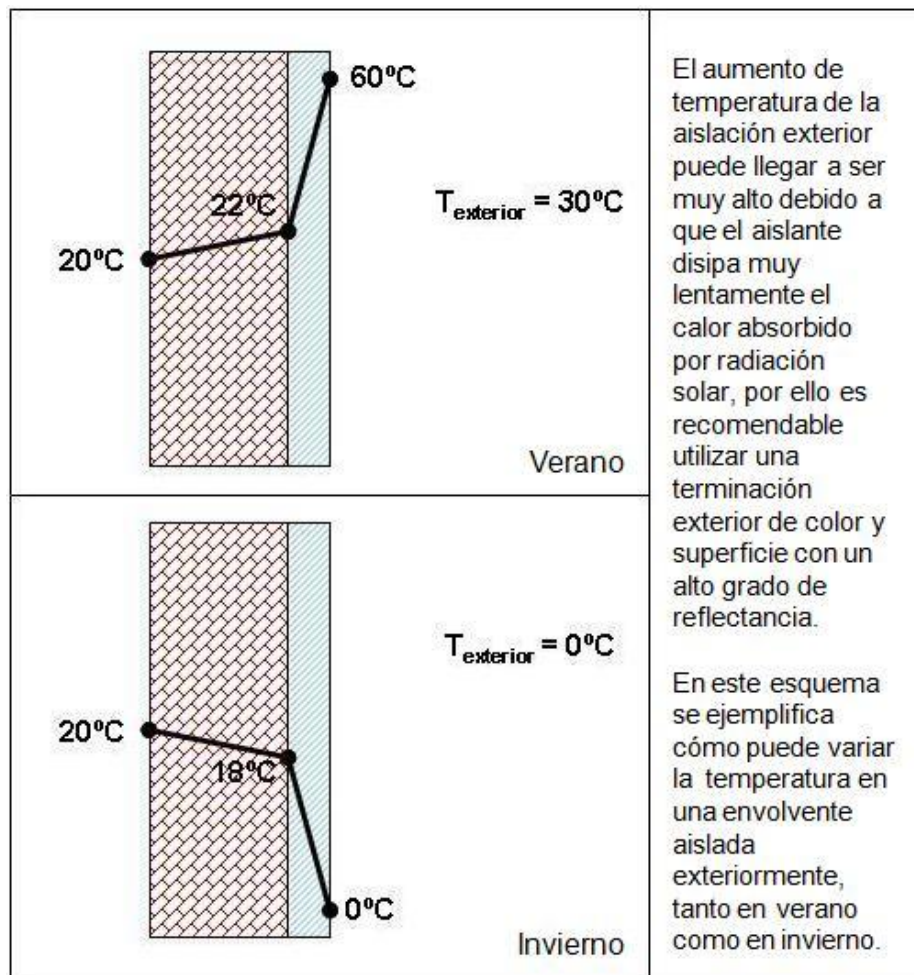


Fig. 3-h. Temperaturas en un muro aislado exteriormente.

3.1.7 Guarniciones y cubrejuntas

Una de las características agradables del sistema es tener un aspecto libre de guarniciones o cubrejuntas en su perímetro. Esto incluye áreas como los cabeceros de ventanas, peanas y parapetos.

Si bien es posible proyectar un caso sin cubrejuntas en absoluto (que se realiza con frecuencia), el uso de ellas tiene muchas ventajas. La principal es la protección extra de fugas. Sin cubrejuntas, el sellado es lo único que mantiene el agua fuera del sistema. El sellado no tiene larga duración y en algún momento el conjunto se abrirá y el agua tenderá a entrar ocasionando serios problemas.

Hay varias zonas en los edificios donde es necesario colocar cubrejuntas y/o esquineros:

- Antepechos: Un antepecho libre de guarniciones se ve elegante y no presenta obstáculos en la parte superior del muro; lamentablemente, este lugar está muy expuesto a los efectos del clima y es muy vulnerable a la entrada de agua. Se recomienda para estos casos utilizar bandas moldeables semiadhesivas.
- Cabeceros y peanas en aberturas: La clave en las aberturas es mantener el agua fuera de ellas y utilizar botaguas.
- La parte superior de un muro con EIFS a menudo se acerca a la orilla del techo o parapeto. Para obtener un buen sellado es necesario un cubrejunta.
- En lugares de clima frío y húmedo suelen producirse problemas de moho en peanas. El crecimiento de moho es promovido por la retención de agua dada su textura y acabado, por ello es recomendable instalar bandas moldeables semiadhesivas, de superficie lisa, que ayuden a drenar el agua.

3.1.8 Cabeceros, peanas y botaguas

Los cabeceros y las peanas son una de las áreas clave que requieren atención en el diseño del sistema, especialmente para protegerlas de la filtración del agua, del daño y del agrietamiento.

Un concepto importante es el de tratar de mantener el agua lejos de las aberturas de diseño, esto implica los cabeceros y las peanas de todas las aberturas, como puertas, ventanas y similares.

Debido a que muchas de las terminaciones se ven afectadas por el contacto prolongado con el agua, lo que puede producir la reducción del vínculo del sellador, es importante mantener el agua fuera de la zona común. La principal forma de hacerlo es por la geometría de la junta y el uso de bota gotas y cubrejuntas. Por ejemplo, sofitos con pendiente invertida son fuentes de filtraciones, ya que llevan el agua directamente a la zona de sellado.

3.1.8.1 *Cabeceros*

La clave en los cabeceros está en utilizar algún tipo de mecanismo de drenaje o bien un elemento que ayude a evacuar el agua, como cubrejuntas o surcos de drenaje, o lograr que la geometría sea tal que queden libres del ataque directo del agua. Un buen diseño de drenaje considera todos los bordes de la estructura agudos de tal manera que el agua escurra convenientemente. Los bordes redondeados no funcionan bien pues el agua se desliza retornando a la zona del sofito.

3.1.8.2 *Peanas*

Al igual que los cabeceros, las peanas son una zona donde el agua se tiende a acumular. Además, están sujetas a daños físicos por escaleras de mano u otros elementos. Por otra parte, las peanas se ubican en la parte inferior de una ventana y las ventanas en sí mismas tienen sus propios problemas con la impermeabilidad.

El truco con las peanas es mantener el agua lejos del EIFS por medio de plataformas con pendiente pronunciada, y protegerlos de daños utilizando bandas de molduras semiadhesivas.

El sistema EIFS tiene por norma usar pendientes 2:1, vale decir por cada 2 "unidades" horizontales, 1 vertical. Esta práctica permite peanas libres de cubrejuntas.

Los europeos a menudo usan cubrejuntas que se extienden bajo los bordes del EIFS en el marco superior. Esto mantiene el agua lejos de la peana.

3.1.8.3 *Aberturas en general*

Uno de los principales problemas de las aberturas diseñadas es su proceso de construcción. En particular, esto incluye la secuencia de la instalación de los materiales.

Las molduras son una gran ayuda para conseguir una protección adecuada contra el agua en los borde del sistema, aunque a menudo requieren que tanto los cubrejuntas como el EIFS se instalen antes de las ventanas. Esto generalmente no es posible pues con frecuencia se instalan las ventanas primero, lo que es un error cuando se utiliza EIFS. Por lo tanto, se hace muy difícil ubicar un cubrejuntas en el espacio entre el marco y el EIFS una vez que la ventana esta colocada. En este punto

es necesaria una buena coordinación entre los instaladores de ventanas y los instaladores de EIFS.

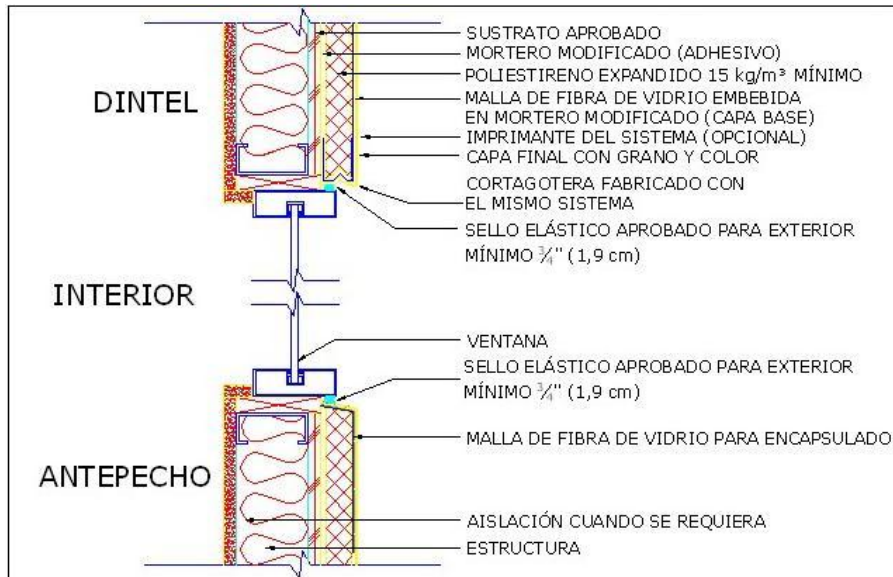


Fig. 3-i. Detalle constructivo de encuentro con vanos, sistema EIFS de barrera

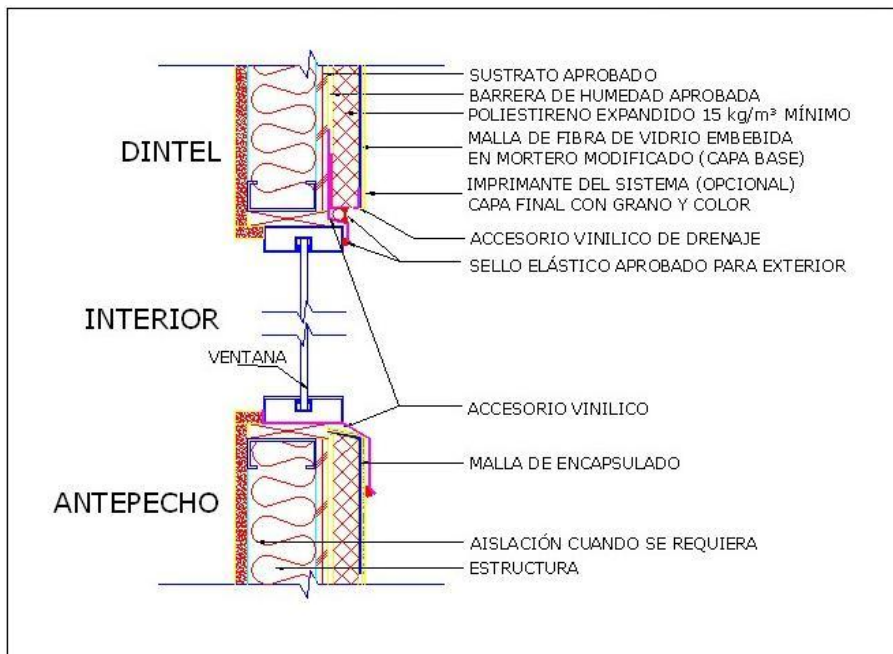


Fig. 3-j. Detalle constructivo de encuentro con vanos, sistema EIFS con drenaje

3.1.8.4 Refuerzos de esquinas

Las esquinas son puntos débiles en el sistema EIFS, dada la baja resistencia mecánica del EPS, por lo que son muy utilizados los refuerzos en tales lugares, lo que se consigue con esquineros de PVC ubicados bajo la malla de refuerzo o con la colocación de doble malla.

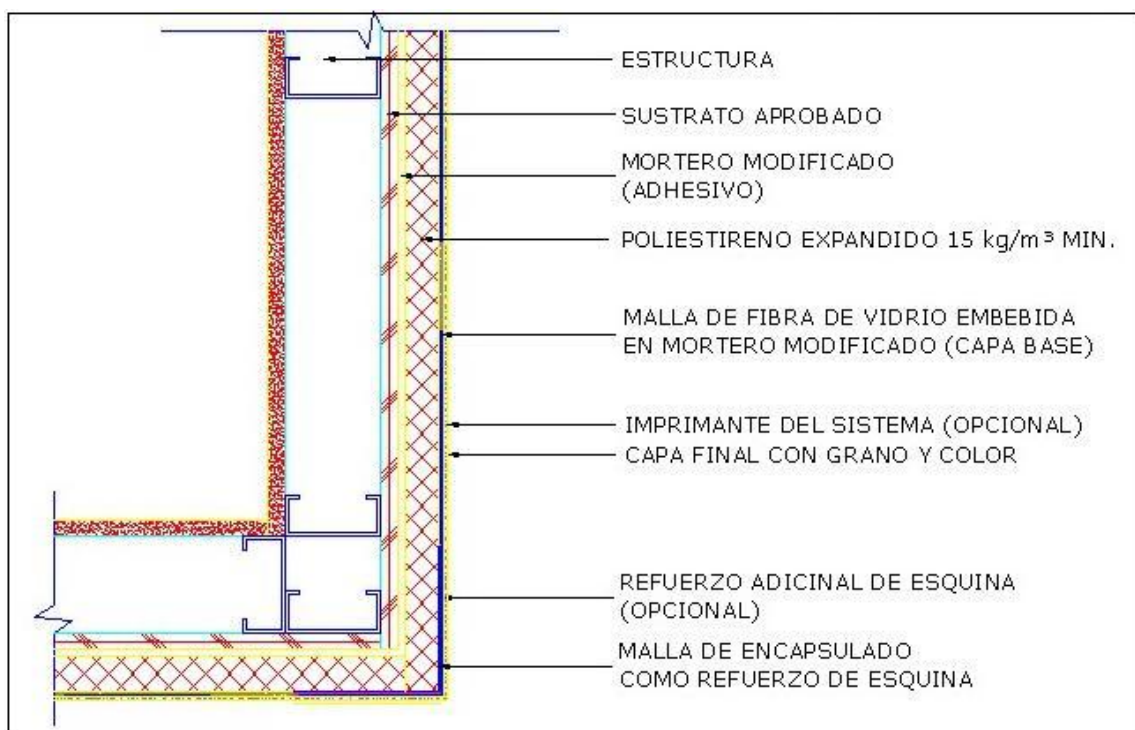


Fig. 3-k. Detalle constructivo de refuerzo de esquina en EIFS

En vanos de puertas, ventanas y pasadas, las tensiones en la lámina son más altas debido a la discontinuidad de ésta, concentrándose las tensiones a 45° de la esquina. Lamentablemente, la malla de refuerzo es más débil diagonalmente.

Se necesita pues un refuerzo extra en las esquinas para evitar grietas. Esto se consigue colocando tiras diagonales de malla de refuerzo en las esquinas, además de la malla regular.

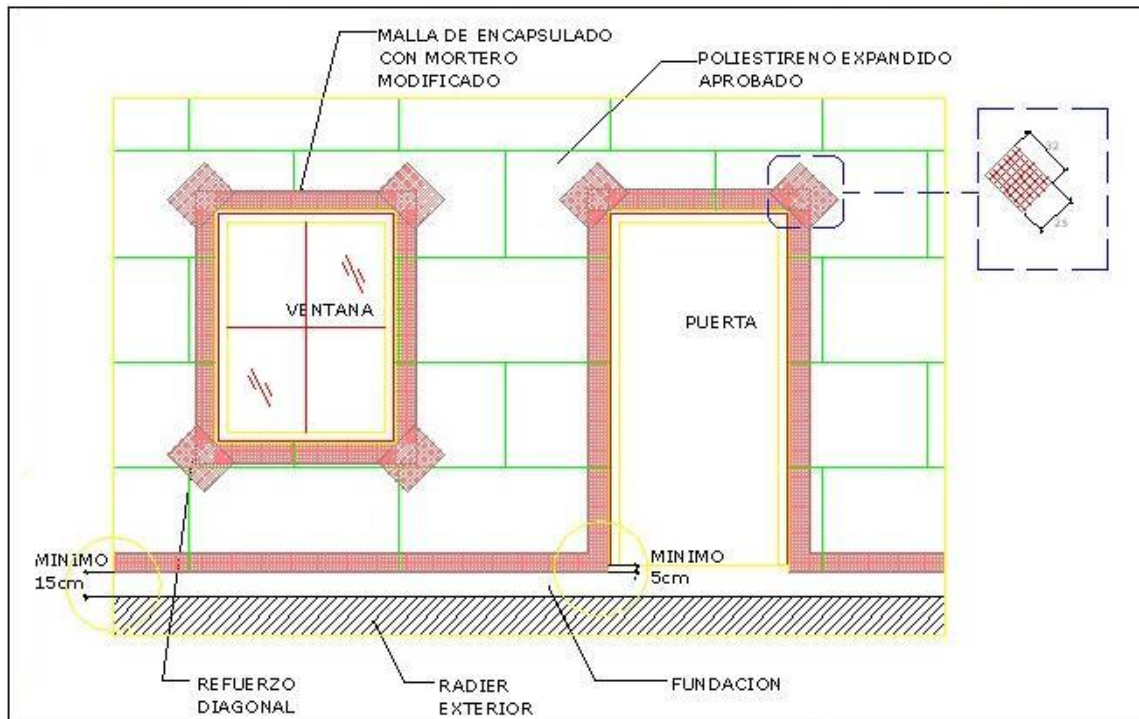


Fig. 3-l. Disposición de refuerzos en esquinas en sistema EIFS de barrera.

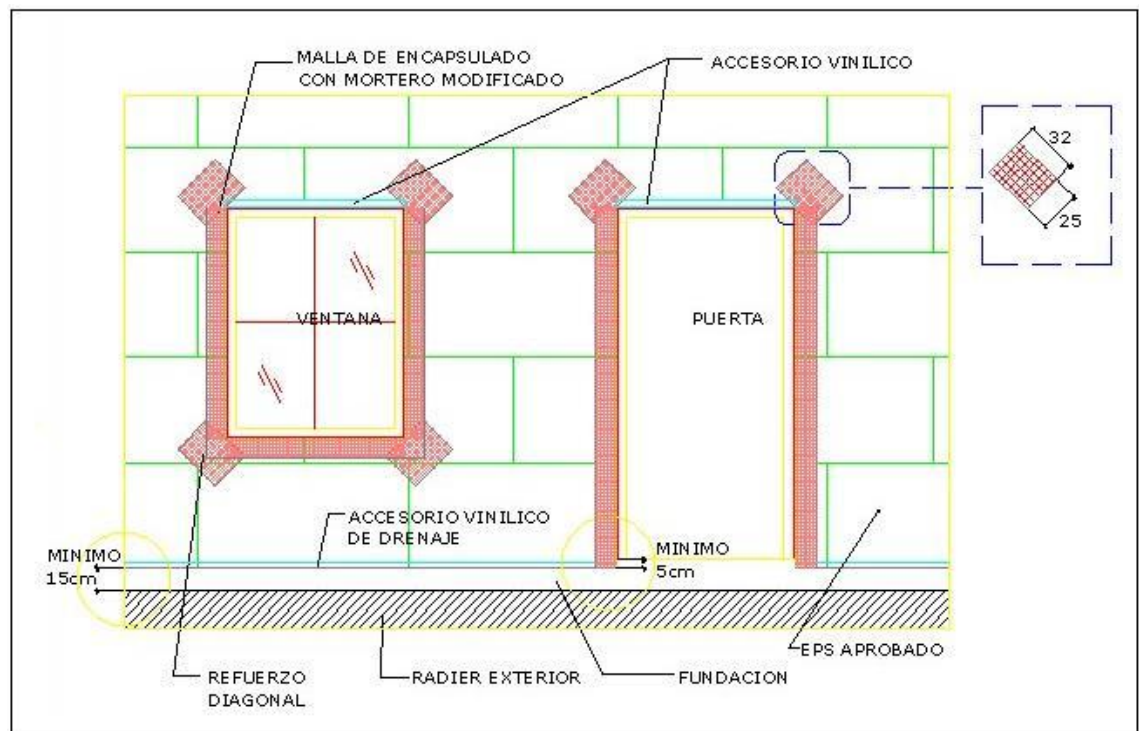


Fig. 3-m. Disposición de refuerzos en esquinas en sistema EIFS con drenaje.

Este refuerzo extra es necesario en todas las aberturas, como puertas, ventanas, y otros. La malla extra puede ser colocada en la parte superior de la placa aislante o en la parte superior de la capa base.

3.1.9 Formas y espesores

Un punto importante al detallar un EIFS es la determinación del espesor de la placa aislante y la forma final que debe tener el muro.

3.1.9.1 *Espesor del aislamiento*

La decisión sobre el espesor de la placa aislante se basa en los requisitos de las disposiciones reglamentarias, OGUC artículo 4.1.10 como mínimo y el cálculo de la misma acudiendo a la NCh853 para el valor de R de todo el muro, el nivel deseado de ahorro de energía y la estética.

El espesor mínimo de la placa aislante para el sistema EIFS es el máximo entre 20mm (mínimo necesario para una adecuada amortiguación entre el sustrato y la lámina) y la cantidad necesaria para cumplir con la reglamentación según la zonificación térmica del país. Este mínimo se aplica en todos los lugares de la placa aislante, incluso en la parte inferior de las ranuras estéticas.

En EE.UU. se limita el máximo a un espesor a 4". Se pueden considerar espesores mayores a 4" siempre que se fundamente técnicamente. Se debe tener en cuenta que los espesores están comprendidos entre 20mm y 100mm ($\frac{3}{4}$ " y 4" aproximadamente).

3.1.9.2 *Perfiles de espuma preformada*

Una de las características interesantes del EIFS es que se pueden elaborar superficies en el muro por medio del contorno de la superficie de la placa aislante. Esto permite fachadas de fantasía a una fracción del costo de otros materiales.

El término “perfil de espuma” se refiere a una pieza de material aislante de una forma especial que se utiliza para proporcionar algún tipo de estética característica del muro. Los ejemplos incluyen marcos de las ventanas, señalizaciones, pilastras, simulaciones de piedra esculpida, logotipos, etc.

Los perfiles de espuma se instalan uniéndolos al sustrato o encolándolos a una base de aislante previamente instalada. Las formas que se desean también se pueden hacer “socavando” el espesor de la placa aislante, logrando una forma negativa o de bajo relieve, cuidando siempre que el espesor del aislante total no sea inferior al de cálculo.

3.1.9.3 *Muros curvos*

Los muros con EIFS también pueden ser curvos y hay varias maneras de producir este efecto:

- Piezas delgadas de aislantes pueden doblarse en torno a una curva propia del sustrato. Las piezas dobladas se conservan temporalmente en el lugar con sujeciones mecánicas hasta que el adhesivo se seca.
- Gruesas piezas de aislante se romperán si se curvan en torno a un radio pequeño. Para evitar esto, se pueden hacer múltiples cortes a intervalos convenientes en la parte posterior de la placa aislante utilizando una sierra, router o un cortador de alambre caliente.

- Las placas aislantes pueden fabricarse curvadas de modo de seguir la curva del sustrato.

3.1.10 Penetraciones

Se entiende por penetraciones aquellos elementos que atraviesan el EIFS. Esto incluye tuberías, instalaciones eléctricas, soportes estructurales, etc. Varios aspectos de las penetraciones requieren atención:

- El perímetro de la penetración debe ser sellado para evitar la entrada de agua y las fugas de aire.
- A menudo, el objeto penetrante se expande, se contrae, se desvía o vibra. Este movimiento tiene que ser analizado y manejado.
- Se debe considerar, además, la temperatura de ductos, por ejemplo, ductos de ventilación de calderas.

Las penetraciones pueden agruparse en tres categorías básicas:

- Las pequeñas penetraciones son muy comunes. Un ejemplo sería un solo conducto eléctrico. El problema con las pequeñas penetraciones es que la relación entre el diámetro del agujero y el espesor de la placa aislante es tan baja que el borde no puede ser envuelto.
- Las grandes penetraciones son también comunes. Un ejemplo sería un gran conducto. Un simple calafateo es a menudo inadecuado en grandes penetraciones. Por ejemplo, si hay una gran cantidad de conductos puede ser común que vibren. El sellado a veces no puede soportar la cantidad de movimiento que se produce. En tales casos, es mejor un sistema mecánico de cierre.
- La agrupación de penetraciones algo separadas puede debilitar el sistema, siendo difícil obtener un sello duradero. En tal caso, es mejor reunir el grupo de penetraciones de tal forma que pasen por una única abertura.

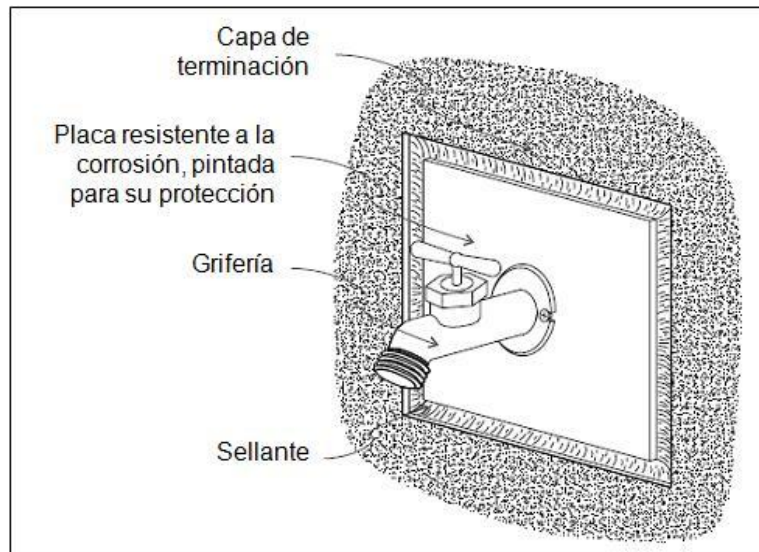


Fig. 3-n. Ejemplo de penetración y tratamiento^{ix}.

Siempre que se tengan penetraciones, éstas deben ser diseñadas de tal manera de no producir puentes térmicos, aislando adecuadamente los conductos responsables de la penetración.

3.1.11 Objetos sobrepuestos en el muro

Los objetos sobrepuestos en el muro son objetos que se han montado en la superficie exterior del EIFS. Esto no significa que se adhieren a la lámina, más bien significa que el objeto está por lo menos en contacto con ella. Ejemplos pueden ser signos, bajadas, barandas, luminarias, cajas de alarmas, timbres, topes de puerta, etc.

Se debe tener un especial cuidado al momento de instalar objetos sobrepuestos, ya que la lámina no tiene la fuerza suficiente para resistir cualquier tipo de carga; prácticamente todo debe estar unido a través del EIFS a la parte estructural del sistema de sustrato.

^{ix} Referencia figura: Guide to EIFS, EIMA, 2000.

Al hacer fijaciones a través de un EIFS se debe tener cuidado de no aplastar el sistema cuando se aprietan las fijaciones mecánicas del montaje. Se pueden ocupar separadores embebidos en el aislante para mantener la firmeza del sistema.

Todos los objetos sobrepuestos tienen que ser sellados en torno a su perímetro. Esto es especialmente importante en la parte superior por donde el agua fluye hacia abajo en el muro y tiende a quedar presa en el accesorio. Además los objetos sobrepuestos pueden vibrar, desviarse, contraerse o dilatarse por lo que el sellador a utilizar debe ser capaz de soportar estos cambios.

Si se tiene un gran número de elementos sobrepuestos en una zona, se recomienda localizarlos en un marco externo y adjuntar luego el marco al sustrato por medio de unas pocas penetraciones, que se sujetan a la estructura portante o muro directamente sin cargar la aislación, debiendo proyectarse antes de la ejecución del EIFS.

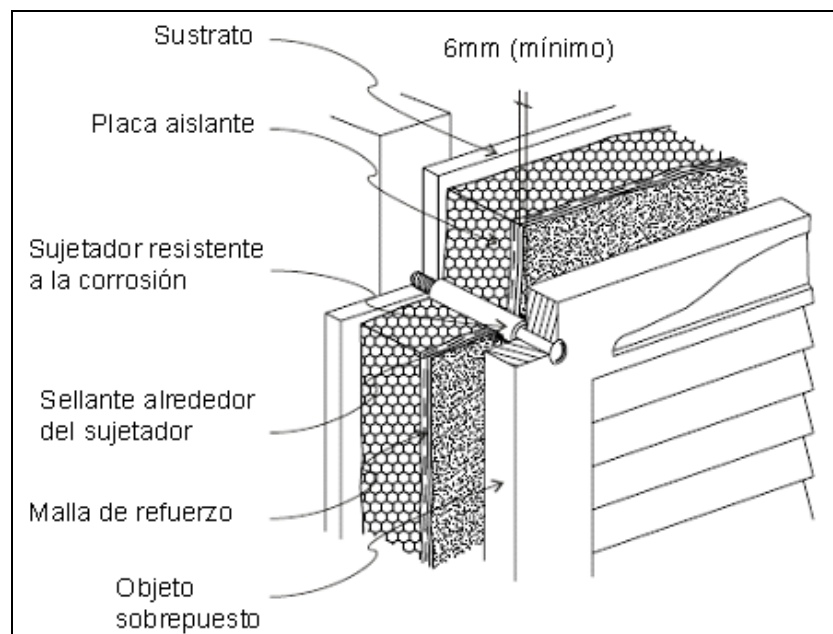


Fig. 3-o. Ejemplo de objeto sobrepuesto en EIFSx.

^x Referencia figura: Guide to EIFS, EIMA, 2000.

Si se tiene un gran número de elementos sobrepuestos en una zona, se recomienda localizarlos en un marco externo y adjuntar luego el marco al sustrato por medio de unas pocas penetraciones, que se sujetan a la estructura portante o muro directamente sin cargar la aislación.

Se debe asegurar que el sistema usado para la instalación sea resistente a la corrosión para que no afecte al EIFS. Para ello se recomienda el uso de plástico o acero inoxidable.

3.1.12 Barreras contra el fuego

Las barreras contra incendio o los materiales resistentes al fuego se utilizan para proteger la espuma aislante de plástico contra los incendios. Las espumas aislantes de plástico utilizadas en la construcción son combustibles por tanto deben tratarse para convertirlas en autoextingibles. En legislaciones extranjeras están específicamente reguladas por los códigos de la construcción, estos exigen que las espumas estén separadas del interior de la construcción por un material que resista al fuego 15 minutos como mínimo. Conviene que su espesor no supere las 4" (10cm aproximadamente) de tal manera de restringir la carga combustible por unidad de superficie (ver 4.3 Protección contra el fuego).

Al instalar un EIFS se debe asegurar que la barrera contra incendios cubra todo el interior.

3.1.13 Barreras de vapor

Una barrera de vapor es un material laminar que se utiliza para dificultar el flujo de vapor de agua en el muro. El propósito es evitar la condensación en el interior del muro. Se usan generalmente en lugares donde se producen heladas.

¿Dónde colocar la barrera de vapor?

En muros de entramado:

- Poner el aislante térmico en la cara interior de la cavidad. Se recomienda usar lana mineral o de vidrio dada su incombustibilidad.
- Poner una lámina barrera de vapor entre el muro entramado y la placa de yeso-cartón
- Poner una placa de yeso-cartón
- Utilizar una cubierta interior de muro.
- Aplicar una pintura anti-humedad si las cualidades de la placa interior lo ameritan.

En muros sólidos:

Si es necesario, aplicar una barrera de vapor en la cara interior del muro, entre el revestimiento interior y el muro.

Es fundamental que la barrera de vapor sea continua, sin interrupción, sobre todo en el límite superior e inferior y alrededor de las penetraciones en el muro tales como enchufes eléctricos, telefonía, etc.

Incluso los pequeños agujeros dejan pasar grandes cantidades de humedad, llegando al muro por medio de corrientes directas de aire, en este sentido el diseño y la buena mano de obra es un factor clave.

A veces se necesitan barreras de vapor por el exterior del muro. Esto puede ser necesario en climas calurosos y húmedos donde se refrigeran los ambientes interiores. En tal caso se necesita hacer un estudio acucioso de los ciclos de condensación.

3.1.14 Reacondicionamiento de edificios

El reacondicionamiento o la remodelación de edificios representan uno de los mejores usos de la aislación exterior (EIFS o FV) y también los mayores desafíos. Esto se debe a que el número de opciones para las cuales se detallan las readaptaciones a menudo es limitado. Hay muchos detalles especiales que se deben tener presente.

3.1.14.1 *Sustratos*

¿Es adecuado cualquier sustrato para fijar un EIFS? Algunos tipos de revestimiento deben ser eliminados o alterados antes de aplicar el EIFS. Dado que el sistema adhesivo depende por entero de la unión a la superficie es necesario considerarlo primordialmente. A veces la solución es quitar el revestimiento, empezando de cero (sustrato desnudo), aunque esto es poco práctico por razones de costo, ruido, escombros, etc. La adhesión al revestimiento existente se puede hacer, pero es con frecuencia arriesgada. Se pueden hacer pruebas previas con adhesivos. Esto no significa sólo una o dos pruebas; es necesario determinar cuáles son los sustratos existentes en la envolvente en los que se instalará el EIFS y hacer pruebas sobre cada uno de ellos. Las pruebas incluyen la fijación del EIFS al sustrato de tal manera de determinar cuánta fuerza es necesaria para removerlo. Si se utilizan adhesivos, la fortaleza de la unión del adhesivo a la superficie deberá ser superior cualquiera que sea el vínculo entre las capas que están debajo de ella y la fortaleza de la propia placa aislante. Si hay alguna duda acerca de la calidad de la adherencia, las pruebas deben repetirse. Si los resultados siguen siendo malos, se recomienda cambiar el método de fijación a utilizar. Esta es un área en la que sujeciones mecánicas son realmente eficaces, frecuentemente son la única manera de obtener una fijación confiable.

3.1.14.2 *Integridad estructural*

La integridad general estructural del muro es fundamental. La colocación de un EIFS no puede lograr que un muro estructuralmente dañado quede como nuevo. El aislamiento exterior, sin embargo, tiende a estabilizar el muro desde el punto de vista de las fugas térmicas y de agua. Esto puede ser un factor importante en la selección del EIFS sobre otros métodos de reacondicionamiento.

La condición estructural de los muros tiene que ser evaluada. En particular, si se trata de la condición de edificios viejos de albañilería o de hormigón. Si se estima necesario, la construcción debe ser reparada estructuralmente antes de instalar un EIFS.

3.1.14.3 *Elementos proyectados*

Los elementos estructurales o estéticos proyectados sobre la superficie del sustrato tendrán que ser eliminados o rodeados, siempre identificándolos adecuadamente. Se debe comprobar qué objetos se pueden eliminar y cuales se deben re-adherir.

En el reacondicionamiento de edificios las ventanas presentan un gran desafío. El sistema EIFS aumenta el espesor de los muros y tiende a hacer que las aberturas de las ventanas luzcan más hundidas. Si se están colocando ventanas nuevas, el EIFS exige preocuparse como si fuese una nueva construcción. A veces es más fácil simplemente reemplazar las ventanas viejas por nuevas.

3.1.14.4 *Transición muro-techo*

¿Cómo considerar la unión del muro con el techo? A veces, los techos tienen una pequeña pendiente y el aumento en el espesor del muro podría prolongarse más allá de la línea de techo. Esta área es propicia para fugas y, a menudo, tiene un aspecto extraño. El borde del tejado podría tener que ser reconstruido de manera que se extienda más allá del plano del muro. En estos casos, es necesario colocar bandas moldeadas (junquillos) en la parte superior.

3.1.14.5 *Juntas existentes*

Se deben tener siempre presentes las juntas de dilatación existentes en el muro en las cuales el EIFS deberá también tener sus propias juntas de dilatación.

3.1.14.6 *Protecciones adicionales*

Tanto en edificios nuevos como en edificios existentes que se desean reacondicionar se debe incluir una malla de refuerzo adicional cerca de pasarelas, puertas, entradas, etc. Mejor aún, se debe considerar la instalación de algún tipo de amortiguador de impactos o buffer en frente del EIFS de tal manera de defenderlo de impactos o fuertes roces que lo afectarían. También es recomendable instalar tubos de acero rellenos de hormigón en las entradas de vehículos para proteger el EIFS de posibles golpes.

3.2 CONSIDERACIONES EN FV

En la planificación de una FV como sistema de aislación exterior se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Características y propiedades de la capa interior del cerramiento.
- Tipo de sistema soportante de la FV, características de las fijaciones a la estructura del edificio.
- Tratamiento de juntas de las uniones propias del sistema.
- Paramento o revestimiento exterior.
- Accesorios necesarios para dar una terminación adecuada al sistema.

3.2.1 Características de la capa interior del cerramiento

Las propiedades de la capa interior del cerramiento indican las características que debe tener el sistema de fachada ventilada a instalar, es decir, el tipo de sistema soportante que se debe utilizar.

Un sistema de aislación del tipo FV debe cumplir con tres requisitos esenciales: planeidad, estabilidad y estanqueidad al aire y al agua. Estos requerimientos pueden ser satisfechos por la capa interior del cerramiento o por el sistema de fachada propiamente tal y es por ello la importancia de determinar las características que debe poseer, en el caso de un edificio en construcción, o que posee, en el caso de un reacondicionamiento, la capa interior del cerramiento.

La primera función, la estanqueidad al aire, es poco analizada en la fachada pesada puesto que la asume con facilidad la capa interior de albañilería u hormigón. Al utilizar soluciones más ligeras, esa estanqueidad merece más atención. Se debe recordar que la cámara de aire está sometida a cambios de presión provocados por el

viento, con lo que cualquier perforación de un tabique interior puede producir intercambios de aire con el espacio habitable. Este problema se ha dado en fachadas en las que la capa interior se reduce a una lámina simple de yeso-cartón perforada por cajas de instalaciones eléctricas u otras similares.

La estabilidad frente a las acciones del viento, la segunda función, también es asumida con facilidad por la albañilería o el hormigón de la capa interior. Al utilizar soluciones más ligeras, esa función pasa a ser responsabilidad de algún otro elemento con capacidad estructural, como pueden ser montantes metálicos o láminas con cierta capacidad mecánica, que se sitúan tanto insertos entre losas como tendidos por el exterior de sus cantos.

Sin embargo, la planeidad de la capa exterior, la tercera función, no es inmediata en la solución de capa interior pesada. Si no se ha levantado la albañilería con un control general de la nivelación en el conjunto de toda la fachada, tendrá que ajustarse con el anclaje de la capa exterior.

Dados estos tres requisitos se pueden tener tres tipologías para sistemas de fachadas ventiladas:

- 1) Planeidad exterior; estanqueidad y estabilidad en la capa inserta.
- 2) Estabilidad y planeidad externas; estanqueidad en la capa inserta.
- 3) Estanqueidad, resistencia y planeidad exteriores: Capa intermedia.

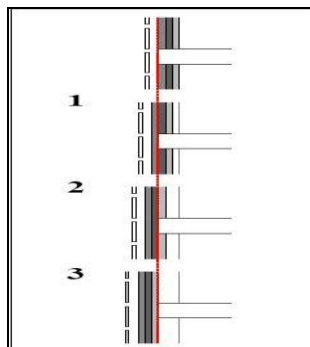


Fig. 3-p. Tipologías de fachadas ventiladas

3.2.1.2 *Planeidad exterior; estanqueidad y estabilidad de la capa inserta*

La industria ha ido desarrollando anclajes cada vez más complejos para permitir una más fácil regulación, pero se está extendiendo progresivamente el uso de unos perfiles guías intermedios que permiten asegurar mejor planeidad general a la capa exterior. Los perfiles guías tienen que ser capaces de soportar la carga vertical de la capa exterior y de transmitir a la interior las acciones del viento o el sismo. Es habitual que se apoyen también en la capa interior, si es de albañilería u hormigón, para poder reducir su inercia y por lo tanto su coste.

Cada anclaje se fija a un montante en posición vertical que, a su vez, se fija a la superficie interior. Esta solución aporta grandes mejoras a la hora de conseguir la planeidad de la fachada ya que, asegurando la verticalidad y coplanaridad de los montantes, queda dibujado el plano de fachada.



Fig. 3-q. Ejemplo de perfil utilizado en FV.

Los montantes se resuelven con perfiles en “T” u “Ω”. Existen también perfiles tipo guía por los que se puede desplazar el anclaje hasta la posición adecuada. Todos estos perfiles son, por lo general, de aluminio o de acero galvanizado.

La disposición de montantes verticales entre el anclaje a la placa y la capa portante posterior facilita la nivelación en las coordenadas Y y Z, así como minimiza el número de puntos de perforación de la capa interior.

3.2.1.3 Estabilidad y planeidad externas; estanqueidad en la capa inserta.

La capa interior pierde su responsabilidad mecánica y suele reducirse a un tabique ligero. Generalmente es un multicapa formado por una lámina de yeso-cartón al interior y un tablero de cemento o fibro cemento al exterior. Unos montantes, de una capacidad mecánica suficiente como para asumir las cargas del viento y el sismo, se colocan en los bordes de las losas. A su perfecta colocación se encomienda también la planeidad. La capa exterior cuelga de esos montantes, que tienen que transmitir a las losas sus acciones horizontales y verticales.

3.2.1.4 Estanqueidad, resistencia y planeidad exteriores: Capa intermedia

Este tipo presenta un cambio radicalmente innovador. Fuera del canto de las losas debe aparecer algún tipo de superficie continua que garantice la estanqueidad al aire. Entre las losas sólo queda un trasdosado como acabado interior. Entre ambos pueden disponerse las instalaciones, puesto que esa cámara no está en contacto con el exterior.

Dentro de este tipo, la solución más simple consiste en colocar unos montantes que asumen la resistencia mecánica y la planeidad como en el caso anterior, y luego disponer sobre ellos una lámina continua para conseguir la estanqueidad al viento. La

importancia y continuidad de esta lámina, siempre separada de la capa exterior por la cámara ventilada, hace que se pueda hablar de una capa central.

En Chile, dado que la mayoría de las construcciones son hechas en base a estructuras de albañilería u hormigón armado, el sistema de fachada ventilada más idóneo es aquel en el cual la lámina interior del cerramiento aporta la estabilidad al sistema y la estanqueidad al aire, mientras que la capa exterior proporciona la planeidad.

3.2.2 Sistema soportante y fijaciones estructurales

El principio de proyectar una FV radica en la autonomía estática de cada una de las placas de revestimiento del paramento y en la eliminación del mortero de fijación.

Al no quedar directamente adherida al soporte estructural, la placa de revestimiento puede dilatarse libremente, independientemente de los movimientos del soporte estructural, y seguir, además, los asentamientos y las oscilaciones del edificio gracias al grado de elasticidad de las fijaciones. En la siguiente figura se pueden distinguir tanto las placas de revestimiento como el sistema de soporte estructural (perfiles y travesaños).



Fig. 3-r. FV en instalación.

Los sistemas de fachada ventilada pueden dividirse en dos grupos según el tipo de fijación de los módulos a utilizar:

- Ganchos visibles (GHV)
- Ganchos invisibles (GHS)

La principal diferencia entre los dos grupos, desde un punto de vista constructivo, está en el tipo de fijación estructura-placa, en la utilización de una estructura horizontal de travesaños interpuestos entre montantes y accesorios de fijación en los sistemas GHS.

Dentro de cada grupo pueden utilizarse guías, montantes y travesaños con perfiles de distinta forma y dimensión según el tipo de muro portante, las dimensiones y peso de cada módulo y de las cargas específicas del viento, estos son los únicos parámetros que determinan la utilización de una escuadría y tipo de fijación.

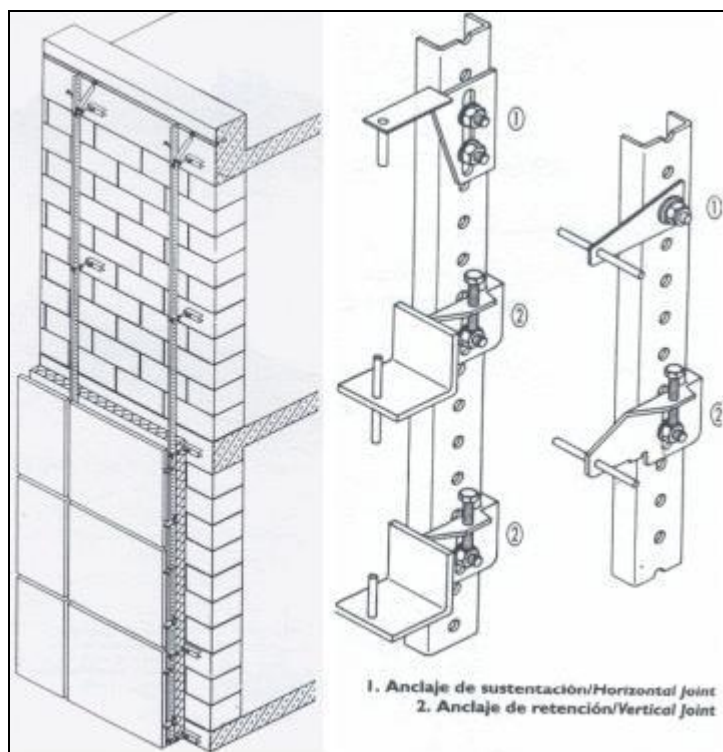


Fig. 3-s. Ejemplos de perfiles utilizados en FV.

Es importante, al momento de instalar la estructura portante, que los perfiles queden correctamente alineados, ya que de esta manera se puede obtener una fachada recta y coplanar.

Los fabricantes de sistemas de fijación deben proveer las fichas técnicas de los distintos sistemas de fijación, de modo que quede clara la forma de instalación, con descripciones esquemáticas y técnicas relativas a resolver la mayor parte de las posibles situaciones a tener en la instalación misma.

3.2.3 Juntas

Las juntas son los espacios que separan las placas de revestimiento y su función es la de permitir el movimiento de las mismas debido a las dilataciones térmicas del sistema y a los movimientos elásticos.

La absorción de los movimientos requiere que las juntas sean de dimensiones correctas y consientan desplazamientos y dilataciones sin que las placas interfieran entre sí. Por ello las juntas deben variar entre 4 y 8 mm, en función de la dimensión de las placas, de la altura del piso del edificio y de la estructura utilizada.

3.2.4 Paramento o revestimiento exterior.

Para obtener los mejores resultados estéticos y cualitativos, se recomienda empezar por la elección de los materiales a utilizar, puesto que lo que valoriza mayormente el edificio es el revestimiento exterior.

La función del revestimiento consiste en caracterizar la estética del edificio, así como proteger su estructura de albañilería, hormigón o madera de los agentes

atmosféricos y contaminantes y contribuir a obtener los mejores resultados de aislación y protección.

Algunos atributos recomendables en los materiales aplicados como revestimiento de una FV son:

- Elevada resistencia mecánica.
- Elevada resistencia al choque térmico.
- Reducida absorción de agua.
- Incombustibilidad.
- Estabilidad de los colores a la luz solar.
- Resistencia a los ataques químicos y a la contaminación.
- Bajo mantenimiento.

3.2.5 Accesorios

Como acabado de FV, hay una serie de accesorios fundamentales, que se deben considerar a fin de realizar un buen proyecto:

- Deben colocarse capas de revestimiento en la parte superior de la estructura para impedir la entrada en su interior de cuerpos extraños (nieve, agua, etc.).
- Se deben disponer estructuras de fijación para elementos horizontales en solución de ventanas y puertas que den estanqueidad al sistema.
- En las esquinas del edificio se deben disponer de perfiles o ángulos con el fin de proteger los cantos.
- En la base de la rejilla se deben instalar rejillas de ventilación para impedir la entrada de pequeños elementos molestos, insectos, aves, u otros.

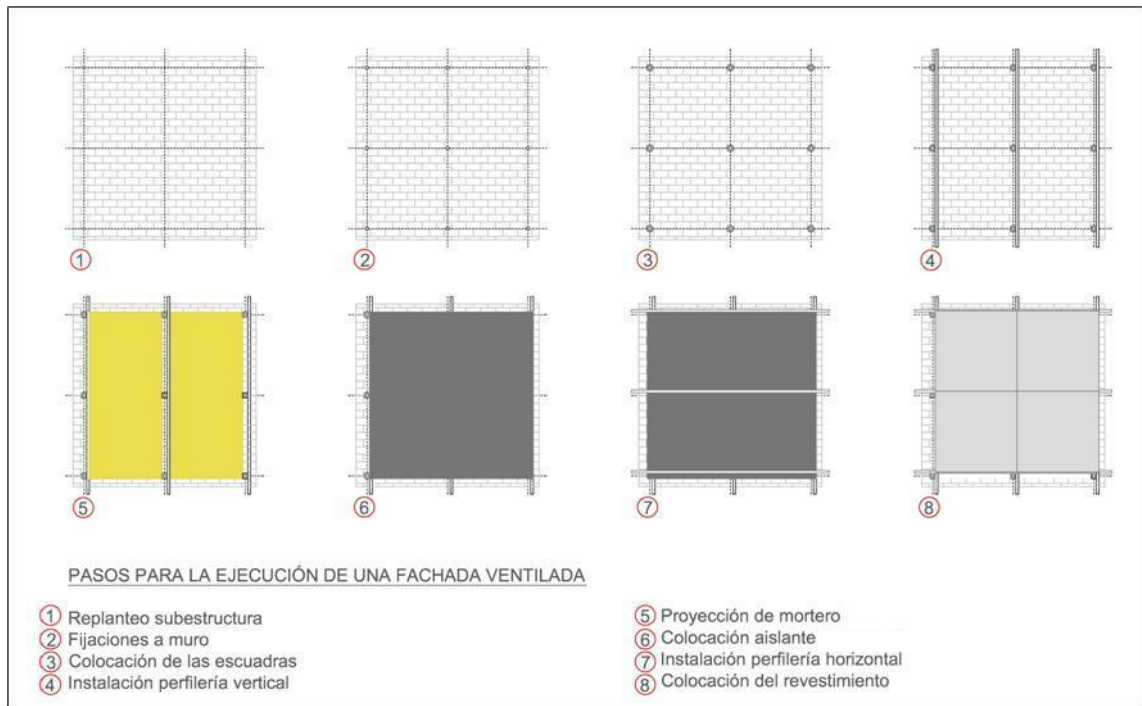


Fig. 3-t. Pasos para la ejecución de una FV.

Finalmente, siempre se deben tener en cuenta cuáles serán los pasos a seguir al momento de instalar una fachada ventilada, organizando las faenas de una manera adecuada de tal forma de determinar con certeza la cantidad de materiales necesarios y el tiempo que llevará la ejecución de la obra. Existen diversas maneras de programar la ejecución de una FV, en la figura 3-t se muestra un ejemplo de los pasos a seguir en la ejecución de una fachada ventilada.

4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Al decidir qué tipo de aislación debe ser instalada en un edificio cualquiera se deben considerar ciertos factores concernientes al diseño de la aislación para que ésta resulte eficiente. Dentro de las consideraciones en el diseño se pueden destacar las siguientes:

- Factores climáticos.
- Durabilidad de la aislación.
- Protección contra el fuego.
- Impacto ambiental
- Diseño arquitectónico

4.1 FACTORES CLIMÁTICOS

Cuando se aísla un edificio se deben tener en cuenta los factores climáticos del lugar de emplazamiento, es decir, se debe estudiar con acuciosidad el clima del lugar, de tal manera de poder elegir de una manera adecuada el tipo de aislamiento que se utilizará así como los mecanismos de protección adicional que se pudiesen necesitar. Los factores climáticos más importantes a considerar son:

- Humedad
- Lluvia
- Soleamiento

A continuación se analizará cada factor por separado, aunque en la práctica se deben analizar en conjunto de manera de diseñar un sistema de aislamiento capaz de soportar los embates del clima sin deteriorarse.

4.1.1 Humedad

La humedad es uno de los factores que más inciden en la configuración de la aislación en sí, principalmente porque los materiales aislantes disminuyen su resistencia térmica al estar húmedos. Como ya se vio en el capítulo 1.5, se tienen cinco tipos de humedades:

- Humedad de construcción
- Humedad proveniente del suelo
- Humedad climática
- Humedad de condensación
- Humedad accidental

De estos cinco tipos, la humedad proveniente del suelo y la humedad climática son propias del lugar de emplazamiento de la obra y se deben estudiar antes de decidir qué tipo de aislación se utilizará y cómo se materializará, es decir, qué sistemas serán ocupados para proteger de la humedad al edificio.

La humedad no sólo ocasiona daños al interior del inmueble sino que también deteriora el sistema de aislación, ya que el material aislante al humedecerse disminuye su resistencia térmica considerablemente. Existen diversas formas de proteger la aislación de los efectos de la humedad, las más importantes son:

- Desviar las aguas lluvias hacia el exterior del sistema por medio de canaletas, vierteaguas y bota gotas.
- Mantener las uniones del sistema aisladas por medio de sellantes o molduras.
- Permitir un correcto drenaje de las aguas lluvias en el terreno, desviándolas de los cimientos del edificio.
- Colocar revestimientos permeables al vapor de agua y resistentes a la penetración de agua líquida.
- Diseñar y proteger los cimientos con materiales aislantes a la humedad.

Con respecto a la humedad atmosférica, un factor que influye de manera determinante es la colocación y ubicación adecuada de las barreras de vapor y de humedad, así como también la permeabilidad al vapor del sistema aislante en su conjunto.

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el contenido de humedad de un material aislante, esta propiedad siempre debe ser indicada en los materiales aislantes o su valor inverso, la resistividad al vapor. Para materiales aislantes comercializados en espesores fijos y determinados se podrá dar, asimismo, su resistencia a la difusión al vapor en $[g/MN \cdot s]$, o su inverso la permeanza. En materiales compuestos que llevan incorporada una lámina o barrera contra el vapor se deberá dar el valor de la resistencia al vapor o permeanza del conjunto, debiendo tenerse en cuenta que tal resistencia es la propia del material sin incluir las juntas que eventualmente pueda tener el aislamiento (ver capítulo 1.5 Humedad).

Es importante destacar que la reglamentación vigente en Chile considera para el cálculo de la resistencia térmica total de una solución aislante, las resistencias térmicas de los materiales presentes en dicha solución en su estado seco a peso constante. Como se ha dicho, la resistencia térmica de los materiales disminuye estando húmedos, por lo cual es conveniente considerar la resistencia de los materiales en su estado de uso al momento de determinar cuánto aislante es necesario utilizar, sobre todo en lugares lluviosos donde la humedad ambiental es alta.

4.1.1.1 *Barrera de vapor (agua vapor)*

Las barreras resistentes a la difusión del vapor de agua son materiales en forma de lámina que cumplen la función de prever y evitar el paso de aire cargado de humedad a través de muros o tabiques, reduciendo cualquier riesgo de condensación que se produzca al interior del elemento constructivo que delimita el espacio habitado interior con el exterior. La condensación se produce cuando el agua contenida en el aire en

forma de vapor pasa o migra por presión positiva al interior del muro y tabique y se condensa o licua al bajar la temperatura bajo del punto de rocío. Para impedir que esto ocurra es necesario colocar barreras resistentes a la difusión del vapor de agua, las que se distinguen según el rango de permeanza que tienen^{xi}:

Ejemplos de permeanza de barreras de vapor → $0,0043 \leq \Delta \leq 0,100$ [g/MN·s]

Film de poliéster de 0,025mm

Film de polietileno de 0,05mm

Film de polietileno de 0,10mm

Ejemplo de corta vapor → $\Delta < 0,0043$ [g/MN·s]

Hoja de aluminio de 0,008mm

Las láminas corta vapor son barreras de vapor que se incorporan habitualmente en cerramientos envolventes livianos de baja inercia térmica como tabiques de madera y de estructura metálica.

Las barreras de vapor se utilizan principalmente para detener el flujo de vapor de agua desde el interior del cerramiento hacia el exterior, evitando así las condensaciones en elementos de la envolvente.

Las barreras de vapor deben ubicarse siempre por la cara más caliente del elemento (generalmente espacio habitado interior), teniendo la precaución de sellar adecuadamente empalmes, pasadas o perforaciones tales como cajas eléctricas u otras.

^{xi} Valores según la norma española CTE-2006

4.1.1.2 Barrera de humedad (agua líquida)

La barrera de humedad es una capa que impide el paso de agua líquida desde una zona húmeda hacia una zona seca. Por ejemplo la aspiración de agua por capilaridad desde los cimientos hacia el muro seco.

Las barreras de humedad se ubican por lo general por la cara exterior del cerramiento, envolviéndolo por debajo, desde los cimientos, de tal manera de proteger el cerramiento de la humedad del suelo, evitando así la humedad por ascensión capilar.

Al instalar barreras de vapor y/o de humedad se debe asegurar que éstas queden puestas de forma continua para evitar filtraciones perjudiciales para el sistema y el inmueble.

4.1.2 Lluvia

El agua se presenta en la naturaleza en tres formas o fases: hielo sólido, agua líquida y vapor gaseoso. Basta entregar al hielo cierta cantidad de calor para que se transforme en agua. Asimismo, el agua con cierta cantidad de calor se transforma en vapor de agua. Esta fenomenología puede representarse por las siguientes ecuaciones por kg de agua:

- | | |
|---|----------------------------------|
| a) $\text{H}_2\text{O}_{\text{hielo}} + 80 \text{ kcal} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{líquida}}$ | fenómeno de licuación |
| b) $\text{H}_2\text{O}_{\text{líquida}} + 540 \text{ kcal} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{vapor}}$ | fenómeno de vaporización a 100°C |
| c) $\text{H}_2\text{O}_{\text{vapor}} - 540 \text{ kcal} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{líquida}}$ | fenómeno de condensación a 100°C |
| d) $\text{H}_2\text{O}_{\text{líquida}} - 80 \text{ kcal} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{hielo}}$ | fenómeno de solidificación |

El valor 80 kcal/kg representa el calor de licuación en a) y el calor de solidificación en d). Como el hielo ocupa mayor volumen que el agua, este fenómeno de enfriamiento posee un tremendo efecto destructor al introducir agua en los materiales pétreos que luego al solidificarse se expande destruyéndolos. Es el fenómeno llamado comúnmente “ciclo hielo deshielo” que se produce en aquellas regiones donde con frecuencia la temperatura desciende por debajo 0°C.

Por otro lado, 540 kcal/kg representa el calor de vaporización en la ecuación b) y el calor de condensación en c). Aquí el problema es de naturaleza muy distinta porque las propiedades físico-químicas del agua líquida son muy distintas a las del vapor de agua o las del hielo.

El agua líquida cuenta con un gran poder disolvente de sales, a las cuales ioniza. Gran parte de esos iones son muy activos químicamente. También disuelve gases y otras sustancias. Asimismo, debido a su tensión superficial presenta una gran fuerza de capilaridad que la hace desplazarse contra la gravedad en fisuras, grietas y capilares. Ésta y otras características como su viscosidad, calor específico, conductividad eléctrica y térmica, y movilidad iónica la hacen muy destructiva en metales, no metales y materiales orgánicos.

La vida, tanto microscópica como macroscópica, vegetal y animal, se ve muy favorecida por la presencia de agua líquida que facilita toda clase de fenómenos físicos, químicos y biológicos, como corrosiones, oxidaciones, ascensión capilar, eflorescencias, crecimiento de mohos, insectos, micro-líquenes, hinchamientos, pudriciones y decoloraciones, entre otros.

Escasos materiales logran resistir incólumes la presencia sostenida de agua líquida. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el agua gas ni con el hielo, los cuales, a menos que se transformen al estado líquido, casi no producen daños.

En consecuencia, los materiales en los edificios, sean pétreos, metálicos u orgánicos, deben mantenerse secos para garantizar su integridad en el tiempo.

Por lo anterior, cuando se diseña un sistema de aislación térmica exterior se debe considerar como se evacuarán las aguas lluvias de tal manera que estas no penetren en el sistema ni humedezcan los materiales aislantes. De esta forma, tanto al ocupar un sistema EIFS como al utilizar FV se debe disponer sistemas de canalización de aguas lluvias tales como canaletas, bajadas de agua, corta gotera, etc.; además se debe disponer una fachada uniforme en cuanto al sellado de juntas y uniones, de tal manera de ser una barrera impermeable al agua. En general, el tratamiento que se requiere para manejar las aguas lluvias es similar al utilizado para la humedad exterior.

Como se mencionó en la sección anterior, 4.1.1 Humedad, la presencia de humedad no sólo deteriora los materiales de construcción sino que además aumenta la conductividad térmica de éstos y en especial de los materiales aislantes. Por consiguiente es conveniente diseñar protecciones adecuadas contra la humedad.

Es importante considerar la utilización de una barrera que impida que se moje el muro por su cara exterior, para así evitar su humedecimiento, sea por lluvias u otras causas. Importantes son los aleros, canaletas, bajadas de agua y corta gotera, etc.

En caso del EIFS, el sistema debe ser impermeable en sí para que no se moje el aislante, pero permeable al vapor de agua.

Una buena forma de proteger los muros sin EIFS o FV, es colocar recubrimientos o protecciones contra la lluvia del tipo sobrepuestos, que dejen un espacio entre muro y protección para facilitar la circulación de aire.

Al utilizar como sistema aislante la fachada ventilada, la protección del muro ante los efectos de la lluvia queda en manos de las placas de revestimiento exterior, las que actúan como protección de la estructura del edificio frente a la acción directa de los agentes atmosféricos, mientras que la cámara de aire entre el revestimiento y el muro aislado actúa como chimenea permitiendo que se evaporen las eventuales humedades.

4.1.3 Soleamiento

Al hablar de soleamiento de un edificio se hace referencia a cuánta radiación solar recibe éste durante el día y cómo la recibe. El estudio del soleamiento de un edificio se debe realizar en etapa de proyecto, ya que influye directamente en la arquitectura del mismo.

El “principio de soleamiento” en arquitectura se define como el diseño de una casa para aprovechar la radiación y luz del sol y protegerla del sobrecalentamiento. Al emplear el principio de soleamiento se debe:

- Orientar la construcción para que el sol penetre cuándo y dónde se requiera a través de aberturas o superficies vidriadas adecuadas.
- Emplear en el exterior de la casa algún dispositivo (aleros, quebrasoles, plantas o árboles de hojas caducas, etc.) que impidan que el sol penetre donde no es deseado.
- Organizar los recintos interiores de la casa para aprovechar los beneficios del sol.

Existe un sinnúmero de recomendaciones sobre las ventajas y desventajas de cada orientación. Entre ellas hay que tomar en cuenta el emplazamiento en relación al cielo libre que dejan las construcciones circundantes, pues, a menudo, éstas llegan a producir efectos adversos. Por ejemplo, es inútil considerar aprovechamiento solar hacia el este, si existe un muro medianero alto.

Se tratará de aprovechar el sol en invierno y eliminarlo en verano, considerando los diferentes ángulos en las distintas estaciones del año. En este sentido la ubicación más conveniente es la que mira hacia el norte, donde el sol culmina al mediodía. En verano se recibe más horas de sol que en invierno, pero con un ángulo de incidencia menor, en una fachada de orientación norte, mientras que en invierno sucede lo

contrario. Es conveniente que los quebrasoles horizontales se sitúen algo separados del muro vertical, con el fin de favorecer la circulación del aire.

Los frentes al este y al oeste reciben más horas de sol en verano que en invierno.

Las aberturas que miran al este reciben los rayos del sol naciente hasta cerca de mediodía. Las habitaciones orientadas hacia ese punto son menos cálidas en verano que las expuestas al norte, pues el sol actúa menos tiempo y antes de haber calentado la atmósfera, y en invierno son templadas por el sol de la mañana que rompe el ambiente frío de la noche.

Las aberturas orientadas al oeste son castigadas por el sol de la tarde en verano de manera molesta, pues la reciben en la segunda mitad del día, cuando el ambiente ya está caldeado. En invierno, apenas reciben el sol en forma oblicua y el frío de la noche no es contrarrestado sino después de mediodía, y por unas pocas horas.

La orientación de las fachadas principales del edificio, la relación de superficies vidriadas con respecto a la superficie de la envolvente vertical por cada fachada así como la vegetación existente en el entorno del edificio y las otras edificaciones del sector determinan el soleamiento que tendrá finalmente el edificio.

Al momento de proyectar la aislación en un edificio se debe considerar el soleamiento que este recibirá y de esta manera se podrá determinar cómo instalar la aislación de tal forma de aprovechar la radiación solar en invierno y protegerlo del calor excesivo en verano. Por ejemplo, es recomendable poner una aislación mayor en las fachadas que dan hacia el sur ya que prácticamente no reciben sol, por lo cual se desaprovecha gran parte de los beneficios de la inercia térmica.

4.2 DURABILIDAD

Los sistemas de aislación aquí estudiados están diseñados para tener una vida útil similar a la del edificio, siempre y cuando se instalen adecuadamente y se les brinde una mantención periódica.

Al hablar de una correcta instalación se deben considerar los siguientes factores:

- Instalar el sistema de aislación, ya sea EIFS o FV, de acuerdo a las indicaciones del fabricante o del distribuidor del sistema.
- Utilizar mano de obra calificada en la instalación del sistema escogido. Se debe procurar tener una inspección técnica acorde con las reglas del arte.
- Utilizar materiales adecuados, de preferencia aquellos recomendados por el fabricante o distribuidor del sistema.

Se debe tener en cuenta que la mejor manera de asegurar la durabilidad del sistema de aislación es eligiéndolo de acuerdo a las necesidades que presente el edificio, considerando la utilización de éste, su ubicación, sus características arquitectónicas, clima, etc.

Los sistemas de aislación EIFS y FV tienen como característica común la necesidad de un mantenimiento periódico, necesario para alargar la vida útil del sistema. Es necesario, en ambos sistemas, mantener una inspección visual periódica con el propósito de reparar posibles daños apenas éstos se presenten.

4.2.1 Mantenimiento del EIFS

El mantenimiento de un EIFS se realiza principalmente en la zona y puntos donde se necesita de sellado y en aquellas secciones que pudiesen haberse dañado a causa de roce frecuente o golpes.

Los sellos usualmente funcionan en los sistemas de muro como componentes impermeabilizantes entre materiales disímiles y en otras juntas del sistema de muro. Los sellos necesitan mantenimiento, y en algún momento reemplazo, debido a los efectos del deterioro por el tiempo, daños mecánicos, o a deficiencias del diseño o instalación.

Las secciones dañadas deben ser eliminadas y reemplazadas por una nueva sección, si esto no se realiza con prontitud el sistema puede verse afectado debido a la filtración de agua y la consecuente humedad en los materiales aislantes, además de ir debilitando el sistema en general.

La limpieza regular del sistema es siempre importante, así se evita la acumulación de agentes perjudiciales en las juntas y uniones del EIFS, tales como lodo, polvo y agua. Esta limpieza se puede realizar con agua, con productos químicos u otros.

4.2.2 Mantenimiento de FV

El mantenimiento de una FV se debe realizar, en primer lugar por el usuario, inspeccionando la fachada con el fin de detectar la posible aparición y desarrollo de grietas y fisuras, así como desplomes u otras deformaciones, la erosión anormal o excesiva de paños, los desconchados o descamaciones, la erosión anormal o pérdida del mortero de las juntas y la aparición de humedades y manchas diversas.

En el caso de aparición de grietas u otro problema, se debe consultar siempre con un técnico especialista para que se haga una adecuada reparación consistente básicamente en la sustitución de la parte dañada.

Al igual que en el sistema EIFS, a las fachadas ventiladas se les debe realizar una limpieza periódica. La limpieza se realizará según el tipo de fábrica, mediante los procedimientos usuales: lavado con agua, limpieza química, proyección de abrasivos, etc.; las manchas ocasionales y pintadas se eliminarán mediante procedimientos adecuados al tipo de sustancia implicada.

En cualquiera de los dos sistemas, siempre es recomendable preguntar al fabricante o distribuidor la manera más adecuada de mantener en buenas condiciones la aislación.

4.3 PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

La normativa que rige la seguridad contra incendios en los edificios se encuentra en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en el capítulo 4.3: “De las condiciones de seguridad contra incendios”. Las disposiciones contenidas en dicho capítulo persiguen, como objetivo fundamental, que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- 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 desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

Para lograr los objetivos señalados, los edificios deberán protegerse contra incendio, para tal efecto se distinguen dos tipos de protección:

- Protección pasiva: La que se basa en elementos de construcción que por sus condiciones físicas aíslan la estructura de un edificio de los efectos del fuego durante un determinado lapso de tiempo, retardando su acción y permitiendo en esa forma la evacuación de sus ocupantes antes del eventual colapso de la estructura y dando, además, tiempo para la llegada y acción de bomberos. Los elementos de construcción o sus revestimientos pueden ser de materiales no combustibles, con capacidad propia de aislación o por efecto intumescente o sublimante frente a la acción del fuego.
- Protección activa: Es la compuesta por sistemas que, conectados a sensores o dispositivos de detección, entran en funcionamiento manual o automáticamente, descargando agentes extintores del fuego tales como agua, gases, espumas o polvos químicos.

Las normas que rigen la determinación del comportamiento al fuego de los materiales, elementos y componentes de la construcción y que deben ser consultadas, según lo establecido en la OGUC, son:

- Normas generales, sobre prevención de incendio en edificios:

NCh 933: Terminología.

NCh 934: Clasificación de fuegos.

- Normas de resistencia al fuego:

NCh 935/1: Ensaye de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción general.

NCh 935/2: Ensaye de resistencia al fuego - Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre.

NCh 2209: Ensaye del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriados.

- Normas sobre cargas combustibles en edificios:

NCh 1914/1: Ensaye de reacción al fuego - Parte 1: Determinación de la no combustibilidad de materiales de construcción.

NCh 1914/2: Ensaye de reacción al fuego - Parte 2: Determinación del calor de combustión de materiales en general.

NCh 1916: Determinación de cargas combustibles.

NCh 1993: Clasificación de los edificios según su carga combustible.

- Normas sobre comportamiento al fuego:

NCh 1974: Pinturas - Determinación del retardo al fuego.

NCh 1977: Determinación del comportamiento de revestimientos textiles a la acción de una llama.

NCh 1979: Determinación del comportamiento de telas a la acción de una llama.

El artículo 4.3.3 de la OGUC establece que los edificios que requieran protegerse contra el fuego deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos que allí se señalan (a, b, c ó d) y los elementos que se utilicen en su construcción deberán cumplir con una resistencia al fuego determinada. En la siguiente tabla se establece la resistencia al fuego que requieren los elementos verticales según la tipología del edificio.

Tabla 4-a. Resistencia al fuego requerida para elementos verticales perimetrales de construcción^{xii}

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN				
Tipo	(1)	(2)	(5)	(6)
A	F-180	F-120	F-120	F-30
B	F-150	F-120	F-90	F-15
C	F-120	F-90	F-60	F-0
D	F-120	F-60	F-30	F-0
(1) Muros cortafuego (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera (5) Elementos soportantes verticales (6) Muros no soportantes y tabiques				

^{xii} El ensayo que mide la resistencia al fuego de un elemento o material de construcción debe ser realizado según la norma NCh935/1.Of97

Si a un mismo elemento le correspondieren dos o más resistencias al fuego, por cumplir diversas funciones a la vez, deberá siempre satisfacer la mayor de las exigencias.

La tipología del edificio se determina según el destino y el número de pisos del edificio, además de su superficie edificada, la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible (ver Anexos)

Es importante diferenciar “comportamiento al fuego” de “resistencia al fuego”^{xiii}:

- Comportamiento al fuego: conjunto de transformaciones físicas y químicas de un material o elemento sometido a la acción del fuego.
- Resistencia al fuego: cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio normalizado, durante un cierto tiempo. Esta cualidad se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanqueidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

Un sistema de aislación térmica exterior debe tener, en conjunto con el muro soportante, la resistencia al fuego requerida por la reglamentación vigente, aunque algunos de los materiales que compongan el sistema tengan un mal comportamiento frente al fuego (por ejemplo, los materiales aislantes).

De este modo, toda la reglamentación aquí descrita se deberá tener en cuenta al momento de diseñar un sistema de aislación exterior, ya sea EIFS o FV, de tal manera de proteger a las personas en el caso de incendio.

^{xiii} NCh 933.Of97: Prevención de incendio en edificios – Terminología.

Como el incendio generalmente se produce en el interior de los edificios, la aislación exterior (EIFS o FV) no participa en forma efectiva en el incendio y sólo podría verse afectada en las últimas etapas de éste.

4.4 IMPACTO AMBIENTAL

Al hablar de impacto ambiental se podría discutir desde el proceso de fabricación de los distintos materiales a utilizar en cada una de las soluciones aquí estudiadas, hasta el reciclaje y desecho de los productos una vez cumplida su vida útil. Para acotar este tema, se abordará el impacto al medioambiente que implica instalar alguna de las soluciones aquí propuestas.

Siempre es bueno saber qué efectos tendrá en el medio ambiente la solución utilizada, sopesando los beneficios y daños de una u otra solución.

Hoy se sabe, según el informe del International Panel Climatic Change (febrero, 2007), con una certeza del 98%, que el calentamiento global es fruto de las actividades del hombre y la quema de combustibles para generar la energía que necesita, lo cual produce agentes contaminantes dañinos, siendo el principal el dióxido de carbono (CO₂).

El funcionamiento de los edificios consume más del 40% de toda la energía producida en el mundo, siendo una parte importante la destinada a climatización. Por ello, buscar e implementar formas ambientalmente amigables de acondicionar, ya sea calefacción o refrigeración, es una forma de colaborar con el medio ambiente.

En un calefactor que funciona con combustibles de cualquier tipo emite contaminantes, tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, entre otros. Por otra parte, en un calefactor eléctrico el impacto ambiental se trasladará a la central que provee la energía. Si la central es hidroeléctrica, el impacto ambiental se localiza en la inundación de un terreno o en la alteración del curso de un río. Si la central es térmica, se contribuirá a aumentar el efecto invernadero en el planeta.

Un buen calefactor permite obtener calor con bajo impacto ambiental. Sin embargo, un buen manejo del calor permite obtener un ambiente agradable con un menor consumo de energía e impacto ambiental.

Parte importante del calor destinado a calefacción se pierde al exterior atravesando muros, ventanas y techos. Por lo tanto, una buena aislación térmica de estos elementos puede ayudar a economizar energía. Es aquí donde juega un papel fundamental la aislación térmica exterior ya que aísla toda la envolvente vertical del edificio de forma continua, evitando la generación de puentes térmicos por donde se pueda escapar el calor, además de permitir el uso de la inercia térmica como se ha comentado anteriormente.

Al considerar el impacto medioambiental también se debe tener en cuenta el impacto en el bienestar de las personas: al aislar un edificio se logra que el ambiente interior sea más saludable, esto producto de la disminución considerable de humedad y eventuales condensaciones en invierno que son fuentes de microorganismos y otros daños a las terminaciones interiores.

Otro factor importante en el impacto de una solución es el manejo de los desechos de instalación. De ambas soluciones aquí estudiadas, los desechos más difíciles de manejar son los restos de materiales aislantes, principalmente aquellos derivados del petróleo, por su lento proceso de degradación. Felizmente algunos de ellos pueden reciclarse.

Al trabajar con paneles aislantes, tales como los paneles EPS, es importante considerar la disposición adecuada de los materiales de desperdicio generados. Aunque no son tóxicos, los paneles rotos, pedazos cortados y el material de desecho se tienen que disponer adecuadamente estableciendo áreas o envases de recolección en el lugar de trabajo.

El reciclaje es el método adecuado para manejar los desperdicios. Algunos fabricantes aceptan desperdicios limpios y no contaminados de la construcción.

4.5 DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Al adoptar una solución de aislación exterior uno de los puntos más importantes para los usuarios y arquitectos es cómo se verá estéticamente el edificio una vez instalado el sistema seleccionado.

Tanto el EIFS como la FV presentan un sinfín de alternativas arquitectónicas, las cuales se pueden adaptar según el gusto de los usuarios o del arquitecto.

Para desarrollar un diseño arquitectónico específico se deben considerar el tipo de revestimiento a utilizar, la materialización de las terminaciones y cómo se van a tratar las juntas, entre otros aspectos. Este punto es indispensable de analizar en el momento del diseño del sistema de aislación para determinar qué elementos se podrían utilizar, descartando aquellos que no sean acorde a las pretensiones arquitectónicas.

4.5.1 Arquitectura en EIFS

En un sistema de aislación térmica exterior y acabado final, EIFS se deben tener en cuenta los siguientes tres puntos:

- Revestimiento exterior
- Terminaciones
- Tratamiento de juntas

El EIFS, por su configuración, presenta una base de acabado que es la responsable de dar la terminación al sistema. Esta capa se materializa mediante la aplicación de una mezcla de áridos areníticos de distinto tipo y diámetro, pigmentos que le otorgan color y polímeros acrílicos que actúan de ligantes. Las distintas

combinaciones de los mismos brindan una gran variedad de texturas y colores a esta capa.

Un diseño más acabado del revestimiento se puede lograr mediante el trabajo de la mezcla de la capa final por medio de una llana que permite lograr distintas texturas con diversos dibujos y relieves.

Existe también la posibilidad de utilizar revestimientos livianos cerámicos y enchapes.

Tanto las terminaciones como las juntas de EIFS se deben tratar con especial cuidado ya que deben quedar, ante todo, bien selladas para impedir filtraciones de agua y humedad a las capas más profundas del sistema. Una vez que se han sellado las terminaciones y juntas se pueden utilizar bandas moldeables, las cuales son recomendables también para evitar la acumulación de agua en ciertos sectores como marcos de ventanas y puertas.

El sistema EIFS por lo general no requiere de juntas de dilatación, a menos que el edificio las presente, lo que si se puede tener son juntas arquitectónicas o estéticas. Las juntas estéticas se utilizan por lo general para delimitar diversas zonas dentro de una misma fachada con el fin de crear módulos en un edificio. Como se mencionó en el capítulo 3.1.5, las juntas estéticas crean un plano de debilidad en el muro, por esta razón la utilización de las juntas estéticas en el medio de un gran paño debe considerarse cuidadosamente. Normalmente es mejor hacer esas juntas como una junta de expansión.

El sistema EIFS tiene la característica de poder dar forma a la fachada, moldeando la placa aislante, generalmente de EPS. De esta manera se puede lograr una fachada con relieve, ya sea aumentando el espesor de la placa o disminuyéndolo (siempre cuidando que el valor U en ese punto no se salga del rango adecuado).

El color y grado de reflexión a la radiación solar de la capa final es muy importante dado que al ser de mínimo espesor y estar sobre un material aislante de una inercia térmica bajísima, se puede elevar muchísimo su temperatura dañando con esto el sistema. Por ello es recomendable el uso de colores y superficies que tengan grado de reflexión a la luz superior al 20%.

4.5.2 Arquitectura en FV

Las FV se caracterizan por utilizar revestimientos anclados mecánicamente a un sistema de perfilería especialmente dispuesto para su sujeción. Los revestimientos a utilizar son placas que pueden ser plásticas, cerámicas, de fibrocemento, de piedra natural e incluso de metal.

El sistema FV permite la adaptación de cualquier tipo de revestimiento exterior permitiendo una total libertad en cuanto a combinaciones y acabados, facilitando que el arquitecto de al edificio su toque personal sin modificar la estructura y cerramiento del mismo. Todo esto influirá en el costo final, por lo que es muy recomendable determinar inicialmente el tipo y formato de revestimiento, para luego definir qué sistema portante es el más adecuado tanto a sus características mecánicas como económicas.

En el sistema FV se requiere que el aire tenga libre acceso entre el revestimiento y la aislación, permitiendo que se facilite el efecto chimenea. Por este motivo, las terminaciones superior y inferior de este sistema se ven acotadas a aquellas que permitan la libre circulación de aire. Generalmente se utilizan perfiles especiales en dichas terminaciones, teniendo cuidado de cubrir la parte superior de tal manera de permitir la salida del aire, impidiendo la penetración de agua producto de lluvias.

El sistema FV no presenta juntas, como ya se mencionó, se compone de placas que se colocan sobre una perfilería por lo que no es necesario la utilización de juntas de dilatación. Los únicos puntos de encuentro que se deben tratar son las esquinas.

Las esquinas en una FV se deben tratar de tal forma que se permita el movimiento del sistema por dilataciones o por sismos, evitando a la vez las filtraciones de agua. Para este propósito se utilizan perfiles metálicos especiales que se adaptan a las necesidades del sistema. Estos perfiles pueden ser angulados o curvos y se pueden encontrar en diferentes colores y con diversos tipos de acabado lo que permite dar una continuidad a la arquitectura de la fachada.

Es recomendable que las soluciones de vanos y penetraciones se tomen en conjunto con el arquitecto y el proveedor del sistema portante, dado que hay una infinidad de soluciones que dependerán de la estética que se quiera lograr, garantizando la funcionalidad de éstas.

Dadas las características del sistema de FV, se puede adoptar un sistema de perfilería especial acorde al contorno del edificio, permitiendo así que se creen formas curvas, rectas o anguladas sin mayores problemas.

5 APLICABILIDAD

Existe una gran variedad de alternativas en soluciones de aislación térmica, ya sean aislaciones exteriores, interiores, al interior del muro o combinaciones de éstas. Las posibilidades son numerosas por esto es recomendable estudiar con detenimiento las características propias del proyecto para decidir adecuadamente qué tipo de aislación utilizar.

5.1 FACTORES DE INTERÉS

La elección del tipo de aislamiento a utilizar en un determinado edificio dependerá de diversos factores tales como la ubicación del edificio, el entorno físico, el uso del inmueble y las condiciones climáticas del lugar. También se deben considerar los materiales constructivos utilizados y las características arquitectónicas del edificio.

5.1.1 Ubicación geográfica

De la ubicación geográfica del edificio dependerá el soleamiento que éste reciba durante el año; de esta manera, conociendo las coordenadas geográficas del lugar se puede determinar cómo se deben ubicar las superficies vidriadas de tal forma de recolectar eficientemente el calor solar, si se trata de aprovechamiento solar, o bien la ubicación de elementos de defensa solar tales como quiebrasoles, aleros, etc. Desde el punto de vista de la aislación se puede determinar cuáles son las caras más frías de la envolvente de tal manera de protegerlas mejor, así se puede poner más material aislante en aquellas partes donde las pérdidas de calor serán mayores.

La ubicación geográfica del edificio determina también, en forma general, el clima al cual estará sujeto el inmueble. Se puede determinar si se tiene un clima costero, de valle o cordillerano por ejemplo (Ver 5.2.2.1 Zonas climáticas).

5.1.2 Entorno físico

Al proyectar la aislación en un edificio se debe examinar el entorno físico de éste, es decir, dónde se encuentra ubicado, por ejemplo si está ubicado frente al mar, en una zona rural o en el medio de una ciudad. Con la caracterización del entorno físico se pueden determinar las condiciones de viento y las horas de sol que se tendrán que considerar en el edificio.

Si las condiciones de viento determinadas por el entorno físico y por las características climáticas del lugar son tales que se tiene una presencia importante de viento, se debe considerar una disminución en la resistencia térmica de la capa de aire exterior, según la norma NCh853, de tal forma que si se tienen vientos con velocidades mayores a 10 km/h, la capa de aire exterior se debe considerar nula, es decir, $R_{se} = 0$ en vez de 0,05 (ver Anexos, Tablas climáticas).

Existen softwares que permiten simular y/o modelar la carga energética considerando todas las variables posibles.

5.1.3 Uso del edificio

Dependiendo del uso del edificio será el tipo de aislación a colocar. Si el edificio es utilizado durante todo el día en forma continua, lo ideal es utilizar un sistema de aislación exterior, permitiendo el aprovechamiento de la inercia térmica del edificio; por el contrario, si el recinto se utiliza en forma esporádica por algunas horas diarias, lo ideal es utilizar aislación interior, de esta manera se permite un acondicionamiento

térmico rápido del recinto. Sin embargo hay que considerar las variaciones de clima anual y estacional que puedan haber en la localidad donde se ubica el edificio.

5.1.4 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas a las cuales estará sujeto el edificio determinarán el tipo de aislación a utilizar, así como también la cantidad de material aislante que se debe adicionar y los resguardos necesarios para proteger tanto la aislación como la envolvente del edificio de los efectos de los agentes climáticos. Los factores que más interesan son:

- Oscilación de temperaturas, temperaturas media, máxima y mínima promedio.
- Dirección y velocidad del viento.
- Cantidad de agua caída máxima en 24 horas y cantidad de agua caída anual.

Datos sobre los factores señalados se pueden consultar en Anexos y en la norma NCh1079 del año 2008.

5.1.5 Materiales constructivos

En la actualidad existen una gran variedad de materiales constructivos, dentro de los cuales se tienen:

- Hormigón armado
- Albañilería
- Hormigón celular
- Paneles prefabricados
- Madera
- Otros

Cada material tiene un comportamiento térmico específico, dadas sus propiedades térmicas. Al seleccionar el tipo de aislación a utilizar se deben tener en cuenta las propiedades de la envolvente de tal forma de aprovechar sus características térmicas en la solución aislante. La norma NCh853 permite calcular las transmitancias térmicas respectivas.

5.1.6 Características arquitectónicas

El tipo de arquitectura del edificio es uno de los puntos a tener en cuenta al momento de decidir cuál solución será utilizada en cuanto a la aislación térmica. Es importante determinar las superficies vidriadas que presenta el proyecto y su orientación (hacia donde están ubicadas las fachadas principales del edificio). Es importante verificar que la solución escogida pueda ser aplicada según las geometrías del edificio y si el proyecto arquitectónico puede ser llevado a cabo si es que se utiliza un tipo de aislación exterior, es decir, si se pueden lograr las texturas, colores y geometrías que el diseño arquitectónico del edificio requiere.

5.2 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN EN LA ENVOLVENTE

Luego de identificar los factores que influyen en el tipo de aislación a utilizar, se debe determinar aquella solución que mejor se adapte a las condiciones presentes en el proyecto, de manera de obtener un edificio eficiente energética y confortablemente.

A continuación se dará una guía para determinar la ubicación óptima de la aislación según los requerimientos del proyecto.

5.2.1 Tipos de aislaciones

Para la determinación del tipo de aislación a utilizar se deben primero determinar las posibles configuraciones en la ubicación del material aislante.

Las configuraciones que se considerarán en este capítulo son las siguientes:

- a. Aislación por la cara exterior de la envolvente
- b. Aislación por la cara interna de la envolvente
- c. Aislación al interior del cerramiento
- d. Aislación por ambas caras de la envolvente, en forma simétrica
- e. Aislación por ambas caras de la envolvente, de forma asimétrica

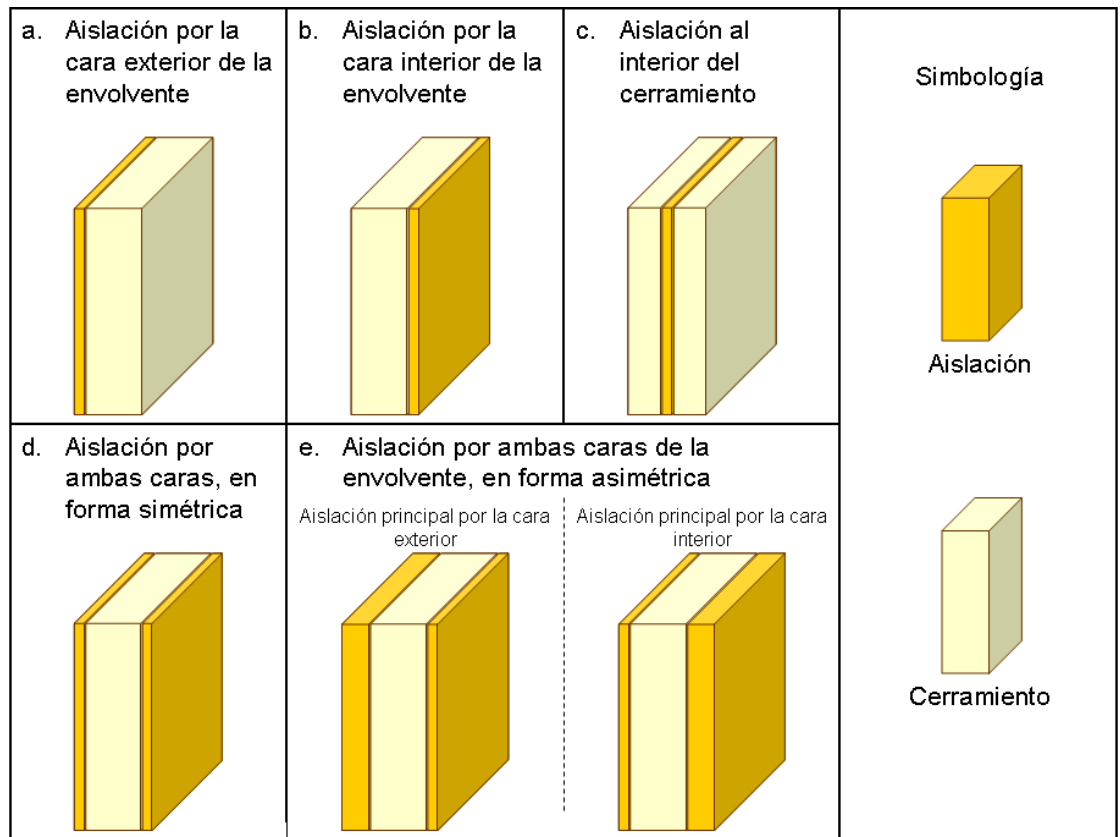


Fig. 5-a. Configuraciones en la ubicación de la aislación en la envolvente.

Dentro de cada una de estas configuraciones se tienen diferentes alternativas, tanto en sistemas de aislación como en materiales aislantes. La decisión de cuál sistema utilizar y de qué materiales disponer se deberá tomar considerando la arquitectura del proyecto y la cantidad necesaria de resistencia térmica a adicionar en la envolvente.

5.2.2 Variables

Los factores de interés son los mencionados anteriormente, sin embargo, para lograr una guía más exacta se ocuparán como variables de entrada dos factores: la zona climática y el uso del edificio.

5.2.2.1 Zonas climáticas

El país está caracterizado por nueve zonas climáticas bien características según la norma NCh1079.2008, desde el punto de vista de las edificaciones habitables.

Las nueve zonas climáticas son:

- NL : Norte Litoral
- ND : Norte Desértica
- NVT : Norte Valle Transversal
- CL : Central Litoral
- CI : Central interior
- SL : Sur Litoral
- SI : Sur Interior
- SE : Sur Extremo
- An : Andina

La siguiente tabla muestra un resumen con las características de cada zona.

Tabla 5-a. Localización y descripción del clima por zonas.

Zona	Localización	Características generales
NL	Se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de La Ligua, ocupando la faja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa, hasta donde se deja sentir directamente la influencia del 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.	Zona desértica con clima dominante marítimo. Poca oscilación diaria de temperatura. Nubosidad y humedad que disipa al medio día. Soleamiento fuerte en las tardes. Precipitaciones nulas en el norte y débiles en el sur. Vientos dominantes S y SW, con alguna interferencia de brisa de mar y tierra. Atmósfera y suelo salinos. Vegetación nula o escasa.

Zona	Localización	Características generales
ND	Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes). Desde el límite con el Perú hasta el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro. Como límite oriental se puede considerar la línea de nivel 3.000 m aproximadamente.	Zona desértica, sin precipitaciones, calurosa. Atmósfera limpia con fuerte radiación solar. Noches frías. Fuerte oscilación diaria de temperaturas. Ambiente seco. Vegetación nula. La cruza el río Loa, formando una angosta subzona de microclima particular. Vientos fuertes de componente W.
NVT	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 el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca.	Zona semidesértica. Veranos largos y calurosos. Microclimas en los valles. Precipitaciones bajas aumentando hacia el sur. Fuerte radiación solar y oscilación diaria de temperaturas. Baja nubosidad. Vegetación en aumento. Vientos irregulares principalmente de componente W. Atmósfera relativamente seca.
CL	Cordón costero continuación zona NL desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Penetra en los valles de los ríos.	Zona con clima marítimo. Inviernos conos de cuatro a seis meses. Temperatura templada. Nubosidad en verano disipa a mediodía. Precipitaciones altas y medianas en aumento hacia el S. Vientos predominantes de componente SW. Suelo y ambiente salinos y relativamente húmedos. Vegetación normal.
CI	Valle central comprendido entre la zona NL y la precordillera de los Andes por bajo los 1.000 m. Por el N desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen.	Zona de clima mediterráneo. Temperaturas templadas. Inviernos de cuatro a cinco meses. Vegetación normal. Precipitaciones y heladas en aumento hacia el S. Insolación intensa en verano especialmente hacia el NE. Oscilación diaria de temperatura moderada, aumentando hacia el E. Vientos principalmente de componente SW.
SL	Continuación de zona CL desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullín, Calbuco y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan.	Zona de clima marítimo, lluvioso. Inviernos largos. Suelo y ambiente salinos y húmedos. Vientos irregulares de componentes SW y N. Vegetación robusta. Temperatura templada a fría.

Zona	Localización	Características generales
SI	Continuación de zona CI desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen, hasta el límite norte de las comunas de Maullín y Puerto Montt Hacia el E, hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600 ni aproximadamente.	Zona lluviosa y fría con heladas frecuentemente. Veranos cortos de cuatro a cinco meses con insolación moderada. Lagos y ríos numerosos, con microclimas Vegetación robusta Ambiente y suelo húmedo. Vientos S y calma.
SE	La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el E.	Zona fría muy lluviosa, con precipitaciones a lo largo de todo el año disminuyendo su intensidad hacia el sur y desde W a E. Estas precipitaciones son muy altas hacia el norte de la zona (Chiloé, Puerto Aysén y Coyhaique), en especial en invierno y tienden a disminuir hacia el sur donde las precipitaciones se distribuyen en forma homogénea a lo largo del año (Punta Arenas). Nubosidad casi permanente, veranos cortos. Suelo y/o ambiente muy húmedo. Heladas y nieve en altura y hacia el sur de la zona, en la que además se observan altos vientos. Radiación solar moderada en verano. Microclimas importantes en el interior.
An	Comprende la faja cordillerana y precordillerana superior a los 3.000 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.	Zona de atmósfera seca, grandes oscilaciones de temperatura entre día y noche. Tormentas de verano en el altiplano (norte). Ventiscas y nieve en invierno. Vegetación de altura. Gran contenido de ultravioleta en la radiación solar. Dado que presenta grandes diferencias en latitud y altura, presenta características muy particulares a lo largo de ella, siendo en general de condiciones muy severas.

Fuente: NCh1079 y G. Rodríguez, "Zonificación climática-habitacional para Chile". Rev. IDIEM, Vol.11, N°3, 1973

Una zona climática agrupa un conjunto similar de requerimientos del edificio respecto a las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento del mismo.

5.2.2.2 Variables de uso

El uso de un edificio se caracteriza según los siguientes factores:

- Escaso: Uso de recintos por periodos cortos, de hasta 8 horas, espaciados en el tiempo por intervalos largos de más de 24 horas. Ejemplo: recintos deportivos, salas de espectáculos.
- Parcial: Determinado por el uso de un edificio durante periodos de hasta 12 horas continuas, espaciados durante el día por intervalos de tiempo de hasta 16 horas. Ejemplo: oficinas, escuelas.
- Total: Uso de un recinto durante periodos largos de más de 24 horas seguidas, o por periodos de 6 a 12 horas de forma relativamente continuada. Ejemplo: edificios habitacionales, hospitales, hoteles.

Las variables de uso se deben estimar de acuerdo a las necesidades de los ocupantes del edificio. Por ejemplo, se puede tener un recinto habitacional ocupado por un profesional cuyo trabajo lo hace estar en forma esporádica, en este caso el uso será escaso o parcial y no total como se podría suponer.

5.2.3 Guía para la ubicación del aislante en el cerramiento

Dependiendo de las variables descritas anteriormente, zona climática y variable de uso, se puede determinar en una primera instancia la ubicación más efectiva de la aislación en el cerramiento:

- Para zonas climáticas con grandes oscilaciones térmicas (zonas ND, NVT, CI y An) se recomienda el uso de aislación exterior, así se aprovecha la inercia térmica de los elementos estructurales lo que permite desfase entre la temperatura interior del edificio y la temperatura exterior y una oscilación interior menor de temperatura.

- En zonas con presencia de temperaturas bajo 0°C (zonas CI, SI, SE y An), lo recomendable es utilizar aislación exterior con el propósito de proteger el muro de las heladas y evitar el congelamiento de los materiales estructurales, también se evitan los ciclos de hielo y deshielo en los materiales del cerramiento.
- En edificios cercanos a la costa, donde las oscilaciones diarias de temperatura son bajas, la aislación puede ser interior (zonas NL, CL, SL y SE).
- Si un edificio es de uso permanente, la aislación debería estar ubicada en la cara externa de la envolvente, de esta manera se aprovecha la capacidad de los materiales constructivos de almacenar calor para una liberación paulatina a lo largo del día, en las horas cuando la temperatura disminuye. Por el contrario, si el edificio se usa en forma esporádica, se necesitará que se logre un ambiente de confort en forma rápida, por ello se debería utilizar aislación interior.

A continuación se presenta una tabla donde se determinan las posibles ubicaciones de la aislación en la envolvente, según la zona climática donde se ubique el edificio y el tipo de uso que se le dará.

Tabla 5-b. Ubicaciones recomendables de la aislación según el uso del edificio y la zona climática.

		Uso		
		Escaso	Parcial	Total
Zona climática (NCh1079)	NL	b	b, c	b, c
	ND	b	c, a	a
	NVT	b	c, a	a
	CL	b	b, c	b, c
	CI	b, e	b, c, d, e	a, d, e
	SL	b, e	b, c, e	a, d, e
	SI	d, e	a, d, e	a, d, e
	SE	d, e	a, d, e	a, d, e
	An	d, e	a, d, e	a, d, e
a. Aislación por la cara exterior de la envolvente b. Aislación por la cara interior de la envolvente c. Aislación al interior del cerramiento envolvente d. Aislación por ambas caras de la envolvente, en forma simétrica e. Aislación por ambas caras de la envolvente, de forma asimétrica				

5.3 RECOMENDACIONES DE USO SEGÚN LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA ENVOLVENTE

Los diferentes tipos de aislación existentes también se pueden utilizar de manera de aprovechar las ventajas de los materiales constructivos de la envolvente como se dijo anteriormente.

Las soluciones constructivas prefabricadas son ideales para la inclusión de materiales aislantes en la estructura misma, de forma de no tener que adicionar una capa aislante a la envolvente.

Para envolvente de hormigón armado se recomienda el uso de aislación exterior de tal manera de aprovechar la inercia térmica de la masa del hormigón, sobre todo si el recinto está destinado a un uso continuo, tales como edificios habitacionales, hospitales y hoteles.

En las envolventes de albañilería también se puede aprovechar la inercia térmica, aunque en estos casos es algo menor. En este tipo de estructuras la aislación interior resulta conveniente, siempre que esté de acuerdo al uso del edificio y a las características climáticas del lugar.

Tanto en hormigón armado como en albañilería se puede utilizar aislación por ambos lados de la envolvente sin problemas.

Se recomienda siempre proteger el cerramiento de los efectos de la lluvia por medio de sidings o sistemas similares, cualquiera sea la ubicación de la aislación en la envolvente y el material del muro, especialmente en aquellos lugares lluviosos con presencia de viento.

6 APLICACIONES PRÁCTICAS

En los capítulos anteriores se presentaron los sistemas de aislación exterior más comunes (EIFS y FV) y la aplicabilidad de estos y otros sistemas de aislación, ya sean interior, exterior, en ambas caras o al interior del muro. A continuación se presentarán algunos ejemplos de aplicaciones prácticas de la materia aquí estudiada.

6.1 GASTO ENERGÉTICO

Es importante saber cuán efectivo es el tipo de cerramiento que se dispone en un edificio de determinadas características en cuanto a las pérdidas de energía. Una forma de determinar esto es por medio de cálculos simples que, considerando sólo las resistencias térmicas de los materiales de construcción, pueden entregar el gasto energético, el cual conviene expresar por metro cuadrado de superficie de planta permitiendo una determinación más precisa del gasto real del inmueble al considerar sólo aquellas superficies que se mantuvieron realmente calefaccionadas.

De esta forma, calculando el gasto energético por metro cuadrado de superficie, $G_{\text{energético}}$, se puede determinar de manera teórica que tan eficiente energéticamente es la envolvente utilizada. Dicho valor se expresa en kWh/(m²·año).

El $G_{\text{energético}}$ es un valor teórico que sólo considera las pérdidas térmicas por la envolvente (resistencia térmica) y las pérdidas por renovaciones de aire supuestas o programadas. Para tener un estudio más acabado del edificio, este debe ser modelado por medio de algún software especializado, de manera de tomar en cuenta la ubicación geográfica del edificio, su entorno físico, el clima del lugar, las condiciones de uso y los detalles estructurales del edificio en sí.

El $G_{\text{energético}}$ se calcula en base a los coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas, G_{V1} y G_{V2} (ver Anexos). Dichos valores dependen de las superficies

que se encuentren en contacto con el exterior, de esta forma tanto el G_{V1} como el G_{V2} varían dependiendo de si el inmueble tiene una o más partes de su envolvente compartidas con otro inmueble, esto se ejemplifica en la figura 6-a.

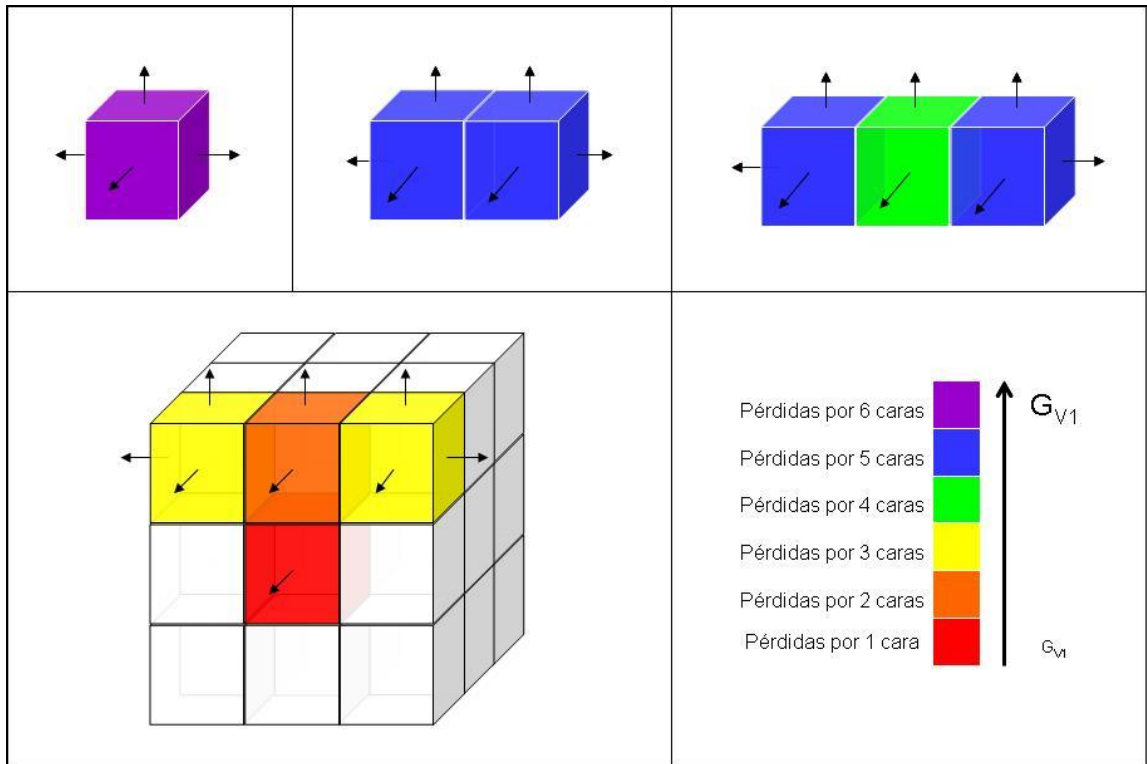


Fig. 6-a. Pérdidas por envolvente

A modo de ejemplo, se determinará el gasto térmico por metro cuadrado de superficie de un edificio de vivienda tipo (casa básica de 1 piso), considerando tres materiales constructivos diferentes y dos tipos de vidrioado.

Las características de esta construcción son:

- Altura : 2,5 m
- Ancho : 5 m
- Largo : 10 m
- Superficie planta : 50 m²
- Volumen : 125 m³

La planta de la casa de este ejemplo se muestra en la siguiente figura.

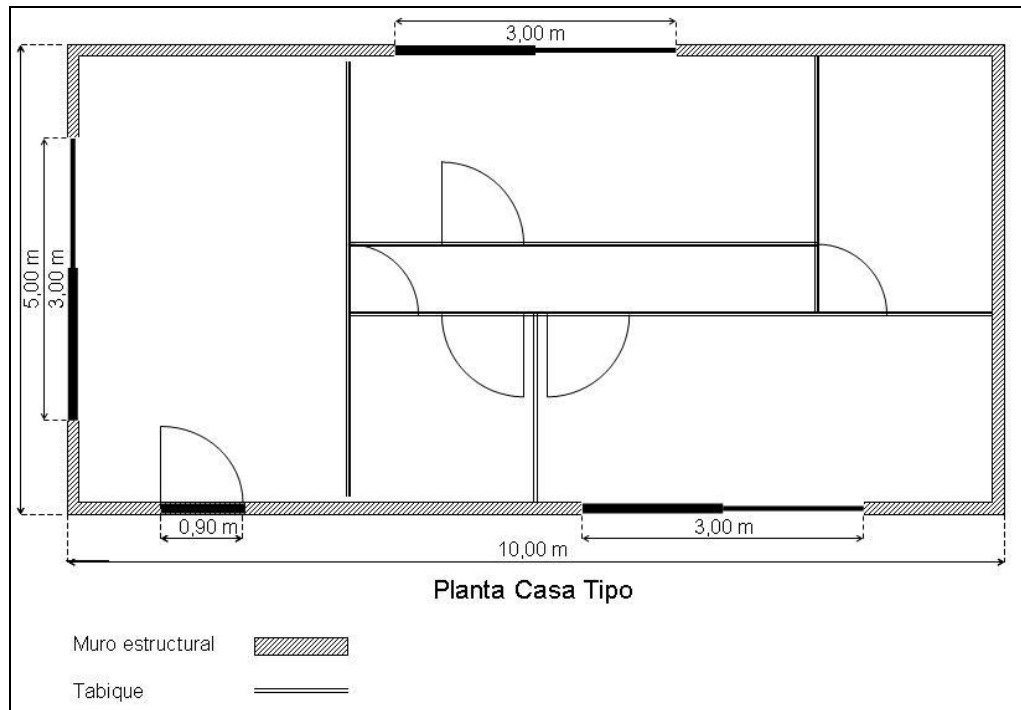


Fig. 6-b. Planta de la vivienda tomada como ejemplo, casa básica de 1 piso.

Como materiales constructivos se considerarán los siguientes:

Tabla 6-a. Materiales constructivos.

Materiales	Características			
	U_i [W/(m·K)]		Dato	
Piso en contacto con el terreno	1,0		NCh853	
Piso aislado de madera	1,0		NCh853	
Envolvente	Espesor [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	Dato
Ladrillo cerámico estructural (29cm X 14cm X 7,1cm)	0,14	0,46	0,304	NCh853
Hormigón armado (2400kg/m ³)	0,15	1,63	0,092	NCh853
Bloque macizo de hormigón celular (H.C.A.) (700kg/m ³)	0,15	0,16	0,938	NCh2432
Estructura liviana Perfilería de madera (E.L.M.)	----	----	1,504	*
Estructura liviana Perfilería acero (E.L.A.)	----	----	2,210	*

Puertas	Espesor [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	Dato
Madera de pino insigne macizo (410kg/m ³)	0,045	0,104	0,433	NCh853
Ventanas (Sin considerar perfilería)	Espesor [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	Dato
Vidrio monolítico (2500kg/m ³)	0,004	1,2	0,003	NCh853
Doble vidriado hermético (4 - 16 - 4 mm)	----	----	0,167	NCh853 ^{xiv}
Techumbre	U [W/(m ² ·K)]		Dato	
Transmitancia máxima zona 7	0,25		OGUC	

* Resistencia calculada según tabla 6-b.

Las resistencias de las estructuras livianas se calculan considerando todos los elementos que las componen, de la siguiente manera:

Tabla 6-b. Cálculo de resistencias y transmitancias de estructuras livianas.

Estructura liviana, perfilería de madera	λ	e	R m ² ·K/W
Plancha Fibrocemento	0,230	0,008	0,035
Lana de Fibra de Vidrio	0,043	0,060	1,412
Yeso-cartón (700kg/m ³)	0,260	0,015	0,058
Rsi + Rse	0,170	gl	0,170
Resistencia Térmica, R _T [m ² ·K/W]	1,674		
Transmitancia Térmica, U [W/m ² ·K]	0,597		
Estructura liviana, perfilería de acero	λ	e	R m ² ·K/W
Plancha Fibrocemento	0,230	0,008	0,035
Lana de Fibra de Vidrio	0,043	0,090	2,118
Yeso-cartón (700kg/m ³)	0,260	0,015	0,058
Rsi + Rse	0,170	gl	0,170
Resistencia Térmica, R _T [m ² ·K/W]	2,380		
Transmitancia Térmica, U [W/m ² ·K]	0,420		

^{xiv} Resistencia calculada según la norma NCh853, considerando los valores de conductividad térmica para vidrio simple y resistencia para cámara de aire con flujo horizontal con $\varepsilon=0,9$, igual en ambos lados

Dentro de los elementos se considera una techumbre con una transmitancia térmica de 0,47 [W/(m²·K)], valor de la transmitancia máxima permitida para sistemas de techos en la zona 3, según la reglamentación vigente. Se escogió la zona térmica 3 dada la gran población que vive en esta zona, cerca de la mitad de la población total del país.

Se calcula la transmitancia térmica de cada elemento para calcular luego los gastos energéticos para cada tipo de envolvente considerando los dos tipos de ventanas para cada situación, para ello se calculan los factores de pérdidas térmicas G_{V1} y G_{V2} .^{xv}

Las transmitancias térmicas de los elementos constructivos y los gastos energéticos se presentan en las siguientes tablas, donde para los cálculos de G_{V2} se utilizó $n = 1$ (valor promedio de renovaciones de aire en una casa tipo), mientras que para el cálculo del gasto energético por superficie se calculó considerando 875 grados-días, valor promedio del escalón correspondiente a la zona térmica 3 (entre 750 y 1000 grados-días).

Tabla 6-c. Transmitancias térmicas.

Elemento	U [W/(m ² ·K)]	Superficie [m ²]
Puertas	1,7	1,8
Techo	0,3	50
Envolvente		
Hormigón armado	3,8	64,2
Ladrillo	2,1	64,2
H.C.A.	0,9	64,2
E.L.M.	0,6	64,2
E.L.A.	0,4	64,2
Ventanas		
Vidrio monolítico	5,8	9
Doble vidriado hermético	3,0	9

^{xv} Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los gastos energéticos y los factores de pérdida G_{V1} y G_{V2} se encuentran en la sección Anexos, en el capítulo “D. Cálculo de gastos energéticos”.

Tabla 6-d. Transmitancias térmicas lineales.

Piso en contacto con terreno ^{xvi}	U_i [W/(m·K)]	Perímetro [m]
Piso aislado	1	30,0

Tabla 6-e. Pérdidas térmicas y gastos energéticos

Pérdidas térmicas por unidad de volumen	G_{V1} [W/(m ³ ·K)]	G_{V2} [W/(m ³ ·K)]	$G_{energético}$ [kW·año/m ²]
Vidrio monolítico			
Hormigón armado	2,827	3,177	166,813
Ladrillo	1,950	2,300	120,751
H.C.A.	1,331	1,681	88,254
E.L.M.	1,174	1,524	80,005
E.L.A.	1,083	1,433	75,232
Doble vidriado hermético			
Hormigón armado	2,626	2,976	156,233
Ladrillo	1,749	2,099	110,171
H.C.A.	1,130	1,480	77,674
E.L.M.	0,972	1,322	69,425
E.L.A.	0,881	1,231	64,652

Si se analizan las transmitancias térmicas, la envolvente hecha de hormigón celular es la que presenta un mejor comportamiento y se podría utilizar sin añadir materiales aislantes hasta la zona térmica 6, la estructura de ladrillo se podría utilizar sin aislantes en las zonas 1 y 2, mientras que la envolvente de hormigón armado sólo se podría utilizar en la zona 1 sin tener que adicionar algún tipo de aislante. Esto, considerando la normativa vigente, la que establece un mínimo de resistencia térmica necesaria. Lo recomendable es utilizar un sistema aislante que asegure una resistencia térmica alta, superior a la mínima establecida en la OGUC. Las transmitancias de las estructuras livianas, tanto con perfilería de madera como de acero, son las más bajas debido a que ya cuentan con aislación en su interior y cumplen, además, con las exigencias de transmitancia térmica de todas las zonas térmicas.

En la Tabla 6-e se muestra el gasto energético por unidad de superficie para cada una de las 7 zonas térmicas, considerando las mismas características anteriores.

^{xvi} Para el cálculo del gasto térmico para pisos en contacto con el terreno se considera una transmitancia térmica lineal, U_i , por el perímetro de la envolvente (NCh853).

Los cálculos se realizaron considerando la transmitancia térmica máxima para techos permitida en cada zona térmica según la OGUC y los grados-días indicados a continuación, correspondientes al valor promedio del escalón correspondiente a cada zona térmica, excepto en la zona 7, en el cual se utilizó el valor límite.

Tabla 6-f. Grados días utilizados para cada zona térmica.

Zona térmica	1	2	3	4	5	6	7
GD	250	625	875	1125	1375	1750	2000

Tabla 6-g. Gasto energético por unidad de superficie, según zona térmica.

	$G_{\text{energético}}$ [kW·año/m ²]						
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Vidrio monolítico							
Hormigón armado	49,88	121,10	166,81	212,04	257,52	325,65	370,73
Ladrillo	36,72	88,20	120,75	152,82	185,13	233,52	265,44
H.C.A.	27,44	64,99	88,25	111,04	134,06	168,53	191,16
E. L.M.	25,08	59,10	80,00	100,43	121,10	152,03	172,31
E. L.A.	23,71	55,69	75,23	94,30	113,60	142,48	161,40
Doble vidriado hermético							
Hormigón armado	46,86	113,55	156,23	198,44	240,89	304,49	346,55
Ladrillo	33,70	80,64	110,17	139,22	168,51	212,36	241,26
H.C.A.	24,41	57,43	77,67	97,44	117,44	147,37	166,98
E. L.M.	22,06	51,54	69,42	86,83	104,48	130,87	148,12
E. L.A.	20,69	48,13	64,65	80,69	96,98	121,32	137,22

Una vez determinados los gastos energéticos, se puede determinar la cantidad necesaria de material aislante a utilizar para obtener un valor de transmitancia térmica de la envolvente dentro de los parámetros establecidos por la reglamentación vigente, considerando la zona térmica donde se encuentre ubicado el edificio. De la misma manera se puede calcular la cantidad de aislante necesario para minimizar los gastos de energía por metro cuadrado de envolvente.

Como se puede apreciar, el tipo de material estructural que se utilice incide directamente en la aislación del edificio, así como también incide de manera importante el sistema de ventanas en su superficie.

6.2 CÁLCULO DE LA AISLACIÓN NECESARIA

La cantidad de aislación mínima necesaria para cumplir con la normativa vigente se puede calcular de una manera sencilla, determinando la resistencia total de la envolvente.

A manera de ejemplo, se considerarán tres tipos de envolventes, diferenciadas básicamente en el material estructural utilizado. Las características de las 3 envolventes son:

Tabla 6-h. Características de las envolventes estudiadas.

Envolvente	Espesor [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	R _T [m ² ·K/W]	Dato
Ladrillo cerámico estructural (29cm X 14cm X 7,1cm)	0,14	0,46	0,304	0,474	NCh853
Hormigón armado (2400kg/m ³)	0,15	1,63	0,092	0,262	NCh853
H.C.A. (700kg/m ³)	0,15	0,16	0,938	1,108	NCh2432

Nota: El valor de la resistencia total de cada envolvente se calcula según la norma NCh853, considerando la suma de las resistencias superficiales interior y exterior, $R_{si}+R_{se}$, igual a $0,17[m^2 \cdot K/W]$.

Una vez determinadas las características de las envolventes y sus respectivas resistencias totales R_T , se puede verificar el cumplimiento de la normativa vigente con respecto a la resistencia mínima necesaria según la zona térmica donde se ubique el edificio, así como también la resistencia que se debe adicionar de alguna manera para cumplir con las disposiciones de la OGUC.

En las siguientes tablas se muestra el cumplimiento de la normativa según la zona térmica y la resistencia necesaria para cumplir con el valor mínimo establecido.

Tabla 6-i. Cumplimiento de la resistencia mínima establecida en la OGUC para cada zona térmica.

		R_T [m ² ·K/W]	Materiales		
			Ladrillo cerámico	Hormigón armado	H.C.A.
			0,474	0,262	1,108
Zona térmica	1	0,25	cumple	cumple	cumple
	2	0,33	cumple	no cumple	cumple
	3	0,53	no cumple	no cumple	cumple
	4	0,59	no cumple	no cumple	cumple
	5	0,63	no cumple	no cumple	cumple
	6	0,91	no cumple	no cumple	cumple
	7	1,67	no cumple	no cumple	no cumple

Tabla 6-j. Resistencia adicional necesaria para cumplir con la OGUC, según zona térmica, en m²·K/W.

			Materiales		
			Ladrillo cerámico	Hormigón armado	H.C.A.
Zona térmica	1	---	---	---	---
	2	---	---	0,068	---
	3	0,056	---	0,268	---
	4	0,116	---	0,328	---
	5	0,156	---	0,368	---
	6	0,436	---	0,648	---
	7	1,196	---	1,408	0,562

Para el caso de la envolvente de ladrillo cerámico, para las zonas donde la no se cumple con la normativa es recomendable utilizar algún material aislante que proporcione la resistencia necesaria. La resistencia térmica de la envolvente de hormigón se puede modificar aumentando su espesor, siempre que esto sea económicamente posible, si no se puede adicionar una capa de material aislante. En el caso de la envolvente de bloques macizos de hormigón celular la resistencia se puede mejorar aumentando su espesor o modificando las características de los bloques.

Cabe destacar que la OGUC establece una resistencia térmica mínima necesaria que se debe cumplir en cada zona térmica sin embargo, el óptimo energético se logra con resistencias algo mayores a las mínimas requeridas por dicha ordenanza.

6.3 CÁLCULO DE RESISTENCIA EN CASO DE MURO HÚMEDO

Cuando se utiliza un sistema de aislación interior se mejora la resistencia de la envolvente pero no evita que su superficie exterior se moje a menos que se utilice un sistema de recubrimiento exterior, pero si se utiliza un sistema de aislación exterior, como los estudiados anteriormente, se evita el humedecimiento de la superficie exterior de la envolvente. A continuación se mostrará un ejemplo numérico donde se calcula la resistencia de una envolvente vertical de albañilería (ladrillos cerámicos) en caso húmedo y en caso seco.

Para los cálculos se considerará una envolvente de albañilería de 14cm de espesor, igual a la considerada en los ejemplos anteriores (estado seco). Para el estado húmedo se considerará que en estado húmedo la conductividad del ladrillo aumentaría en un 45%:

Tabla 6-k. Características de la envolvente

Envolvente	Estado	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	R _T [m ² ·K/W]
Ladrillo cerámico estructural (29cm X 14cm X 7,1cm)	Seco	0,460	0,304	0,474
	Húmedo	0,667	0,210	0,380

Sólo en las zonas térmicas 1 y 2 no habría necesidad de utilizar aislación para cumplir con la norma. En el resto de las zonas sería necesario aumentar la resistencia de la envolvente de alguna manera. La aislación exterior sería la más conveniente ya que en ese caso se considera la resistencia el ladrillo en su estado seco.

6.4 Relación entre resistencia y flujo de calor

La resistencia térmica total de la envolvente de un edificio influye directamente en las pérdidas, o ganancias, de calor. Como se ha mencionado anteriormente, la OGUC especifica una resistencia total mínima que debe tener la envolvente de una

vivienda dependiendo de la zona térmica donde esté ubicada, sin embargo estos requerimientos están alejados del valor óptimo en cuanto a eficiencia energética se trata. En la siguiente figura se muestra un gráfico para ejemplificar como influye la resistencia térmica total (R_T) en el flujo de calor por unidad de superficie de la envolvente y el ahorro energético que esto significa.

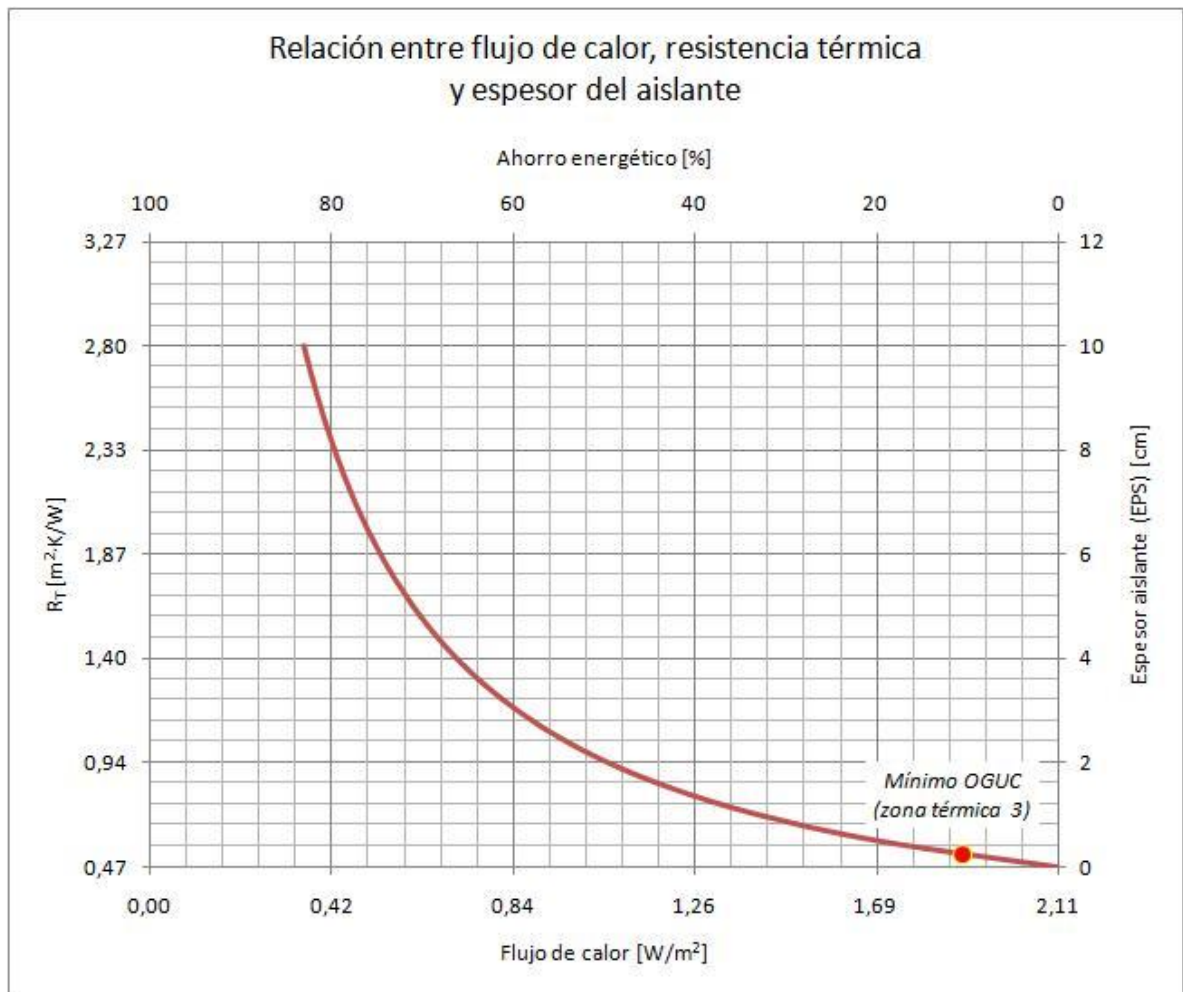


Fig. 6-c. Gráfico de comportamiento del flujo térmico en relación a la resistencia total y al espesor del aislante.

Para la realización de este gráfico se consideró como base una envolvente de albañilería (ladrillo cerámico estructural de 29cm X 14cm X 7,1cm) con una resistencia térmica de $0,304[m^2 \cdot K/W]$ y como material aislante, una placa de EPS de $10[kg/m^3]$ con una conductividad térmica de $0,043[W/(m \cdot K)]$. La resistencia total de la envolvente se

calculó considerando la resistencia de las capas de aire superficiales, $R_{se}+R_{si}$, igual a $0,17[W/(m\cdot K)]$. El resto de los datos utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6-l. Espesor aislante, resistencia térmica total, flujo de calor y ahorro energético.

Espesor aislante [cm]	Resistencia total, R_T [$m^2\cdot K/W$]	Flujo de calor [W/m^2]	Ahorro energético [%]
0	0,474	2,108	0,00
0,5	0,591*	1,693	19,69
1	0,707	1,415	32,90
1,5	0,823	1,215	42,38
2	0,939	1,064	49,51
2,5	1,056	0,947	55,07
3	1,172	0,853	59,53
3,5	1,288	0,776	63,18
4	1,405	0,712	66,23
4,5	1,521	0,658	68,81
5	1,637	0,611	71,03
5,5	1,753	0,570	72,95
6	1,870	0,535	74,63
6,5	1,986	0,504	76,12
7	2,102	0,476	77,44
7,5	2,219	0,451	78,62
8	2,335	0,428	79,68
8,5	2,451	0,408	80,65
9	2,567	0,390	81,52
9,5	2,684	0,373	82,32
10	2,800	0,357	83,06

*La resistencia mínima requerida para la zona térmica 3 (Santiago) es de $0,53[m^2\cdot K/W]$

El porcentaje de ahorro energético ($\%_{AHORRO}$) se calculó de la siguiente manera:

$$\%_{AHORRO} = \frac{\varphi_{s.a.} - \varphi_{c.a.}}{\varphi_{s.a.}} \cdot 100$$

7 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el presente trabajo se analizaron y propusieron soluciones técnicas de aislación térmica exterior, tanto para edificios residenciales como de servicio. Esto se desarrolló bajo el marco de la promoción de la aislación exterior, impulsada por el Área de Construcción Sustentable de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, CDT.

El trabajo se llevó a cabo de manera tal de plantear las bases para desarrollar un manual de soluciones técnicas de aislación térmica exterior, estudiando los dos sistemas principales disponibles en el mercado, EIFS y Fachada Ventilada, definiendo de manera clara las características y beneficios de cada sistema. Se buscó, al desarrollar este trabajo, dar una orientación técnica a los futuros especificadores de estos sistemas (arquitectos, ingenieros y constructores), posibilitando una selección más precisa del tipo de aislación a utilizar según las características propias del proyecto, poniendo énfasis en el ahorro energético que lleva consigo una adecuada selección de la aislación.

Dado que el objetivo general de este trabajo es lograr una utilización eficiente de la energía, además de explicar los sistemas de aislación térmica exterior, se dan recomendaciones de uso según las características propias de cada proyecto, poniendo especial atención en las características climáticas de la zona donde se emplazará el proyecto y el uso que se le dará al edificio. De esta manera se puede determinar el tipo de aislación a utilizar, según su ubicación en la envolvente del edificio.

Los objetivos propuestos al comenzar con el desarrollo del presente trabajo se cumplieron ya que se logró desarrollar un informe conciso que permite determinar el tipo de aislación que es más conveniente de utilizar en un proyecto específico.

El documento aquí desarrollado es de especial importancia para el mercado de las especificaciones técnicas, principalmente para arquitectos, ya que es el resultado

del consenso de la industria. Al trabajar en conjunto con un grupo técnico conformado por diversos proveedores del sector, que incluso entre sí son competencia, el documento obtiene una enorme validez y representatividad, siendo el único en su tipo y alcance y al haber ausencia de norma se transforma en el referente de este tipo en la especificación técnica de soluciones de aislación térmica exterior.

7.1 APRECIACIONES FINALES

La aislación térmica en la envolvente de edificios ayuda a mantener temperaturas confortables, aprovechando de manera eficiente la energía utilizada para acondicionar los ambientes interiores. Sin embargo, la aislación por sí sola no garantiza que esto se logre, ya que influyen también la cantidad y ubicación de las superficies vidriadas y la masa térmica del edificio, factores que se deben considerar al momento de diseñar el sistema de aislación térmica.

La aislación de la envolvente vertical de edificios puede ser por su cara interior, por la cara exterior o al interior de la envolvente misma. El sistema más utilizado en Chile es la aislación por la cara interior de la envolvente, mientras que en países más industrializados se utiliza ampliamente la aislación exterior, dadas sus múltiples ventajas.

Los sistemas de aislación térmica exterior presentes tanto en el mercado internacional como en el nacional son básicamente dos:

- Sistema de acabado y aislación térmica exterior, EIFS
- Sistema de fachada ventilada, FV

Ambos sistemas se caracterizan por ser de fácil instalación, pudiéndose ocupar tanto en edificios nuevos como en reacondicionamiento de edificios.

Al utilizar sistemas de aislación exterior, ya sea EIFS o FV, además de lograr un ambiente de confort con un uso eficiente de la energía, se consigue disminuir los puentes térmicos, aprovechar la inercia térmica de los elementos constructivos y disminuir la condensación. De forma detallada:

- Disminución de los puentes térmicos. Los sistemas de aislación exterior permiten que el aislante sea instalado de forma continua sobre la envolvente vertical del edificio, disminuyendo considerablemente los puentes térmicos que se puedan producir. Tanto el EIFS como la FV tienen soluciones específicas para el tratamiento de puntos singulares tales como esquinas, juntas de dilatación, vanos de puertas y ventanas, encuentros muro-techo y muro-suelo, etc.
- Aprovechamiento de la inercia térmica. Los sistemas de aislación exterior permiten que la inercia térmica de los elementos constructivos sea aprovechada en el acondicionamiento del interior del edificio. La masa térmica de un edificio absorbe el calor del ambiente, liberándolo paulatinamente cuando el ambiente se enfría. Si la aislación es puesta por el exterior de la envolvente, el calor absorbido por la masa térmica será liberado sólo hacia el interior del edificio, regulando la temperatura de forma natural, ahorrando de esta manera energía en calefacción, de esta forma la inercia térmica permite reducir la oscilación térmica diaria en el interior de los inmuebles.
- Disminución de condensación. La condensación se produce cuando la temperatura baja hasta la temperatura de punto de rocío, temperatura a la cual el aire se satura de vapor de agua. Al tener una aislación exterior el ambiente interior se mantiene a una temperatura adecuada por sobre la temperatura de punto de rocío, al igual que la envolvente del edificio, de esta manera no se produce condensación superficial en el muro ni tampoco al interior de éste. La disminución de las condensaciones superficiales e intersticiales permite que no proliferen microorganismos causantes de deterioros materiales, malos olores y enfermedades.

La aislación térmica debe diseñarse teniendo siempre en cuenta el clima del lugar, la orientación del edificio, la cantidad y orientación de las superficies vidriadas, la presencia de masa térmica en el edificio y el uso que se le de al inmueble.

La cantidad de aislación dispuesta debe ser, como mínimo, la que permita tener una transmitancia térmica menor a la exigida por la reglamentación térmica vigente. Una vez cumplido con el mínimo, la aislación se puede aumentar hasta conseguir el ahorro energético deseado manteniendo un ambiente interior de confort.

En definitiva, los beneficios de la aislación térmica por la cara exterior de la envolvente vertical son:

- 1- Aumento de la resistencia térmica de la envolvente
- 2- Aprovechamiento de la energía por conceptos de climatización
- 3- Disminución de condensaciones superficiales e intersticiales
- 4- Creación de ambientes de confort uniformes dentro de los distintos ambientes del edificio
- 5- Protección de muros envolventes de agentes climáticos
- 6- Protección de muros envolventes de la radiación solar
- 7- Disminución de microorganismos (hongos, musgo, etc.) producto de la humedad
- 8- Disminución de deterioros materiales y estructurales producto de la humedad
- 9- Instalación rápida y limpia de los sistemas aislantes
- 10- Aprovechamiento de superficies interiores del edificio (no ocupan superficie interior)
- 11- Etc.

7.2 PROYECTOS FUTUROS

La línea de investigación aquí abordada se va ampliando cada día más, en conjunto con el desarrollo de nuevos sistemas de aislación térmica para envolventes, es por esto que se concluye una continuidad en la línea de investigación explorada por este trabajo, analizando sistemas de aislación no tradicionales (al interior de la envolvente) o aislaciones compuestas (por ambas caras de la envolvente). Se propone desarrollar aún más esta investigación en futuras tesis, concentrándose en los detalles constructivos de cada sistema estudiado, poniendo énfasis en los puntos singulares presentes tanto en el sistema de fachada ventilada como en el EIFS.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHIPEX. El poliestireno expandido y la reglamentación térmica en la construcción [en línea]
<http://www.achipexag.cl/manual_achipex_construccion.pdf> [consulta: marzo 2008]
2. DUNKER D., Alberto. Aislamiento térmico exterior con poliestireno expandido: Recuperando la energía perdida. Revista Bit. (29), Mar. 2003.
3. EICHLER, Friedrich. Patología de la construcción : detalles constructivos. 2ª ed. Barcelona, Blume, 1973. 403p.
4. EIFS Industry Members Association. Guide to EIFS construction. USA, EIMA, 2000. 15p.
5. FRUTOS, B. y OLAYA, M. El sistema de fachada trasventilada como elemento de contribución al control de la transferencia de energía en el cerramiento del edificio [en línea]. España.
<http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C34.pdf> [consulta: abril 2008]
6. INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Manual de aplicación de la reglamentación térmica. Chile, Instituto de la Construcción, 2006. 104p.
7. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh852.EOf71, Acondicionamiento ambiental – Materiales de construcción – Determinación de la permeabilidad al vapor de agua. INN, 1971. 17p.

8. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh1960.Of89, Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas. INN, 1989. 9p.
9. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh933.Of97, Prevención de incendio en edificios - Terminología. INN, 1997. 13p.
10. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh935/1.Of97, Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general. INN, 1997. 29p.
11. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh2432.Of99, Bloques macizos de hormigón celular - Especificaciones. INN, 1999. 28p.
12. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh853.Of2007, Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. INN, 2007. 15p.
13. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena Oficial NCh1079, Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. INN, 2008.
14. ISOVER. Manual de aislamiento en la edificación. España, Isover. 161p.
15. KONSTANDT, Matías y col. Manual de construcción en base a moldajes de poliestireno expandido (ICF). 2ª ed. Chile, Exacta, 2005. 46p.
16. LINDLEY, Daniel. Aislación térmica exterior, requisito constructivo. Revista Bit. (20), Dic. 2000.

17. LUTZ, Hermann. Sistemas de aislación térmica exterior y de acabado de fachada. Revista Bit. (27), Sep. 2002.
18. NEILA G., F. Javier y BEDOYA F., César. Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental. Editorial Munilla-Lería, Madrid, España, Dic. 1997. 430p.
19. OMEGA PRODUCTS INTERNATIONAL, INC. Akroflex Barrier EIFS Typical Details. USA, Omega Products International, Inc., 2007. 24p.
20. OMEGA PRODUCTS INTERNATIONAL, INC. Akroflex Water Managed EIFS Typical Details. USA, Omega Products International, Inc., 2007. 24p.
21. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Artículo 4.1.10. Chile.
22. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Artículo 4.3. Chile.
23. PARDAL, Cristina y PARICIO, Ignacio. Evolución de la fachada ventilada y propuesta de futuro. Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès, España, septiembre 2006.
24. RAMÍREZ, Claudia y CASARES, Marcelo. Eficiencia energética en viviendas: Más por menos. Revista Bit. (43), Jul. 2005.
25. RAMÍREZ F., Claudia. Confort térmico: El papel de la construcción. Revista Bit. (50), Sep. 2006.
26. ROCKWOOL PENINSULAR, S.A. Catálogo soluciones de aislamiento en respuesta al CTE. Rockwool Peninsular, S.A., Barcelona, España, 200-. 178p.
27. RODRIGUEZ Jaque, Gabriel. El clima chileno y su relación con la construcción habitacional. Revista del IDIEM. 11(3), Dic. 1972.

28. RODRIGUEZ Jaque, Gabriel. Zonificación climática-habitacional de Chile. Revista del IDIEM. 11(3), Dic. 1972.
29. RODRÍGUEZ Jaque, Gabriel. CI57A: Física de la construcción: Apuntes. IDIEM, Universidad de Chile, Santiago. 1998
30. RODRÍGUEZ Jaque, Gabriel. Aislamiento térmico: Humedad en elementos envolventes. Revista Bit. (57), Nov. 2007.
31. RODRÍGUEZ Jaque, Gabriel. Aislamiento térmico: Humedad en elementos envolventes II. Revista Bit. (58), Ene. 2008.
32. RODRÍGUEZ Jaque, Gabriel. Aislamiento térmico: Humedad en materiales. Revista Bit. (60), May. 2008.
33. THOMAS Jr., Robert G. Exterior insulation and finish system: Design handbook. 2ª ed. USA, CMD Associates Inc., 1993. 230p.
34. ULSAMER, Federico. Las humedades en la construcción. Barcelona, Ediciones CEAC, 1969. 269p.
35. VILDÓSOLA Z., Juan Pablo. Aislación y acabado final para paredes exteriores. Revista Bit. (25), Mar. 2002.

9 GLOSARIO

- Aislación exterior : Sistema de aislación de la envolvente de un edificio, puesto en la cara exterior de la misma.
- Aplacado : Recubrimiento realizado mediante placas de cualquier material distinto al del soporte.
- Barrera de humedad : Capa que impide tanto la difusión de vapor como la aspiración capilar durante la vida de servicio de un edificio.
- Barrera de vapor : Lámina resistente a la difusión de vapor de agua. Cumple la función de prever y evitar la condensación que se produzca principalmente al interior de un elemento constructivo.
- Bota gota o goterón : Ranura en la parte inferior del alféizar de una ventana que impide que el agua de la lluvia resbale por el muro. / Piedra con una moldura proyectada, diseñada para despedir el agua lejos de la fachada, situada en cornisas, puertas o ventanas; también llamada piedra de goterón. / Moldura que se extiende a lo largo del extremo inferior de un alero, empleada para despedir el agua de la cubierta.
- Botaguas o vierteaguas : Cualquiera de los mecanismos empleados para evitar que el agua escurra por el muro. También llamado escupidor.
- Cabecero : Viga transversal que soporta los extremos de un conjunto de viguetas dispuestas paralelamente entre sí, transmitiendo sus cargas a otras dos paralelas a estas; también llamado brochal. / Elemento superior dispuesto horizontalmente que constituye el umbral de una puerta. / Pieza que forma la parte superior de un marco.
- Calentamiento global : Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. / Teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas.

Comportamiento al fuego	:	Conjunto de transformaciones físicas y químicas de un material o elemento sometido a la acción del fuego.
Condensación	:	Proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida.
Conducción térmica	:	La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto.
Conductividad térmica, λ	:	Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en [W/(m ² K)]
Confort térmico	:	Condición en que las personas se sienten cómodas con respecto al ambiente térmico que les rodea.
Convección térmica	:	Es una de las tres formas posibles de transmitir calor. La convección se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Los fluidos al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, disminuyen su densidad y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.
Cubrejuntas	:	Material impermeable que se emplea para prevenir la entrada de agua y/o facilitar el drenaje, especialmente entre el tejado y el muro y sobre aberturas hacia el exterior de puertas y ventanas. También llamado bateaguas, guardaguas.
Envolvente	:	Resultante exterior de los límites interiores de un edificio. Conjunto establecido por el complejo de techumbres, muros perimetrales y piso.

Factor de resistencia a la difusión de vapor, μ_M	:	Término adimensional que corresponde a la Relación entre la permeabilidad del aire y la del material en estudio. Por definición, el factor de resistencia a la difusión de vapor del aire es 1.
Flujo de calor, φ	:	Cantidad de calor que pasa a través de una superficie unitaria de un elemento por unidad de tiempo, dada una cierta diferencia de temperatura entre las caras del elemento. Se expresa en $[W/m^2]$.
Flujo de vapor, i	:	Cantidad de vapor que pasa a través de una superficie unitaria por unidad de tiempo, dada una diferencia de presión entre las caras del elemento. Se expresa en $[g/(s \cdot m^2)]$.
Guarnición	:	Cualquier elemento visible, generalmente de madera o metal, que cubre y protege las juntas, los bordes de las superficies y aberturas.
Humedad absoluta, HA	:	Contenido de vapor de agua presente en el aire. Se expresa en $[g/m^3]$.
Humedad de saturación, HA_{sat}	:	Cantidad máxima de vapor capaz de contener el aire a una temperatura dada. Se expresa en $[g/m^3]$.
Humedad relativa, HR (%)	:	Humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Se expresa en tanto por ciento, %.
Inercia térmica	:	Concepto que expresa la capacidad de un cerramiento o de la envolvente de una edificación de almacenar calor y transmitirlo con retardo.
Material aislante	:	Cualquier elemento que presente cierta resistencia al paso del calor. / Material con un bajo coeficiente de conductividad térmica.
Lámina	:	Conjunto en un EIFS formado por la capa base, la malla de refuerzo y el acabado final.
Peana	:	Elemento horizontal inferior en un marco de puerta y ventana.

Permeabilidad, δ	:	Cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material de espesor dado por unidad de área, unidad de tiempo y de diferencia de presión parcial de vapor de agua. Normalmente se expresa en [g·m/MN·s] según el sistema internacional de unidades.
Permeanza, Δ	:	Inverso de la Resistencia a la difusión de vapor. Se expresa en [g/MN·s].
Puente térmico	:	Elemento o parte de la envolvente que por su naturaleza o su aplicación se revela como punto débil del aislamiento y no ofrece el mismo coeficiente de resistencia térmica.
Radiación térmica	:	Una de las tres maneras de transmitir calor. La radiación térmica es la radiación emitida por un cuerpo como consecuencia de su temperatura. Todo cuerpo emite radiación hacia su entorno, a la vez que absorbe las radiaciones emitidas por el entorno.
Resistencia a la difusión de vapor, R_v	:	Resistencia de un material, de un espesor dado e, a la difusión del vapor de agua. Se expresa en [MN·s/g].
Resistencia al fuego	:	Cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio, manteniendo la estabilidad mecánica, la estanqueidad a las llamas y el aislamiento térmico, sin emitir gases inflamables.
Resistencia térmica, R	:	Oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e, conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica queda dada por $R = e/\lambda$ y se expresa en [m ² K/W]
Resistencia térmica total, R_t	:	Inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa del elemento. Se expresa en [m ² K/W]
Resistividad, r_v	:	Inverso de la permeabilidad. Sus unidades son [MN·s/g·m]

Revoque	:	Revestimiento exterior de mortero de cal, cemento, o de cal y cemento, que se aplica, en una o más capas, a un paramento enfoscado previamente. También se denomina revoco o revoque a la acción de revocar (RAE)/ Es un tipo de acabado continuo cuyo fin es mejorar el aspecto y las características de las superficies de muros, tabiques y techos.
Sistema de aislación térmica exterior y acabado final, EIFS	:	Sistema de terminación y aislación de muros exteriores, consistente básicamente en un sándwich de mortero modificado, aislante, malla de refuerzo, mortero y recubrimiento.
Sistema de fachada ventilada, FV	:	Sistema constituido por un elemento de revestimiento exterior soportado a través de una subestructura, mediante fijaciones y anclajes, quedando entre el revestimiento y la zona portante un espacio donde el aire puede circular libremente.
Sofito	:	Curva interior de un arco que forma su cara cóncava. También llamado intradós. / Parte inferior de un arco, dintel o cualquier elemento saledizo, como una cornisa o cubierta.
Soleamiento	:	Cantidad de radiación solar que se recibe durante el día.
Temperatura de punto de rocío, t_R	:	Para un aire ambiente determinado en temperatura y humedad relativa, se denomina “temperatura de rocío” (t_R) aquella (inferior a la ambiental), para la cual la cantidad en peso de vapor de agua contenido en el ambiente representaría 100% HR
Transmitancia térmica, U	:	Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento.
Ventilación	:	Aportación de aire nuevo desde el exterior para renovar el aire del interior del inmueble y extraer el aire viciado.
Zona climática	:	Caracterización de una zona geográfica según sus condiciones climáticas. El país está caracterizado por nueve zonas climático habitacionales, según la norma NCh1079.

Zona térmica : Caracterización de una zona geográfica según sus condiciones térmicas, basándose en los grados días que se registren. Según la OGUC, art. 4.1.10, el país tiene siete zonas térmicas bien diferenciadas.

ANEXOS

A. NORMATIVA TÉRMICA

La reglamentación térmica que actualmente rige en Chile está establecida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en su artículo 4.1.10, basada en cálculos de la norma NCh853: “Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” y en una zonificación del país en zonas térmicas según grados-día especificados en el manual de aislamiento térmico del MINVU.

A.1. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

El artículo 4.1.10 de la OGUC establece las siguientes exigencias térmicas que deben cumplir todas las viviendas, las cuales no son obligatorias para otros tipos de edificios:

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envoltente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica y a la siguiente tabla:

Tabla A.1. Transmitancia térmica máxima y resistencia mínima para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados, según zona térmica.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	R _t	U	R _t	U	R _t
	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Además, si un complejo de muro incorpora materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.

El artículo 4.1.10 de la OGUC presenta, también, exigencias para ventanas, determinando un porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente, considerando la zona y el tipo de vidrio que se especifique.

Para cumplir con dichas exigencias, el mismo artículo dispone de las siguientes alternativas:

- 1- Incorporar un material aislante etiquetado con el R_{100} ^{xvii} correspondiente, según la siguiente tabla:

Tabla A.2. Resistencia R_{100} para materiales aislantes.

ZONA	TECHUMBRE	MUROS	PISOS VENTILADOS
	R_{100}	R_{100}	R_{100}
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

- 2- Demostrar el cumplimiento de la transmitancia térmica o resistencia térmica total de la solución por medio de un Certificado de Ensaye otorgado por un laboratorio de Control Técnico de Calidad de la Construcción.
- 3- Mediante cálculo, realizado según la norma NCh853 y por un profesional competente, demostrando el cumplimiento de la transmitancia térmica o resistencia térmica total del complejo de techumbre, muro y piso ventilado.
- 4- Especificar una solución constructiva para el complejo de techumbre, muro y piso ventilado que corresponda a alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Para aplicar dicha reglamentación térmica el país se ha sido dividido en 7 zonas térmicas, que dependen de una escala en grados-días de calefacción, para una temperatura base de 15°C. En el Manual de Aislación Térmica aparece la zona correspondiente a cada comuna del país.

Además, el artículo 4.1.10 de la OGUC presenta una serie de exigencias para los complejos de ventanas, considerando como complejo de ventana a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.

^{xvii} Según la norma NCh2251: R_{100} = valor equivalente a la resistencia térmica e/λ , donde e se expresa en cm quedando R_{100} expresado en $[cm^2K/W]$

Dichas exigencias se manifiestan en un porcentaje máximo de superficie de ventanas con respecto a los paramentos verticales de la envolvente. El complejo de ventana deberá cumplir con las exigencias establecidas en Tabla A.3, en relación al tipo de vidrio que se especifique y a la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura.

Tabla A.3. Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a superficie de paramentos verticales de la envolvente

Zona	Ventanas		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	Vidrio monolítico ^{xviii}	DVH Doble vidriado hermético ^{xix}	
		3,6 W/m ² K ≥ U > 2,4 W/m ² K ^{xx}	U ≤ 2,4 W/m ² K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

En el caso que el proyecto de arquitectura considere más de un tipo de vidrio, según Tabla A.3, se deberá determinar el máximo porcentaje posible para cada tipo de vidrio respecto a la superficie total de la envolvente vertical. Para ello, por cada tipo de vidrio a utilizar, se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$\frac{TP \cdot MV}{100} = MSV$$

Donde:

TP : Porcentaje del tipo de vidrio respecto del total de la superficie vidriada.

^{xviii} Vidrio monolítico: De acuerdo a la NCh132, se entenderá por aquel producto inorgánico de fusión, que ha sido enfriado hasta un estado rígido sin cristalización, formado por una sola lámina de vidrio.

^{xix} Doble vidriado hermético (DVH): De acuerdo a la NCh2024, se entenderá por doble vidriado hermético el conjunto formado por dos o más vidrios paralelos, unidos entre sí, por un espaciador perimetral, que encierran en su interior una cámara con aire deshidratado o gas inerte estanco.

^{xx} La doble ventana que forme una cámara de aire, se asimila al DVH, con valor U entre 3,6 y 2,4 W/m²K

MV : Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente, según Tabla A.3.

MSV : Porcentaje máximo de superficie, para tipo de vidrio, respecto de la superficie total de la envolvente.

A.2. Normas Térmicas

En cuanto a la envolvente de un edificio y sus características térmicas, las normas utilizadas y relacionadas son:

- NCh849: "Aislación térmica – Transmisión térmica – Terminología, magnitudes, unidades y símbolos".
- NCh850: Aislación térmica – Método para la determinación de la conductividad térmica en un estado estacionario por medio del anillo de guarda.
- NCh851: Aislación térmica – Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.
- NCh853: Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencia y transmitancias térmicas.
- NCh1079: Arquitectura y construcción – Zonificación climático-habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- NCh2251: Aislación térmica – Resistencia térmica de materiales y elementos de construcción.

Dichas normas se enfocan principalmente en:

- NCh849: Definiciones bases de términos y simbología utilizados en las normas NCh850, NCh851 y NCh853.
- NCh850: Procedimientos a seguir para la determinación de las propiedades térmicas de los materiales y elementos de construcción en forma práctica, por medio de ensayos de laboratorio utilizando el anillo de guarda.
- NCh851: Procedimientos a seguir para la determinación de las propiedades térmicas de los materiales y elementos de construcción en forma práctica, por medio de ensayos de laboratorio utilizando el método de la cámara térmica.
- NCh853: Establece los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envolvente térmica, definiendo conceptos y entregando valores para el cálculo. Los procedimientos de cálculo que allí se establecen están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la Ley de Fourier, en régimen estacionario. Además, establece valores específicos para las resistencias térmicas de superficies según posición del elemento y sentido del flujo de calor y según la ubicación del elemento dentro de la edificación. Del mismo modo, presenta tablas para determinar la resistencia térmica de las cámaras de aire, dependiendo de la ventilación que en ella se tenga y de su orientación, vertical u horizontal.

- NCh1079: Establece una zonificación climático habitacional para Chile, con el objeto de facilitar un adecuado diseño arquitectónico presentando tablas con las características climáticas de las 9 zonas en que se divide el país, tales como temperatura media, oscilación térmica diaria, soleamiento, humedad relativa, precipitación, entre otras. Cabe hacer presente que la NCh1079 divide a Chile en nueve zonas climáticas, distintas de las 7 zonas térmicas del artículo 4.1.10 de la OGUC. A pesar de que esta norma caracteriza a Chile en cuanto a su clima, no fue tomada en cuenta para la reglamentación térmica de la OGUC.
- NCh2251: Establece la rotulación de los aislantes térmicos o de elementos que los contengan a través de la cual se da a conocer la aislación térmica total que ofrecen.

B. NORMATIVA CONTRA INCENDIOS

El artículo 4.3.3 de la OGUC establece que los edificios que requieran protegerse contra el fuego deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos que se señalan en la tabla siguiente y los elementos que se utilicen en su construcción deberán cumplir con la resistencia al fuego que en dicha tabla se indica.

Si a un mismo elemento le correspondieren dos o más resistencias al fuego, por cumplir diversas funciones a la vez, deberá siempre satisfacer la mayor de las exigencias.

Tabla B.1. Resistencia al fuego para los elementos de edificios^{xxi}

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
Tipo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	F-0	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	F-0	F-0	F-30	F-15

Simbología:

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques

Elementos verticales y horizontales:

- (7) Escaleras

Elementos horizontales:

- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso

Para aplicar lo anterior deberá considerarse, además del destino y del número de pisos del edificio, su superficie edificada, o la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible, según corresponda, como se señala en las tablas siguientes:

^{xxi} El ensayo que mide la resistencia al fuego de un elemento o material de construcción debe ser realizado según la norma NCh935/1.Of97

Tabla B.2. Tipología de edificio según destino y superficie edificada.

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a
Hoteles o similares	Sobre 5.000	c	b	a	a	a	a	a
	sobre 1.500 y hasta 5.000	c	b	b	b	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	b	b	a	a	a
	hasta 500	d	c	b	b	a	a	a
Oficinas	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 1.000	c	c	b	b	a	a	a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400	c	c	b	b	b	b	a
	Hasta 400	d	c	c	b	b	b	a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500	b	a	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a	a
Locales comerciales	Sobre 500	c	b	b	a	a	a	a
	Sobre 200 y hasta 500	c	c	b	b	a	a	a
	Hasta 200	d	c	b	b	b	a	a
Bibliotecas	Sobre 1.500	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	b	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	b	a	a	a
	Hasta 250	d	c	b	b	a	a	a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d	c	c	b	b	b	a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d	c	c	c	b	b	a

Tabla B.3. Tipología de edificio según destino y cantidad máxima de ocupantes.

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS					
		1	2	3	4	5	6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Reuniones	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a
Docentes	Sobre 500	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a

Tabla B.4. Tipología de edificio según destino y densidad de carga combustible^{xxii}.

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS					
	Media (MJ/m ²) según NCh 1916	Puntual Máxima (MJ/m ²) según NCh 1993	1	2	3	4	5	ó más
Combustibles, lubricantes, aceites minerales y naturales.	Sobre 8.000	Sobre 24.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	b	a	a	a	a
	hasta 2.000	hasta 10.000	d	c	b	a	a	a
Establecimientos Industriales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	a	a	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	c	c	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	d	d	c	c	b	a
Supermercados y Centros Comerciales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	b	a	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000 hasta 1.000	sobre 6.000 y hasta 10.000 hasta 6.000	d	c	c	b	b	a
Establecimientos de bodegaje.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	c	b	b	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	d	c	c	b	b	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	d	c	c	b	a
	sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	d	d	d	c	c	a

1MJ/m² = 238.85 k cal/m²

1 MJ = 0.053 kg madera equivalente de 4.000 k cal/kg

^{xxii} Para los destinos indicados, cuando no se presente un Estudio de Carga Combustible, la edificación deberá proyectarse y construirse de acuerdo al tipo a.

Cuando los locales comerciales a que se refiere la tabla B.2, tengan una superficie edificada superior a 200 m², se podrá destinar hasta un 25% de su superficie a bodega y cuando no tengan más de 200 m² edificados, se podrá destinar hasta el 50% a bodega. En ambos casos, si la bodega supera el porcentaje máximo permitido, dichas edificaciones deberán tratarse como si fueran de uso mixto.

C. TABLAS CLIMÁTICAS

Tabla C.1. Normal de la dirección predominante e intensidad media del viento en m/s – Periodo 1961-1990

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Arica - Chacalluta	SW 5,7	SW 5,7	SW 5,7	SW 5,1	SW 4,6	SW 4,6	SW 4,6	SW 4,6	SW 5,1	SW 5,1	SW 5,7	SW 5,7	SW 5,1
Iquique - Diego Aracena	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,6	SW 3,6	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,1
Calama - El Loa	W 9,8	W 9,8	W 9,8	W 8,2	W 7,2	W 7,2	W 7,2	W 7,7	W 8,2	W 8,7	W 8,7	W 9,3	W 8,7
Antofagasta - Cerro Moreno	S 5,7	S 5,7	S 5,1	S 5,1	S 4,6	S 4,6	S 4,6	S 5,1	S 5,7	S 5,7	S 5,7	S 5,7	S 5,1
Chañaral - Aeródromo	W 6,2	W 5,7	W 6,2	W 5,7	W 4,6	W 4,6	W 5,1	W 5,1	W 5,7	W 5,7	W 5,7	W 5,7	W 5,7
Isla de Pascua - Mataveri	E 4,6	E 4,6	E 4,6	E 4,6	NW 5,7	E 4,1	SE 4,6	E 5,1	VR 5,7	E 5,1	E 5,1	E 4,6	E 5,1
Copiapó - Chamonate	W 6,2	W 6,2	W 5,7	W 5,1	W 4,6	W 4,1	W 4,1	W 5,1	W 5,7	W 6,2	W 6,2	W 6,2	W 5,1
Vallenar - Aeródromo	W 4,1	W 4,1	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	W 4,1	W 4,1	Calma
La Serena - La Florida	W 4,1	W 4,1	W 4,1	W 3,6	W 3,6	W 3,6	W 3,6	W 3,6	W 3,6	W 4,1	W 4,1	W 4,1	W 4,1
Quintero	SW 6,7	SW 7,7	SW 6,2	VR 6,2	Calma	Calma	Calma	Calma	SW 6,7	SW 6,7	SW 7,2	SW 6,7	SW 6,7
Valparaíso - Punta Ángeles	SW 6,7	SW 6,7	SW 6,2	SW 5,7	SW 4,6	SW 5,1	Calma	SW 5,7	SW 6,2	SW 6,2	SW 6,7	SW 6,7	SW 6,2
Rodelillo - AD	NW 3,6	NW 3,6	NW 3,1	S 5,1	S 4,6	S 4,1	N 4,6	S 4,6	S 5,1	S 5,1	S 5,7	NW 3,6	S 5,1
Santiago - Pudahuel	SW 5,1	S 4,1	S 3,6	S 3,1	Calma	Calma	Calma	Calma	S 3,1	S 3,6	S 3,6	S 4,1	S 3,6
Santiago - Quinta Normal	SW 2,6	SW 2,6	SW 2,1	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	SW 2,1	SW 2,1	SW 2,6	SW 2,1
Santo Domingo - AD	W 3,1	W 3,1	W 2,6	SW 3,6	SW 2,6	Calma	Calma	SW 3,6	SW 4,1	SW 4,6	W 3,1	W 3,1	SW 3,6
Isla Juan Fernández	S 5,7	S 5,1	S 5,1	S 4,6	S 3,6	S 4,6	Calma	S 5,1	S 5,1	S 4,6	S 4,6	S 5,1	S 5,1
Curicó - AD. Gral. Freire	VR 3,6	S 3,6	S 3,1	S 2,6	Calma	Calma	NE 4,1	S 3,1	S 3,1	S 3,1	S 3,1	S 3,1	S 3,1
Chillán - AD. Gral B. O'Higgins	SW 3,1	SW 3,1	VR 3,1	Calma	Calma	Calma	N 4,6	Calma	SW 3,1	SW 3,1	SW 3,6	SW 3,1	SW 3,6
Concepción - Carriel Sur	SW 7,7	SW 7,2	SW 6,2	SW 5,7	N 7,7	N 8,2	N 8,7	SW 4,6	SW 5,7	SW 6,2	SW 7,2	SW 7,2	SW 6,7
Temuco - Maquehue	SW 3,6	S 4,1	Calma	Calma	N 5,1	N 5,1	N 5,1	N 4,6	Calma	SW 3,6	SW 3,6	SW 3,6	Calma
Valdivia - Pichoy	SW 4,6	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma
Osorno - AD. Cañal Bajo	S 4,6	S 4,6	Calma	Calma	Calma	Calma	N 4,6	Calma	Calma	Calma	S 4,1	S 4,1	Calma
Puerto Montt - El Tepual	S 4,6	S 4,6	S 4,1	N 5,1	N 5,1	N 5,7	N 6,2	N 5,7	N 5,1	N 5,1	S 4,1	S 4,6	N 4,6
Ancud - Aeródromo	NW 5,7	NW 5,7	NW 5,1	NW 6,2	NW 6,7	NW 7,7	NW 7,7	NW 7,2	NW 6,7	NW 6,2	NW 6,2	NW 6,2	NW 6,2
Puerto Aysén - Aeródromo	SW 4,6	SW 4,6	SW 4,1	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	SW 4,1	SW 4,6	SW 5,1	SW 5,1	SW 4,6
Coyhaique - AD. Tte. Vidal	W 6,2	W 5,7	W 5,1	W 5,1	Calma	Calma	Calma	Calma	W 6,2	W 5,7	W 6,2	W 6,2	W 5,1

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Balmaceda - Aeropuerto	W 10,8	W 10,3	W 9,8	W 9,3	W 8,7	W 8,2	W 8,2	W 8,7	W 9,3	W 9,8	W 10,8	W 10,8	W 9,8
Chile Chico - Aeródromo	NW 7,2	NW 7,2	NW 7,7	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	NW 9,8	NW 8,2	NW 8,2	NW 8,2	W 9,8
Punta Arenas - Pdte. Ibáñez	W 9,3	W 8,7	W 8,2	W 8,2	W 6,7	W 6,7	W 6,7	W 7,7	W 8,2	W 9,3	W 9,8	W 9,8	W 8,2
Puerto Williams - Gma. Zañartu	W 5,7	W 5,1	W 5,1	W 5,1	W 4,6	W 5,1	W 4,6	W 5,1	W 5,7	W 5,7	W 5,7	W 5,7	W 5,7
C.M.A. Pdte. E. Frei Montalva	SE 8,2	VR 5,7	NW 5,1	NW 7,2	SE 8,2	SE 20	W 6,7	VR 8,2	VR 7,2	W 7,2	W 7,2	W 5,7	W 7,2

Fuente: NCh1079, 2008.

NOTA - La dirección del viento es aquella desde donde proviene (no hacia donde se dirige). Se empleó una rosa de vientos de 16 direcciones, cuya equivalencia con un sistema sexagesimal de coordenadas se indica a continuación.

Dirección	Abreviatura	Rango (°)		
Norte	N	349	-	11
Noreste	NE	34	-	56
Este	E	79	-	101
Sureste	SE	124	-	146
Sur	S	169	-	191
Suroeste	SW	214	-	236
Oeste	W	259	-	281
Noroeste	NW	304	-	326

Tabla C.2. Normales precipitación mensual, (mm).

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Máx. 24 h
Isla Juan Fernández	28,7	32,9	66,3	85,8	157,9	173,4	170,6	117,9	87,1	54,5	35,2	31,2	1041,5	290,3
Queltehue - Central	1,8	2,3	9,8	31,8	119,8	174,0	157,4	105,8	53,9	34,9	20,3	7,8	719,6	157,0
Longovilo - Hacienda	-	0,2	4,8	15,7	59,2	101,5	121,1	62,2	24,4	15,1	9,6	3,8	417,6	100,0
Graneros - Sendos	1,3	1,9	5,9	20,4	76,0	117,5	147,2	59,0	36,8	18,8	13,9	6,8	505,5	137,4
Sewell	3,8	5,2	12,7	40,3	127,6	172,2	225,7	139,0	82,4	48,9	23,9	9,7	891,4	148,3
Barahona	1,9	2,3	9,6	43,4	115,8	206,7	225,3	131,6	66,8	46,9	22,5	9,2	882,0	199,7
Coya	2,2	1,6	8,4	33,4	108,1	136,1	181,1	108,2	55,3	34,2	22,4	9,2	700,2	156,7
Parrón	1,1	1,1	9,5	26,2	87,6	154,0	180,3	100,5	54,1	33,3	19,0	7,9	674,6	185,0
Rengo - Sendos	0,2	0,4	5,8	22,2	75,1	106,3	118,0	66,8	34,6	17,3	13,5	5,2	465,4	118,7
Viña Vieja - Fundo	0,8	0,1	9,2	21,7	92,1	135,6	141,3	79,8	37,6	22,2	13,7	6,2	560,3	126,0
Lihueimo -Fundo	1,0	-	9,4	34,5	91,9	170,2	190,2	106,5	51,6	27,5	19,1	5,6	707,5	-
Pumanque - Hacienda	1,9	0,7	12,1	28,7	104,4	140,6	145,7	88,1	51,7	28,6	18,2	5,9	626,6	125,0
Santa Isabel de Querelema	1,6	2,8	12,6	30,0	92,2	143	157,4	95,1	49,4	28,3	18,5	7,4	638,3	-
Rancagua	2,1	0,6	11,3	33,2	123,2	179	208,9	118,5	51,2	26	22,3	9,4	785,7	162,1
Lolol - Hacienda	2,5	0,8	13,5	35,9	118,7	157,3	173,6	108,0	60,8	35,1	21,8	9,6	737,6	175,0
Teno	1,9	0,2	10,2	34,7	125,1	187,0	183,2	116,3	61,0	37,9	26,8	4,7	789,0	152,5
Curicó - General Freire	3,8	0,7	15,0	32,2	109,8	148,6	166,1	98,3	56,6	35,7	23,3	11,8	701,9	128,2
Los Queñes - Retén	6,4	2,6	17,3	66,5	188,6	273,1	280,4	209,1	108,3	79,2	42,3	28,2	1302,0	165,5
Curepto - Sendos	2,7	2,8	13,2	39,1	121,7	162,9	174,2	99,7	55,8	27,1	15,5	7,4	722,1	147,5
San Javier - Particular	6,2	5,2	16,2	45,7	139,7	180,4	192,1	101,4	68,9	38,7	21,4	14,0	829,9	131,0
Linares - Sendos	7,7	13,8	19,3	58,2	173,3	195,4	202,8	117,4	87,7	48,6	25,5	17,2	966,9	178,3
Parral - Sendos	12,6	14,9	21,7	59,4	164,8	182,8	205,5	124,2	86,8	51,0	29,6	19,6	972,9	200,0
San Carlos - Sendos	15,7	22,2	23,0	54,2	174,9	199,9	228,9	130,4	91,0	61,7	33,3	19,7	1054,9	165,0
Chillán - General B. O'Higgins	17,6	15,4	25,7	54,0	193,4	211,9	220,6	135,9	94,6	69,2	40,3	28,4	1107,0	153,7
San Ignacio de Palomares	12,7	10,8	19,9	54,5	192,8	226,8	231,3	151,9	84,3	63,5	38,4	26,5	1113,4	220,7
Bulnes - Sendos	12,4	10,5	22,1	43,7	138,4	185,2	177,7	127,9	74,3	58,3	37,0	19,4	906,9	51,4
Concepción - Carriel Sur	21,0	14,6	24,9	56,0	176,3	218,2	222,1	153,2	87,6	64,9	41,1	28,2	1110,1	162,4
Punta Hualpén - Faro	13,1	7,9	14,5	27,4	85,2	117,0	115,7	82,0	48,2	38,5	25,6	17,3	592,4	108,0
Cerro Caracol - Filtros	20,9	15,6	21,9	57,2	167,5	204,1	199,1	142,3	83,7	62,9	40,0	29,9	1045,1	146,6

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual	Máx. 24 h
Nonguen - Sendos	25,4	23,3	27,2	73,5	222,4	283,9	270,6	194,5	119,8	89,9	57,4	34,4	1422,3	189,5
Haulqui - Sendos	22,4	28,0	20,7	63,8	227,1	306,1	305,4	214,4	108,5	81,0	47,5	37,3	1462,2	126,4
San Cristóbal - Fundo	17,7	12,9	20,5	50,8	162,8	190,7	195,0	129,7	78,8	232,6	39,5	28,6	1159,6	145,8
El Tambillo	23,0	17,1	27,7	68,4	209,4	235,8	241,7	169,2	89,7	61,1	46,6	31,4	1221,1	165,0
Santa Bárbara - Sendos	46,3	33,8	40,9	88,6	247,3	261,6	241,8	204,8	129,3	108,0	76,7	60,4	1539,5	141,5
Angol - Los Estanques	17,9	12,0	21,8	48,3	171,1	214,3	238,6	158,2	93,8	54,3	39,8	24,7	1094,8	141,5
Los Sauces - Sendos	17,8	13,4	16,9	41,4	101,6	110,9	120,3	79,2	50,9	43,2	26,8	26,7	649,1	115,1
Vista Hermosa - Granja El Aromo	25,8	24,9	30,3	228,1	345,3	151,8	166,3	127,0	82,5	65,4	45,0	36,5	1328,9	131,9
Carahue - Sendos	24,7	22,8	26,0	51,0	113,9	124,3	118,7	95,0	63,4	48,8	179,5	27,6	895,7	169,0
Temuco - Maquehue	42,4	40,8	45,9	80,1	175,9	177,0	168,8	134,7	94,1	85,7	59,1	52,9	1157,4	131,8
Curaco en Balsa	84,4	64,8	86,2	145,9	316,5	333,7	295,1	262,6	173,5	155,2	123,1	79,2	2120,2	-
Flor del Lago	89,0	79,4	86,8	166,5	417,3	395,4	413,1	326,1	233,2	192,4	123,6	102,9	2625,7	178,4
Purulon - Escuela Agrícola	68,8	60,9	77,3	148,2	336,1	323,7	342,1	290,2	183,3	138,5	103,0	72,6	2144,7	250,0
San José de la Mariquina	42,3	49,0	57,3	115,6	246,4	234,9	235,1	203,3	127,4	98,7	65,7	55,1	1530,8	155,2
Valdivia - Pichoy	54,1	54,6	70,5	133,0	294,6	297,1	312,3	247,0	162,4	109,2	73,0	63,2	1871,0	175,4
Panguipulli	63,5	61,1	81,1	139,9	356,3	362,9	388,1	301,0	200,9	167,1	120,4	103,6	2345,9	254,0
Lago Ranco	78,6	80,1	90,5	146,3	272,9	272,7	266,2	253,4	170,5	143,1	107,3	94,5	1976,1	135,0
Río Bueno	42,9	47,4	50,7	84,4	178,5	163,9	169,5	143,0	90,0	64,1	54,9	53,2	1142,5	117,5
San Pablo	48,9	51,9	56,3	97,7	198,4	187,0	189,2	158,5	99,4	69,7	57,3	46,7	1261,0	139,3
Osorno - Cañal Bajo	48,7	60,5	53,2	105,2	199,6	189,8	197,8	173,0	104,6	80,3	58,7	60,4	1331,8	96,4
La Ensenada	94,4	79,0	95,5	159,5	249,7	245,8	228,2	198,5	151,2	159,3	116,5	96,9	1874,5	253,0
Puerto Montt - El Tepual	90,1	93,3	98,9	143,3	234,1	223,8	228,7	208,5	145,9	120,9	111,9	103,1	1802,5	133,0
Castro - Aeródromo	84,7	75,0	82,6	141,7	271,6	261,9	295,0	227,2	155,0	110,7	78,6	87,2	1871,2	110,4
Quellón - Aeródromo	127,4	102,7	105,2	166,5	165,2	253,7	270,2	254,2	182,1	141,2	117,5	127,4	2113,3	125,0
Futaleufú - Aeródromo	104,0	83,1	83,0	161,1	298,5	278,7	291,0	260,9	177,7	130,5	110,4	105,6	2084,5	150,9
Alto Palena - Aeródromo	80,6	70,8	80,4	124,2	241,4	216,5	223,2	173,2	139,3	93,3	85,8	107,4	1636,1	120,4
Puerto Puyuhuapi	228,3	181,7	212,9	294,9	446,0	399,2	390,8	401,1	328,2	257,4	243,5	241,6	3625,6	142,8
Puerto Aysén - Aeródromo	195,7	158,9	165,8	239,0	320,1	283,1	280,0	257,6	209,1	162,8	167,5	207,5	2647,1	171,0
Coyhaique - Tte. Vidal	65,2	56,8	73,5	114,3	183,5	150,6	160,7	124,4	89,3	54,8	56,9	75,9	1205,9	140,0
Balmaceda - Aeropuerto	28,1	20,4	37,5	53,6	92,5	85,2	83,5	72,2	49,0	29,6	28,3	31,7	611,6	75,9

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Máx. 24 h
Chile Chico - Aeródromo	11,3	6,1	15,3	24,3	4,8	39,9	54,0	29,7	23,8	12,6	8,7	9,5	292,0	77,1
Punta Dungenes - Faro	26,4	26,8	24,5	22,4	26,0	24,7	21,9	14,6	11,8	15,2	20,7	23,4	258,4	63,6
Punta Arenas - Carlos Ibañez ^{*)}	38,9	27,8	29,6	36,0	41,6	28,2	30,2	30,2	24,2	28,7	31,7	28,6	375,7	98,0
Isla Diego Ramírez	126,0	135,3	137,4	134,4	107,4	109,4	107,8	97,7	100,0	93,7	99,3	119,3	1367,7	90,2
C.M.A. Pdte. E. Frei M. ^{*)}	39,3	67,2	88,8	84,5	70,2	59,9	56,1	60,1	74,6	77,0	67,6	51,9	797,2	48,9
Base Antártica A. Prat	44,5	70,8	84,6	53,5	59,6	52,4	62,3	61,6	86,2	77,3	83,8	61,3	797,9	-
Base Antártica B.O'Higgins ^{**)}	28,9	64,0	74,1	78,0	66,7	50,7	65,5	67,2	87,7	87,1	61,9	38,7	770,5	-
<p>- = Sin precipitación. 0,0 = Precipitación inferior a 0,1 mm. *) = Promedio de precipitación para el período 1968 - 1990. **) = Promedio de precipitación para el período 1970 - 1990.</p>														

Fuente: NCh1079, 2008.

D. CÁLCULO DE GASTOS ENERGÉTICOS

Para determinar el gasto energético por metro cuadrado de superficie de planta se deben conocer los factores G_{V1} y G_{V2} de pérdidas térmicas volumétricas^{xxiii}.

El factor de pérdidas térmicas, G_{V1} , se calcula de la siguiente forma:

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i}{V}$$

Mientras que el factor de pérdida térmica por la envolvente y por ventilación, G_{V2} , se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$G_{V2} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i}{V} + 0,35 \cdot n$$

El gasto energético anual por metro cuadrado de superficie, $G_{energético}$, se obtiene de la siguiente forma:

$$G_{energético} = \frac{G_{V2} \cdot H \cdot GD \cdot 24}{1000} \left[\frac{kWh \cdot año}{m^2} \right]$$

^{xxiii} Los coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas, G_{V1} y G_{V2} , se calculan de acuerdo a la norma NCh1960.

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

Acabado final	106, 142, 145, 147
Ahorro energético	14, 50, 132, 133, 134, 137
Aislación exterior	3, 14, 42, 43, 44, 51, 76, 79, 102, 103, 106, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 131, 134, 135, 136, 143
Aluminio	19, 30, 31, 33, 34, 35, 50, 82, 91
Arquitectura	3, 95, 106, 108, 109, 113, 115, 140, 141, 149, 151, 153

B

Barrera de humedad	92, 143
Barrera de vapor	74, 75, 90, 143

C

Cámara de aire	33, 48, 50, 79, 94, 125, 151
Características arquitectónicas	97, 110, 113
Condensación	14, 15, 16, 20, 21, 22, 43, 74, 75, 89, 90, 92, 93, 136, 143, 144, 145
Condiciones climáticas	6, 51, 110, 112, 118, 147
Conductividad térmica	6, 7, 10, 11, 12, 31, 94, 125, 132, 144, 145, 146, 153
Confort térmico	2, 4, 15, 39, 43, 141, 144
Cubrejuntas	53, 56, 63, 64, 65, 144

D

Difusividad al vapor de agua	17
Doble vidriado hermético	30, 31, 34, 125, 126, 127, 128, 151
DVH	31, 32, 34, 35, 151

E

Eficiencia energética	24, 132, 141
EIFS	44, 45, 47, 48, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 94, 97, 98, 99, 102, 103, 106, 107, 122, 134, 135, 136, 138, 139, 141, 145, 147
Entorno físico	110, 111, 122

F

Fachada ventilada	49, 79, 83, 84, 87, 94, 134, 135, 138, 141, 147
FV	44, 48, 49, 50, 51, 76, 79, 81, 83, 84, 86, 87, 94, 97, 98, 102, 103, 106, 108, 109, 122, 135, 136, 147
Factores de pérdidas térmicas	126
Fierro	30, 31
Fijaciones estructurales	83
Fijaciones mecánicas	54, 73

G

Gasto energético	10, 122, 126, 127, 128, 164
Guarniciones	53, 63

H

Humedad	4, 5, 6, 11, 15, 16, 17, 18, 21, 42, 43, 47, 48, 51, 58, 75, 88, 89, 90, 92, 94, 98, 105, 107, 116, 137, 142, 145, 147, 149, 154
Humedad absoluta	16, 145
Humedad relativa	5, 6, 16, 21, 145, 147, 154

I

Inercia térmica 24, 25, 26, 27, 28, 91, 96, 105, 108, 111, 119, 121, 136, 145

J

Juntas 53, 55, 56, 60, 61, 62, 78, 79, 85, 90, 94, 98, 106, 107, 108, 136, 145

LI

Lluvia 30, 43, 56, 88, 92, 94, 121, 143

M

Madera 19, 25, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 47, 50, 51, 60, 85, 91, 112, 124, 125, 127, 145, 157

Malla de refuerzo 44, 45, 48, 58, 67, 78, 145, 147

Mantenimiento 42, 51, 86, 97, 98

Materiales aislantes 6, 10, 11, 12, 14, 27, 54, 89, 90, 94, 98, 102, 105, 115, 121, 127, 149, 150

Materiales constructivos 29, 110, 112, 120, 121, 123, 124

Materiales estructurales 120, 121

Mortero modificado 44, 58, 147

O

Objetos sobrepuestos 53, 72, 73

OGUC 1, 35, 44, 69, 99, 100, 101, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 148, 149, 150, 154, 155

P

Penetraciones 53, 71, 72, 73, 74, 75, 109, 116

Permeabilidad al vapor	146
Permeabilidad al vapor de agua	17, 18, 19, 90, 139
Permeanza	18, 90, 91, 146
Placa de revestimiento	83
Poliestireno expandido	11, 12, 19, 45, 139, 140
EPS	45, 48, 50, 67, 105, 107, 132
Poliuretano expandido	11, 12, 45
PUR	45, 50
Protección contra el fuego	74, 88, 99
PVC	30, 31, 33, 34, 35, 67

R

Reglamentación térmica	1, 12, 30, 137, 139, 149, 150, 154
Renovaciones de aire	38, 40, 41, 122, 126
Resistencia térmica	7, 8, 9, 10, 12, 21, 30, 31, 35, 36, 89, 90, 111, 115, 122, 125, 127, 130, 131, 132, 133, 137, 146, 149, 150, 153
Resistencia térmica superficial	7, 111
Revestimiento exterior	45, 49, 79, 85, 94, 106, 108, 147

S

Seguridad contra incendios	42, 58, 99
Sistema de fijación	50, 54, 58
Sistema soportante	79, 83
Sofitos	53, 57, 58, 64
Soleamiento	43, 88, 95, 96, 110, 116, 147, 154
Soluciones constructivas	24, 121, 150
Superficies vidriadas	24, 29, 95, 96, 110, 113, 135, 137
Sustrato	45, 47, 48, 50, 54, 60, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77

T

Techos	1, 14, 27, 39, 53, 56, 78, 105, 126, 128, 147
Transmitancia térmica	10, 30, 32, 34, 35, 125, 126, 127, 128, 137, 146, 147, 149, 150

U

Ubicación de la aislación	2, 29, 36, 37, 55, 114, 115, 119, 121
Ubicación geográfica	110, 111, 122
Uso del edificio	111, 115, 120, 121

V

Ventana	1, 22, 24, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 56, 57, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 77, 86, 105, 107, 125, 126, 128, 136, 143, 144, 145, 150, 151
Ventilación	24, 27, 37, 38, 39, 40, 41, 49, 51, 71, 86, 147, 153, 164
Vidrio monolítico	30, 31, 32, 34, 125, 126, 127, 128, 151
Viento	6, 22, 38, 39, 43, 60, 80, 81, 82, 84, 111, 112, 121, 159, 160
Vientos	116, 117, 118

Z

Zona climática	111, 115, 116, 118, 119, 120, 147, 154
Zona térmica	1, 30, 35, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 148, 149, 150, 151, 154