

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

**METODOS CONSTRUCTIVOS PARA LA AISLACIÓN TERMICA DE MUROS POR EL
EXTERIOR DE UNA VIVIENDA. SOLUCIONES A PUNTOS SINGULARES**

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

ALEJANDRA DEL PILAR FLORES PEREIRA

Profesor Guía: Sr. Federico Delfín A.
Profesor Co-Guía: Sr. Carlos Aguilera G.
Profesor Comisión: Sr. Gabriel Rodríguez J.

Santiago, Chile 2007

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

**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA LA AISLACIÓN TÉRMICA DE MUROS POR EL
EXTERIOR. SOLUCIÓN A PUNTOS SINGULARES**

ALEJANDRA DEL PILAR FLORES PEREIRA

COMISIÓN EXAMINADORA	CALIFICACIONES		FIRMA
	NOTA (Nº)	(LETRAS)	
PROFESOR GUÍA SR. FEDERICO DELFIN A.
PROFESOR CO-GUÍA SR. CARLOS AGUILERA G.
PROFESOR INTEGRANTE SR. GABRIEL RODRIGUEZ J.
NOTA FINAL EXAMEN DE TÍTULO	

Santiago, Chile 2007

A mi Padre, quien me vio iniciar este camino y sé lo orgulloso que estaba de ello, pero sin embargo la vida no permitió que llegáramos juntos al final; y a mi Madre por los años de sacrificio y dedicación.

El camino se hizo más largo que lo esperado, pero aun así llegué al final.

Hubo mucha gente en este trayecto, y me gustaría a través de estas líneas expresarles mi agradecimiento.

A mi Padre, quien me apoyo en el inicio este camino y que hoy desde el cielo debe estar orgulloso de mí, gracias a él, por su ejemplo de bondad, esfuerzo y sacrificio en la vida.

A mi Madre, por su incondicional apoyo a pesar de las dificultades. A mis hermanas Nancy y Marcela por el apoyo brindado en la época difícil en la que faltó mi Padre.

A Favio, por el cariño, la paciencia, el apoyo y el empuje brindado para llegar al final de la meta.

A mis profesores, Don Federico Delfín, Don Carlos Aguilera y Don Gabriel Rodríguez por su tiempo, paciencia y dedicación.

A Bienestar estudiantil de la escuela, especialmente a la Sra. Carmen, Sra. Lucia, Sra. Maria Eugenia y Paola, por el apoyo y la ayuda constante en la solución de mis problemas.

A la gente de la Beca del año 67, por todos los años de ayuda.

A mis amigos por los años de compañía y solidaridad, especialmente a Leonardo, y Javier Fernández.

INDICE

INDICE	1
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	4
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	6
2.1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ)	7
2.2. CONDUCTANCIA TÉRMICA (C).....	7
2.3. RESISTENCIA TÉRMICA (R)	8
2.3.1. Resistencia de elementos simples y homogéneos	8
2.3.2. Resistencia de elementos compuestos por varias capas homogéneas	9
2.4. TRANSMITANCIA TÉRMICA (U)	10
2.5. INERCIA TÉRMICA (I).....	10
CAPITULO 3: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN CHILE.....	12
3.1. PRIMERA ETAPA: AISLAMIENTO DE TECHOS	12
3.2. SEGUNDA ETAPA: AISLACIÓN DE MUROS, VENTANAS Y PISOS.....	14
3.2.1. Muros	15
3.2.2. Ventanas	16
3.2.3. Pisos ventilados	17
3.3. TERCERA ETAPA: CERTIFICACIÓN TÉRMICA	18
CAPITULO 4: AISLACIÓN TERMICA EXTERIOR DE MUROS	19
4.1. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO	21
4.1.1. Fachada ventilada.....	21
4.1.1.1. Composición del sistema.....	21
4.1.1.2. Recomendaciones de aplicación.....	22
4.1.2. Mortero delgado sobre aislación.....	35
4.1.2.1. Composición del sistema.....	35
4.1.2.2. Recomendaciones de aplicación.....	37
4.1.3. Unidades prefabricadas de la envolvente de protección para la aislación térmica adosada al muro 41	
4.1.3.1. Composición del sistema.....	41
4.1.3.2. Descripción y recomendaciones de aplicación del sistema.....	42
CAPITULO 5: SOLUCIONES A PUNTOS SINGULARES	48
5.1. ERRORES DE APLICACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS.....	48
5.1.1. Encuentros de revestimiento exterior con aislación en una esquina.....	48
5.1.2. Desplazamiento entre juntas	49
5.2. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS A PUNTOS SINGULARES	50
5.2.1. Encuentro del muro con el suelo	51
5.2.1.1. Fachada ventilada	53
5.2.1.2. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro.....	54
5.2.1.3. Mortero delgado sobre aislación.....	54
5.2.2. Esquina.....	55

5.2.2.1.	Fachada ventilada	56
5.2.2.2.	Mortero delgado sobre aislación.....	57
5.2.2.3.	Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro.....	58
5.2.3.	Esquinas entrantes	58
5.2.3.1.	Fachada ventilada	59
5.2.3.2.	Mortero delgado sobre aislación.....	60
5.2.3.3.	Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro.....	60
5.2.4.	Junta de dilatación	62
5.2.4.1.	Fachada ventilada	63
5.2.4.2.	Mortero delgado sobre aislación.....	64
5.2.4.3.	Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro.....	66
5.2.5.	Las ventanas	68

CAPITULO 6: EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE ...70
AISLACIÓN.....70

6.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA	70
6.1.1.	Evaluación para la aptitud al empleo	70
6.1.2.	Seguridad en caso de incendio	72
6.1.3.	Higiene, salud y medio ambiente.....	72
6.1.4.	Exposición a desplazamientos de la principal estructura.....	73
6.1.5.	Economía de energía y aislamiento térmico	74
6.1.6.	Durabilidad del sistema	74
6.1.7.	Durabilidad de los componentes.....	75
6.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	75
6.2.1.	Fachada ventilada.....	76
6.2.2.	Mortero delgado sobre aislación.....	85
6.2.3.	Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro	87
6.3.	RESUMEN DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MÉTODOS DE AISLACIÓN.....	89
6.4.	CLASIFICACIÓN DE REVESTIMIENTOS EXTERIORES SEGÚN CRITERIOS ATE	90

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES91

7.1	CONCLUSIONES.....	91
7.2	RECOMENDACIONES	93

CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA.....95

**“METODOS CONSTRUCTIVOS PARA LA AISLACIÓN TERMICA DE MUROS POR
EL EXTERIOR DE UNA VIVIENDA. SOLUCIONES A PUNTOS SINGULARES”**

El objetivo general del presente trabajo de título a propósito del cambio de reglamentación térmica en Chile en su segunda etapa, es mostrar métodos y soluciones constructivas para aislar por el exterior los muros de hormigón de una vivienda.

Se recopilaron antecedentes de los métodos europeos y de todos los adelantos realizados en Chile en esta materia. Con lo anterior se realizó en detalle la forma de implementar tres métodos: fachada ventilada, mortero delgado sobre aislación y unidades prefabricadas de la envolvente de protección para la aislación térmica adosada al muro.

Uno de los aspectos fundamentales de este trabajo fue mostrar técnicas para dar solución a los puntos singulares generados en la vivienda al implementar las técnicas planteadas.

Se presentaron los criterios dados por la EOTA para ver las exigencias reglamentarias fundamentales que deben cumplir los sistemas de aislación de una vivienda. Con estos criterios se realizó un análisis a fin de determinar que sistemas cumplen y cuales no con las exigencias reglamentarias que son: resistencia al fuego, resistencia a la humedad, resistencia al impacto, no dañar el medio ambiente y la salud y que sean de fácil manutención.

Dado el desarrollo que se ha alcanzado en Chile en esta materia hasta este momento, se realizó con los productos nacionales para cada uno de los métodos planteados un análisis de precios unitarios, a fin de compararlos en términos económicos.

Como resultados de este trabajo, en términos térmicos se puede decir que la fachada ventilada gracias a su cámara de aire permite que en verano al calentarse el revestimiento exterior, este caliente el aire y se produzca una corriente vertical haciendo que suba el calor impidiendo el calentamiento del muro, lo cual resulta beneficioso para mantener una temperatura agradable al interior de la vivienda. Si evaluamos en costo este método, el siding de vinílico de todos los tipos de revestimiento de este tipo resulta ser el más económico, sin embargo no cumple con una de las exigencias fundamentales que es la resistencia al fuego. El mejor tipo de revestimiento son los siding de fibrocemento, pero son los de mayor costo.

Los EIFS cumplen con las exigencias reglamentarias y corresponde a la técnica más económica, sin embargo tiene el problema de que es adherido al muro y cuando hay mucho sol absorbe el calor y lo traspasa al muro. Lo mismo ocurre en el caso de las unidades prefabricadas.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Debido al cambio que se produjo en Chile a partir del año 2007 en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, concerniente a establecer exigencias de acondicionamiento y aislación térmica para los complejos de muros, ventanas y pisos de las viviendas, que complementará el Artículo N° 4.1.10 que actualmente establece exigencias para la techumbre, se hace necesario realizar estudios que aporten técnicas constructivas para dar a las viviendas un buen sistema de aislación.

La implementación de estos cambios en la Ordenanza, logrará un muy importante mejoramiento de las condiciones medioambientales al interior de las viviendas, fundamentalmente con una temperatura más confortable y sana, con menor humedad interior y con una mejor calidad del aire, mejorando en definitiva, el bienestar de sus habitantes y su calidad de vida.

El mejoramiento del comportamiento térmico, especialmente de los muros por el exterior, permitirá reducir los eventos de condensación y esto constituye, sin duda, un enorme aporte a la habitabilidad de las viviendas. Tener menores condensaciones, también colaborará en la mayor durabilidad de la vivienda y sus componentes.

Las técnicas de aislación térmica por el exterior de un muro específicamente, aportan a la vivienda numerosas ventajas. Sin embargo éstas se logran con una adecuada implementación y control de las técnicas utilizadas.

En el desarrollo de este estudio se analizarán las técnicas existentes en Europa, pioneros en aislación de muros, para aislar exteriormente un muro de hormigón de una vivienda. Específicamente plantear métodos, haciendo una descripción detallada de todos los elementos que conforman el sistema.

Se busca además por medio de esto, hacer un análisis comparativo de los métodos tanto en términos técnicos como económicos. Se deberá además, precisar y dar

solución a los puntos singulares en los cuales se generan puentes térmicos tales como juntas de dilatación, marcos de ventanas, etc., de modo de obtener una vivienda con aislación térmica homogénea que permita garantizar la durabilidad de la obra.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

De acuerdo a principios físicos básicos, cuando entre dos ambientes existe una diferencia de temperatura, se genera un flujo de calor a través del elemento que los separa, desde el ambiente más caliente al más frío. Este flujo de calor se denomina Flujo Térmico. Se mide en watt [W] en el Sistema Internacional y en kilo calorías por hora [kcal/h] en unidades prácticas (Fig. 1).

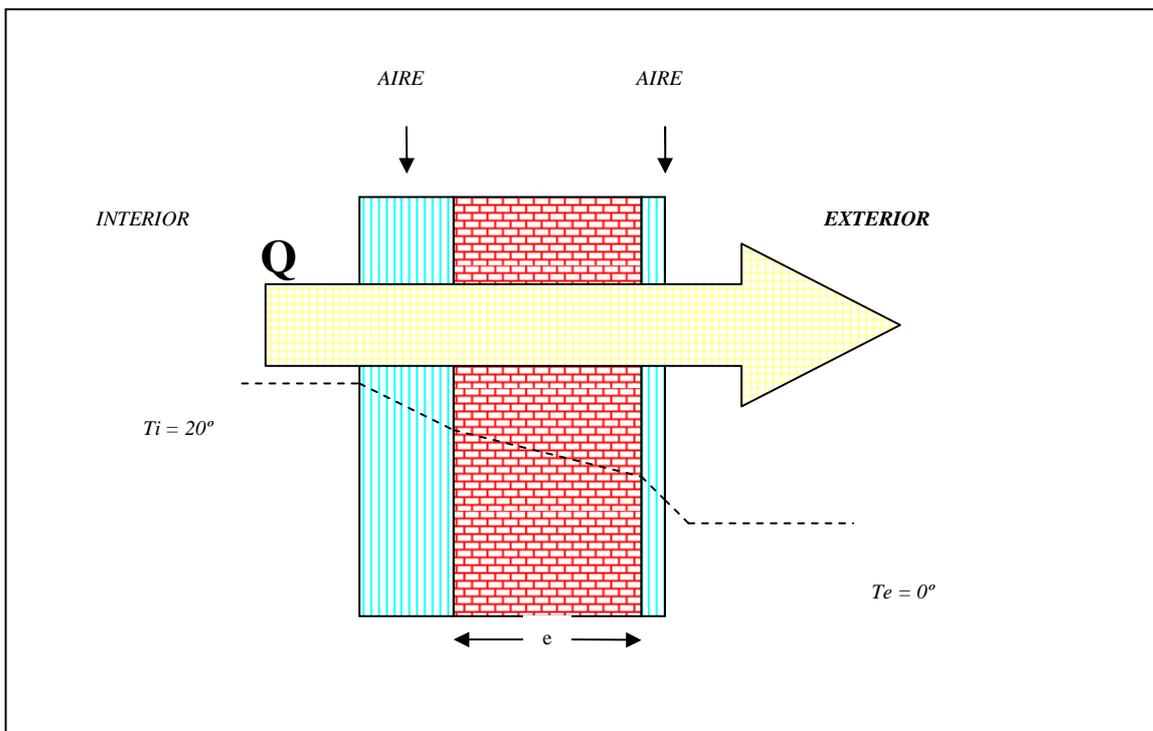


Fig. 1: Diagrama de flujo térmico a través de un muro de espesor e .

El calor se propaga bajo tres formas: conducción, que ocurre a través de los elementos sólidos, la convección, que propaga el calor a través de la circulación de aire y la radiación de calor que se produce entre el elemento, a través de las superficies libres, a través de los objetos que las rodean. Sin embargo en el caso de la transmisión de calor de la envolvente de una vivienda o edificio la temperatura está definida principalmente por la conducción.

El flujo térmico por conducción a través del muro depende de la superficie, del espesor del muro, de la diferencia de temperatura entre sus caras y de las características del material que conforma el muro.

Algunos de los conceptos relacionados con el flujo de calor son los siguientes:

2.1. Conductividad térmica (λ)

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca del material, que define la capacidad conductora de éste, mostrando la facilidad con que el flujo calórico pasa a través del mismo.

Se define como la cantidad de calor que pasa a través de un material referido al elemento de volumen unitario en la unidad de tiempo y para una diferencia de temperatura unitaria, es decir, es la cantidad de calor necesaria por m², para que atravesando durante la unidad de tiempo un metro de material homogéneo, se obtenga una diferencia de temperatura entre ambas caras de 1°C. Se expresa en unidades de [W/mK] o en [kcal/mh°C].

Algunos de los factores que influyen en esta propiedad física de los materiales son: densidad, temperatura y humedad.

2.2. Conductancia térmica (C)

Cantidad de calor que pasa a través de un elemento plano de material homogéneo de espesor "e" conocido. Se mide en unidades de [kcal/hm²°C] o en [W/m² K].

Matemáticamente se define como:

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

Donde:

C: Conductancia térmica
 λ : Conductividad térmica
e: Espesor del material

2.3. Resistencia térmica (R)

Se define como la resistencia que opone un elemento constructivo al paso del calor. Su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies. Se expresa en unidades de [m² K/W].

2.3.1. Resistencia de elementos simples y homogéneos

Para un elemento de caras planas y paralelas, de espesor e, conformado por un solo material de conductividad térmica λ , la resistencia térmica total queda dada por:

$$R = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

Donde:

$\frac{e}{\lambda}$: Resistencia térmica del material
 R_{si} : Resistencia térmica de superficie al interior
 R_{se} : Resistencia térmica de superficie al exterior

2.3.2. Resistencia de elementos compuestos por varias capas homogéneas

Para un elemento formado por una serie de capas paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica queda dada por:

$$R = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

Donde:

$\sum \frac{e}{\lambda}$: Suma de las resistencias térmicas de las capas que conforman un elemento.

R_{si} : Resistencia térmica de superficie al interior.

R_{se} : Resistencia térmica de superficie al exterior.

La norma NCh 853, entrega la siguiente tabla para las resistencias térmicas de las capas de aire adheridas a las caras de los elementos:

Tabla Nº 1: Resistencia térmica capas de aire adosadas al elemento $\left[\frac{m^2 K}{W} \right]$

Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local desván o cámara de aire		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales	0.12	0.05	0.17	0.12	0.12	0.24
Flujo ascendente en elementos horizontales	0.09	0.05	0.14	0.1	0.1	0.2
Flujo descendente en elementos horizontales	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

2.4. 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. Representa la facilidad con que el calor es transferido a través de un medio desde el lado de mayor temperatura al lado de menor temperatura. Se expresa en $W/m^2 K$ y se define como:

$$U = \frac{1}{R}$$

Donde:

U: Transmitancia térmica

R: Resistencia térmica

2.5. Inercia térmica (I)

Propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. Depende de la masa, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Esta propiedad se utiliza en construcción para conservar la temperatura del interior de la vivienda más estable a lo largo del día, mediante muros de gran masa. Durante el día se calientan, y por la noche, más fría, van cediendo el calor al ambiente de la vivienda. En verano, durante el día, absorben el calor del aire de ventilación y por la noche se vuelven a enfriar con una ventilación adecuada, para prepararlos para el día siguiente. Un adecuado uso de esta propiedad puede evitar el uso de artificiales sistemas de climatización interior.

La Inercia Térmica es la resistencia que ofrece el elemento a ser calentado. Mayor inercia térmica equivale a mayor resistencia a que aumente la temperatura ya que consigue repartir mejor el calor por todo él, teniendo que calentar más materia del

elemento y no concentrarse sólo en la zona de contacto con el flujo térmico. El riesgo de combustión del elemento será menor mientras mayor sea su inercia térmica.

La figura N° 2 muestra la influencia de la masa térmica en los flujos de calor periódicos.

Las variaciones diurnas de la temperatura exterior (línea verde) producen flujos de calor hacia el interior de la vivienda durante el día, quedando parte del calor almacenado en el material. Durante la noche, el flujo de calor se invierte, de la vivienda hacia el exterior.

Como resultado las variaciones diarias de la temperatura interior varían entre el caso de baja masa térmica (línea azul) y el de alta inercia térmica (línea roja).

Al crecer la masa térmica aumenta el retardo y disminuye la oscilación interior en relación con la exterior (medida con la relación $T_{i,max}/T_{o,max}$).

De esta forma la inercia o masa térmica contribuye a incrementar el confort interior y a reducir valores punta en los sistemas técnicos de acondicionamiento artificial.

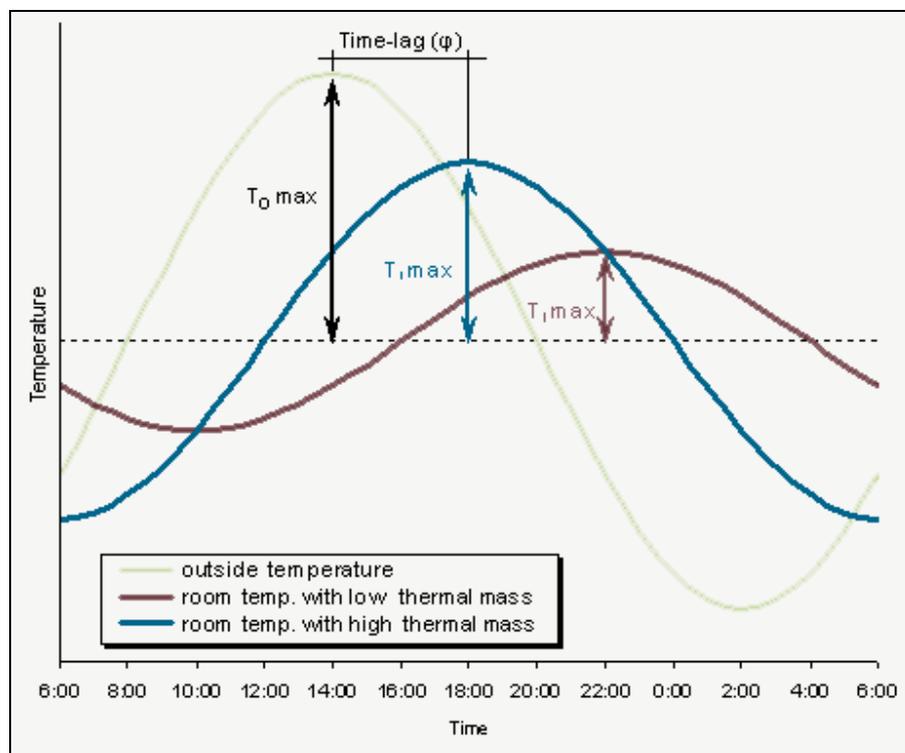


Fig. N° 2: Gráfico de variaciones de temperatura de una vivienda durante un día

CAPITULO 3: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN CHILE

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo, consecuente con la idea de mejorar la calidad de vida de la población, a través de elevar los estándares de construcción de la vivienda, inicio en 1994 el Programa de Reglamentación Térmica.

El Programa contemplaba tres etapas que se describen a continuación:

3.1. PRIMERA ETAPA: Aislamiento de techos

Mejora la calidad de vida de la población con un mínimo costo, reduce el consumo de energía en el sector residencial y la contaminación que ésta genera tanto al interior como al exterior de la vivienda. Asimismo, reduce el deterioro de los materiales por exposición a grandes cambios de temperatura y humedades excesivas y estimula el desarrollo de los sectores productivos y académicos.

El día 1 de marzo de 2000 entró en vigencia esta primera etapa de la reglamentación térmica, a través de la modificación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones que incorporó el artículo 4.1.10, estableciéndose exigencias de aislación térmica para el complejo techumbre de todas las viviendas del país, con relación a una zonificación que cubre todo el territorio nacional.

El artículo 4.1.10 de la OGUC, establece que todas las viviendas deberán cumplir con las siguientes exigencias:

- a) Los complejos de techumbres, 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 a con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo (Tabla N° 2)

ZONA	TECHUMBRE	
	U	Rt
	W/m ² K	m ² K/W
1	0,84	1,19
2	0,6	1,67
3	0,47	2,13
4	0,38	2,63
5	0,33	3,03
6	0,28	3,57
7	0,25	4,00

Tabla Nº 2: Resistencia y transmitancia térmica para la techumbre.

- b) En el caso de mansardas o paramentos inclinados, se considerará complejo de techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de 60° sexagesimales o menos medidos desde la horizontal.
- c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales de la techumbre, tales como cerchas, vigas y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- d) Los materiales aislantes térmicos deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, tales como cadenas, vigas, soleras, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales.
- e) Para obtener una continuidad en el aislamiento térmico de la techumbre, todo muro o tabique que sea parte de ésta, tal como lucarna, antepecho, dintel, u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y delimite un local habitable o no habitable, deberá cumplir con la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre, de acuerdo a lo señalado en el punto a).

f) Para toda ventana que forme parte del complejo techumbre de una vivienda emplazada entre la zona 3 a 7, ambas inclusive, cuyo plano tenga una inclinación de 60° sexagesimales o menos, medidos desde la horizontal, se deberá especificar una solución de doble vidriado hermético.

3.2. SEGUNDA ETAPA: Aislación de muros, ventanas y pisos

Complementará la primera etapa, considerando las resistencias y transmitancias del resto de la envolvente de la vivienda, es decir, muros, ventanas y pisos. En el caso de la estructura de piso, sólo se consideran aquellos que poseen una cámara de aire también llamados pisos ventilados.

La segunda etapa que modificó a la OGUC en su artículo 4.1.10 y su propuesta fue desarrollada por el Instituto de la Construcción con la incorporación en conjunto de toda la industria, académicos y expertos relacionados con el tema.

Esta etapa entró en vigencia el 04 de Enero del 2007. Su incorporación muestra las exigencias de calidad térmica de muros, ventanas y pisos ventilados para cualquier vivienda del país. (Tabla N° 3).

ZONA	MUROS		VENTANAS			PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE			U	Rt
	W/m ² K	W/m ² K	VIDRIO MONOLÍTICO	Doble vidriado hermético		W/m ² K	W/m ² K
				3.6 >= U W/m ² K 2.4	U < W/m ² K 2.4		
			W/m ² K	W/m ² K			
1	4	0,25	50	60	80	3,6	0,28
2	3	0,33	40	60	80	0,87	1,15
3	1,9	0,53	25	60	80	0,7	1,43
4	1,7	0,59	21	60	80	0,6	1,67
5	1,6	0,63	18	51	80	0,5	2
6	1,1	0,91	14	37	55	0,39	2,56
7	0,6	1,67	12	28	37	0,32	3,13

Tabla N° 3: Valores segunda etapa de Reglamentación Térmica sobre acondicionamiento térmico en viviendas

3.2.1. Muros

Se considerará complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

- a) Las exigencias señaladas en la tabla N° 3, serán aplicables sólo a aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.
- b) Los recintos cerrados contiguos a una vivienda tales como bodegas, leñeras, estacionamientos, invernadero, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla N° 3 a los paramentos que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.
- c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- d) En el caso de que el complejo muro incorpore 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.
- e) En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas al exterior de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

3.2.2. Ventanas

El complejo de ventana deberá cumplir con las exigencias establecidas en la Tabla N° 3, en relación al tipo de vidrio que se especifique y a la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura. El tipo de vidrio a utilizar en las superficies de ventanas deberá ser indicado en las especificaciones técnicas del proyecto de arquitectura.

Para determinar el porcentaje máximo de superficie de ventanas de un proyecto de arquitectura, se deberá realizar el siguiente procedimiento:

- a) Determinar la superficie de los paramentos verticales de la envolvente del proyecto de arquitectura. La superficie total a considerar para este cálculo, corresponderá a la suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales que considere la unidad habitacional, incluyendo los medianeros y muros divisorios.
- b) Determinar la superficie total de ventanas del proyecto de arquitectura, correspondiente a la suma de la superficie de los vanos del muro en el cual está colocada la ventana, considerando, para ello, el marco como parte de su superficie. Para el caso de ventanas salientes, se considerará como superficie de ventana aquella correspondiente al desarrollo completo de la parte vidriada.
- c) La superficie máxima de ventanas que podrá contemplar el proyecto de arquitectura, corresponderá a la superficie que resulte de aplicar la Tabla N° 3, respecto de la superficie de los paramentos verticales de la unidad habitacional señalada en el punto a) precedente, considerando la zona y el tipo de vidrio que se especifique.

3.2.3. Pisos ventilados

Para efectos de la aplicación del presente artículo se considerará complejo de piso ventilado al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior, también se considerarán como pisos ventilados.

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en pisos ventilados, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales del piso o de las instalaciones domiciliarias, tales como vigas, tuberías, ductos o cañerías.

Se deberá especificar y colocar un material aislante térmico, incorporado o adosado, al complejo de techumbre, al complejo de muro, o al complejo de piso ventilado cuyo R100 mínimo, rotulado según la norma técnica NCh 2251. (Tabla Nº 4)

ZONA	TECHUMBRE R100(*)	MUROS R100(*)	PISOS VENTILADOS R100(*)
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

Tabla Nº 4: R100 mínimo para materiales de aislación.

(*) Según la norma NCh 2251: R100 = valor equivalente a la Resistencia Térmica (m^2K / W) x 100.

3.3. TERCERA ETAPA: Certificación térmica

Es alternativa a la primera y segunda etapa. Se simula el comportamiento térmico de la vivienda en su integridad, incorporando todos los factores que influyen en el acondicionamiento climático de los ambientes. Se incorpora el concepto de demanda energética, y se compara dicha demanda del mismo edificio pero con los valores prescriptivos de la primera y segunda etapa.

La tercera etapa se retomará este año con el objeto de implementar la certificación energética respecto al comportamiento global. Todo lo anterior nos demuestra el grado de maduración de un sector que ha trabajado intensamente en el tema.

CAPITULO 4: AISLACIÓN TÉRMICA EXTERIOR DE MUROS

La materialidad de la envolvente del edificio, sobre todo su color, nivel de aislamiento, y la masa térmica, tienen un efecto significativo en la eficiencia de la energía y confort del ocupante.

El aislamiento de la envolvente de una vivienda reduce las pérdidas de calor y tiene por resultado de aumentar la temperatura interior de las paredes, lo que mejora el confort.

El aislamiento, en el caso de las paredes puede ser puesto tanto por dentro como por fuera.

Los sistemas de aislación térmica de muros por el exterior tanto en construcciones nuevas o existentes brindan beneficios tales como:

Físico - Térmicos

- El aislamiento de las paredes reduce las pérdidas de calor.
- Reduce los eventos de condensación y esto constituye, sin duda, un enorme aporte a la habitabilidad de las viviendas.
- La inercia térmica es mejorada
- Las temperaturas son más estables y más homogéneas en el seno de la pared

Arquitectónicos

- La estructura y el espacio interior de la edificación no se ven modificados, los costos son limitados y, por ende, el mejoramiento del comportamiento térmico es sustancial.

Económicos

- Las pérdidas de calor reducen los gastos de calefacción en invierno y de refrigeración en verano.
- Se puede hacer uso por mayor número de hora de la ventilación natural.
- Protección mejorada de la fachada y de la estructura de las viviendas de los efectos de la intemperie y del deterioro, producido por la humedad y las variaciones térmicas.

Los sistemas de aislación térmica exterior y de acabado de fachadas incrementarán cada vez más su relevancia en la industria de la construcción, particularmente son los crecientes costos previstos para la energía de la calefacción y enfriamiento, y a la implementación de reglamentaciones cada vez más estrictas.

Numerosas técnicas de aislamiento térmico por el exterior están disponibles. Ellas tienen en común mantener un material aislante repartido sobre la superficie exterior de la pared (lana mineral, poliestireno) y de protegerlo de la lluvia y del viento por algún tipo de revestimiento aplicado sobre el aislador.

En el sur de Chile, desde antes de determinar lo fundamental que es aislar los muros por el exterior de una vivienda para darles confort térmico, utilizaban el sistema que llamaremos fachada ventilada para proteger sus casas de la lluvia, desconociendo que además mejorarían en confort térmico de su hogar.

4.1. Descripción de técnicas de aislamiento térmico

A continuación, se describen variadas técnicas de aislamiento térmico por el exterior en muros de hormigón de fachadas de viviendas de no más de dos pisos.

4.1.1. Fachada ventilada

Es el sistema de revestimiento exterior de paredes verticales, compuesto de una estructura que se fija a la pared soportante y de elementos que se fijan sobre la estructura que corresponden a la capa de terminación.

Su función es doble, ofrece una protección de revestimiento frente a las coacciones exteriores (inclemencias, temperaturas) y asume la función decorativa exterior del edificio.

4.1.1.1. Composición del sistema

El sistema consta de tres tipos de materiales:

- a) **Producto aislante:** El espacio que queda entre la estructura y el muro permite colocar un aislador térmico. El aislador es pegado a la pared o fijado con la ayuda de ataderos metálicos o plásticos anclados en la pared.
- b) **Estructura sustentadora:** Es el soporte del revestimiento. Puede ser de madera o de acero.
- c) **Revestimiento:** Se fija a la estructura sustentadora. Son unas placas de diferente naturaleza, que cubren el edificio o la superficie que tienen que proteger.

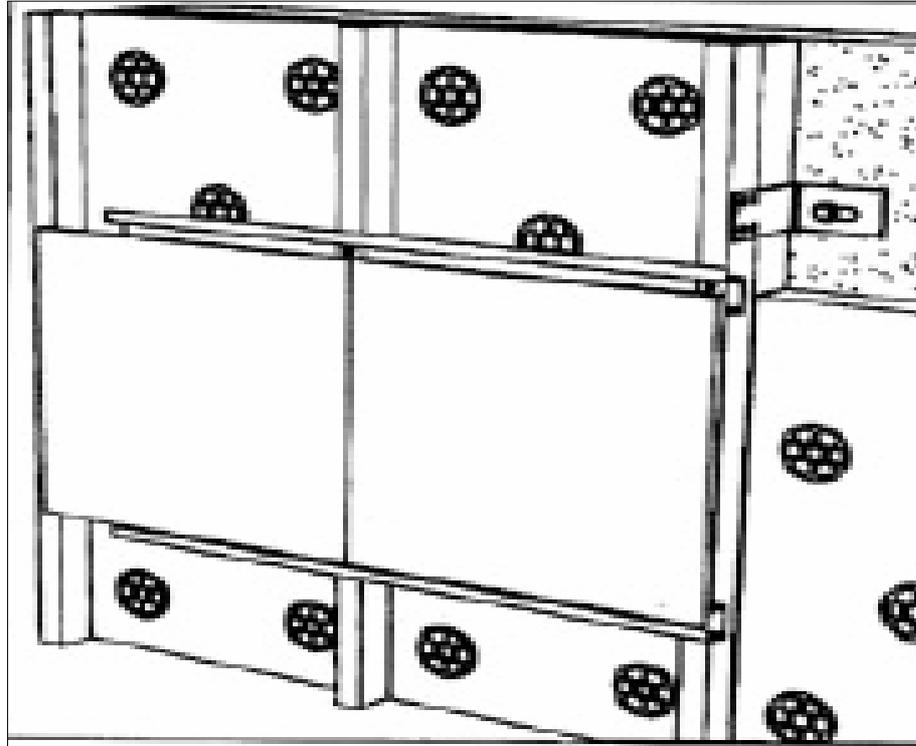


Fig. Nº 3: Sistema de fachada ventilada

4.1.1.2. Recomendaciones de aplicación

Para realizar una adecuada aplicación de este método se recomienda seguir las siguientes indicaciones:

a) Escoger producto aislante

Existen variados tipos de aislantes entre los recomendados para el tipo de aislación se encuentran:

- **Poliestireno expandido o EPS:** El Poliestireno Expandido es un material orgánico, rígido, liviano, fácil de aplicar, transportar y colocar. Se encuentra en

variados espesores y medidas según el requerimiento deseado. Mantiene su capacidad de aislamiento térmico en el tiempo.

La norma chilena oficial NCh 1070 Of. 84 titulada "Aislación térmica – Poliestireno expandido requisitos" es la que rige para la fabricación del poliestireno expandido, y establece lo siguiente para la densidad aparente:

El Poliestireno expandido en planchas y bloques se fabricará en las densidades aparentes nominales de 10, 15, 20, 25, 30 y 40 kg/m³

LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD (*)	
λ (W/(mK))	d (kg/m ³)
0,0425	10
0,0413	15
0,0384	20
0,0373	25
0,0361	30

Tabla Nº 5: Conductividad térmica del poliestireno expandido en función de la densidad

- **Lana mineral:** Material aislante compuesto por fibras minerales blancas, largas y extra finas, obtenidas al someter rocas ígneas con alto contenido de sílice, a un proceso de fundición.

Estas fibras son aglomeradas con resinas, formando colchonetas, rollos, bloques y caños premoldeados.

La norma chilena oficial NCh 1071 Of. 84 titulada "Aislación térmica – Lana Mineral" es la que rige para la fabricación, y establece lo siguiente para la densidad aparente:

LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD (*)	
λ (W/(mK))	d (kg/m ³)
0,048	40
0,042	50
0,040	60
0,048	70

Tabla N° 6: Conductividad térmica de la lana mineral en función de la densidad

b) Métodos de colocación del aislante

Las capas de aislación térmica se colocan directamente sobre la pared portante, formando junto con ella una solución integrada del cerramiento perimetral de la vivienda. Existen tres formas de colocación:

- Tipo 1: El aislador es puesto sobre la estructura portadora y detrás de los pie derechos o espigas (Fig. N° 4).

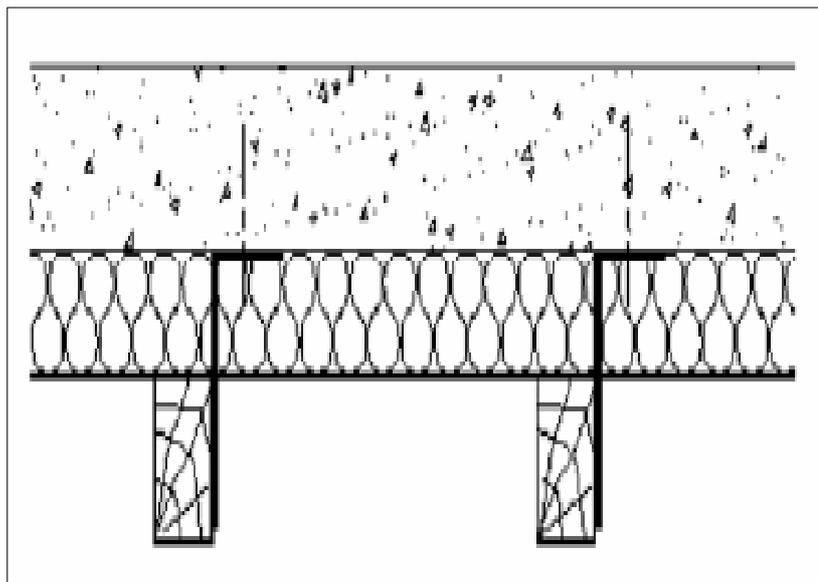


Fig. N° 4: Sistema de colocación del aislante entre muro y estructura que recibe el revestimiento

-
- **Tipo 2:** El aislador es puesto entre la estructura cuando ésta fija contra el muro.

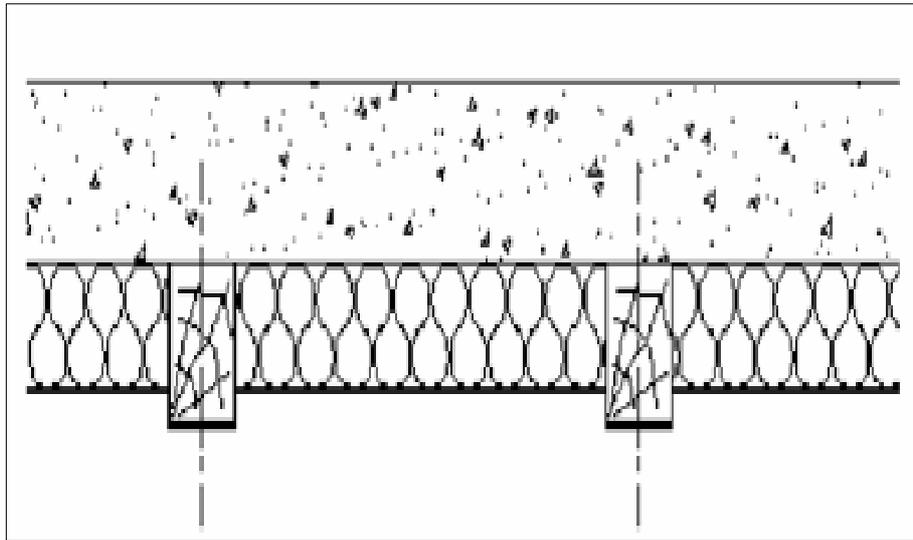


Fig. N° 5: Colocación de aislamiento entre estructura que recibe revestimiento que esta fija al muro.

- **Tipo 3:** Colocar el aislador en dos capas sucesivas, una detrás de las espigas y la otra se introduce entre las espigas. (Fig. N° 6)

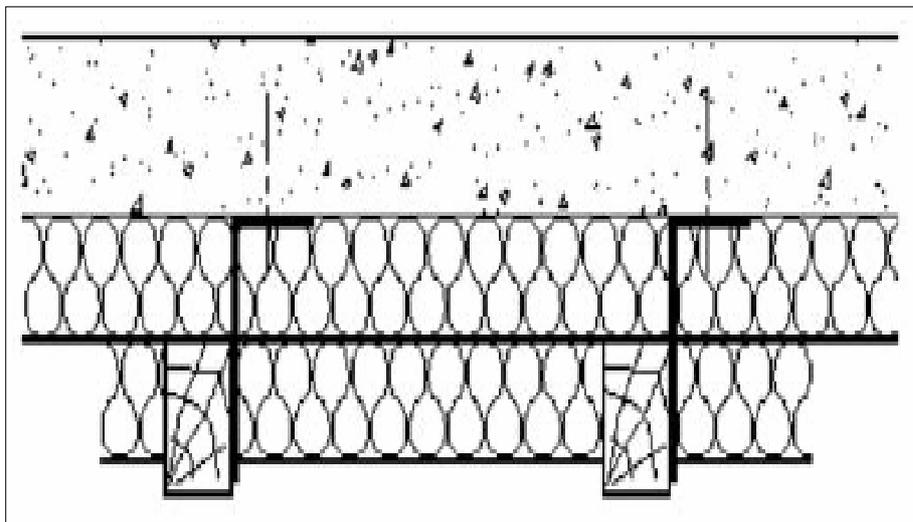


Fig. N° 6: Colocación de aislamiento en dos capas entre muro soportante y estructura que recibe el revestimiento.

c) Fijación del aislante contra muro

Una de las maneras de ejecutar este tipo de aplicaciones sobre las paredes exteriores es fijar las planchas aislantes con adhesivo al muro portante o con la ayuda de ataderos metálicos o plásticos anclados a la pared.

- **Fijación por adhesivos:** Se debe aplicar la cantidad del producto necesario para adherir el aislante a la estructura soportante.
- **Fijación por ataderos plásticos o metálicos:** Se trata de fijaciones moldeadas de plástico llamados tirafondos que presentan un cuello ancho generalmente estrellado. Se fijan por medio de un martillo. Se tienen para aisladores no rígidos:

- Tobillo estrella con cuello de 90mm

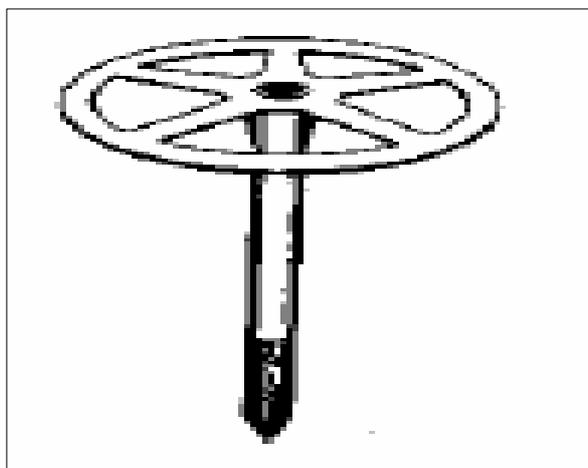


Fig. N° 7: Esquema del tipo de tobillo con estrella para fijar el aislante al muro

Las fijaciones en el aislante contra el muro para este tipo de tirafondo se debe colocar con espaciamientos según la longitud del tirafondo. (Tabla N° 7).

DIMENSIONES LONGITUD MM	ESPACIAMIENTO EN AISLANTE MM
70	30 a 40
90	50 a 60
110	70 a 80
130	90 a 100
150	110 a 120

Tabla Nº 7: Longitud del tirafondo v/s espaciamento en aislante

- Tirafondo estrella con cuello de 55mm y clavo de bloqueo plástico



Fig. Nº 8: Esquema del tipo de tirafondo estrella con cuello para fijar el aislante al muro

Las fijaciones en el aislante contra el muro para este tipo de tobillo se debe colocar con espaciamentos según la longitud del tobillo y clavo de bloqueo. La siguiente tabla señala espaciamentos para ciertas dimensiones:

DIMENSIONES LONGITUD MM	ESPACIAMIENTO EN AISLANTE MM
10 x 70	30 a 40
10 x 90	50 a 60
10 x 110	70 a 80
10 x 130	90 a 100
10 x 150	110 a 120

Tabla Nº 8: Longitud del tirafondo y clavo de bloqueo v/s espaciamiento aislante

d) Estructura sustentadora

Los tipos de estructura más generalmente utilizados están constituidos de pie derechos de madera o en volcometal. La estructura puede estar adosada o no estarlo al muro.

- **Madera:** Las espigas verticales o pie derechos pueden ser solidarias a la estructura soportante, ósea en contacto directo, o más a menudo con la ayuda de patas “escuadras”. Se colocan espaciados cada 40 ó 60cm.

Cuando los revestimientos están compuestos de grandes placas dispuestas horizontalmente, se fijan directamente a la estructura vertical.

Cuando los elementos de los revestimientos son pequeños se debe considerar una red intermediaria horizontal fijada a la red vertical. Para tales casos se recomienda utilizar palos de 2” x 2” separados 20cm al eje.

- **Volcometal:** Se construyen fácilmente con sólo dos tipos de elementos: un perfil U, que se fija al piso y perfiles C, colocados en forma vertical espaciados cada 40 ó 60cm.

Dependerá del tipo de revestimiento a utilizar la necesidad de instalar una red horizontal sobre la vertical.

e) Fijaciones de la estructura sustentadora a muro

Las fijaciones para la estructura de madera y volcometal al muro son patas de ángulo recto L, obtenido por doblado, y que pueden ser reforzadas.

La pequeña rama de L constituye ala de apoyo sobre la estructura portadora y la gran rama, la ala de apoyo para el costado de la espiga o volcometal. Esta gran ala puede ser fija o regulable.

Las patas regulables son de dos tipos (Ref. 5):

- **Tipo 1:** Se trata de una pata fija completada por un añadido corredizo (fig. N° 9 y 10). El guiado del añadido sobre el ala de apoyo es asegurado por la vuelta de las orillas longitudinales de este añadido. La asociación del añadido sobre la pata se efectúa por apernado.

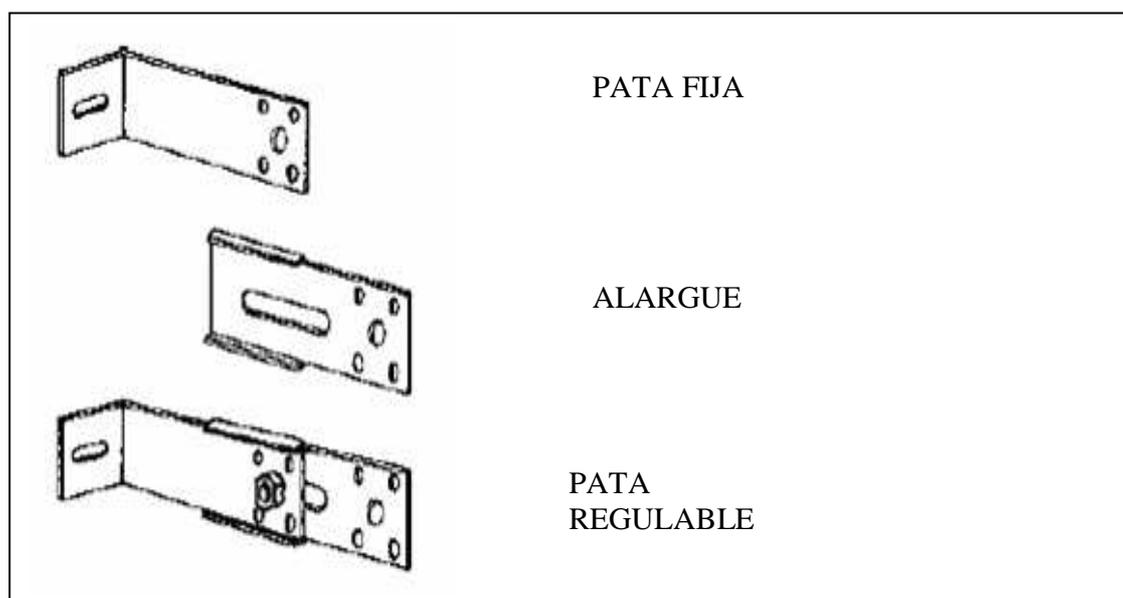


Fig. N° 9: Tipo de fijación de estructura a muro soportante

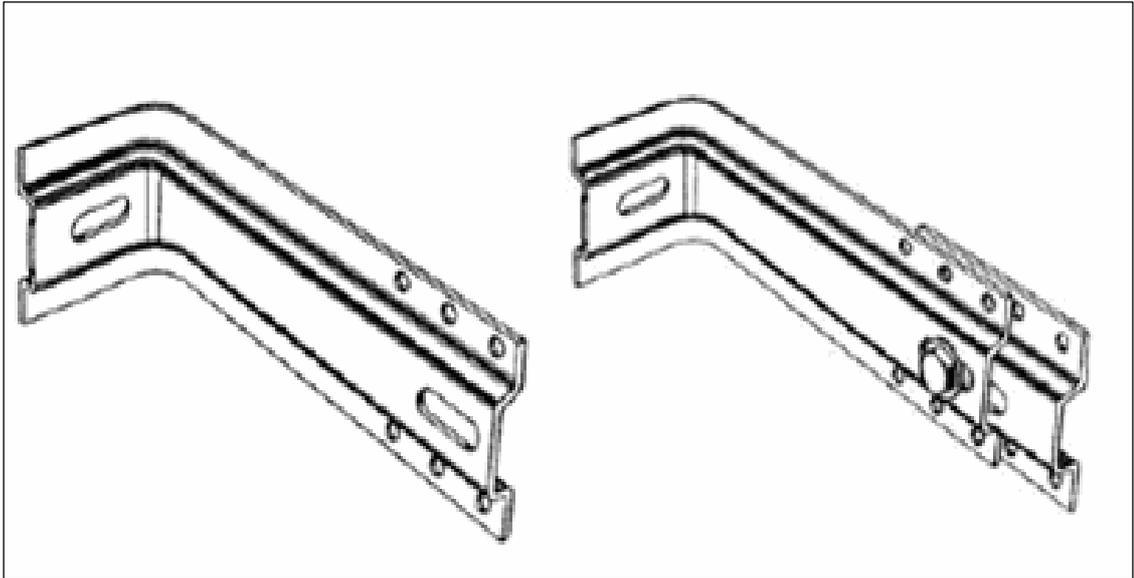


Fig. Nº 10: Escuadra utilizada en la fijación de la estructura al muro.

- **Tipo 2:** Se trata de una pata concebida regulable (fig. Nº 11) en dos partes no dissociables para el empleo, la parte móvil que corre por la parte fija. El guiado de la parte móvil sobre la parte fija es asegurado por la vuelta de las orillas longitudinales de la parte móvil. La asociación de ambas partes se efectúa por apernado.

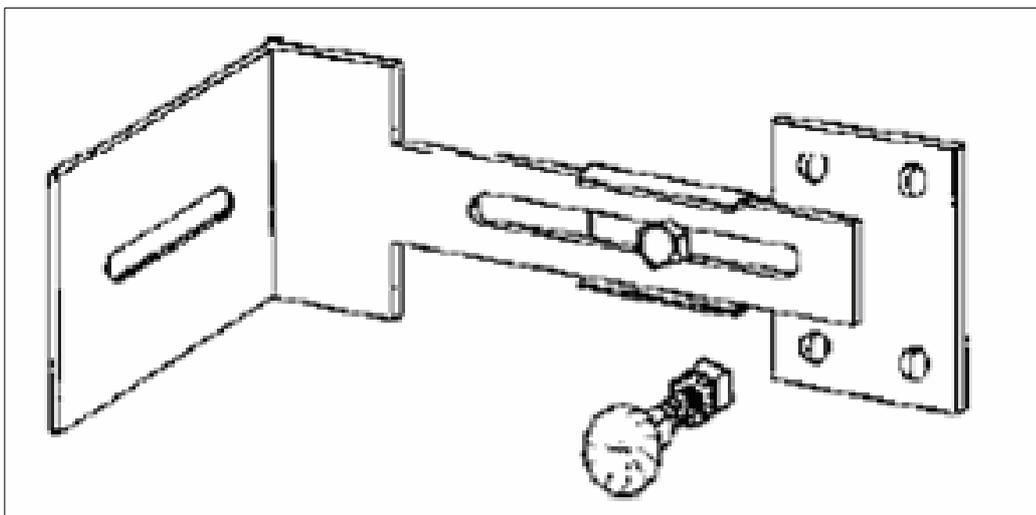


Fig. Nº 11: Escuadra formada por dos partes regulables no dissociables utilizada en la fijación de la estructura al muro.

f) Tipos de revestimiento

Existen variados tipos de revestimientos, los que podemos clasificar del siguiente modo:

- **Tradicionales:** Corresponden a tejas, pizarra natural o artificial, baldosas de cerámica, tablillas, zinc, aluminio lacado.
- **No tradicionales:** placas a base de mortero de poliéster o de cemento armado de fibras de vidrio, estratificados de melaminas a base de celulosa.

Algunos ejemplos de estos tipos de placas se muestran en los siguientes esquemas:

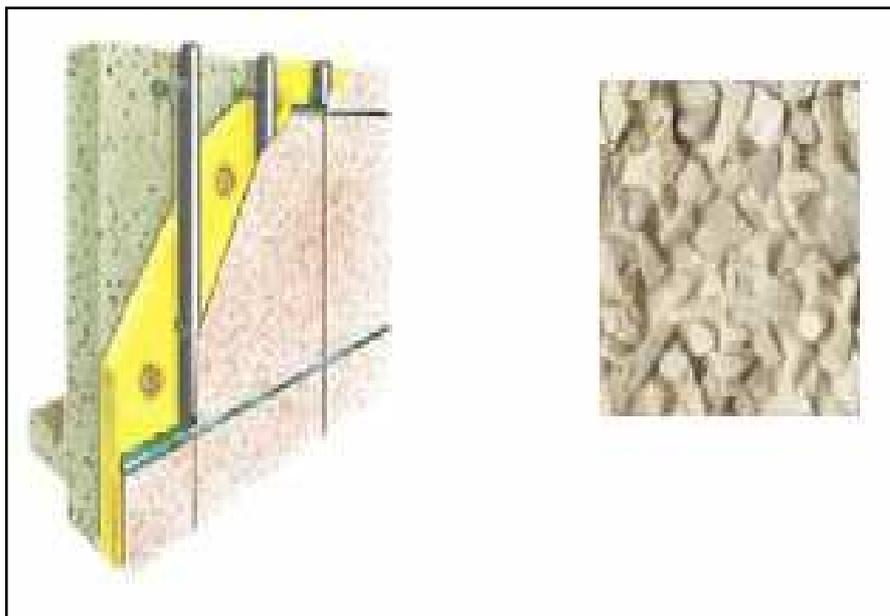


Fig. Nº 11: Compuesto de placas en poliéster estratificado con acabado de gravilla, se colocan atornilladas o clavadas.

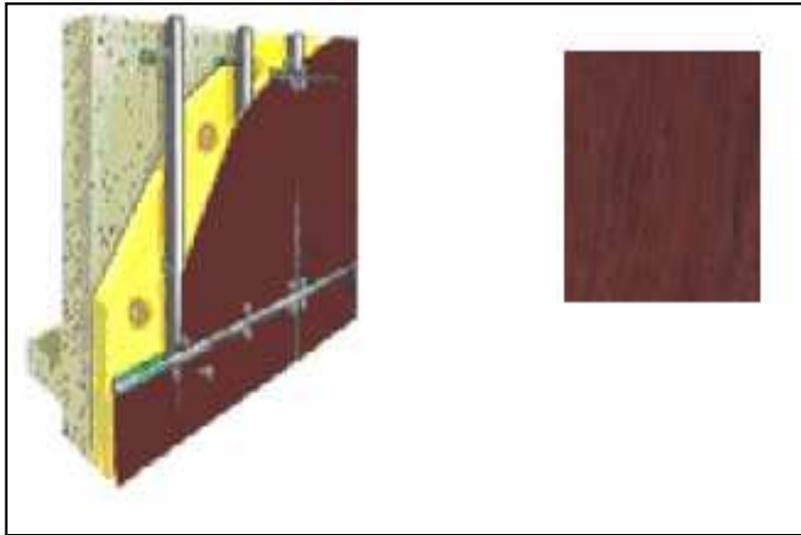


Fig. N° 12: Paneles estratificados decorativos de alta presión, compuestos de un cuerpo de resinas sintéticas termo-endurecibles polimerizadas, armadas con fibra de celulosa y con caras exteriores de fibras decorativas impregnadas de resinas.

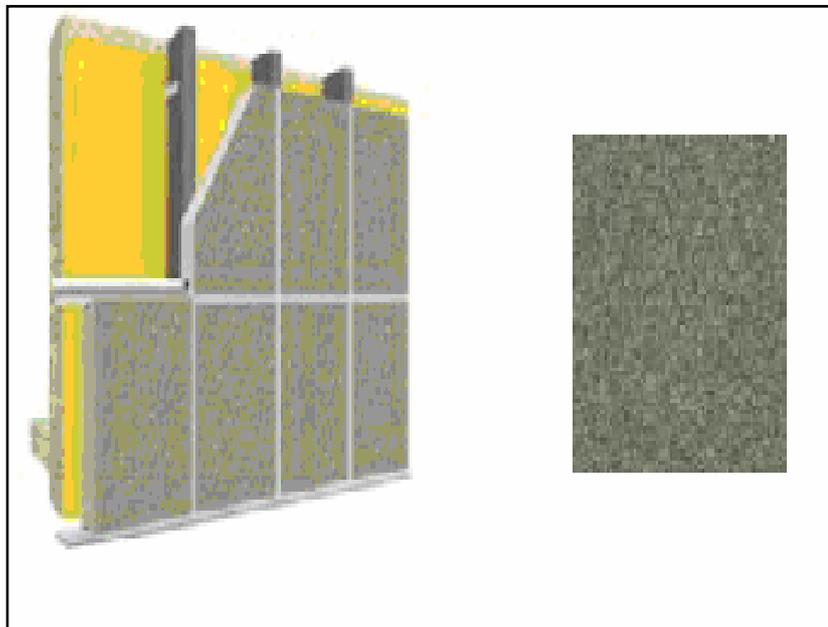


Fig. N° 13: Palmetas constituidas por losas cerámicas pigmentadas en la masa. Aspecto natural o pulido.

g) Instalación de del revestimiento sobre estructura sustentadora

El revestimiento se fija a la estructura sustentadora y dependerá del tipo de revestimiento si se hace necesaria una estructura secundaria (riel de fijación) fijada horizontalmente a la vertical para la colocación de las placas. Algunos ejemplos de colocación se muestran a continuación:

- **Tipo 1:** Estructura de madera sin estructura secundaria con placas cerámicas de terminación que se fijan a la estructura de madera. (Fig. N° 14)



Fig. N° 14: Colocación de cerámicos sobre estructura de madera

- **Tipo 2:** Colocación de estructura de metal con estructura secundaria llamada perfil guía. (Fig. N° 15)

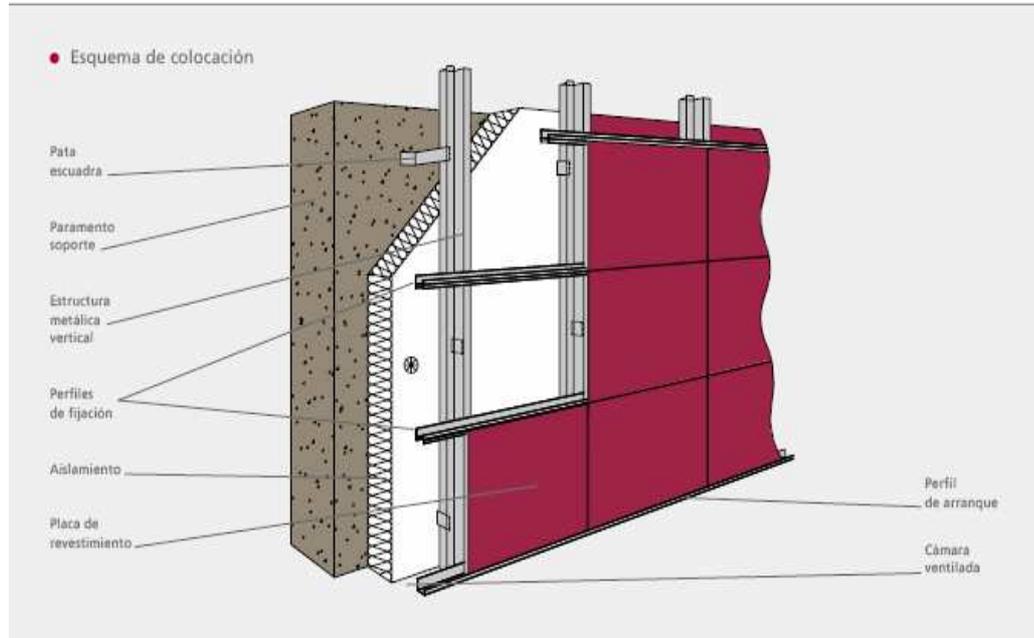


Fig. N° 15: Colocación de placa de revestimiento sobre estructura de perfiles de fijación secundaria.

- **Tipo 3:** Colocación de estructura de madera con perfil guía fijo a la estructura vertical de madera.

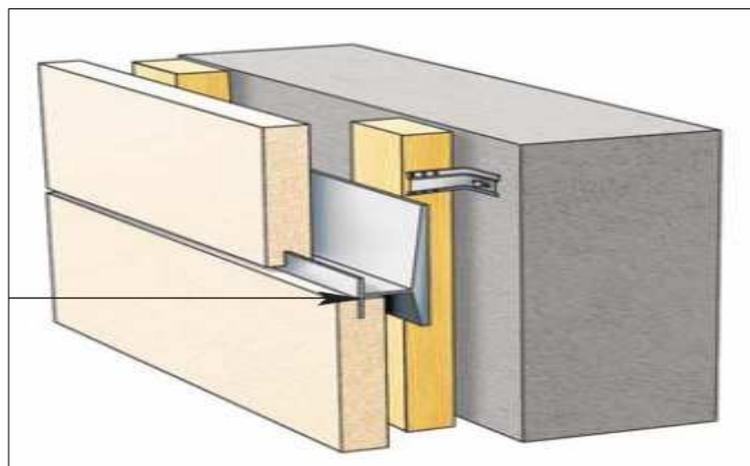


Fig. N° 16: Colocación de placa de revestimiento sobre estructura de perfiles de fijación secundaria.

4.1.2. Mortero delgado sobre aislación

Sistema de aislamiento más conocido como EIFS. Consiste en aplicar un sistema de estratos sobre el aislante.

4.1.2.1. Composición del sistema

El sistema consta de tres tipos de materiales:

- a) **Adhesivo:** Es el producto utilizado para fijar el aislante sobre el muro o sustrato sobre el cual se colocará la aislación.
- b) **Producto aislante:** Es un producto prefabricado caracterizado por una fuerte resistencia térmica y destinada a conferir propiedades aislantes sobre el muro sobre el cual es aplicado.
- c) **Sistema de estratos:** Corresponden a todos los lechos aplicados sobre la superficie exterior del aislador que será la cara orientada hacia el exterior de la vivienda e incluye el armazón de refuerzo.

El sistema de estratos se divide en:

- **Armazón:** Corresponde a un enrejado que puede ser malla de fibra de vidrio, metálico o sintético. Esta malla se coloca para dar mayor resistencia y durabilidad al sistema. Se humedece en la capa base sobre la cara exterior del aislante.
- **Lecho de baño:** El baño es aplicado sobre el aislador en uno o varios lechos (aplicación de uno nuevo sobre un lecho seco existente).

La aplicación también puede ser hecha en varios pasos (aplicación de un lecho sobre un lecho fresco).

De modo general, los baños incluyen los lechos siguientes:

- **Lecho de base:** Se aplica directamente sobre el aislador; el armazón es ahogado en este lecho.
- **Lecho de impresión:** Se coloca una capa muy delgado(a) y es aplicado sobre el lecho de base. Se utiliza para preparar la aplicación del revestimiento de acabado.
- **Revestimiento de acabado:** Se coloca de acabado y contribuye a la protección del sistema contra el medio ambiente y otorga el acabado decorativo. El lecho de acabado es aplicado sobre el lecho de base con o sin lecho de impresión.

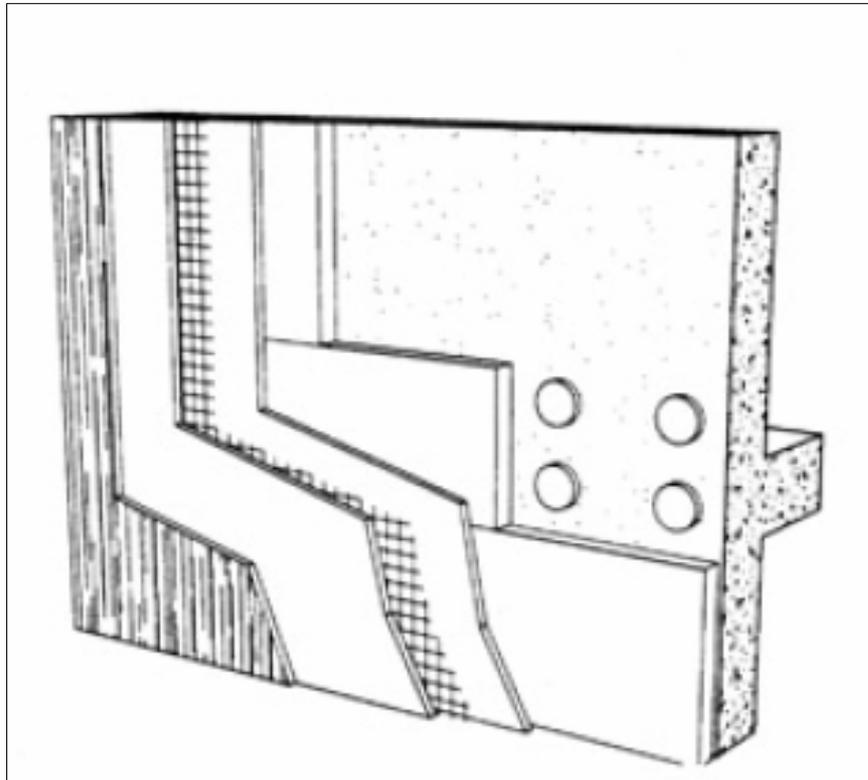


Fig. Nº 17 Esquema de mortero delgado sobre aislación

4.1.2.2. Recomendaciones de aplicación

Para realizar una adecuada aplicación de este método se recomienda seguir las siguientes indicaciones:

a) Evaluación de soporte

Cuando el aislante debe ser adherido al muro o sustrato, se debe verificar la compatibilidad del soporte como sigue:

- El concreto debe estar exento de aceite de moldes, compuestos de curado y agentes de desmolde. Se requiere típicamente un lavado con detergente y agua a alta presión para remover dichos contaminantes superficiales.
- Superficies de ladrillo o bloque de cemento, deben estar exentas de contaminación superficiales, tal como la eflorescencia. La eflorescencia es un depósito blanco como tiza en la superficie que es causado por la migración de humedad. Se debe cepillar con cepillo de alambre para eliminar la eflorescencia superficial en la albañilería o bloque de cemento.
- Los soportes antiguos pueden necesitar una preparación de superficie como una eliminación de pinturas de acabado o de baños existentes, para poder obtener así una adecuada adherencia entre el aislante y el muro.

b) Paneles aislantes

- Se deben cortar los paneles con cuchilla y con ayuda de una escuadra para guiar el corte. (Fig. N° 18)

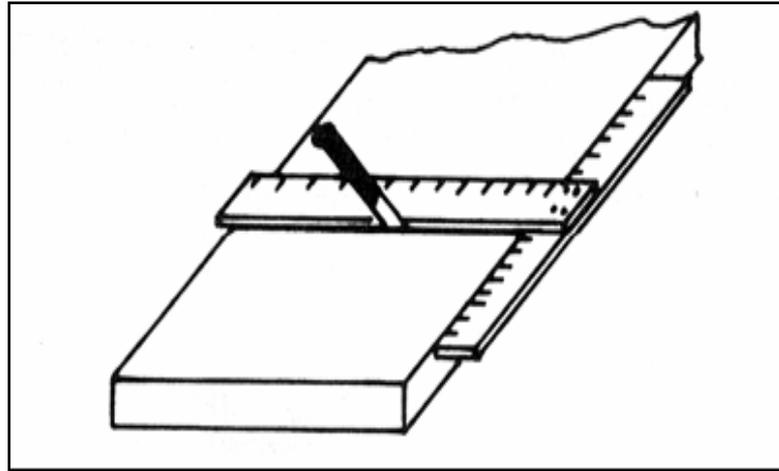


Fig. N° 18: Método de corte de paneles aislantes

c) Colocación de adhesivo sobre aislante

- Se debe aplicar el adhesivo sobre el panel de aislamiento con ayuda de una llana. Esta se debe colocar con un ángulo mínimo de 30° para obtener los cordones de adhesivo correctos.
- Es importante mantener limpia la llana para evitar la acumulación de adhesivo en las ranuras.
- Los cordones de adhesivo sobre el aislante deben ser aplicados horizontalmente y paralelos a la dimensión larga del panel., tal como se muestra en la figura N° 19.

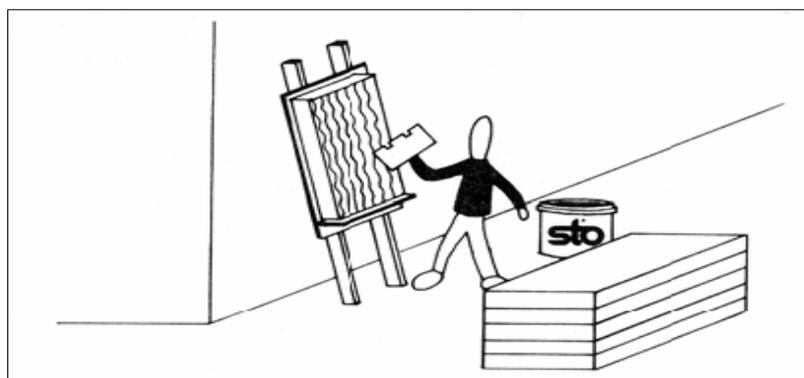


Fig. N° 19: Método de aplicación del adhesivo sobre el aislante.

d) Colocación del panel aislante

- Se debe limpiar o raspar cualquier exceso de adhesivo de los bordes de los paneles. El adhesivo acumulado entre los paneles puede producir puentes térmicos.
- El aislador es puesto por hileras, a juntas verticales escalonadas unos con relación a otros. Los paneles deben ser puestos a tope (Fig. N° 20). Las separaciones entre los paneles pueden causar agrietamientos en la capa base y de acabado. Si entre la unión de los aislantes se produce un espacio superior a 1.6mm se debe rellenar con espuma de poliuretano.
- Se deben colocar los paneles con la cantidad correcta de presión para que se fije el adhesivo y de este modo asegurar una buena adherencia

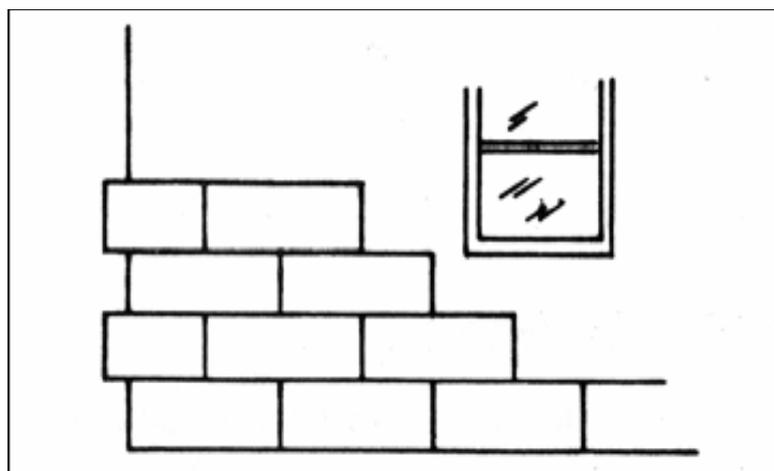


Fig. N° 20: Hileras de paneles de aislante sobre el muro es forma escalonada.

e) Aplicación lecho de base y armadura

- Se debe verificar que el panel aislante no tenga ninguna película de polvo. De ser así, será necesario raspar para eliminar esta película.
- Se debe colocar la capa de base e incrustar la malla apropiada para proteger los paneles contra el impacto. La malla se coloca en el lecho de base húmedo y

debe quedar completamente incrustada de modo que no quede visible el color de la malla misma.

- La malla se debe colocar con un traslape de 64mm aprox. Si se coloca a tope, se producirán grietas en la base y en las capas de acabado.

f) Aplicación lecho de impresión

- Es un componente opcional del sistema
- El lecho de impresión se aplica sobre la capa base con un rodillo de pintar o con brocha.

g) Aplicación lecho de acabado

- Es importante planificar la aplicación del acabado de manera que estén disponibles suficientes trabajadores para terminar secciones enteras de áreas de pared a la vez y sin interrupción. (Fig. N° 21)
- Se deben utilizar únicamente llanas de acero inoxidable para aplicar el acabado.

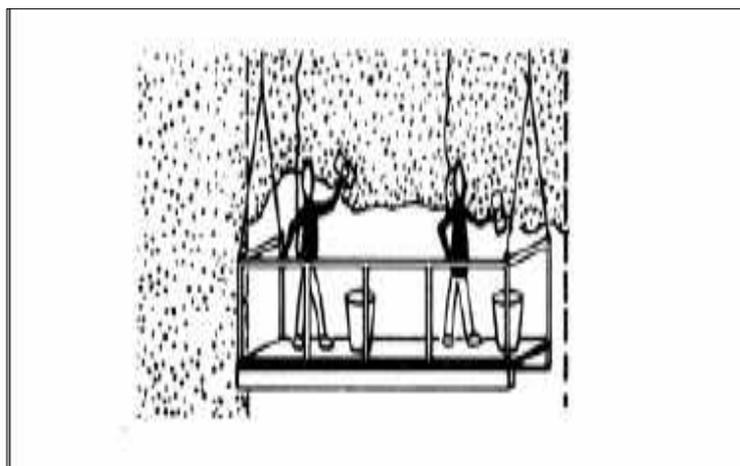


Fig. N° 21: Método de aplicación de lecho de acabado sobre lecho de impresión o de base.

-
- Se debe aplicar el acabado sobre la capa base o de impresión en el caso de que se haya aplicado sólo cuando estas se hayan secado. Se debe aplicar el acabado e inmediatamente afinar para lograr la textura deseada.

4.1.3. Unidades prefabricadas de la envolvente de protección para la aislación térmica adosada al muro

Es un sistema no tradicional de aislamiento exterior a base de componentes que asocian un revestimiento exterior y un aislador.

Este tipo de aislamiento comprende del revestimiento externo, una capa de aislamiento y dispositivos de fijaciones. El sistema pueden incluir artículos auxiliares típicos como accesorios (por ejemplo perfiles bajos, perfiles de esquina) para unirlos a estructuras de edificio adyacentes (aberturas, esquinas, etc.). El revestimiento y el aislamiento son aproximadamente de la misma longitud y altura. El revestimiento puede o poder no ser unido a la capa de aislamiento. La unidad de revestimiento es mecánicamente fijado a la estructura de la pared con fijaciones (anclas, perfil/carril, soportes, etc.). Por lo general no hay ningún hueco de aire entre la capa de aislamiento y el revestimiento.

4.1.3.1. Composición del sistema

El sistema consta de tres tipos de materiales:

- a) Producto aislante:** Se coloca el aislador térmico sobre el muro, el más utilizado es el poliestireno expandido moldeado en densidad 13 - 20 kg / m³. Ciertos sistemas también utilizan lana mineral o espuma de poliuretano.
- b) Las fijaciones:** Son fijaciones pueden se anclas, perfil/carril o soportes.

c) **Revestimiento o paramento:** Los materiales utilizados en el revestimiento son similares a los de la fachada ventilada. Dan la posibilidad de realizar baños o morteros hidráulicos directamente sobre aislador.

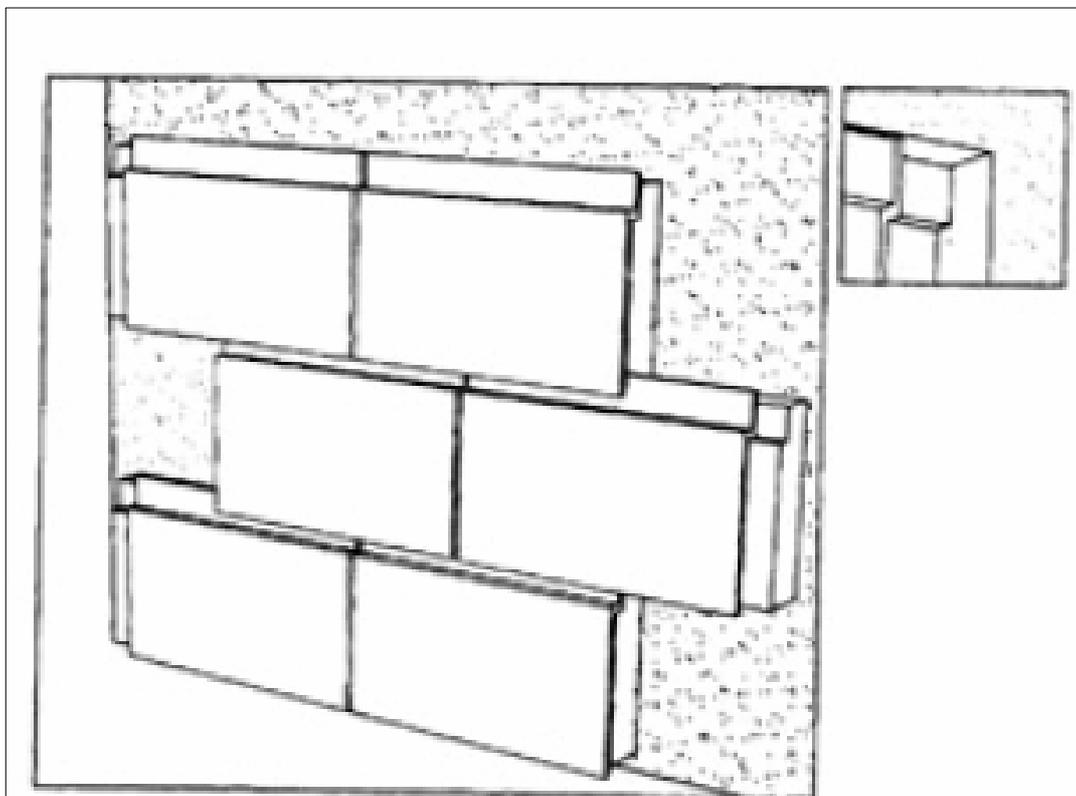


Fig. Nº 22: Esquema de unidades prefabricadas sobre aislamiento

4.1.3.2. Descripción y recomendaciones de aplicación del sistema

a) **Tipos de sistemas:** Los tipos de sistemas para objetivos de diseño mecánicos, son diferenciados según el método de fijación. Algunos de estos casos se muestran a continuación y corresponden a los métodos propuestos por el ETAG en Guideline for european technical approval of veture kits (ETAG 17 November 2005). (Ref.9)

- **Aislamiento acanalado fijado por perfiles/carriles**

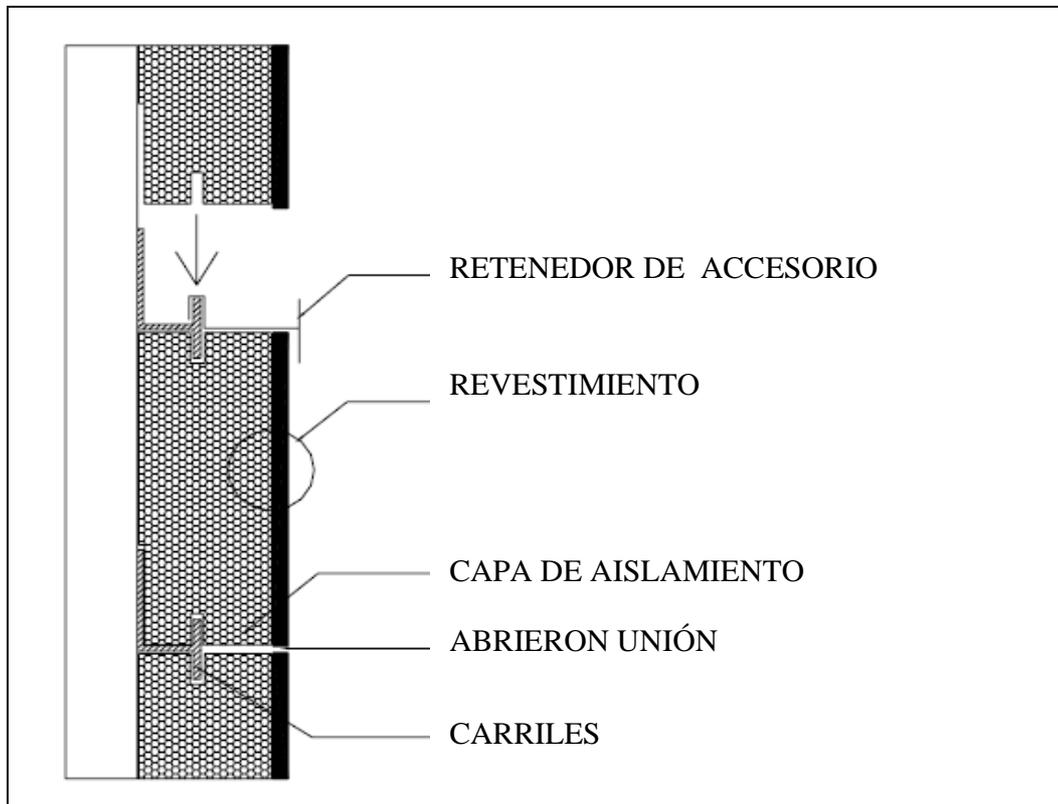


Fig. Nº 23: Método de colocación de revestimiento exterior.

En este tipo de aislamiento, el revestimiento es adhesivamente unido con:

- Con pegamento específico
- Accesorio Mecánico

- **Unidad fijada por capa de aislamiento**

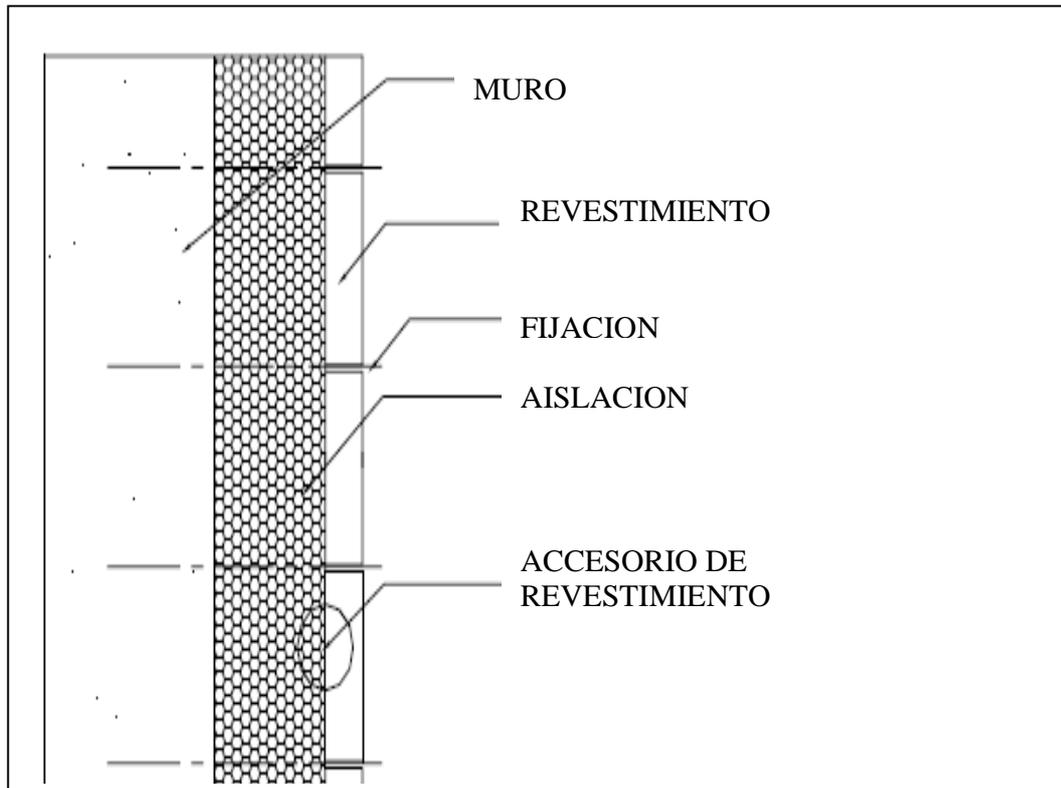


Fig. N° 24: Método en que el aislante y el revestimiento se fijan por medio de un accesorio mecánico que encaja.

En este tipo de aislación, el revestimiento es adhesivamente unido con:

- Con pegamento específico
- Accesorio Mecánico (que encaja)

- **Piel acanalada fijada por perfiles/carriles**

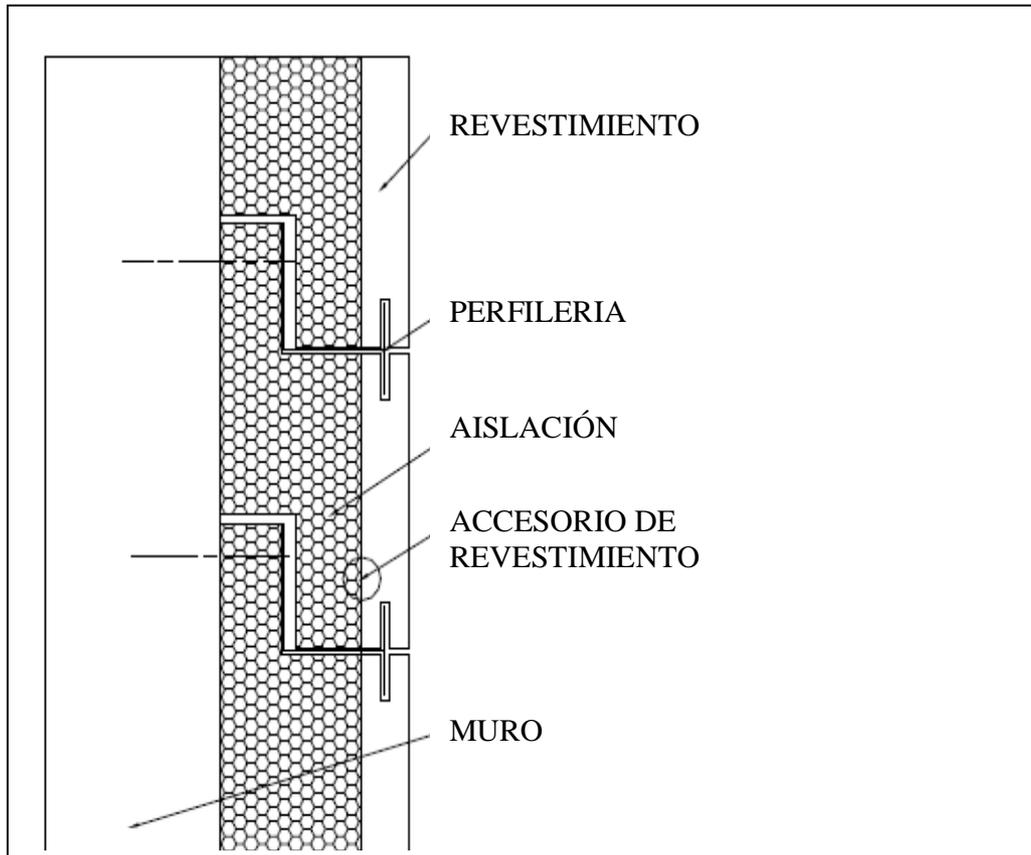


Fig. Nº 25: Método de colocación de revestimiento exterior y el aislante por medio de perfiles carriles.

En este tipo de aislación el tipo de accesorio de piel es adhesivamente unido:

- Con pegamento específico
- Accesorio Mecánico (que encaja)

La perfilaría es directamente aplicado en la pared o no

- **Piel mecánicamente fijado al muro por la capa de aislamiento**

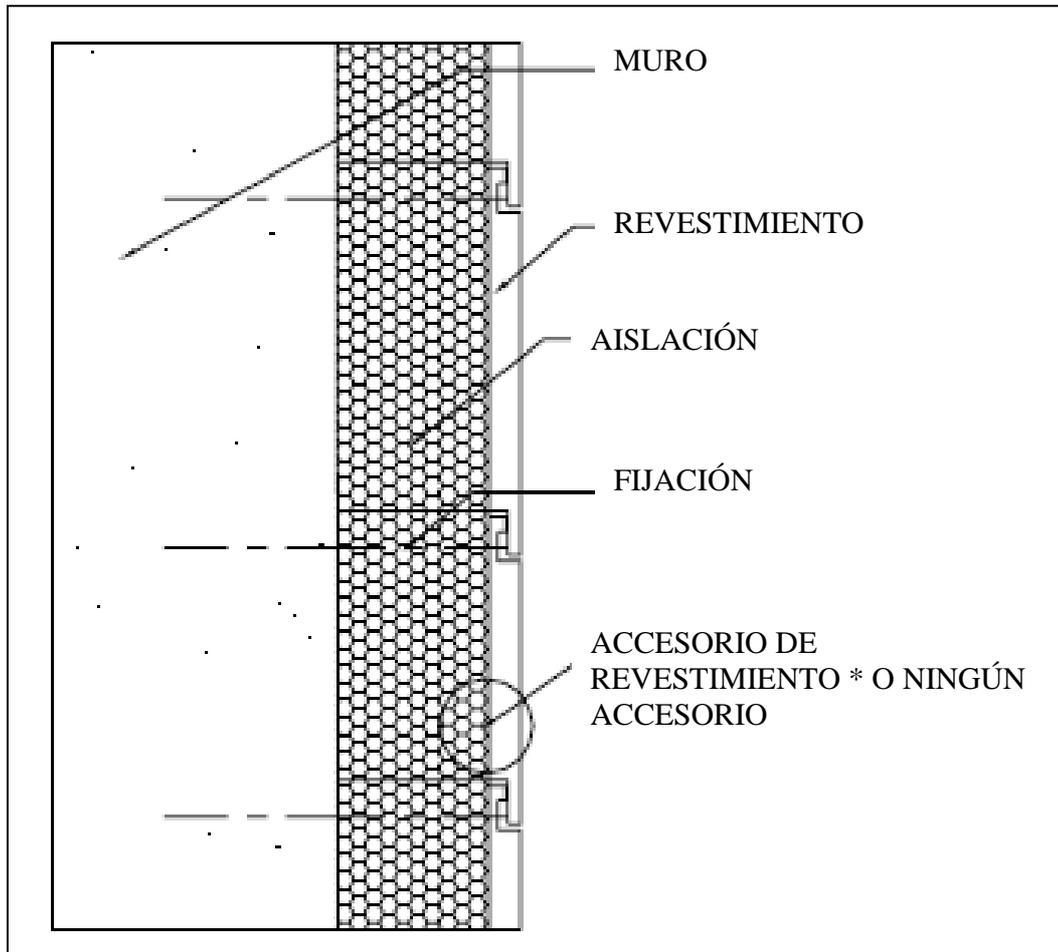


Fig. Nº 26: Sistema de aislamiento con revestimiento exterior con sistema de placas que encajan y que se unen por medio de una fijación a muro.

Accesorio de piel:

- Adhesivamente unido:
- Con pegamento específico
- Sin pegamento (p.ej durante el proceso espumante de aislamiento o mortero orgánico/hidráulico en aislamiento)
- Accesorio Mecánico (prueba)

b) El diseño de los trabajos: Los trabajos incluso los detalles (uniones) deberían ser diseñados a fin de evitar la penetración de agua detrás del sistema o condensación intersticial.

Debería ser posible atar encuentros en el sustrato sin dañar la integridad del revestimiento.

c) La ejecución de los trabajos: Los trabajos deberían ser ejecutados por instaladores entrenados. Los documentos de apoyo deberían incluir una descripción detallada de la instalación del sistema que especifique los procedimientos requeridos (la preparación de sustrato, sobre todo en caso de viejas paredes, etc.), la secuencia y el método de fijación (maquinaria, equipo, instrumentos).

d) La pared o sustrato: El sustrato debería ser seco. El plano sustrato aceptable compatible con el revestimiento aceptable es:

- La desviación máxima bajo un piso es de 5 mm para una regla de 0.2 metros
- La desviación de máximo bajo un piso es de 10 mm para una regla de 2 metros

e) La ejecución de instalación del sistema: Unidades de revestimiento deben ser colocadas con uniones verticales continuas o discontinuas.

CAPITULO 5: SOLUCIONES A PUNTOS SINGULARES

Cuando se coloca algún tipo de aislación térmica por el exterior existen variados puntos de encuentro a los que se debe dar solución para tener una adecuada instalación de la aislación. Llamaremos a estos puntos, puntos singulares.

Es importante dar una adecuada terminación a estos puntos singulares, ya sea en términos de arquitectura y para evitar puntos donde la aislación no quede en óptimas condiciones dejando puntos descubiertos.

5.1. Errores de aplicación y sus consecuencias

Un mal tratamiento a los puntos singulares que se producen al aislar los muros de una vivienda por el exterior puede provocar serias consecuencias. Algunas de esas fallas se muestran a continuación para el caso de sistema de aislación con mortero delgado sobre aislación.

5.1.1. Encuentros de revestimiento exterior con aislación en una esquina

Si las juntas de los tableros no están bien unidas, el material del revoque entra en la junta y el calor penetra a través de ella; las marcas de los golpes quedan impresas en los tableros; aumenta el peligro de infesto de hongos y algas y existe peligro de grietas. (Fig. N° 27)



Fig. N° 27: Esquina de muros en la que se muestra que no existe un perfil o elemento que una el encuentro. Esto puede permitir el paso del agua y provocar daños en caso de impacto.

5.1.2. Desplazamiento entre juntas

Si el desplazamiento entre las juntas es menor de 30 cm y las juntas son demasiado anchas, es posible que altas tensiones deriven en grietas en el revestimiento y en penetraciones de humedad. (Fig. N° 28)



Fig. N° 28: Cuando las juntas no quedan bien realizadas, al haber desplazamientos, se puede provocar deterioros en las placas tal como muestra la imagen y permitir el paso del agua.

5.2. Soluciones constructivas a puntos singulares

Algunos de los puntos que analizaremos son los que se señalan en el siguiente esquema de una vivienda. Todos estos puntos han sido analizados por el CSTB de Francia, en el documento, Solutions techniques. Points singuliers en mur-manteau. Exemples de solutions. Janvier 2000.

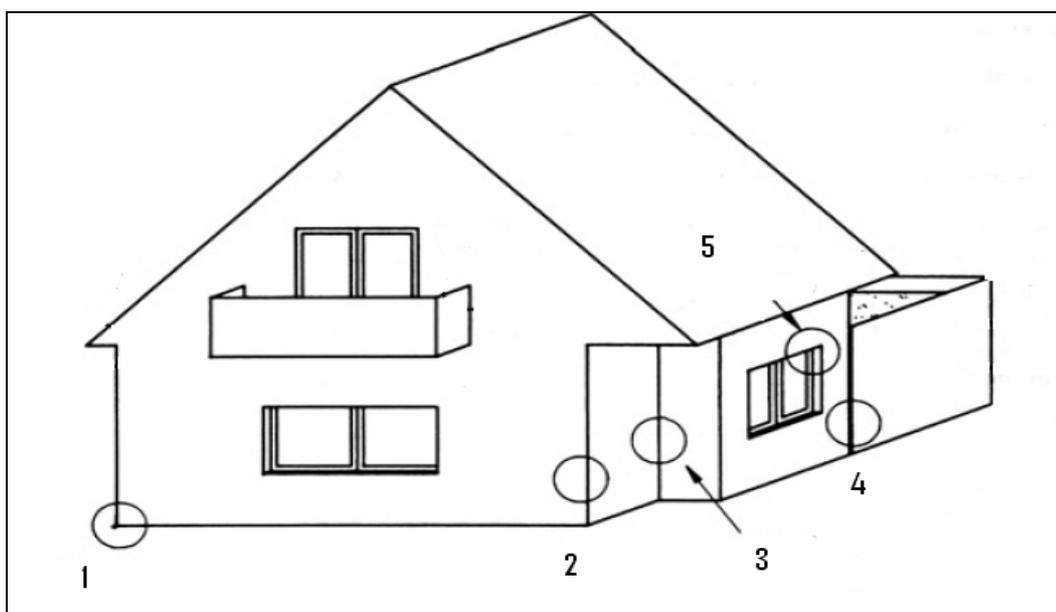


Fig. Nº 29: Esquema de una vivienda donde se señalan cada uno de los puntos singulares que se producen al colocar aislamiento térmico por el exterior.

De la fig. Nº 29, se tiene que cada uno de los puntos señalados en orden numérico corresponden a:

- 1 Encuentro muro con suelo
- 2 Esquina
- 3 Angulo que vuelve vertical
- 4 Junta de dilatación
- 5 Encuentro en marcos de ventana

5.2.1. Encuentro del muro con el suelo

Las principales exigencias a satisfacer:

- a) **Resistencia al impacto:** La parte baja es generalmente más solicitada que la parte corriente y el ángulo inferior puede constituir un punto frágil con ciertos revestimientos que conviene entonces proteger por medio de un perfilado.
- b) **Resistencia a las intrusiones animales:** Las cámaras de aire ventiladas deben ser adecuadamente protegidas para cortar deterioros
- c) **Resistente a la humedad:** La aislación debe quedar protegida contra la humedad y el agua, de modo de asegurar que éste no sea afectado por efecto de humedad y especialmente de su ingreso por capilaridad.

La continuidad del aislamiento debe ser asegurado a nivel de sobrecimiento con las partes enterradas. Los cálculos de pérdidas, señalan por lo general que conviene prolongar el aislamiento a una profundidad de 0.6 a 1.2 metros bajo el nivel del suelo, para limitar las pérdidas térmicas, proteger las bases de la helada, de las penetraciones del agua. (Fig. N° 30)

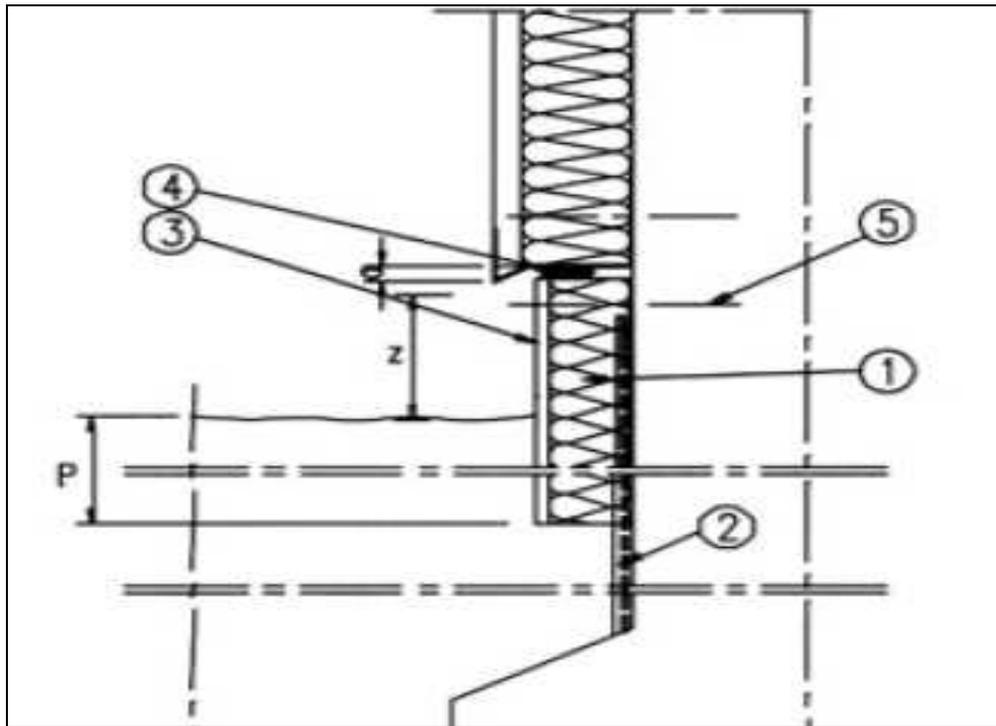


Fig. Nº 30: Colocación de la aislación en el encuentro del muro con elementos de fundación. Se debe colocar la aislación a una profundidad P de la cota 0.0 del piso.

Donde:

$$a \geq 0.5 \text{ cm}$$

$$z \geq 15 \text{ cm}$$

p: profundidad de aislación enterrada (0.6 a 1.2 m)

- 1 Aislador rígido
- 2 Impermeabilidad efectuada en base a emulsión bituminosa
- 3 Protección mecánica a base de placas rígidas imputrescibles
- 4 Sello o adhesivo
- 5 Fijación mecánica

A continuación se presentan esquemas de soluciones en la parte inferior para los distintos sistemas de aislación presentados:

5.2.1.1. Fachada ventilada

En el sistema de fachada ventilada se debe proteger la parte inferior con una placa de protección que puede ser de PVC o metálica. Esto para evitar el paso del agua o el ingreso de insectos o roedores a la cámara de aire. (Fig. N° 31)

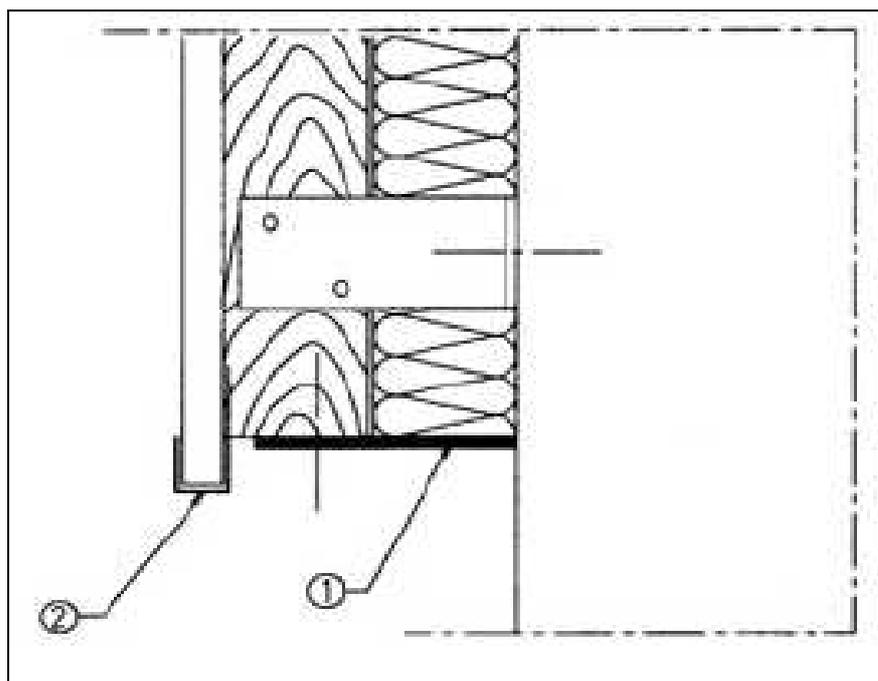


Fig. N° 31: Solución en el encuentro del piso con el muro para un tipo de revestimiento exterior del tipo fachada ventilada.

Donde:

- 1 Placa de protección
- 2 Perfil de conservación y soporte del forro

5.2.1.2. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro

La solución a este punto singular es colocar un perfil que puede tener variadas formas. (Fig. N° 32). El perfil puede ser de PVC o metálico.

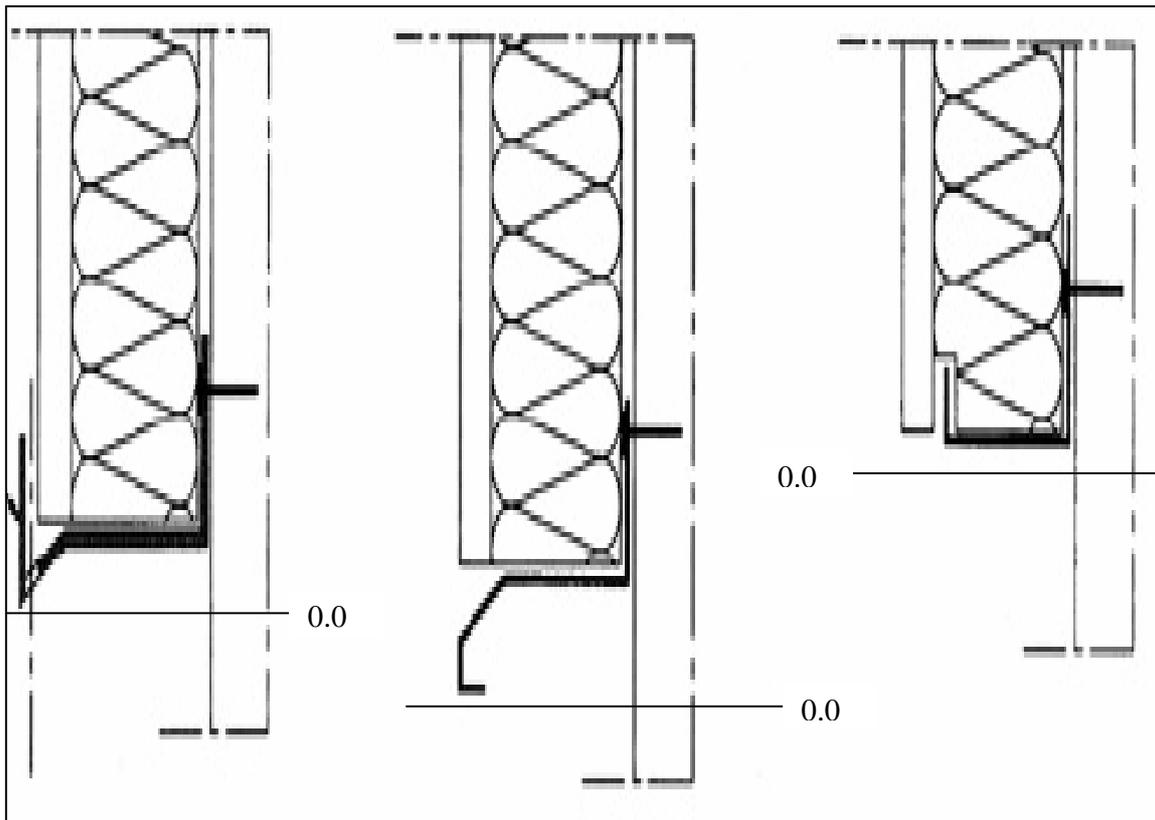


Fig. N° 32: Soluciones alternativas

5.2.1.3. Mortero delgado sobre aislación

Se debe colocar un perfil metálico o de PVC, que proteja la aislación. Este perfil debe ser colocado antes de aplicar el mortero sobre la aislación. (Fig. N° 33)

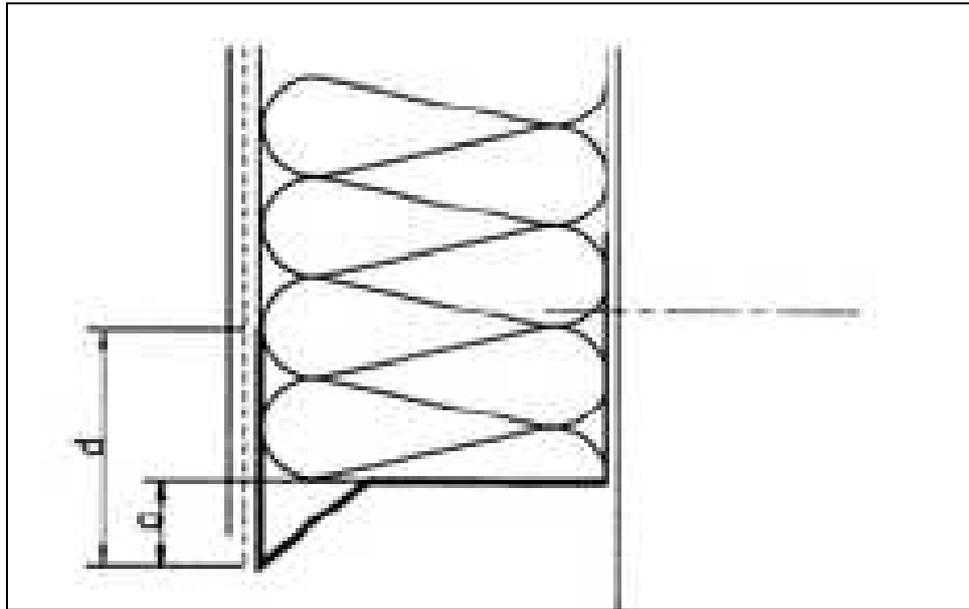


Fig. N° 33: Placa que se utiliza a lo largo de todo el muro en el encuentro con el piso. Puede ser de PVC o metálico y se fija a muro.

Donde:

$$d \geq 30 \text{ mm}$$

$$a \geq 5 \text{ mm}$$

5.2.2. Esquina

Las principales exigencias a satisfacer son las siguientes:

- a) **Resistencia al viento:** Se debe proteger la unión de los paneles de aislación en esquinas frente a la acción del viento.
- b) **Dilataciones:** En dos planos a 90° (juegos y refuerzos que hay que prever).
- c) **Resistencia al choque:** Ciertas soluciones requieren un refuerzo en ángulo.

d) Impermeabilidad al agua: Disposiciones diferentes según el tipo de muro. (Según esquemas)

e) Aspecto: Recortes a 90° y 45°.

A continuación se presentan esquemas de soluciones en las esquinas para los distintos sistemas de aislación presentados:

5.2.2.1. Fachada ventilada

Se debe dividir en compartimientos vertical en ángulo para evitar que en el sistema de fachada ventilada que ya posee una lámina de aire, tenga una acumulación de éste, provocando una superpresión sobre el revestimiento. (fig. N° 34)

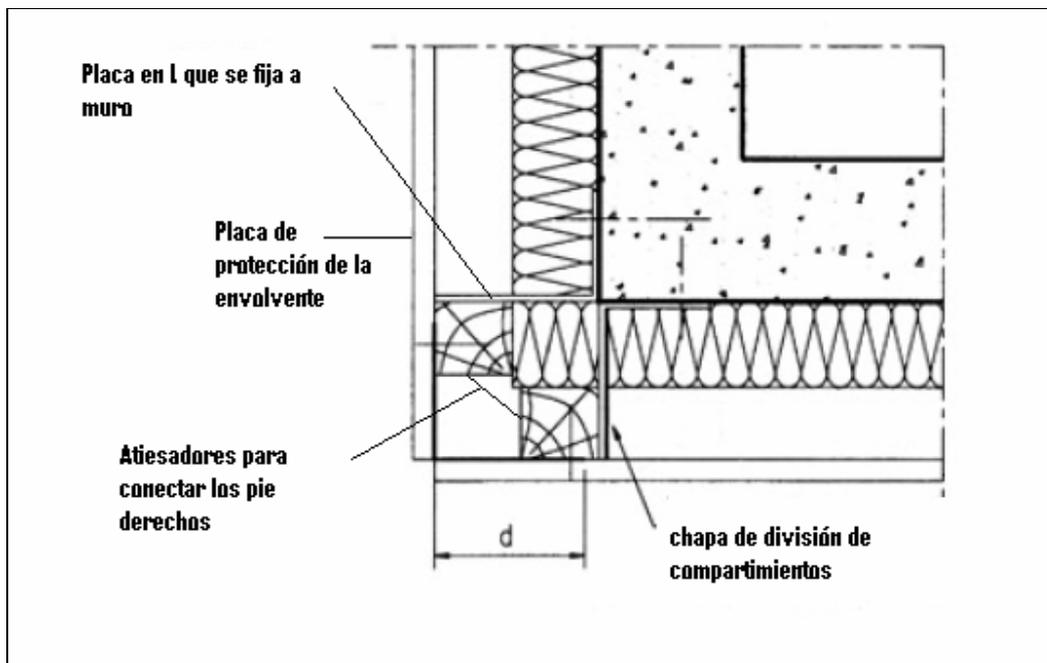


Fig. N° 34: Placas en L que se coloca fija al muro en toda la vertical y a la estructura.

Donde:

$$d > 40 \text{ mm}$$

5.2.2.2. Mortero delgado sobre aislación

Se coloca en toda la vertical de la esquina un ángulo a fin de proteger la esquina de impactos, de impedir el paso del agua hacia el aislante en la junta del mortero.

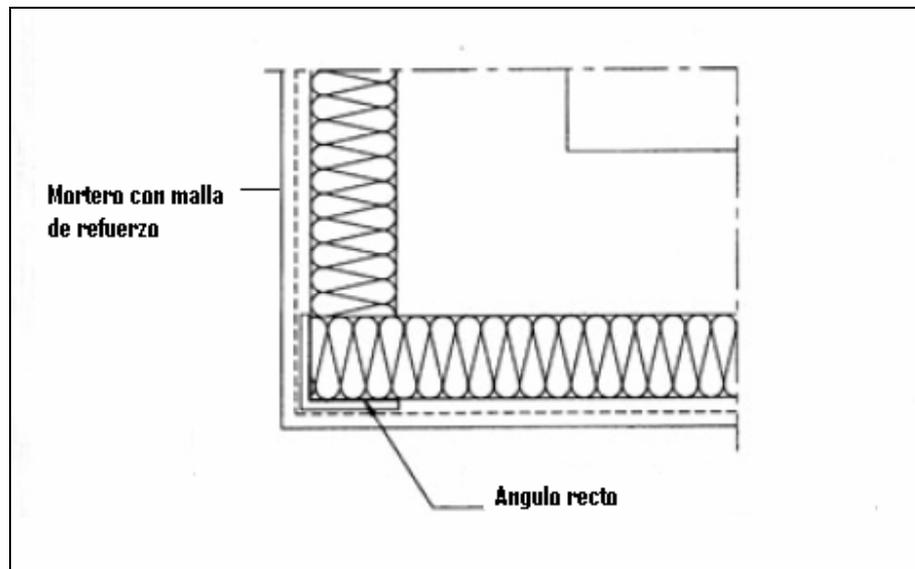


Fig. Nº 35: Placa en ángulo recto adosado a la aislación para reforzar encuentros de muros.

5.2.2.3. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro

Para este sistema de aislación, se debe colocar un perfil metálico o de PVC, que se fija al muro. (Fig. N° 36). El perfil debe estar pintado para evitar la corrosión.

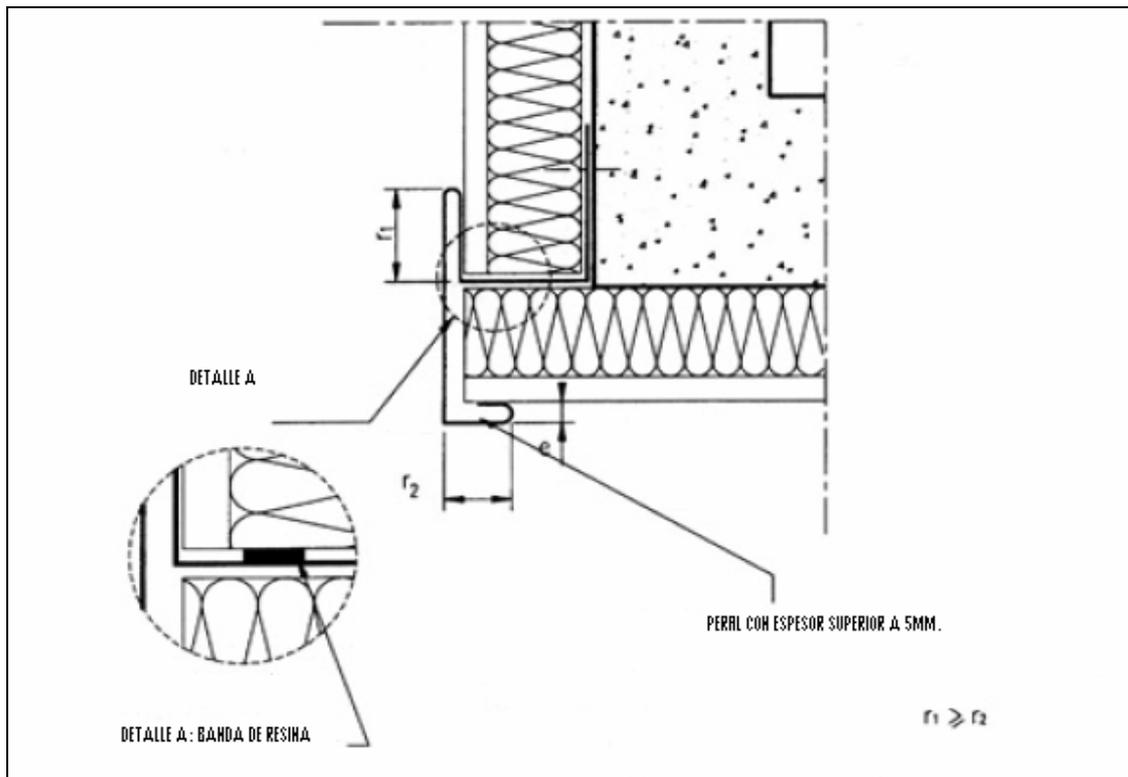


Fig. N° 36: Detalle de solución, para paneles prefabricados adosados a muros esquina.

5.2.3. Esquinas entrantes

Principales exigencias a satisfacer:

- a) **Impermeabilidad al agua:** Para los sistemas cuyo revestimiento no es continuo, el tratamiento difiere según el tipo de pared.

-
- b) Dilataciones:** Juegos que hay que prever para algunos tipos de placas de revestimiento. En postura horizontal, cuando una junta de dilatación de la obra gruesa coincide con un ángulo recto, el sistema de aislamiento debe ser interrumpido.
- c) Aspectos:** Perfilado vertical desbordante a prever para los sistemas de revestimiento discontinuo.

A continuación se presentan esquemas para la familia de sistemas de aislación de muros por el exterior:

5.2.3.1. Fachada ventilada

Cuando se tiene una esquina entrante, en el caso de una aislación con fachada ventilada se propone una solución en la cual se colocan placas fijas a muro a fin de confinar cada zona. La placa puede ser metálica o de PVC. (Fig. N° 37)

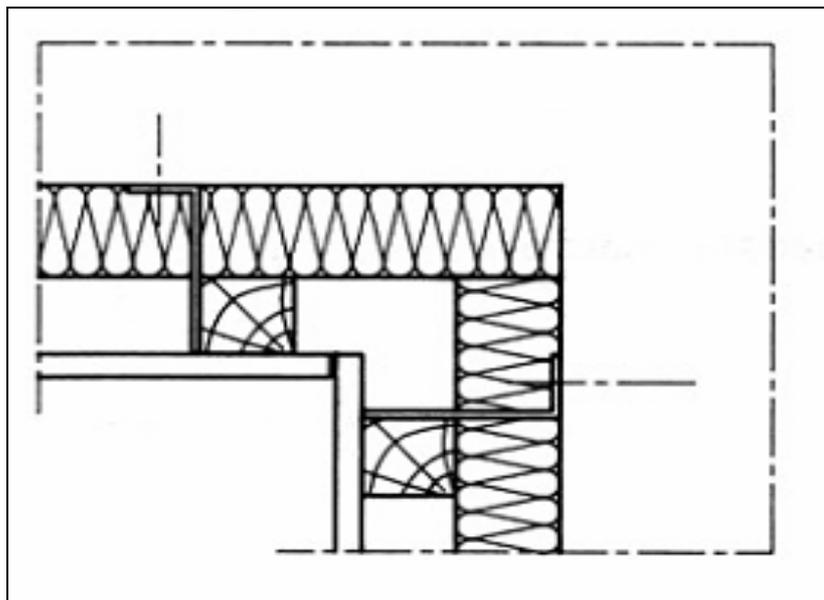


Fig. N° 37: Solución a unión en 90° del sistema de aislación de fachada ventilada.

5.2.3.2. Mortero delgado sobre aislación

Cuando se aplican los lechos de acabado directamente sobre la aislación, en el caso de un ángulo que vuelve, se presenta una solución en la cual el aislante se coloca perpendicularmente, sin dejar espacios vacíos y sobre la unión se aplica el mortero delgado.

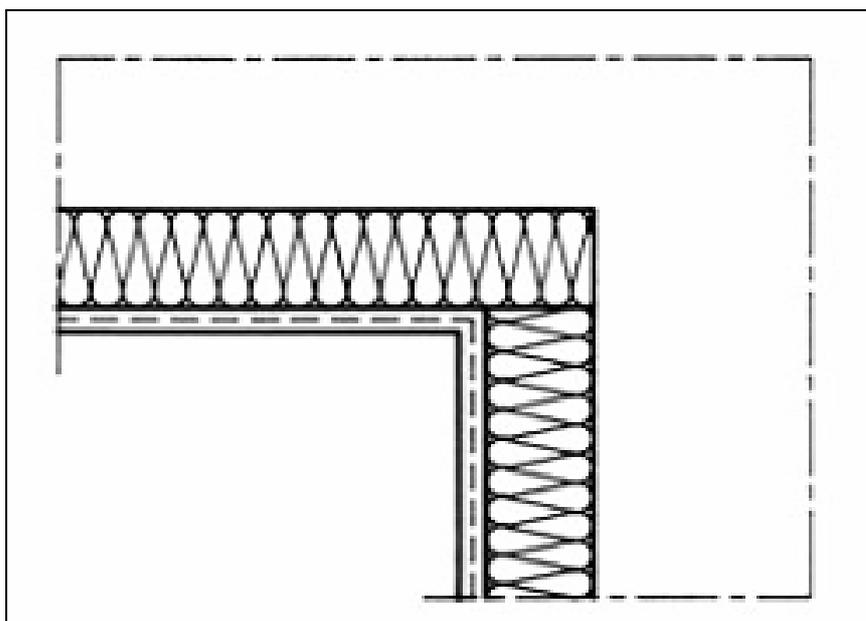


Fig. N° 38: Método de colocación del aislante para dar solución al punto singular del ángulo que vuelve para mortero delgado sobre aislación.

5.2.3.3. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro

Cuando se tiene una esquina entrante, se proponen las siguientes soluciones:

Tipo 1: Se debe colocar en uno de los planos el aislante y la placa a tope con el muro. En el otro sentido, se deja un espacio para colocar una perfilaría continua como se muestra en la Fig. N° 39. que se fija a muro. El espacio que queda entre el perfil y la placa de revestimiento se llena con resina a fin de evitar espacios vacíos.

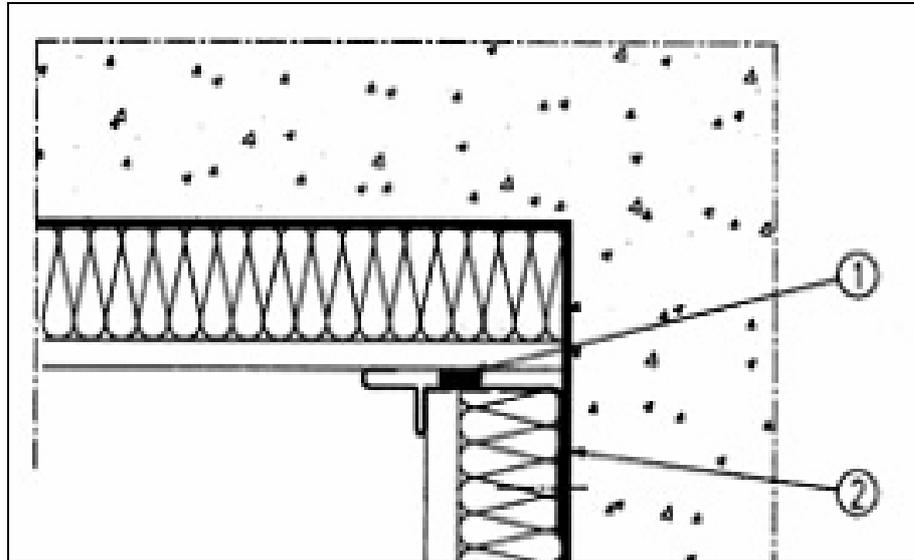


Fig. N° 39: Solución a punto singular en ángulo que vuelve en vertical para el sistema de unidad prefabricada.

Donde:

- 1: Banda simple o junta de resina
- 2: Perfilaría continua

Tipo 2: Se propone una solución en la cual se coloca un perfil fijo a muro. Fig. N° 40.

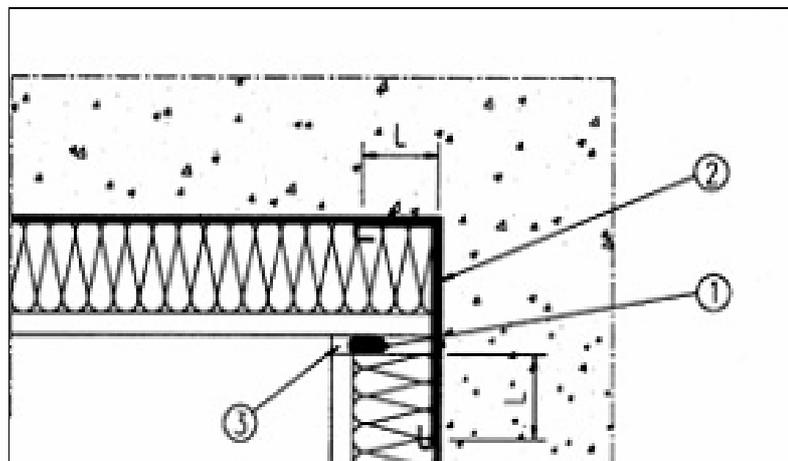


Fig. N° 40: Solución para unidad prefabricada en la cual se coloca un perfil tal como muestra la figura.

$$L > 40 \text{ mm}$$

Donde:

- 1: Fondo de juntura
- 2: Perfilaría continua metálica o de PVC
- 3: Resina

5.2.4. Junta de dilatación

Una viñeta de unión colocada entre las aislaciones adyacentes debe satisfacer las siguientes exigencias:

- a) **Resistencia a movimientos diferenciales:** Resistencia a movimientos verticales entre edificios, verticales entre edificios y horizontal y/o vertical entre partes adyacentes de un sistema
- b) **Resistencia al viento:** En función de la exposición.
- c) **Resistencia al choque:** En función de la exposición
- d) **Impermeabilidad al agua:** Se debe asegurar que el elemento de unión impida el paso del agua a través de la junta.
- e) **Impermeabilidad al aire:** Debe ser realizado a nivel de la obra antes de la colocación de la aislación.

A continuación se presentan esquemas de soluciones a juntas de dilatación para los distintos sistemas de aislación presentados:

5.2.4.1. Fachada ventilada

Cuando se tiene una junta de dilatación en el caso de una aislación con fachada ventilada se proponen las siguientes soluciones:

Tipo 1: Consiste en colocar una placa en la junta de dilatación que puede ser de plástico, metal o del mismo material de las placas con que este revestida la fachada. Esta se fija a una escuadra de apoyo que esta fijada al muro soportante.

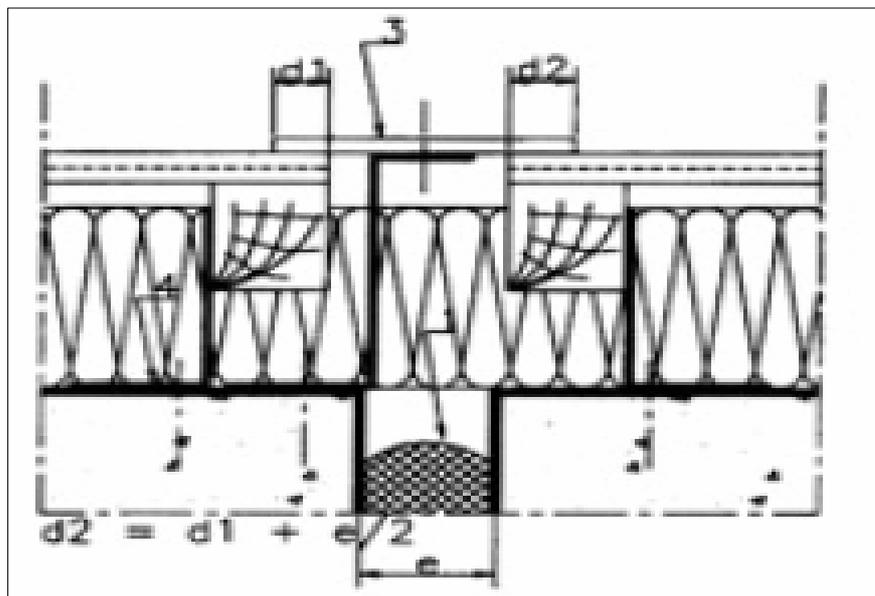


Fig. Nº 41: Unión con cubrejuntas sobre placas de terminación

Donde:

- 3 Corresponde a perfilaría metálica, PVC o material de terminación de placas usadas para la fachada ventilada
- 4 Escuadra de apoyo

Tipo 2: Consiste en colocar en la junta una perfilaría de metal, PVC o del mismo material de la placa de terminación. Esta perfilaría se coloca en la lamina de aire que queda entre la aislación y la placa de terminación. Se apoya en una escuadra que esta fija a la estructura sustentadora o muro.

Se debe cumplir que:

$$d \geq 20mm$$

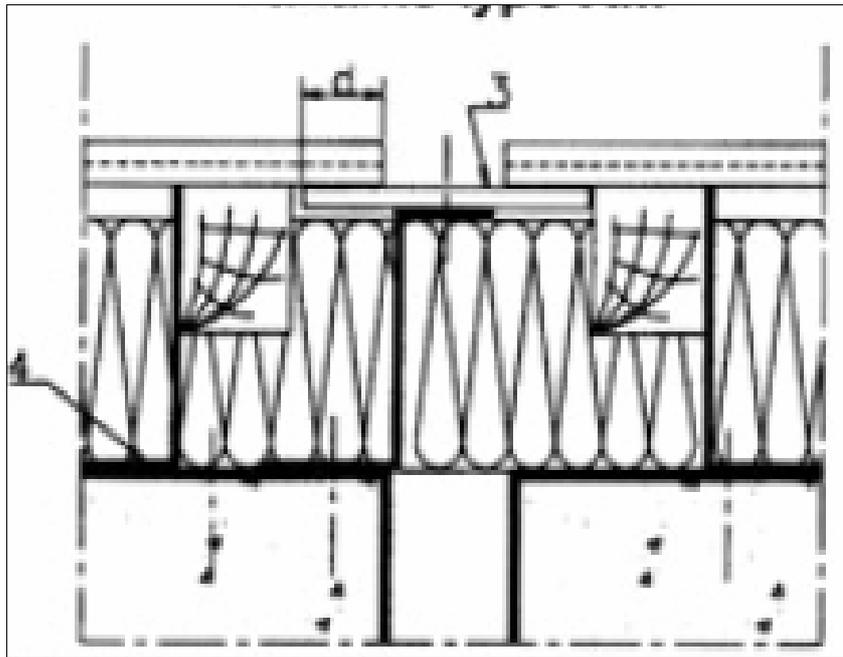


Fig. Nº 42: Unión con cubrejuntas bajo placas de terminación

Donde para ambos casos:

- 3 Corresponde a perfilaría metálica, PVC o material de terminación de placas usadas para la fachada ventilada
- 4 Escuadra de apoyo

5.2.4.2. Mortero delgado sobre aislación

Cuando se aplican los lechos de acabado directamente sobre la aislación, en el caso de una junta de dilatación se presentan las siguientes soluciones:

Tipo 1: Consiste en instalar una cubre junta que recorre el aislante y se fija al muro soportante. Este puede ser plástico o metálico. Debe cumplir los siguientes requisitos:

$$d \geq 20mm$$

$$b \geq 25mm$$

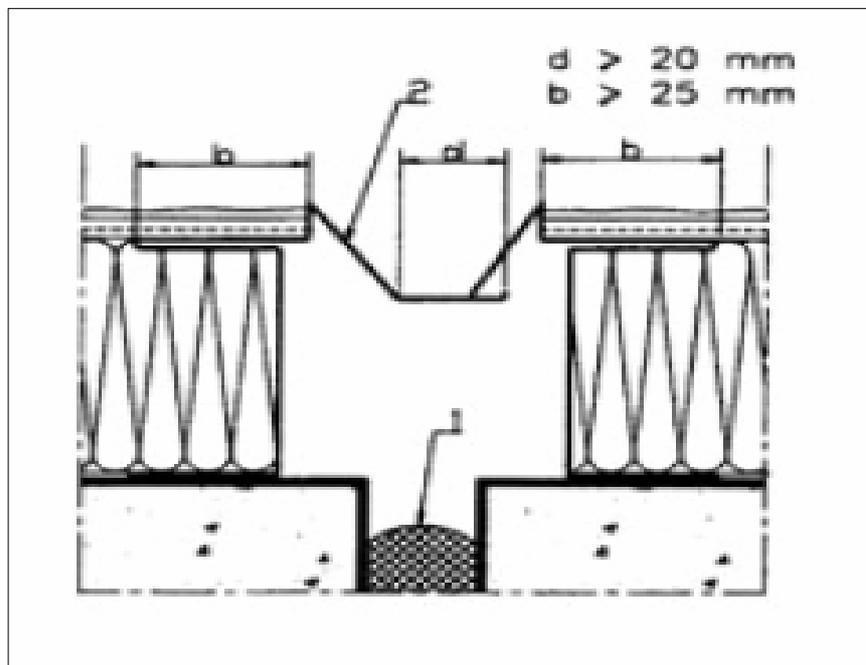


Fig. Nº 43: Unión con perfil metálico o de PVC

Donde:

- 1 Corresponde al calafateo realizado a nivel de la obra.
- 2 Corresponde a el cubre junta

Tipo 2: Consiste en colocar una cubre junta que se fija a un clip a intervalos regulares.

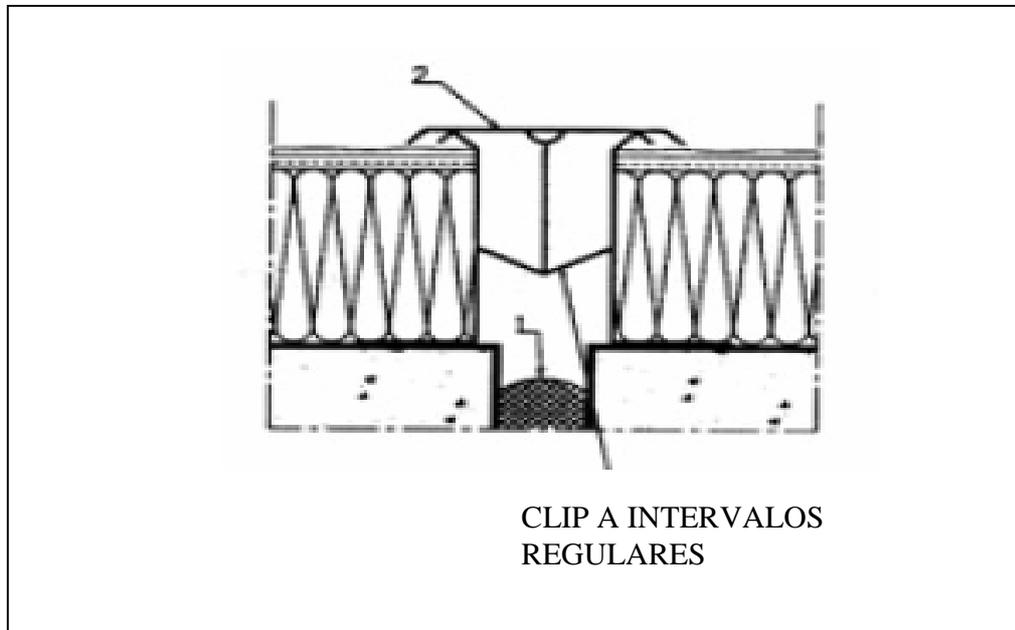


Fig. N° 44: Unión con perfil metálico o de PVC

Donde para ambos tipos de cubrejuntas se tiene:

- 1 Calafateo realizado a nivel de la obra
- 2 Cubre junta

5.2.4.3. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro

Cuando se tiene una junta de dilatación con aislación de vêture, se proponen las siguientes soluciones:

Tipo 1: Consiste en colocar una placa en la junta sobre la placa de terminación. El material colocado en la junta de dilatación puede ser perfilaría de metal, PVC o de placas de revestimiento. Se fijan a una escuadra.

Se debe cumplir que:

$$d \geq 20mm$$

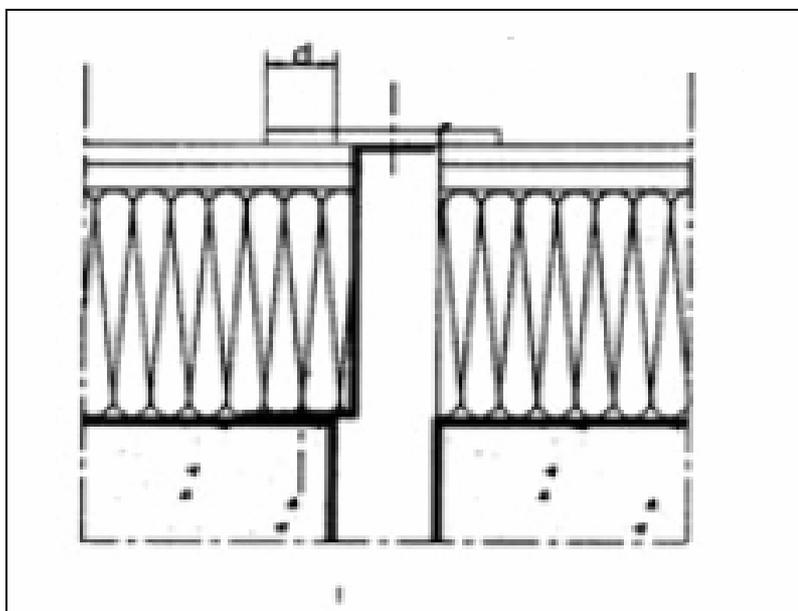


Fig. Nº 45: Unión con cubrejuntas sobre placa de terminación

Tipo 2: Consiste en colocar un perfil en forma de T en la unión. Este se fija a la estructura soportante. Puede ser de metal o PVC.

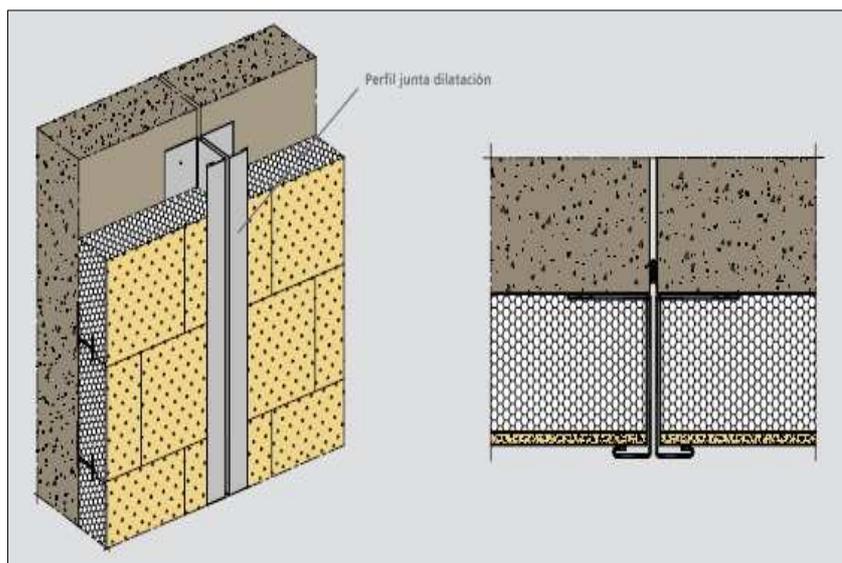


Fig. Nº 46: Unión con perfil metálico o de PVC

5.2.5. Las ventanas

Las soluciones propuestas dependen de la posición de la carpintería en el muro abrigado. Pueden ser puestas:

- A desnudo el interior de la pared soporte
- Desnudo al interior y desnudo el exterior de la pared soporte
- En el espesor del aislador

Las ventanas, independiente al lugar donde se coloque la aislación, debe ser tratada cuidadosamente. Es por esta razón que la utilización de un perfil que proteja el marco de la ventana es recomendada (Fig. N° 47). Es factible prolongar el aislador delante del vano, para mejorar la impermeabilidad y el resultado térmico.

Para permitir una abertura a más de 90 ° en el caso de ventanas que abre a la francesa, se propone:

- Reducir el espesor (grosor) de la obra bruta (Fig. N° 48).
- Utilizar un material que puede ser de PVC, aluminio o metálico (Fig. N° 49).

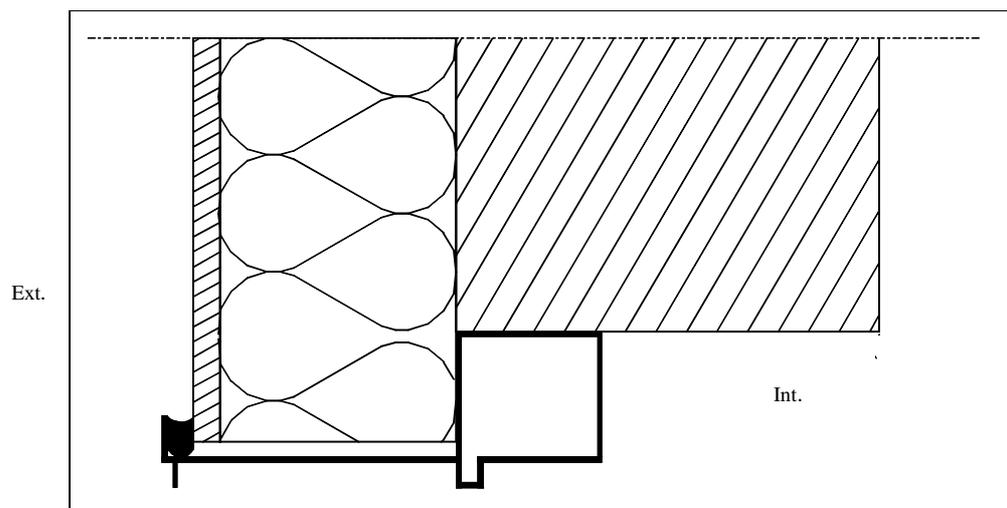


Fig. N° 47: Perfilaría de PVC o metal que recubre le marco de la ventana.

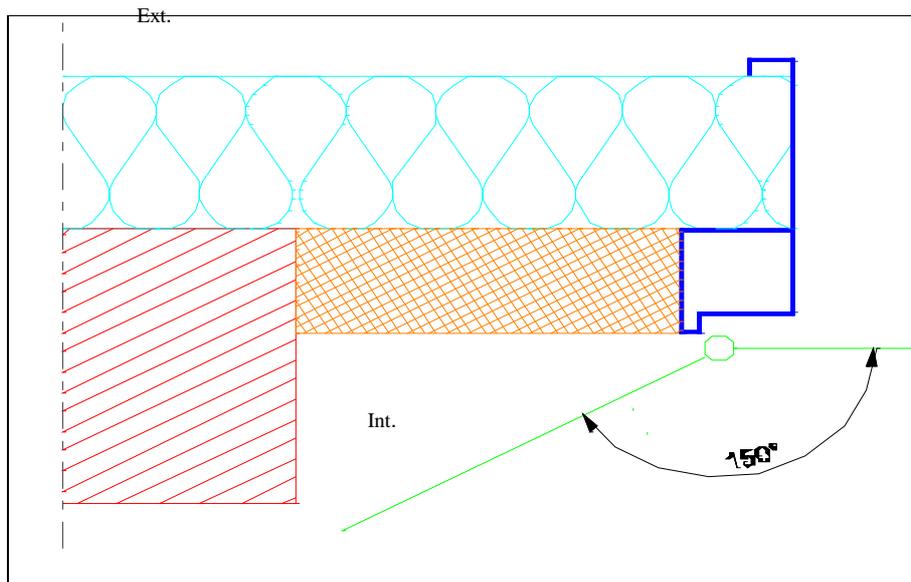


Fig.Nº 48: Solución que permite la abertura a más de 90 °

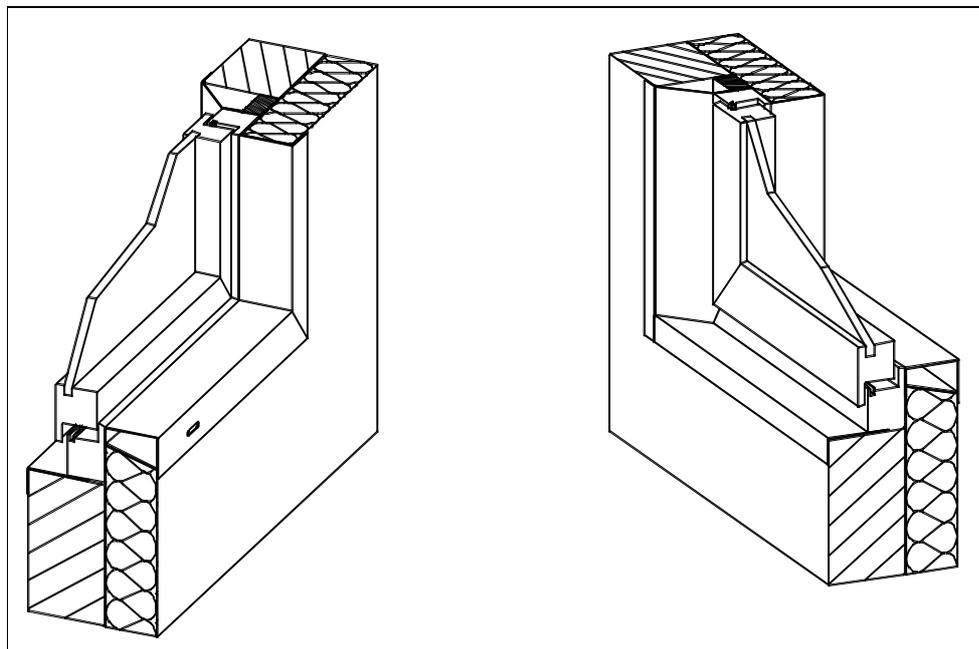


Fig. Nº 49: Tipo de recubrimiento en la ventana para proteger la aislación. Permite abrir la ventana en 90°.

CAPITULO 6: EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE AISLACIÓN

6.1. Evaluación técnica

Hace falta comprender que según los términos de la guía de EOTA (referencia 3), los productos que se utilizan para aislar térmicamente una vivienda por el exterior deben presentar características que sean compatibles con las obras en las cuales son incorporados y con los otros productos aplicados o instalados.

En consecuencia, los sistemas de aislación deben convenir a un empleo en obras de construcción que considerados en su conjunto y en cada uno de sus componentes sean aptos para el uso previsto, teniendo en cuenta el aspecto económico, y satisfacer las exigencias esenciales. Tales exigencias deben estar satisfechas para una duración económicamente razonable.

6.1.1. Evaluación para la aptitud al empleo

Las evaluaciones y disposiciones que se mencionan a continuación, han sido consideradas sobre una base de una duración presumida de los sistemas de aislación exterior por lo menos de 25 años, a condición de que los sistemas sean utilizados de manera apropiada. Estas disposiciones están basadas en los conocimientos disponibles y la experiencia.

A continuación se presentan los aspectos que hay que examinar con el fin de satisfacer las exigencias esenciales correspondientes.

- a) **Seguridad de utilización:** Si los sistemas de aislación no son asociados con un empleo estructural previsto, su resistencia mecánica y su estabilidad no se pueden garantizar.

El sistema de aislación exterior debe ser estable y resistir a las solicitaciones producidas por las cargas normales como el peso propio, el impacto y los movimientos de la principal estructura, así como el viento.

Esto significa que para la exigencia de seguridad de utilización, hay que evaluar las características siguientes de los productos al nivel de sistemas y sus componentes.

- b) Estabilidad mecánica:** La utilización de un muro abrigado permite reducir los espesores de la obra bruta. Las paredes prefabricadas de hormigón no tienen reglas especificadas, pero es también posible reducir su espesor satisfaciendo las exigencias de estabilidad, de choques, de acústica, de factibilidad y de manutención.
- c) Efecto del peso propio:** El sistema debe sostener su propio peso sin deformación dañosa.
- d) Resistencia al impacto:** El sistema de aislación exterior que se utilice en un muro debe presentar un alto grado de resistencia a los impactos para:
- Permitir asegurar la seguridad de las personas enfrente de los impactos excepcionales interiores o exteriores.
 - Presentar, principalmente en parte baja, una resistencia a los choques accidentales, no excepcionales.
- e) Resistencia al viento:** Se deben considerar las características mínimas de los sistemas en término de resistencia al viento, según la región, el sitio y la altura de la vivienda.

6.1.2. Seguridad en caso de incendio

Las exigencias de reacción al fuego de los sistemas de aislación deben estar conformes a la legislación, la reglamentación y a las disposiciones administrativas aplicables a la destinación final del edificio o vivienda. Estas exigencias tienen como objetivo de asegurar la seguridad de las personas en caso de incendio permitiendo su evacuación. La definición del revestimiento de fachada del muro influye en ciertas reglas relativas a la seguridad incendia.

6.1.3. Higiene, salud y medio ambiente

a) Medio ambiente interior, humedad: En cuanto a la humedad de las paredes exteriores, dos exigencias para los revestimientos que tienen un efecto favorable que se debe tener en cuenta:

- **Resistir a la humedad exterior**

Las paredes deben impedir que la humedad del suelo suba en la vivienda a través de la construcción y no deben propagar la humedad del suelo hacia partes que podrían encontrarse sin aislación.

Las paredes exteriores también deben resistir a la penetración de la lluvia y la nieve en el interior de la vivienda; no deben ser dañados ni por la lluvia ni por la nieve y propagar la humedad hacia partes que podrían encontrarse sin aislación.

- **Evitar la condensación de las superficies internas y la condensación intersticial**

La condensación superficial es generalmente reducida por la aplicación de los sistemas de aislación.

En condiciones normales de utilización, la condensación intersticial no se produce en sistemas. En caso de presencia importante de vapor de agua en el

interior, precauciones apropiadas deben ser tomadas para impedir el humedecimiento del sistema, por ejemplo previendo una concepción correcta de los productos y una elección adecuada de materiales.

Para cumplir con esta exigencia, las características siguientes de los productos deben ser evaluadas para sistemas y cada uno de sus componentes:

- Absorción de agua
- Impermeabilidad al agua
- Estanqueidad
- Permeabilidad al vapor de agua

b) Medio ambiente exterior: Los trabajos de instalación y de construcción no deben ser fuente de polución para el medio ambiente inmediato (aire, suelo, agua). La tasa de desempeño de productos contaminantes hacia el aire exterior, el suelo y el agua, en cuanto a los materiales de construcción de paredes exteriores, debe pues estar conforme con la legislación, con la reglamentación y con las disposiciones administrativas aplicables sobre el lugar donde el producto es incorporado en la obra.

6.1.4. Exposición a desplazamientos de la principal estructura

Los movimientos normales de la principal estructura no deben arrastrar la formación de grietas o la pérdida de adherencia en el sistema. Consideramos que los sistemas de aislación exterior de muros deben resistir a los movimientos provocados por variaciones de temperatura y de coacciones, excepto en el nivel de las juntas de estructura donde se deben tomar precauciones.

6.1.5. Economía de energía y aislamiento térmico

El conjunto de la pared debe satisfacer esta exigencia. Los sistemas de aislación mejoran el aislamiento térmico y permiten reducir el calentamiento (en invierno) y la climatización (en verano).

Por consiguiente, el mejoramiento de la resistencia térmica de la pared aportado por los sistemas de aislación debe ser evaluado, con el fin de introducirlo en los cálculos térmicos exigidos por la reglamentación.

6.1.6. Durabilidad del sistema

Los sistemas de aislación exterior de muros deben ser estables y resistir a la temperatura, a la humedad y a las contracciones.

Que las temperaturas sean elevadas o bajas, no deben generar un efecto destructor o provocar una deformación irreversible en el sistema.

La radiación solar aumenta la temperatura sobre la superficie de los sistemas de aislación cuando son expuestos. Este aumento depende de la radiación solar y de la absorción energética de la superficie, que varía de acuerdo al color.

Es generalmente considerado que la temperatura de superficie máxima es de 80 °C.

Una variación de la temperatura de la superficie del orden de 30 °C no debe provocar daños, por ejemplo en caso de cambio brusco debido a una exposición de la superficie a la radiación solar seguida de lluvia intensa, o de cambio de temperatura entre el sol y la sombra.

Además, se deben tomar las medidas necesarias para evitar la formación de grietas tanto al nivel de las juntas de dilatación de la estructura como a las uniones entre diferentes materiales, por ejemplo conexiones con las ventanas.

6.1.7. Durabilidad de los componentes

Todos los componentes deben conservar sus propiedades durante toda la duración del sistema en las condiciones normales de utilización y de mantenimiento con el fin de que la cualidad del sistema sea mantenida.

Esto implica que:

- Todos los componentes que conforman el sistema deben ser estables sobre el plano físico-químico y tener un comportamiento predecible. En caso de reacción entre materiales, estas reacciones deben producirse lentamente.

- Todos los materiales deben ser naturalmente resistentes, o ser tratados o protegidos contra los ataques de la corrosión.

- Todos los materiales deben ser compatibles unos con otros.

6.2. Evaluación Económica

Para realizar una evaluación económica de los métodos de aislación exterior presentados, se realizará un análisis de precios unitarios, con productos existentes en el mercado nacional. Los datos correspondientes a los rendimientos se obtuvieron del Ondac y los precios de los materiales se obtuvieron por medio de solicitudes de cotizaciones telefónicas a los distintos proveedores en Abril de 2007.

6.2.1. Fachada ventilada

En la aplicación de un sistema de fachada ventilada, se tienen variadas materialidades. Veremos algunos casos con elementos de revestimientos exteriores existentes en el mercado nacional. Los componentes generales involucrados en la aislación por el exterior de muros con el método de fachada ventilada, son los siguientes:

- Estructura soportante (madera o volcometal)
- Panel aislante (alternativo, dependerá del tipo de revestimiento exterior)
- Barrera contra la humedad (alternativo, dependerá del tipo de revestimiento exterior)
- Revestimiento exterior (Placas de Siding, placas de madera, fibrocemento)

Algunos de los métodos de aislación de fachada ventilada existentes en Chile son:

a) Siding de fibrocemento

El siding son placas de fibrocemento fabricadas en Chile por Volcán Y Pizarreño. Se componen de mezcla homogénea de cemento, fibras de celulosa y sílice. Tienen una apariencia similar a la madera.

El método de aplicación y componentes para utilizar el revestimiento exterior Siding es el que se indica a continuación:

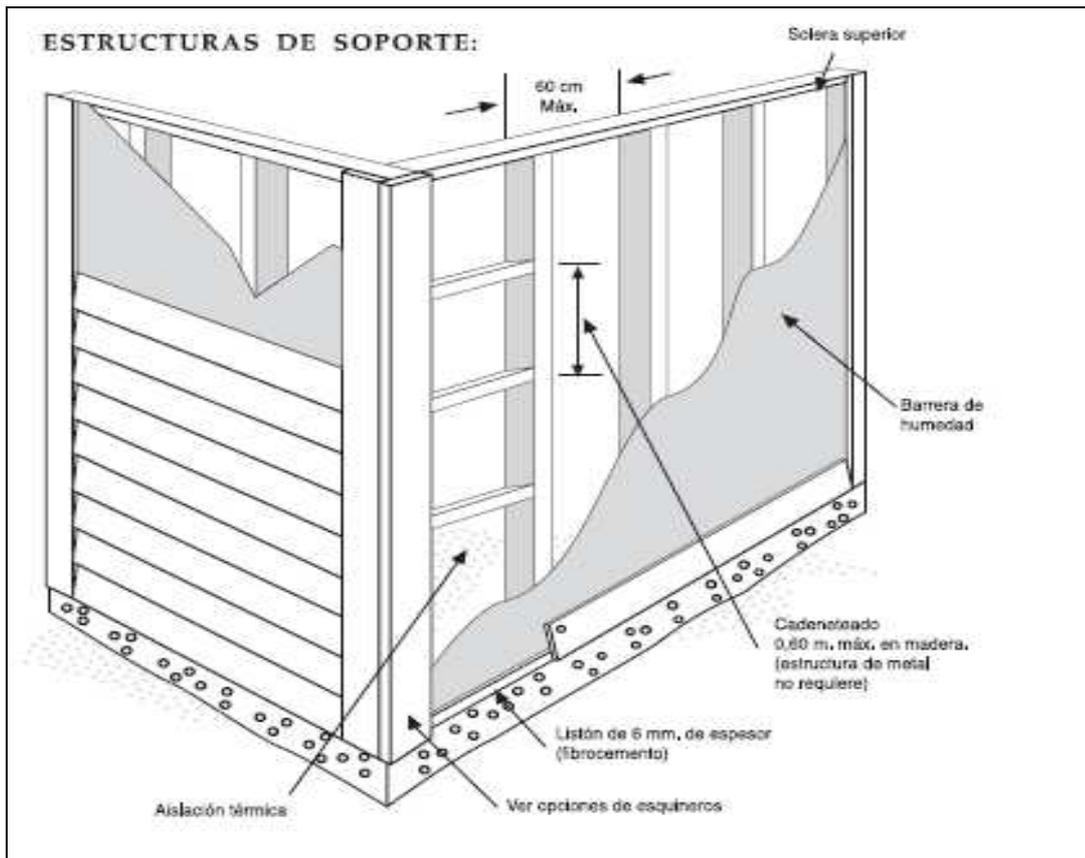


Fig. Nº 50: Componentes de sistema de fachada ventilada con revestimiento exterior de siding de fibrocemento con apariencia de madera

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con siding de fibrocemento son:

- Estructura de volcometal fija al muro de hormigón.
- Aislación de poliestireno expandido.
- Barrera de humedad de fieltro asfáltico
- Siding de fibrocemento
- Mano de obra de carpintero y ayudante

La siguiente tabla corresponde al análisis de precios unitarios de la aplicación de aislación exterior con revestimiento siding de fibrocemento.

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Metalcom Canal U 2*3*,85 103*30*0,85 * 3 mt	ml	0,3800	\$735	\$279
Metalcom Montante C 2*3*,85p 100*40*12*,85 * 6 mt	ml	2,6300	\$793	\$2.086
Clavos Hilti c/fulminantes	uni	1,6500	\$120	\$198
Tornillo Auto roscante Frammer 5/8 Pta Broca	uni	8,8000	\$10	\$88
Poliestireno Expandido (PI 1 x 0.5)	M2	2,0000	\$475	\$950
Barrera contra la humedad (40 m2). Fieltro asfáltico	M2	1,000	\$ 195	\$195
Siding de fibrocemento	M2	1,000	\$ 3606	\$3606
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL	\$15.842			

TABLA Nº 9: Análisis de precios unitarios de aislación por el exterior en muros, con revestimiento de siding de fibrocemento.

b) Placa aislaforte

La placa aislaforte se compone de áridos livianos, aditivos especiales, cemento Pórtland y refuerzos de malla de fibra de vidrio. Se aplica sobre el muro sobre una estructura de metalcom.

El método de aplicación y componentes para utilizar el revestimiento exterior con placa aislaforte es el que se indica a continuación:

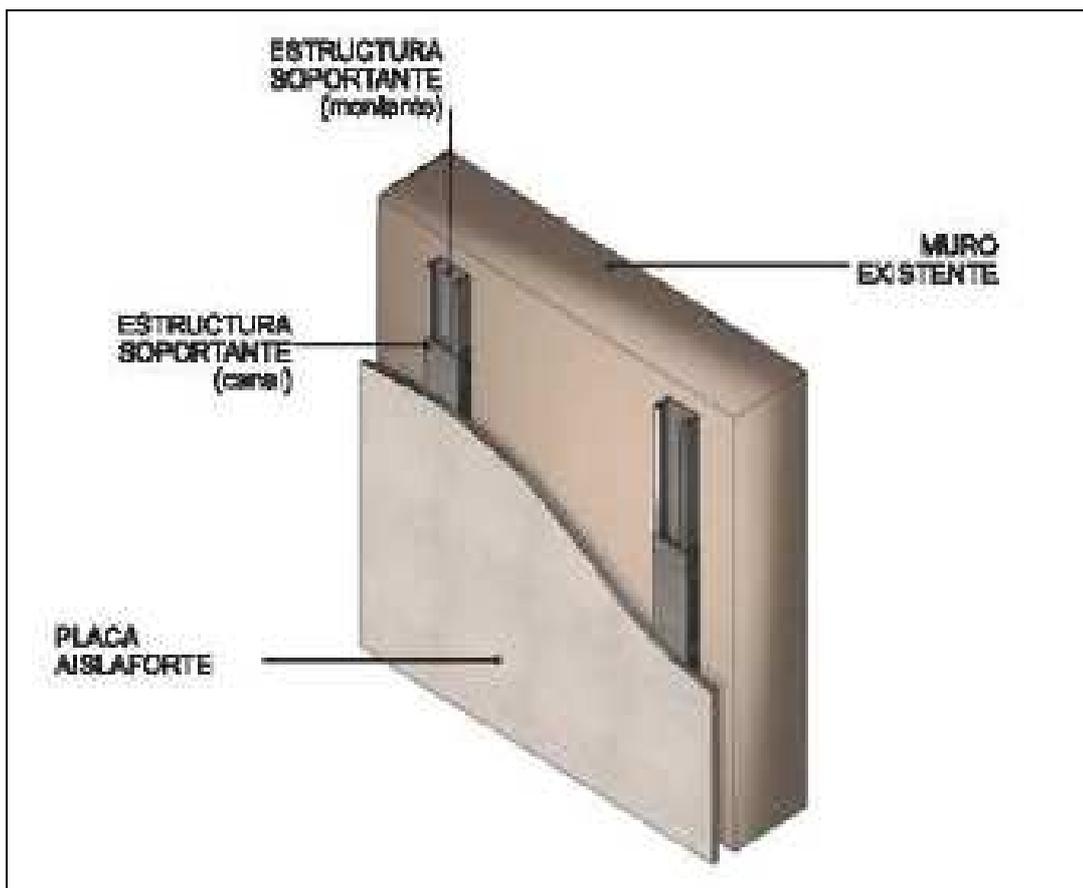


Fig. Nº 51: Componentes de sistema de fachada ventilada con revestimiento exterior de placa aislaforte a base de cemento y malla de fibra de vidrio.

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con placa aislaforte son:

- Estructura de volcometal fija al muro de hormigón.
- Placa aislaforte
- Mano de obra de carpintero y ayudante

La siguiente tabla corresponde al análisis de precios unitarios de la aplicación de aislación exterior con revestimiento de placa aislaforte.

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Metlacom Canal U 2*3*,85 103*30*0,85 * 3 mts	MI	2,6300	\$735	\$1.933
Metalcom Montante C 2*3*,85p 100*40*12*,85 * 6 mts	MI	2,6300	\$793	\$2.086
Clavos Hilti c/fulminantes	Uni	1,6500	\$120	\$198
Tornillo Auto roscante Framer 5/8 Pta Broca	Uni	8,8000	\$10	\$88
Placa aislaforte	m2	1,0000	\$4.800	\$4.800
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$12.045

TABLA Nº 10: Análisis de precios unitarios de aislación por el exterior en muros, con revestimiento de placa aislaforte.

c) Tejas de fibrocemento

Las tejas de fibrocemento producidas por Volcán en Chile. Presentan una apariencia de madera.

El método de aplicación y componentes para utilizar el revestimiento exterior de tejas de fibrocemento es el que se indica a continuación:

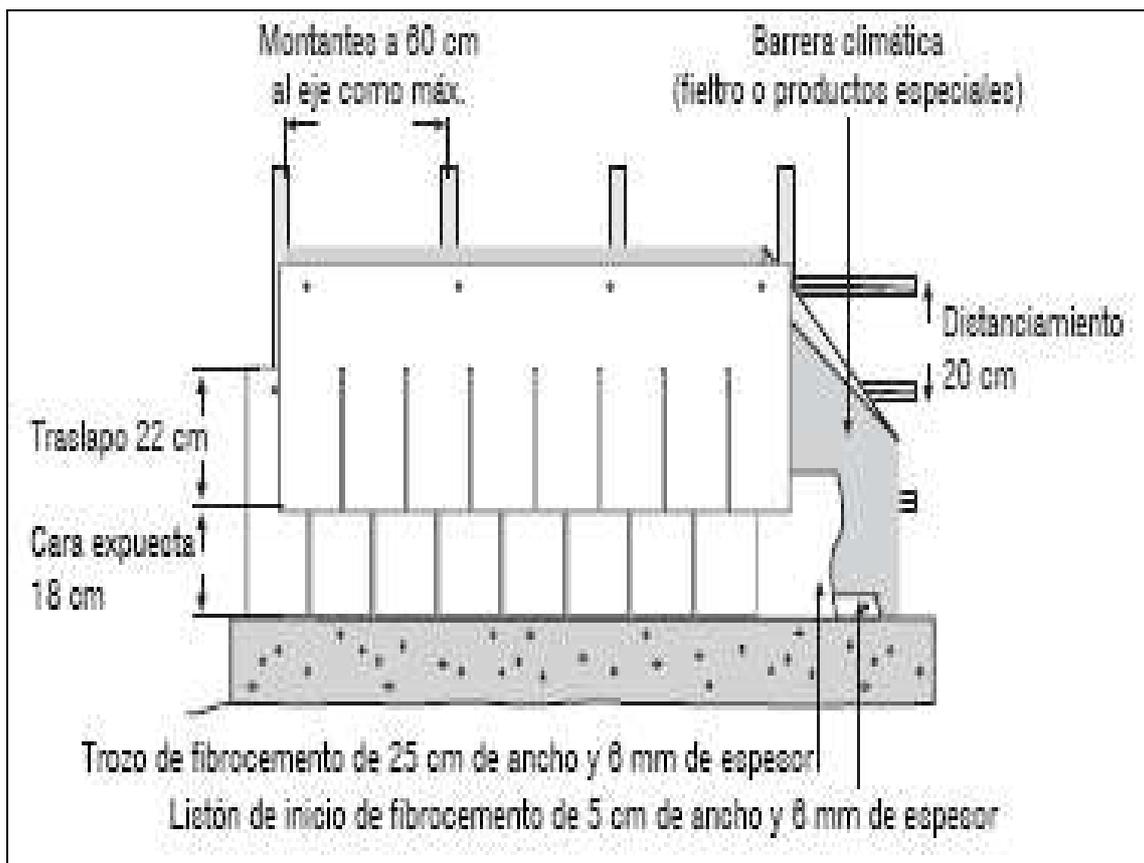


Fig. Nº 52: Componentes de sistema de fachada ventilada con revestimiento exterior de tejas de fibrocemento

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con tejas son:

- Estructura de volcometal fija al muro de hormigón.
- Estructura secundaria de madera de 2 x 2"
- Barrera contra la humedad
- Tejas de fibrocemento
- Mano de obra de carpintero y ayudante

La siguiente tabla corresponde al análisis de precios unitarios de la aplicación de aislación exterior con revestimiento de tejas.

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Metlacom Canal U 2*3*,85 103*30*0,85 * 3 mts	ml	0,3800	\$735	\$279
Metalcom Montante C 2*3*,85p 100*40*12*,85 * 6 mts	ml	2,6300	\$793	\$2.086
Clavos Hilti c/fulminantes	uni	1,6500	\$120	\$198
Tornillo Auto roscante Framer 5/8 Pta Broca	uni	8,8000	\$10	\$88
Palos de 2 x 2 de pino	ml	6,0000	\$305	\$1.830
Barrera de Humedad (40 m2). Filtro asfáltico	m2	2,0000	\$475	\$950
Poliestireno Expandido (PI 1 x 0.5)	m2	2,0000	\$475	\$950
Tejuelas de Fibrocemento	m2	1,0000	\$2.083	\$2.083
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$11.404

TABLA Nº 11: Análisis de precios unitarios de aislación por el exterior en muros, con revestimiento de tejuelas de fibrocemento.

d) Siding Vinílico

Siding vinílico producidas por DVP en Chile. Existe en una variedad de colores. (ver fig. 50)

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con siding de PVC:

- Estructura de madera.
- Aislación de poliestireno expandido.
- Barrera de humedad de fieltro asfáltico
- Siding de PVC
- Mano de obra de carpintero y ayudante

La siguiente tabla corresponde al análisis de precios unitarios de la aplicación de aislación exterior con revestimiento siding de PVC

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Estructura de madera pino de 2 x 2"	MI	3,0000	\$305	\$915
Clavos	Uni	1,6500	\$120	\$198
Poliestireno Expandido (PI 1 x 0.5)	m2	2,0000	\$475	\$950
Barrera de Humedad (40 m2). Fieltro asfáltico	m2	1,0000	\$195	\$195
Revestimiento Siding (0.2 x 3.8)	m2	1,3157	\$4.180	\$5.500
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$10.698

TABLA N° 12: Análisis de precios unitarios de aislación por el exterior en muros, con revestimiento de siding vinílico

e) Placas Glasal de fibrocemento.

Las placas glasal son de fibrocemento y se fijan a una placa de internit. La placa de fibrocemento se fija con pegamento a la placa de internit. Existen placas en una variedad de colores, lo cual permite tener una buena terminación.

El siguiente es el esquema con los componentes del sistema:

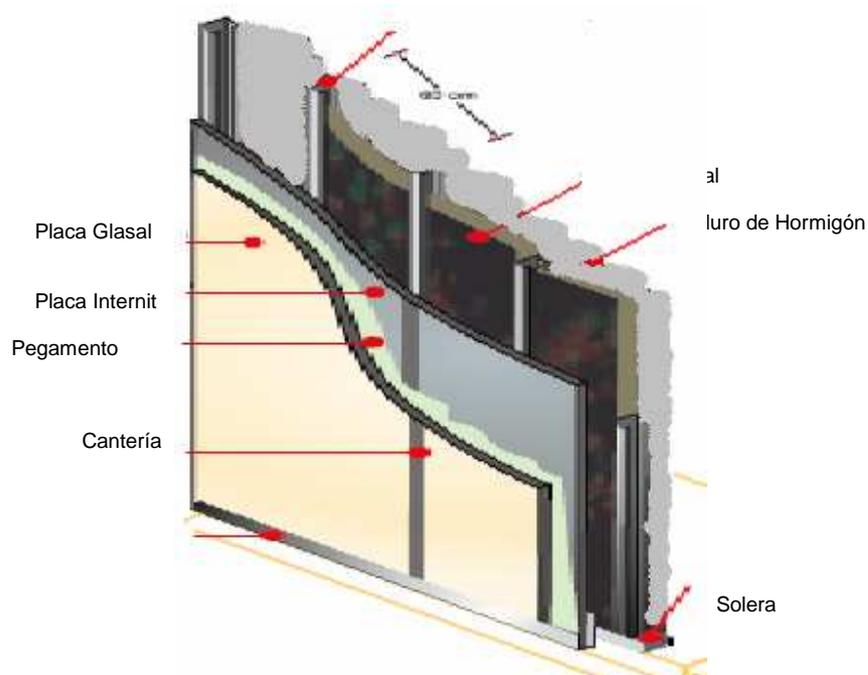


Fig. Nº 54: Componentes de sistema de fachada ventilada con revestimiento exterior de placa glasal de fibrocemento.

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con placa aislaforte son:

- Estructura de volcometal fija al muro de hormigón.
- Lana mineral
- Placa de internit
- Placa glasal de fibrocemento
- Mano de obra de carpintero y ayudante

La siguiente tabla corresponde al análisis de precios unitarios de la aplicación de aislación exterior con revestimiento de placa glasal de fibrocemento.

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Metlacom Canal U 2*3*,85 103*30*0,85 * 3 mts	ml	2,0000	\$735	\$1.470
Metalcom Montante C 2*3*,85p 100*40*12*,85 * 6 mts	ml	2,6300	\$793	\$2.086
Clavos Hilti c/fulminantes	uni	1,6500	\$120	\$198
Tornillo Auto roscante Framer 5/8 Pta Broca	uni	8,8000	\$10	\$88
Lana Mineral 70 mm / 70 kg/m3	m2	1,0000	\$1.207	\$1.207
Placa de Internit 1,2 x 2.4 (e=6mm)	m2	1,0000	\$3.572	\$3.572
Placa Glasal de fibrocemento	m2	1,0000	\$4.200	\$4.200
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$15.761

TABLA Nº 13: Análisis de precios unitarios de aislación por el exterior en muros, con revestimiento de placa aislaforte.

6.2.2. Mortero delgado sobre aislación

Los componentes involucrados en la aislación por enduit mince sur isolant, son los siguientes:

- Adhesivo para pegar el aislante
- Panel aislante
- Pasta de base elastomérica
- Malla de refuerzo de fibra de vidrio
- Pasta base elastomérica
- Revestimiento de acabado.

En Chile existen varias empresas que fabrican estos productos, entre ellas podemos mencionar a EUROTEC, la cual tiene dentro de sus productos la Base Coat, que corresponde a él lecho de base y Finish Coat, que es el revestimiento de acabado.

La Base coat es una mezcla basada en copolímeros acrílicos altamente resistente y elástico. Se debe mezclar con cemento.

ProFinish es un producto basado en resinas acrílicas elastoméricas, cargas inertes de cuarzo y mármol, pigmentos inorgánicos resistentes al UV y aditivos especiales.

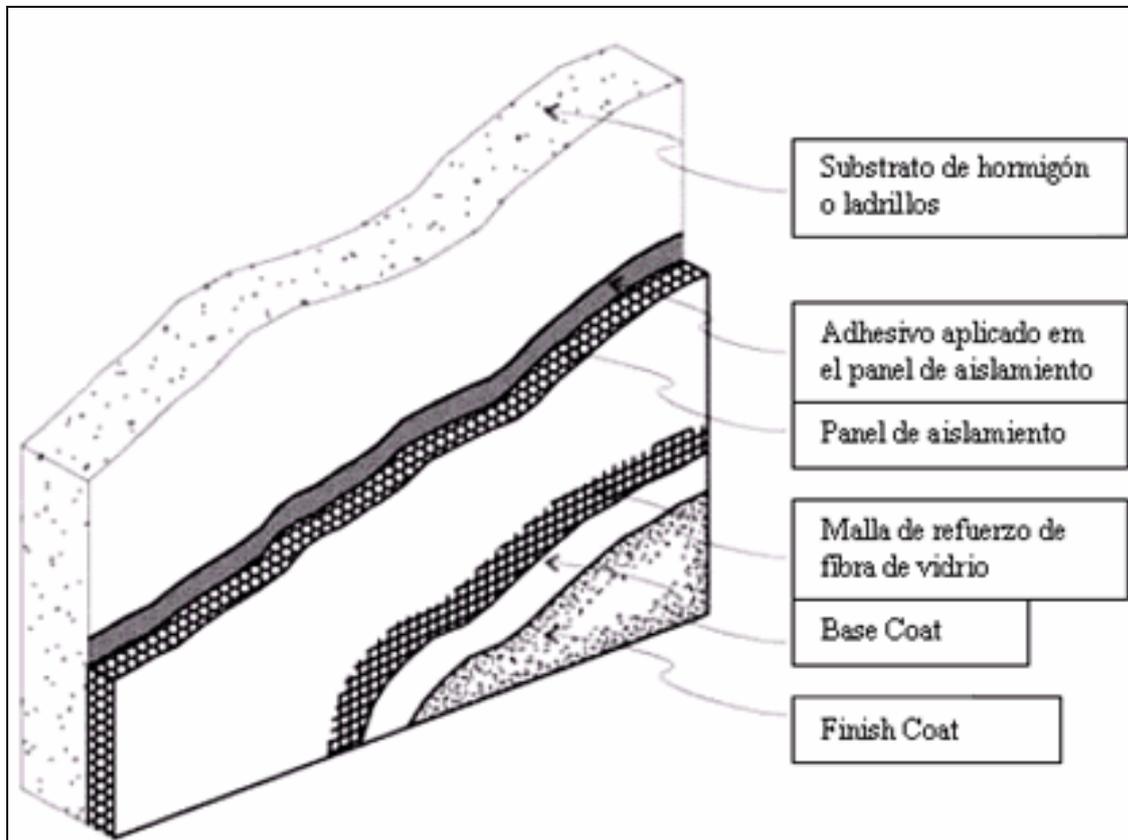


Fig. Nº 55 : Componentes de enduit mince sur isolant

Realizando un análisis de precios unitarios por metro cuadrado de aplicar este sistema de aislamiento, se tienen los siguientes costos:

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
ProPasta E (Tinetas de 30 Kg)	kg	5,0000	\$535	\$2.675
Cemento Pórtland	kg	2,5000	\$87	\$218
Poliestireno Expandido (PL 1 x 0.5)	m2	2,0000	\$475	\$950
Malla Fibra de Vidrio V3-137-A (Rollos de 50m x 1m)	m2	1,1500	\$1.060	\$1.219
Revestimiento Elastomerico ProFinish (Tinetas de 34 Kg)	kg	2,8000	\$654	\$1.831
Albañil	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante de albañil	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$9.833

Tabla N° 14: Análisis de precio unitario por metro cuadrado de aplicación de método enduit mince sur isolant

6.2.3. Unidades prefabricadas de la envolvente para la aislación térmica adosada al muro

En la aplicación de un sistema de Vature, se tienen variadas materialidades. Veremos algunos casos, con elementos de revestimientos exteriores existentes en el mercado nacional. Los componentes generales involucrados en la aislación por el exterior de muros con el método, son los siguientes:

- Panel aislante
- Revestimiento exterior

Algunos de los métodos de aislación de bardage existentes en Chile son:

a) Placa aislaforte con aislación

La placa aislaforte es a base de fibrocemento, malla y aislante incorporado en la placa. Se fija directamente al muro de hormigón por el exterior de la vivienda tal como se muestra en la imagen siguiente:

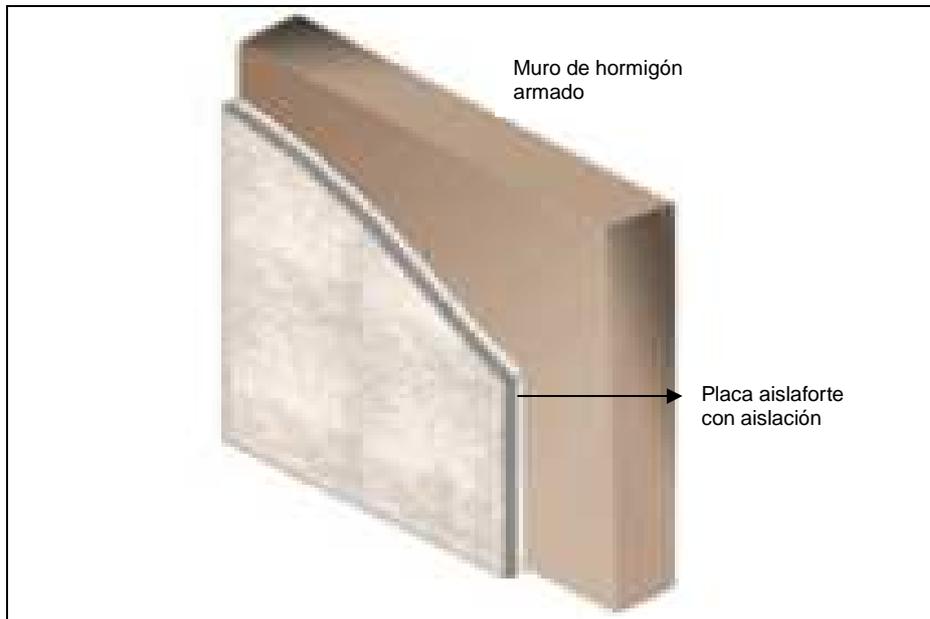


Fig. Nº 56: Sistema de aislamiento exterior veture. Placa de fibrocemento se fija directamente al muro.

Los costos involucrados para construir una aislación por el exterior con placa aislaforte sin banda de aire son:

- Placa aislaforte

Realizando un análisis de precios unitarios por metro cuadrado de aplicar este sistema de aislación, se tienen los siguientes costos:

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad por M2	Precio Unitario	Precio m2
Clavos Hilti c/fulminantes	uni	1,6500	\$120	\$198
Placa aislaforte	m2	1,0000	\$7.900	\$7.900
Maestro Carpintero	HD	0,1000	\$16.000	\$1.600
Ayudante carpintero	HD	0,0625	\$8.000	\$500
Leyes Sociales	%	0,4000	\$2.100	\$840
COSTO TOTAL				\$11.038

Tabla N° 15: Análisis de precio unitario por metro cuadrado de aplicación de método de unidades prefabricadas por medio de placa con aislación aislaforte.

6.3. Resumen de análisis de precios unitarios de métodos de aislación

Del análisis de precios unitarios para los variados métodos se tiene lo siguiente:

REVESTIMIENTO EXTERIOR	TIPO DE REVESTIMIENTO	PRECIO UNITARIO [\$/M2]
FACHADA VENTILADA	a) Siding de fibrocemento	\$ 15.842
	b) Placa aislaforte	\$ 12.045
	c) Tejuelas de fibrocemento	\$ 11.404
	d) Siding vinílico	\$ 10.698
	e) Placa glasal de fibrocemento	\$ 15.761
MORTERO DELGADO SOBRE AISLACIÓN (EIFS)	a) Mortero delgado sobre aislación (EIFS)	\$ 9.833
UNIDADES PREFABRICADAS	a) Placa aislaforte con aislación	\$ 11.038

6.4. Clasificación de revestimientos exteriores según criterios ATE

Para cada uno de los métodos y clases de materiales señalados en el punto anterior, se ha realizado una clasificación en términos de las cuestiones reglamentarias.

REVESTIMIENTO EXTERIOR	RESISTENCIA AL FUEGO	RESISTENCIA A LA HUMEDAD	MANUTENCIÓN	RESISTENCIA AL IMPACTO	MEDIO AMBIENTE Y SALUD
FACHADA VENTILADA	a) Siding de fibrocemento es incombustible.	a) Presenta un porcentaje de absorción a la humedad, por lo que se debe usar una barrera de humedad en el sistema.	a) No requiere mayor mantenimiento, ya que no crea hongos y es imputrescible.	a) Tienen alta resistencia al impacto.	a) Se debe tener precaución en su manipulación. No se debe inhalar polvo al hacer cortes por la presencia de sílice.
	b) Placa aislaforte No se fisura hasta los doscientos °C.	b) Presenta cero por ciento de absorción de agua.	b) Fácil de reparar.	b) Aislaforte presenta una buena resistencia al impacto por sus componentes.	b) Aislaforte no presenta problemas para la salud, ya que no posee asbesto.
	c) Tejuelas de fibrocemento es incombustible.	c) Se debe usar barrera de humedad.	c) Tejuelas de fibrocemento tienen una baja mantenimiento y una alta durabilidad.	c) Alta resistencia al impacto.	c) Se debe tener precaución en su manipulación para evitar daños de salud.
	d) Siding vinílico se derretirá frente a la acción del fuego.	d) Siding requiere de una barrera de humedad, no impide el paso de la humedad por si solo.	d) Siding no requiere de pintura, solo basta con limpiarlo con agua.	d) Siding se fabrica con cloruro de polivinilo, el cual da resistencia al impacto y rigidez.	d) Se debe tener precaución en su uso. Mantener en zonas sin peligro de fuego.
	e) Placa de fibrocemento glasal incombustible	e) Tiene una baja absorción a la humedad de un 22%.	e) Glasal se caracteriza por su alta resistencia al tráfico; no se ralla, no hay deterioro por hongos.	e) Alta resistencia al impacto	e) Se debe tener precaución en su manipulación para evitar daños de salud
MORTERO DELGADO SOBRE AISLACIÓN (EIFS)	a) Resistente al fuego	a) Impide el paso de la humedad	a) Fácil mantenimiento	a) Promuro es resistente a los impactos debido a que está reforzado con malla de fibra de vidrio.	a)
UNIDADES PREFABRICADAS ADOSADAS AL MURO	a) Placa aislaforte con aislación no es inflamable y soporta altas temperaturas. F90 y F120.	a) No presenta deterioro frente a la humedad.	a) Fácil de reparar	a) Placa reforzada con malla por lo que tiene resistencia al impacto.	a) No contiene asbesto ni celulosa

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Mediante el presente estudio, se logró proponer tres tipos de soluciones constructivas para resolver la aislación de muros por el exterior de una vivienda. Los métodos propuestos son utilizados en Europa, pioneros en aislación térmica de muros por el exterior, desde hace más de 15 años. Para cada una de las soluciones: fachada ventilada, unidades prefabricadas, mortero delgado sobre aislación, se describió la materialidad para llevar a cabo un proceso constructivo de aislación térmica.

Una de las mayores dificultades en la aplicación de estos métodos es dar solución a los puntos singulares de la aislación térmica, debido a que no sirve de nada la aislación, si existen puntos que se encuentran desprotegidos. Es por ello que se mostró variadas soluciones a estos puntos para cada uno de los métodos.

La fachada ventilada resulta ser uno de los métodos más costosos para aislar los muros de una vivienda. Sus valores varían entre 10.000 – 15.000 \$/m². En Chile, los variados proveedores, han desarrollado una serie de productos de revestimientos para proteger la aislación. Muchos de ellos están lejos aún de cumplir a cabalidad con las exigencias reglamentarias. Si, analizamos los elementos señalados en este trabajo, podemos decir que en el caso de los siding de vinílico, no cumplen con variadas de las exigencias, tales como: resistencia al fuego, resistencia la humedad. Pero si cumple con ser resistente a los impactos. En el caso de los siding de fibrocemento, no cumplen con las exigencias medio ambientales y dejan pasar la humedad.

Una deficiencia importante de todos los tipos de revestimientos de fachada ventilada, es que las placas de revestimiento no superan los seis metros y para muros de mayor longitud, se deben realizar uniones de planchas de revestimientos, lo cual deja una unión que si no es bien tratada puede dejar la aislación descubierta.

Una de las mayores ventajas que tiene la fachada ventilada es la cámara de aire, la que permite que al producirse un calentamiento del revestimiento este se transmita al aire el que genera una corriente vertical, lo cual impide que el calor se traspase al muro.

El mortero delgado sobre aislación, más conocido como EIFS, es uno de los más conocidos en Chile. Si lo evaluamos en términos de costos, podemos decir que resulta ser el más económico, dado que el valor del metro cuadrado de su instalación es del orden de 7000 \$/m². Cuando evaluamos los EIFS según las exigencias reglamentarias de la EOTA, detallados en la tabla del capítulo anterior, se puede decir que cumplen con las exigencias, sin embargo, se puede detectar que aún hay variados problemas que resolver, dado que si bien la elaboración del revestimiento no tiene complejidad, la aplicación de delgadas capas de espesor, requiere de personal especializado, de lo contrario una mala aplicación del recubrimiento puede significar diferencias de resistencia considerables entre uno y otro punto.

Una de las exigencias que cumple es la resistencia al impacto, gracias a la malla de fibra de vidrio que lleva incorporada, sin embargo, existe una resistencia a la cual no es infalible que es la resistencia a la perforación, ya que el daño provocado por una perforación, implica la creación de puentes térmicos en el sector impactado lo que disminuye la eficiencia del recubrimiento de la envolvente.

Las unidades prefabricadas son muy similares a los revestimientos de fachada ventilada. La única diferencia es que no requiere de una estructura para fijar los revestimientos, pero si de perfiles guía para las placas de revestimiento. Este método aún no ha sido desarrollado en Chile como tal, dado que no hay revestimientos de placas fijadas a perfiles guía, tal como lo han desarrollado los franceses y en el resto de Europa.

Se recomienda por costos, porque cumple en gran parte con las exigencias reglamentarias, el uso de los morteros delgados sobre aislación. Sin embargo, se recomienda por un mejor comportamiento térmico la fachada ventilada, gracias al efecto chimenea que se genera en la cámara de aire.

Deficiencias y recomendaciones para la implementación en Chile

Se puede decir que en Chile falta mucho aún en términos de tecnología de aislación térmica de muros por el exterior. Fundamentalmente existe un déficit de productos para dar solución a los puntos singulares, dado que en el último tiempo a raíz del cambio de reglamentación en Chile, los más importantes proveedores en materia de aislación se han dedicado a generar una serie de productos que cumplan con la reglamentación térmica, estos sin embargo han dejado fuera el dar solución a los puntos singulares que se mencionan en este trabajo, debido a que no existen productos que permitan proteger la aislación en los puntos singulares. Es claro cuando se muestran los esquemas de los perfiles de solución, que estos se podrían prefabricar, sin embargo se tendría el problema de no cumplir con los requerimientos de los diseños arquitectónicos.

Se debe desarrollar en Chile cursos de capacitación que permitan tener mano de obra más capacitada, debido a que una mala aplicación de los sistemas de aislación en el muro, haría que no se cumpliera el objetivo de dejar una envolvente 100% protegida y esto haría que la inversión realizada en materiales y la misma mano de obra fuera desperdiciada.

Al determinar estas falencias para aislar la envolvente de una vivienda, se deja la inquietud de generar una nueva área de negocios, que permita tener los implementos y el equipo humano entrenado de aplicación de aislación térmica en muros por el exterior.

7.2 Recomendaciones

Como líneas futuras para continuar con este trabajo se propone lo siguiente:

Analizar métodos constructivos que aborden dos puntos que incluye la nueva reglamentación térmica en su segunda etapa que son los pisos y ventanas. Plantear

soluciones y descripciones de aplicación de los sistemas que se propongan para aislar pisos y ventanas, a fin de resolver constructivamente toda la envolvente de la vivienda.

CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA

1. Villanueva Gómez, Pablo (2002), Evaluación técnica de revestimientos sintéticos aplicados sobre aislantes térmicos al exterior de viviendas, Tesis de titulación, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
2. Instituto de la Construcción, (2006), Manual de aplicación. Reglamentación térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 4.1.10
3. ETAG 004 (2000), Guide d'agrement technique Européen sur les Systemes d' isolation thermique extérieure par Enduit, European Technical Approval (ETA)
4. CSTB (2000), Solutions Techniques. Points singuliers en mur-manteau. Exemples de solutions. Frances.
5. CSTB (1991), Ossature bois et isolation thermique des bardages rapportés faisant l' objet d' un Avis Technique ou d' un constat de traditionalité.Francia
6. MINVU (2007) Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago.
7. <http://www.grouperment-mur-manteau.com/choisir/atout.asp>
8. STO, Manual de instalación para sistemas de aislamiento y acabado exterior.
9. EOTA (2005), Guideline for European Technical approval of Vecture Kits – Prefabricated units for external wall insulation.
10. Badilla Donoso, Marcelo (2006) Ahorro de energía en viviendas: Soluciones constructivas de elementos perimetrales, Tesis de titulación, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

-
11. www.mart.cl
 12. www.pizarreno.cl
 13. www.volcan.cl
 14. Apuntes de Física de la Construcción. U. de Chile. Profesor Gabriel Rodríguez y Miguel Bustamante.
 15. NCh 1079 Of. 1977. Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
 16. Nch 853. Of. 91. Acondicionamiento térmico – envolvente térmica de edificios- calculo de resistencias y transmitancias térmicas.