



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

**ANÁLISIS DE ADHERENCIA DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS  
DE EDIFICIOS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**JUAN PABLO VILLELA ALVAREZ**

**PROFESOR GUÍA:  
JUAN OLIVARES CARLINI**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ  
WILLIAM WRAGG LARCO**

**SANTIAGO DE CHILE  
AGOSTO 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: JUAN PABLO VILLELA  
FECHA: 17 AGOSTO 2007  
PROF. GUIA: Sr. JUAN OLIVARES CARLINI

## **“ANÁLISIS DE ADHERENCIA DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS DE EDIFICIOS”**

El presente trabajo de título que se presenta, tiene por objeto el identificar cuales son las condiciones ideales para poder llevar a cabo la instalación de un revestimiento en un edificio de forma que el producto final cumpla con los requerimientos de proyecto tanto estéticos como funcionales, y de forma que el revestimiento quede adherido de manera optima para evitar desprendimiento que tener graves consecuencias para las personas que puedan transitar bajo la estructura. El interés del estudio recae en la gran cantidad de edificios que hoy en día son fabricados en hormigón, pero revestido con algún material y que, desafortunadamente, han sufrido caída de sus revestimientos de manera considerable incluso sin presencia de sismos, evento típico en el país.

Durante el estudio se consultaron una serie de normas y publicaciones, en su mayoría extranjeras, para reconocer en ellas las formas adecuadas de instalar el material de revestimiento. De esta forma, se pudo identificar los procesos más importantes en la faena: material del revestimiento, substrato soportante, adhesivo y sistema de instalación. Además de eso, se estudiaron las patologías típicas del revestimiento y los ensayos relacionados.

Se pudo establecer claramente cuales eran las exigencia que debía cumplir cada proceso y la forma de llevarla a cabo de manera satisfactoria. Un resultado final exitoso para la instalación de un revestimiento, es el resultado de escoger de buena forma los materiales involucrados (revestimiento y adhesivo), preparar el substrato de manera óptima y utilizar un sistema de colocación adecuado a las etapas previas. Ningún proceso es más importante que el otro, pues todos deben ser rigurosamente controlados y estudiados de forma de tener un producto final de calidad.

Con los antecedentes mencionados, se pudo concluir que tanto los materiales de revestimiento como lo adhesivos del mercado chileno cumplen, en la mayoría de los casos, los criterios mínimos exigidos. Por tanto, las posibles anomalías que pudiesen existir se deben a problemas con la preparación del substrato o a un inadecuado sistema de instalación. La instalación de un material de revestimiento es un tema complejo que muchas veces no es tomado con la seriedad que merece y la mejor manera de obtener un producto final de calidad es teniendo un estricto control de calidad de los materiales involucrados y los procedimientos existentes en cada etapa, así como también inspeccionando de manera constante el estado real del revestimiento en el tiempo.

# Índice

<b>Capítulo 1: Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción general	1
1.2 Objetivos generales	2
1.3 Objetivos específicos	2
1.4 Alcances	3
<b>Capítulo 2: Antecedentes Generales</b>	<b>4</b>
2.1 Definición de revestimiento	4
2.2 El enchape cerámico	5
2.2.1 Antecedentes generales	5
2.2.2 Fabricación	5
2.2.3 Requerimientos	8
2.3 Estado actual del mercado	8
<b>Capítulo 3: Adhesivos</b>	<b>9</b>
3.1 Introducción	9
3.2 Criterios para la selección de los adhesivos	9
3.3 Tipos de adhesivos para revestimientos exteriores de adherencia directa	10
3.3.1 Mortero tradicional de cemento mezclado con agua	10
3.3.2 Mortero a base de cemento, modificado con polímero en polvo dispersivo	10
3.3.3 Mortero a base de cemento modificado, con polímero líquido (látex)	12
3.3.4 Adhesivos a base de resina epóxica	13
3.3.5 Adhesivos a base de silicona (estructural)	14
3.3.6 Morteros de cemento con agentes adherentes	15
3.3.7 Resumen comparativo	16
3.4 Morteros premezclados	17
3.4.1 Premezclado seco en Obra	17
3.4.2 Premezclado húmedo en Obra	17
3.4.3 Premezclado húmedo en Planta	17
3.4.4 Premezclado seco en Planta	18
3.4.5 Conceptos relacionados con las características de puesta en obra de los morteros de pega premezclado	19
3.5 Importancia de industrialización de morteros.	19
3.6 Morteros predosificados para pega de enchapes utilizados en Chile	20
3.6.1 Cementos Melón: Pega enchapes PRESEC	20
3.6.2 Cementos Bío- Bío: Pega enchapes DRYMIX	23
3.6.3 Resumen morteros premezclados	24
<b>Capítulo 4: Criterios para la selección de revestimientos</b>	<b>25</b>
4.1 Consideraciones generales.	25
4.2 Criterios para la selección del material de revestimiento	25
4.3 Enchapes cerámicos de arcilla	27
4.3.1 Elección de enchapes	28
4.3.2 Consideraciones relativas al uso del adhesivo	28
4.3.3 Expansión y contracción del enchape	29

4.4 Tipos de enchapes presentes en el mercado chileno.	30
<b>Capítulo 5: Substratos</b>	<b>31</b>
5.1 Criterios para la selección de substratos	31
5.1.1 Densidad	31
5.1.2 Porosidad	31
5.1.3 Características de la superficie	32
5.1.4 Compatibilidad del adhesivo	32
5.1.5 Estabilidad dimensional (Movimiento térmico)	33
5.1.6 Rigidez (Módulo de elasticidad)	34
5.1.7 Costos, disponibilidad, condiciones del lugar de la obra	35
5.1.8 Resumiendo	36
5.2 Tipos de substratos	36
5.3 Preparación del substrato: requisitos generales de construcción	37
5.3.1 Valoración de las condiciones de la superficie	38
5.3.2 Tolerancia de planeidad	38
5.3.3 Tolerancias de verticalidad	39
5.3.4 Condiciones climáticas y del lugar de la obra	40
5.3.4.1 Contaminación transportada por el aire	40
5.3.4.2 Contaminación de sales	41
5.3.4.3 Contenido de humedad de los substratos	42
5.3.4.4 Temperatura de la superficie y del ambiente	42
5.4 Características de substratos de hormigón moldeado in situ	43
5.4.1 Costra	43
5.4.2 Carbonatación (Climas fríos)	44
5.4.3 Formación de alvéolos	44
5.4.4 Juntas frías (de construcción) inesperadas	45
5.4.5 Superficies extremadamente lisas	45
5.4.6 Residuos de desmoldantes	45
5.4.7 Aditivos para hormigón	46
5.4.8 Fraguado del hormigón - Edad del hormigón	46
5.4.9 Grietas y roturas por retracción plástica y secamiento	47
5.4.10 Rotura estructural	48
5.5 Métodos especiales de preparación para el hormigón	48
5.6 Revoque de cemento, capa de nivelación	49
5.6.1 Aplicación de enlucidos y revoques de cemento	49
5.7 Preparación del substrato: equipos y procedimientos	53
5.7.1 Prueba para verificar la presencia de contaminación	53
5.7.2 Eliminación de la contaminación	54
5.7.3 Eliminación de volumen	54
5.7.4 Limpieza superficial final (residuos)	57
<b>Capítulo 6: Colocación del revestimiento</b>	<b>58</b>
6.1 Métodos de aplicación adhesiva para revestimientos exteriores	58
6.1.1 Método de capa fina	58
6.1.2 Método de capa espesa	59
6.1.3 Método de encolado localizado ("Spot Bonding Method")	60
6.1.4 Método de moldeo negativo (hormigón prefabricado)	61
6.2 Equipos y procedimientos de instalación	62
6.2.1 Acceso a la instalación (andamios)	62
6.2.2 Protección contra las condiciones atmosféricas	65
6.2.2.1 Temperaturas elevadas	65
6.2.2.2 Temperaturas bajas	66

6.2.2.3	Clima seco y con viento	67
6.2.2.4	Clima húmedo	67
6.2.3	Preparación del sustrato y del revestimiento	68
6.2.4	Equipos y procedimientos para mezclar los adhesivos	69
6.2.4.1	Adhesivos a base de látex y cemento y en polvo dispersivo modificado con polímero	69
6.2.4.2	Adhesivos epóxicos	70
6.2.4.3	Adhesivos a base de silicona y uretano	71
6.2.6	Procedimiento de colocación del revestimiento utilizando capas finas de adhesivo	75
6.2.7	Procedimiento de colocación del revestimiento utilizando capas espesas de adhesivo	76
6.2.9	Procedimiento de colocación de revestimiento con el método de "encolado localizado" mediante adhesivos epóxicos	77
6.2.10	Procedimiento de colocación del revestimiento con el método de moldeo negativo (paneles prefabricados de hormigón)	78
<b>6.3</b>	<b>Relleno de juntas y selladores</b>	<b>79</b>
6.3.1	Finalidad de los rellenos o selladores de juntas	79
6.3.1.1	Compensación de las tolerancias del revestimiento	79
6.3.1.2	Prevención de las infiltraciones de agua	80
6.3.1.3	Acción compuesta de los rellenos de juntas	80
6.3.1.4	Disipación del esfuerzo de movimiento y del vapor de agua	80
6.3.2	Materiales para el relleno de juntas y sellado de los revestimientos exteriores	81
6.3.2.1	Lechada de cemento convencional	82
6.3.2.2	Lechada de cemento modificado con polímero	82
6.3.2.3	Lechada de cemento y látex	83
6.3.2.4	Lechada con emulsión de resina epóxica modificada y resina epóxica sólida al 100%	83
6.3.2.5	Sellador de silicona o uretano	84
6.3.3	Métodos y herramientas para la aplicación de lechadas y selladores de juntas para revestimientos exterior	85
6.3.3.1	Lechada de cemento, cemento seco modificado con polímero y lechada de cemento y látex	85
6.3.3.2	Material de relleno a base de silicona o uretano para juntas	86
6.4	Limpieza tras la colocación	86
<b>Capítulo 7: Mantenimiento, ensayos y patologías</b>		<b>88</b>
7.1	Introducción	88
7.2	Protecciones y selladores repelentes al agua	88
7.3	Ensayos no destructivos	91
7.3.1	Inspección visual (VT)	92
7.3.2	Modelado informático (análisis de elementos finitos, o FEA)	93
7.3.3	Prueba de impacto acústico (golpeteo)	93
7.3.4	Scanning termográfico	94
	Ventajas	95
	Limitaciones	95
	Aplicación	96
	Procedimientos y equipo	96
7.3.5	Velocidad y eco de impulso ultrasónico	97
	Ventajas	98
	Limitaciones	98
	Futuros métodos de ensayo ultrasónico	99
7.3.7.1	Prueba de conductividad	100
7.3.8	Prueba de contaminación de sal	102
7.4	Ensayos destructivos	103
7.4.1	Ensayos de resistencia a la tracción	103
7.5	Patologías	106
7.5.1	Formación de manchas y acción de los agentes atmosféricos	108

7.5.1.1 Corrosión de componentes metálicos	108
7.5.1.2 Eflorescencia	108
7.5.1.2.1 Presencia de sales solubles	110
7.5.1.2.2 Presencia de agua	111
7.5.1.2.3 Efectos de la eflorescencia	111
7.5.1.3 Migración de fluidos	112
7.5.2 Métodos y materiales empleados para la eliminación de manchas	113
7.5.3 Métodos y materiales para eliminación de eflorescencia	114
7.5.4 Defectos funcionales: Agrietamiento	116
Características físicas de las grietas estructurales	118
7.5.4.2 Agrietamiento superficial	118
7.5.5 Exfoliación o falta de adherencia	119
7.5.5.2 Acción correctora de exfoliación	123
7.5.5.3 Otros mecanismos de fallo de la adherencia	123
7.5.5.3.1 Expansión por humedad del revestimiento	124
7.5.5.3.2 Expansión térmica del revestimiento	124
7.5.5.3.3 Contracción de los morteros de cemento	124
7.5.5.3.4 Movimiento diferencial entre estructura y revestimiento exterior	125
7.5.5.3.5 Eflorescencia y criptoflorescencia	125
7.5.5.3.6 Expansión de los materiales con contenido de cemento debido a ataque de sulfato	126
7.5.6 Fallo de las juntas de estanqueidad y mortero	126
<b>Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>129</b>
<b>8.1 Consideraciones</b>	<b>129</b>
8.1.1 Revestimiento	129
8.1.2 Adhesivos	129
8.1.3 Substratos	130
8.1.4 Colocación	130
8.1.5 Clima	131
8.1.6 Control de calidad	131
8.1.7 Patologías	131
<b>8.2 Conclusión final</b>	<b>133</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>134</b>
<b>Anexos</b>	<b>136</b>

# Capítulo 1: Introducción

## ***1.1 Introducción general***

La tendencia hoy en día en la construcción de edificios, especialmente de departamentos, nos muestra estructuras que parecen ser de materiales como ladrillo, vidrio, u otros cerámicos; sin embargo en Chile la mayoría de los edificios son de hormigón armado, revestidos con alguno de estos materiales, que va adherido a los muros estructurales construidos en la etapa de obra gruesa. Sin embargo el proceso de colocación de los revestimientos no se ha regulado suficientemente y en general la manera con la cual se hace esta colocación no es un tema al que se de mucha importancia, tanto a nivel de diseño como de especificación. De esta forma, se tienen edificios forrados por una verdadera cáscara cuya adherencia a la estructura no está comprobada.

En caso de un sismo, podemos tener muy buenas estructuras que no colapsen debido a la acción sísmica, mas nadie nos asegura que el revestimiento no pueda desprenderse y caer en grandes planchones, lo cual puede dañar a las personas que circulen bajo el edificio.

Esta hipótesis se deduce de lo ya sucedido en diversos edificios en Santiago que ya han sufrido el desprendimiento de sus revestimientos, incluso sin la presencia de sismos.

El revestimiento de fachadas en edificios es un tema muy recurrente en el ámbito de la construcción. Sin embargo la información del tema es muy escasa, poco clara y se encuentra muy dispersa en publicaciones a la cual no es fácil acceder. De aquí nace la motivación de reordenar dicha información de forma eficiente.

La presente memoria presenta una recopilación de antecedentes de los diversos materiales y procesos constructivos involucrados en la faena de la colocación del revestimiento.

## **1.2 Objetivos generales**

El presente estudio tiene por objetivo general el estudiar los revestimientos cerámicos para edificios y su relación con el sustrato adherido. En particular se estudiará el proceso de instalación de dicho cerámico al sustrato, condicionado por diversos factores y los materiales involucrados de forma que la instalación sea realizada de manera satisfactoria.

Se estudiará especialmente la manera en que el adhesivo de pega se une al muro, ya que es más frecuente que se desprenda un planchón completo del revestimiento, de grandes dimensiones, a que se desprendan elementos de uno en uno.

Se estudiarán diversas normas y publicaciones extranjeras que regulan todos los procesos y materiales involucrados en la instalación de un revestimiento; esto dado que en Chile no existen norma alguna de regulación.

Se estudiarán además las patologías más comunes en la labor de revestimiento de una fachada y la forma de disminuir, y si es posible eliminar por completo, dichas anomalías.

Finalmente se propondrán ciertas mejoras a los sistemas existentes, de forma que estos puedan cumplir con las condiciones mínimas necesarias para que exista una adherencia adecuada.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Reconocer en la literatura internacional, los sistemas y materiales adecuados para tener una óptima adherencia entre el revestimiento y el muro a revestir.
- Estudiar la forma en la cual debe estar el sustrato para realizar una óptima instalación.
- Conocer las patologías más típicas en la instalación de un revestimiento, la forma de evitarlas y contratarlas.
- Reconocer los ensayos que nos indiquen de que manera se ha llevado a cabo la instalación y la forma de medir cualitativa y/o cuantitativamente si existen o no una buena adherencia.



#### **1.4 Alcances**

El presente estudio esta limitado a estudiar el revestimiento cerámico de arcilla tipo enchape de fabricación industrial adherido a un substrato de hormigón armado. Cualquier otro substrato o tipo de revestimiento distinto a los nombrados no son, necesariamente, aplicables a este estudio.

Sin embargo, en muchas normas y bibliografías consultadas no hacen referencia directa al enchape de arcilla, pero estas dejan abierta la posibilidad de ser aplicable a cualquier tipo de revestimiento cerámico, como es el caso de los enchapes de arcilla.

## Capítulo 2: Antecedentes Generales

### 2.1 Definición de revestimiento

El revestimiento de un muro está constituido por aquella capa de material que cubre una determinada superficie de obra gruesa. Esta capa puede estar formada por diversos sub-estratos de materiales, tales como: morteros, pinturas, cerámicas o combinación de ellos. Las funciones del revestimiento son: proteger a la superficie evitando con ellos posibles daños, y en caso de producirse que su costo de reparación sea mínimo; mejorar la estética de la fachada del edificio mejorando el relieve de la pared con lo cual se embellece la terminación.

Para asegurar el cumplimiento de estas funciones es necesario que el mortero utilizado para unir dicho revestimiento al estrato, posea ciertas propiedades fundamentales:

- **Adherencia:** esta propiedad condiciona directamente la durabilidad del mortero, aumenta en proporción directa con la cantidad ligante del adhesivo y la rugosidad del paramento. Para el caso de los adhesivos de mortero, no es recomendable el uso de morteros con una dosificación muy alta en cemento, ya que ello provoca un aumento en la retracción, perjudicando la adherencia. Es recomendable el uso de morteros predosificados que disminuyen la calidad irregular de los morteros dosificados en obra sin un procedimiento controlado. Depende igualmente de la preparación de la superficie soportante, de su rugosidad, su estado de humedad, y de las condiciones climáticas durante la aplicación y secado del revestimiento (temperatura, humedad ambiental y viento).
- **Impermeabilidad:** esta propiedad tiene relación con la porosidad y densidad del adhesivo, las cuales constituyen una barrera eficaz a la penetración del agua. La impermeabilidad aumenta a medida que lo hace también la cantidad

de ligante, y también crece gracias a una buena compactación durante su aplicación.

## **2.2 El enchape cerámico**

### **2.2.1 Antecedentes generales**

El enchape cerámico es un revestimiento fabricado de arcilla. Es muy similar a un ladrillo, con la diferencia que el enchape es de bastante menor espesor que el ladrillo mismo. Además el ladrillo es usado como material estructural, mientras que el enchape se adhiere al muro de hormigón, que es un material estructural, con fines netamente ornamentales.

Sus principales usos son:

- Como elemento de terminación de elementos de hormigón armado tales como muros, vigas y machones de edificios y viviendas.
- Como revestimientos de fachadas de muros de albañilería.
- Como revestimientos de partes de fachadas de muros de albañilería y de hormigón, usando distintos aparejos según el aspecto que se quiera dar.

El enchape es comercializado en el país en diversos colores y texturas, permitiendo una gran diversidad en la elección del material según las especificaciones de arquitecturas del proyecto.

### **2.2.2 Fabricación**

Dentro de los procesos claves del proceso productivo de los elementos cerámicos, podemos destacar los siguientes:

**Arcilla:** es la materia prima para la producción de estos elementos. Esta está formada principalmente de sílice, alúmina y agua, y cantidades variables y otros materiales alcalinos. Las partículas de materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso de agua. Debido a esta característica, la arcilla, que al estado seco se presenta en forma de tierra, cuando está hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser moldeada.

Durante la fase de endurecimiento (por secado o cocción), el material arcilloso adquiere características de notable solidez con una disminución de masa (de alrededor de un 5 a 15%) en proporción de su plasticidad inicial.

***Maduración:*** antes de incorporar la arcilla al proceso de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas.

El reposo a la intemperie tiene, en primer lugar, la finalidad de facilitar la trituración de los terrones y la disolución de los nódulos e impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol hielo, etc.) favorece además a la descomposición de la materia orgánica que puede estar presente y permite la purificación química del material.

***Pre-elaboración:*** después de la maduración que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración que consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los instrumentos utilizados en la pre-elaboración son:

***Rompe-terrones:*** Sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta 15 y 30 milímetros de diámetro.

***Eliminador de piedras:*** está constituido generalmente por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras.

***Desintegrador:*** esta encargado de triturar los terrones más grande y más duros por intermedio de una serie de cilindros dentados.

***Laminador refinador:*** esta constituido por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación entre sí de 1 a 2 milímetros., espacio por el cual pasa la arcilla sufriendo un aplastamiento y un planchado que afina aún más las partículas y se obtiene la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar todavía en el interior del material.

***Deposito de materia prima procesada:*** a la fase de pre-elaboración, sigue el deposito de material en silos especiales de un lugar techado, donde el material se homogeneiza definitivamente tanto en apariencia como en aspecto físico químico.

**Elaboración:** antes de llevar a la operación de moldeo, se saca arcilla de los silos y se lleva a un laminador refinador; posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa.

**Moldeador:** consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la extrusora (la boquilla es una plancha perforadora que tiene la forma del objeto que se quiere producir).

El moldeo normalmente se hace en caliente (utilizando vapor saturado a aproximadamente 130° C) y al vacío. De tal manera se obtiene una humedad más uniforme ya que el vapor tiene una mayor capacidad de penetración que el agua y una masa más compacta.

**Secado:** el secado es por cierto una de las fases más delicadas del proceso de producción. Depende de esta etapa, en gran parte, el buen resultado del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeo para así poder pasar a la fase de cocción. Se realiza en secaderos que pueden ser de diferentes tipos, según como se produce el movimiento en el interior del secador, si el material crudo que se traslada o el aire el que se mueve. De todas maneras la eliminación de agua del material crudo se obtiene entregando superficialmente al material aire caliente a una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termohigrométricos que puedan llevar a una disminución de masa a ritmos diferentes en el material y por lo tanto producir fisuras localizadas.

**Cocción:** se realiza en hornos de túnel de aproximadamente 120 metros de longitud, donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre 900° C y 1000° C. En el interior del horno la temperatura varía en forma continua y uniforme. El material secado se coloca en carros especiales, en paquetes estándar y alimentado continuamente por una de las extremidades del túnel, de donde sale por el extremo opuesto una vez que está cocido.

**Texturización:** proceso muy usado actualmente en el mercado, para darle algún tipo de textura especial a cada enchape. Se elimina la capa lisa del enchape, con un proceso de arenado (después de la cocción) o por escobillado (entre el proceso de extrusión y la cocción).

**Almacenaje:** antes del embalaje, se procede a la formación de paquetes sobre pallets, los cuales permitirán después una movilización adecuada mediante grúas horquillas. El embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento, para posteriormente ser trasladados en camión.

### **2.2.3 Requerimientos**

Si bien es cierto que en Chile no existe normativa alguna que entregue parámetros o requisitos de calidad para estos productos, es muy común que los fabricantes adopten las actuales exigencias que rigen para los ladrillos cerámicos para el enchape. Estas exigencias son tanto para la presentación, como para el aspecto mecánico del enchape.

Los requisitos de presentación adoptados entonces, rigen la norma actual NCh 169 Of.1979 “Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos”. Esta norma establece en una tolerancia dimensional y geométrica de  $\pm 2$  milímetros, considerando que como elemento cerámico la arcilla sufre contracciones mediante el procedimiento de fabricación. Por otra parte, el enchape debe tener una absorción de agua menor al 14%, valor límite para los ladrillos cerámicos.

### **2.3 Estado actual del mercado**

Hoy en día es posible observar la gran cantidad de edificios que usan enchapes cerámicos para embellecer sus fachadas. La gran variedad de colores, texturas y tamaños ofrecidos por los fabricantes de enchapes, hacen a este un atractivo material utilizado por los arquitectos hoy en día.

## Capítulo 3: Adhesivos

### 3.1 Introducción

En este capítulo se estudian los tipos de adhesivos existentes en el mercado, la forma como llegan a la obra, productos, fabricantes. También se detalla una metodología que tiene su origen en Francia y que nos permite caracterizar los morteros desde el punto de vista de sus características esenciales, como consistencia, resistencia, módulo de elasticidad, capilaridad y retracción.

Las características y el uso de los adhesivos para materiales de revestimientos suelen estar normados de modo diferente dependiendo del país en cuestión (incluso a veces existen diferencias de una región a otra). Atenerse a dichas normas puede ser obligatorio en los respectivos países, dependiendo de que dicha norma forme parte o no de una norma que reglamente la construcción. Sin embargo, existen pocas normas relativas al método de adherencia directa de enchapes y están contenidos principalmente en las ordenanzas de la construcción. Particularmente en Chile, estas normas no existen.

### 3.2 Criterios para la selección de los adhesivos

Un adhesivo debe cumplir como mínimo los siguientes aspectos:

- **Poder adhesivo:** resistir un esfuerzo cortante mínimo de 15 kgf/cm<sup>2</sup> a la rotura.
- **Resistencia al agua:** debe ser insoluble al agua después del fraguado.
- **Flexibilidad:** poseer un bajo módulo de elasticidad, para movimientos diferenciales.
- **Resistencia a las temperaturas:** deberá mantener sus propiedades en caso de elevadas temperaturas y no ser inflamables.
- **Seguridad:** ser atóxico, no inflamable, inodoro, no contaminante.
- **Trabajabilidad:** ser fácil de manipular, mezclar y aplicar.
- **Permanencia:** debe mantener sus propiedades físicas, y sobre todo adhesivas, a lo largo del tiempo.

### **3.3 Tipos de adhesivos para revestimientos exteriores de adherencia directa**

Existe una diversa variedad de tipos de adhesivos que pueden usarse para el uso del método de adherencia de directa para colocación de enchapes. Se detallará a continuación cada uno de estos tipos de adhesivos.

#### **3.3.1 Mortero tradicional de cemento mezclado con agua**

Hasta el reciente desarrollo y mejora del látex sintético, de los aditivos y adhesivos poliméricos o a base de resina epóxica, el cemento Pórtland mezclado con o sin arena y equilibrado con agua ha sido utilizado tradicionalmente como adhesivo para revestimientos exteriores.

Este tipo de mortero posee una buena resistencia al agua y es permanente, pero también muy frágil y tiene un bajo poder adhesivo, efectivo sólo sobre superficies minerales porosas y absorbentes. Sus cualidades de trabajabilidad escasas, sobre todo si se utiliza en capas finas.

Ventajas:

- Buena resistencia al agua
- Permanente

Desventajas:

- Frágil
- Bajo poder adhesivo
- Escasa trabajabilidad (sobre todo en capas finas)
- Se recomienda solo para método de moldeo negativo (ver 6.1.4)

#### **3.3.2 Mortero a base de cemento, modificado con polímero en polvo dispersivo**

Este tipo de mortero se encuentra disponible sólo como producto específico industrial. Por regla general, estos materiales se mezclan con agua potable; sin embargo, muchos morteros poliméricos en polvo dispersivo pueden mezclarse con aditivo de látex líquido, para mejorar así las prestaciones de éste (ver morteros a base de cemento modificados con látex). Estos morteros adhesivos se diferencian entre sí



sobre todo por el tipo y la cantidad polimérica contenida. Los resultados deberán atenerse a las normas ANSI A118.1 o A118.4.

***Tipos de polvo dispersivo (polimérico)***

- Celulosa modificada
- Acetato de polivinilo en polvo (PVA)
- Acetato de vinilo copolímero en polvo (EVA)
- Poliacrilato en polvo

Muchos morteros de cemento en polvo dispersivo existentes en el mercado no suelen ser adecuados para el revestimiento exterior de adherencia directa por diversas razones. Algunos de los polímeros utilizados, como los PVA, son hidrosolubles y pueden volver a emulsionarse tras un contacto prolongado con la humedad, provocando la migración del polímero y originando manchas, pérdida de elasticidad y de fuerza. Muchos de los productos conformes con las normas ANSI 118.1 para los adhesivos contienen sólo aditivos capaces de retener el agua, como la celulosa, que operan retención hídrica durante periodos prolongados de trabajo, aumentando de este modo las características de trabajabilidad del producto, aunque en realidad proporcionan una mejora mínima por lo que se refiere a fuerza y flexibilidad, si se comparan con los morteros de cemento tradicionales.

Los morteros modificados con EVA de conformidad con las normas ANSI 118.4 pueden requerir una formulación especial y variar según las cantidades de polvo polimérico, de modo tal de tener las características y propiedades físicas requeridas para la aplicación en fachadas. Algunos, si bien no todos los productos que utilizan polímeros EVA, no ofrecen una buena resistencia a la exposición prolongada a la humedad, por lo que no se aconsejan para aplicaciones en fachadas externas.

Si por una parte los adhesivos poliméricos dispersivos secos resultan económicos y fáciles de utilizar, por otra parte será necesario verificar con el fabricante su idoneidad para el uso de los mismos en fachadas externas, solicitando o efectuando directamente algunas pruebas que constaten las especificaciones declaradas por el propio fabricante.

Para cualquier tipo de mortero a base de cemento, modificado con polímero en polvo dispersivo se pueden establecer sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Gran trabajabilidad
- Mejor fuerza y flexibilidad (aunque solo ligeramente superior al mortero tradicional)

Desventajas:

- Solo se encuentra disponible como producto industrial.
- Con la humedad pueden originar manchas y pérdida de elasticidad y fuerza.

### **3.3.3 Mortero a base de cemento modificado, con polímero líquido (látex)**

Existe una gran cantidad de aditivos líquidos (específicos) que pueden utilizarse bien con cemento tradicional (y arena), bien con morteros de cemento en polvo, incluida la categoría que acabamos de describir de los morteros poliméricos en polvo dispersivo, para preparar un adhesivo destinado a materiales de revestimiento para exteriores. Como los productos poliméricos en polvo dispersivo, los aditivos líquidos se distinguen fundamentalmente por el tipo y la cantidad contenida de polímero, por ello la idoneidad y las prestaciones para el revestimiento de adherencia directa deberán verificarse con el fabricante.

#### ***Tipos de aditivos líquidos***

- Dispersiones acetato de vinilo.
- Dispersiones acrílicas.
- Látex estireno-butadieno.

Todos estos aditivos líquidos le dan al mortero las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Idóneos para usarlos en enchapes.
- Económicos.
- Alto poder adhesivo.
- Flexibles.

Desventajas:

- Su eficiencia es muy sensible a la calidad y cantidad de polímero que se le agrega, llegando incluso a ser de peor calidad con respecto a un mortero sin polímero.

Un error bastante común y generalizado es pensar que los polímeros acrílicos y el látex estireno-butadieno son superiores uno respecto al otro. No es verdadero. Ambos polímeros pueden ser formulados para tener un alto poder adhesivo y ser igualmente flexibles. La formulación de estos dos materiales será la que determine las prestaciones de uno y otro.

Se aconseja verificar la idoneidad de un aditivo a base de látex para la aplicación en fachadas externas junto con el fabricante mismo y efectuar o solicitar las pruebas pertinentes para verificar si las prestaciones declaradas por el fabricante coinciden con la realidad.

### **3.3.4 Adhesivos a base de resina epóxica**

Se trata de un tipo de adhesivo compuesto por un sistema de tres componentes: resina epóxica, líquidos endurecedores y un material inerte, como la arena de sílice. Los aditivos epóxicos conformes con la norma ANSI A118.3 contienen un 100% de sólidos epóxicos. Existen también versiones más económicas de los adhesivos epóxicos, conocidas como emulsiones epóxicas modificadas (disponibles en EUA y algunos países de la Comunidad Europea). Estas últimas, conformes con la norma ANSI A118.5, están compuestas por resinas epóxicas especiales y endurecedores, que son emulsionados con agua y mezclados después con mortero de cemento.

Cualquiera adhesivo de esta índole, cumple las siguientes características:

Ventajas:

- Gran poder adhesivo al cizallamiento y a la tracción.
- Buena flexibilidad para adaptarse al movimiento diferencial.
- Alta resistencia a las temperaturas.

Desventajas:

- Son bastante caros.
- La trabajabilidad con temperaturas frías o calientes puede provocar un retraso en la colocación.

Recomendación

- Usarlos para las construcciones con paredes con capa de aire intermedia, que utilizan el método de aplicación del adhesivo denominado de "encolado localizado" o por puntos (spot bonding) para la colocación de adherencia directa, mediante el cual sólo el 10 - 20% de la superficie del material de revestimiento entra en contacto con el adhesivo. Con este método se reduce el consumo por material y mano de obra.
- Usarlo como adhesivo adicional para los adhesivos más económicos a base de cemento.
- No usar de adhesivos epóxicos en zonas de clima frío, en las que el tipo de mampostería requiere una cobertura total por parte del adhesivo.

### **3.3.5 Adhesivos a base de silicona (estructural)**

La silicona estructural es una silicona especial con un módulo alto (rígido), y puede ser utilizada como adhesivo para el revestimiento exterior de adherencia directa. Los adhesivos a base de silicona estructural suelen emplearse en paredes huecas y con igualador de presión, que utilizan como substrato paneles de aluminio tubular o de acero ondulado.

Ventajas:

- Buena resistencia a los rayos ultravioletas.
- Buena flexibilidad incluso a temperaturas extremas.
- Gran poder adhesivo sobre vidrio y aluminio.

Desventajas:

- Existe algunos tipos de estas siliconas que sueltan ácido acético durante el fraguado pudiendo manchar el sustrato.
- Son de bajo modulo y muy flexibles, lo que para materiales pesados resulta inadecuado.

### **3.3.6 Morteros de cemento con agentes adherentes**

Los morteros de cemento tradicionales pueden ser ligados por medio de agentes aglomerantes o capas lechadas de material. Existen fundamentalmente tres tipos diversos de materiales aglomerantes: morteros líquidos a base de cemento, emulsiones a base de látex (látex sólo o mezclados con cemento/cemento-arena) y resinas epóxicas. Estos materiales deben satisfacer los requisitos ASTM C1059 para los agentes aglomerantes a base de látex y ASTM C881 para las resinas epóxicas.

Los materiales aglomerantes suelen aplicarse tras la preparación del sustrato y justo antes de la aplicación de los morteros de nivelación o del revestimiento. Se aplica vigorosamente con una brocha una capa fina de lechada (3 milímetros como máximo y de consistencia mojada, cremosa) sobre la superficie del sustrato y la colocación se efectúa con el mortero líquido aún mojado y pegajoso.

Las emulsiones a base de látex pueden ser de estireno-butadieno o bien acrílicas, pero no deben utilizarse agentes aglomerantes solubles a base de acetato de polivinilo PVA.

Ventajas:

- Mejora la adherencia de un mortero tradicional.
- Rápida aplicación.

Desventajas:

- Cuando se usa resina epóxica, se puede crear una barrera de vapor que puede provocar exfoliación, por lo cual hay que tener las condiciones para que esto no ocurra.

- No están diseñados para mejorar un sustrato de baja calidad.

### 3.3.7 Resumen comparativo

Tipo adhesivo	Ventajas	Desventajas
Mortero tradicional mezclado con agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia al agua</li> <li>• Se comporta de buena forma en el tiempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frágil</li> <li>• Poder adhesivo limitado</li> <li>• Escasa trabajabilidad</li> <li>• Limitado uso</li> </ul>
Mortero con polímero en polvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran trabajabilidad</li> <li>• Flexible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo se obtiene como producto industrial</li> <li>• Reacciona negativamente con la humedad</li> </ul>
Mortero con polímero líquido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto poder adhesivo</li> <li>• Flexible</li> <li>• Económico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es muy sensible a la calidad y cantidad del polímero.</li> </ul>
Adhesivo de resina epóxica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran poder adhesivo, tanto a cizalle como a tracción.</li> <li>• Muy flexible al movimiento diferencial</li> <li>• Resistente a temperaturas extremas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene un alto costo</li> <li>• Pierde laborabilidad a temperaturas muy altas o muy bajas, retrasando la colocación.</li> </ul>
Adhesivos en base a silicona	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a rayos U.V.</li> <li>• Flexible aun con temperaturas extremas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden llegar a manchar el sustrato</li> <li>• La gran flexibilidad es contraproducente para materiales pesados</li> </ul>

Tabla 3.3.1: Resumen comparativo para cada tipo de adhesivo.

### **3.4 Morteros premezclados**

Los morteros premezclados del cual se hablará a continuación, caen en la clasificación de *Morteros tradicionales de cemento mezclado con agua*, por lo cual aplican para todos los antecedentes, ventajas y desventajas expuestas en el punto 3.3.1.

#### **3.4.1 Premezclado seco en Obra**

La investigación y desarrollo de maquinas mezcladoras permite incorporar la mecanización en el mezclado de morteros. Los primeros intentos se han orientado a producir la mezcla del cemento y la arena en obra.

Realizando la medición de materias primas mediante volumen controlado, o peso en el mejor de los casos, y mezclando en betoneras se centraliza el mezclado de morteros en seco, los que se distribuyen a los distintos frentes, depositándolos en bateas donde los albañiles agregan el agua de amasado y efectúan manualmente el mezclado final.

Estos métodos permiten un mejor control de la dosificación y el mezclado de cemento con la arena, no así el control de humedad del árido, ni de la cantidad de agua de amasado, ni del mezclado final. El empleo en obra de arenas húmedas, aun con una humedad muy variable, da lugar al fraguado del cemento, limitando el tiempo de traslado y aplicación del mortero restante.

#### **3.4.2 Premezclado húmedo en Obra**

También se ha experimentado en obra centralizando la preparación de morteros húmedos, procurando controlar el fraguado mediante aditivos. Aquí se presenta la dificultad que, siendo artesanal el transporte y la puesta en obra, los tiempos de aplicación son muy variables, requiriéndose por lo tanto mayores y variados tiempos de fraguado de las mezclas.

#### **3.4.3 Premezclado húmedo en Planta**

Para obras grandes, en que se requieren volúmenes importantes de mezcla, se puede aplicar el mortero húmedo premezclado en planta, del mismo modo que

hormigón premezclado. De hecho, son las plantas hormigoneras las que iniciaron la producción de estas mezclas, a las que denominaron "morteros de larga vida".

La producción de morteros húmedos en planta presenta las ventajas de contar con arenas de calidad controlada, aditivos diseñados específicamente para aplicación, dosificaciones estudiadas y probadas en laboratorio, asesoría técnica, medición de materiales en peso, mezclado enérgico y un alto rendimiento. Al mismo tiempo se cuenta con transporte mecanizado en camiones mixers a depósitos centralizados en obra, o bien distribución a los frentes de trabajo mediante sistema de bombeo.

#### **3.4.4 Premezclado seco en Planta**

La necesidad de morteros de calidad uniforme, en grandes cantidades, que facilitará los procesos de almacenamiento, traslado y puesta en obra, impulsó el arrollo de morteros secos premezclados en planta mediante sistemas industrializados.

Estos morteros presentan ventajas adicionales, ya que permiten un procesamiento controlado de los áridos, tanto en su granulometría y limpieza como en su secado (que era el punto débil de los morteros premezclados en obra) y, al igual que las plantas hormigoneras, cuentan con aditivos adecuados, diseño y control de mezclas en laboratorio, medición de materias primas en peso, mezclado mecanizado y asesoría técnica.

Inicialmente, estos morteros se proveen solamente en sacos, los que en obra se distribuyen a los frentes de colocación donde normalmente se agrega el agua y se mezcla a pala, o bien con mezcladores mecánicos.

Posteriormente se ha incorporado el transporte a granel, empleando técnicas y equipos utilizados de la industria cementara, lo que permite aumentar rendimientos y volúmenes de puesta en obra.

Originalmente este tipo de mezclas se utilizaba en aplicaciones especializadas, pero la necesidad de contar con mortero de calidad controlada en obras comunes ha llevado a la producción industrializada de morteros premezclados para una gran variedad de aplicaciones, tales como:

- Estucos corrientes.
- Estucos impermeables.
- Pega de albañilería.



- Pega de placas cerámicas.
- Afinado de pisos.
- Sobrelosas.
- Revestimiento de paneles livianos con malla de refuerzo.
- Morteros texturados.
- Morteros pigmentados.

### ***3.4.5 Conceptos relacionados con las características de puesta en obra de los morteros de pega premezclado***

#### ***Tiempo abierto***

Es el tiempo disponible entre el momento en que la mezcla se extiende sobre el soporte y el momento en que el mortero ha perdido su capacidad para pegar adecuadamente. Se distingue el tiempo abierto teórico determinado en laboratorio en condiciones de temperatura y humedad determinadas, tiempo abierto práctico, tal como lo indica el fabricante, que hay que respetar en la obra y que es función de las condiciones de temperatura y de higrometría de la obra.

#### ***Duración de vida de la mezcla (Pot-life)***

Tiempo durante el cual la pasta amasada a temperatura ambiente puede extenderse y ser mezclada de nuevo en el recipiente de mezcla (para los productos que se mezclan en obra, es decir, con el agua de amasado, en el caso de los morteros a base de cemento).

### ***3.5 Importancia de industrialización de morteros.***

Cuando se dispone de los recursos adecuados para una ejecución industrializada de las faenas de morteros, en cuanto Proyecto (especificaciones y normas técnicas), Planificación de Obra, Mano de Obra, Materiales, Equipos, Instalaciones, etc. se pueden obtener importantes ventajas, como:

- Disminución de tiempos de ejecución
- Aumento de rendimientos
- Disminución de la variabilidad en la calidad de los morteros
- Especialización de la mano de obra
- Reducción de la cantidad de mano de obra
- Reducción en pérdidas de materiales
- Mayor limpieza de la operación
- Menor riesgo de contaminación de las mezclas
- Disminución de errores de ejecución
- Se evitan operaciones de reparación, por ejemplo de fisuras, sopladuras, contaminaciones
- Liberación de equipos de uso general, como grúas, montacargas, capachos etc.
- Eliminación de operaciones complementarias, como harneo de arena, revoltura manual, etc.

Todo lo anterior se traduce en mayor calidad y productividad de la obra, menores gastos generales, menores costos financieros y mayor competitividad del contratista.

### ***3.6 Morteros predosificados para pega de enchapes utilizados en Chile***

Se presenta a continuación, los productos más utilizados actualmente para la pega de enchapes cerámicos.

#### ***3.6.1 Cementos Melón: Pega enchapes PRESEC***

Los productos predosificados presec se presentan en seco. Existen diferentes tipos de mortero pega enchape de este fabricante, que se presentan a continuación.

NOTA: Para todos los productos PRESEC, aplica lo siguiente:

- Resistencia característica: Resistencia a la compresión medida a los 28 días.
- Productos diseñados según NCh 2256/1 "Morteros - Requisitos Generales".
- Todos los valores fueron obtenidos en condiciones de laboratorio.

- La calidad final del producto instalado está sujeta a una correcta preparación, aplicación y cuidados posteriores en obra.
- Bandas Granulométricas según NCh 2256/1.
- Producto certificado como prácticamente impermeable según método DICTUC.

- **A-13 Pega Enchapes**

Presec A-13 es un mortero diseñado especialmente para pegar enchapes de arcilla en sustratos verticales, tanto en interior como en zonas exteriores. Además, gracias a su formulación y continuidad de áridos, este mortero está certificado como prácticamente impermeable, por lo que se recomienda para aplicaciones en fachadas.

#### **Características técnicas**

<i>Resistencia característica</i>	:	80 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Resistencia a la tracción (adherencia)</i>	:	3 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Tamaño máximo nominal</i>	:	2,50 mm.
<i>Grado resistencia hidráulica</i>	:	6 - 7
<i>Retentividad</i>	:	Grado 1 (>70%)
<i>Rendimiento saco 45 kg.</i>	:	27 ± 1 lt/saco
<i>Dosis de agua saco 45 kg.</i>	:	7,5 ± 0,5 lt/saco
<i>Consistencia</i>	:	Plástica
<i>Espesor de aplicación</i>	:	10 - 25 mm.
<i>Suministro</i>	:	Saco de 45 kg. / Silos en obra

- **A-17 Pega Carga Enchape**

Presec A-17 es un mortero de cemento predosificado en seco, diseñado especialmente para pegar enchapes en sustratos verticales con problemas de aplome. Su tamaño máximo nominal, y los aditivos que contiene, permiten cargas superiores a los 25 milímetros de una vez, con lo cual es posible corregir el aplome del paramento. Al igual que el mortero A-13, por su formulación y continuidad de tamaño de áridos, este mortero está certificado como impermeable, por lo que se recomienda para aplicaciones en fachadas.

### Características técnicas

<i>Resistencia característica</i>	:	80 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Resistencia a la tracción (adherencia)</i>	:	3 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Tamaño máximo nominal</i>	:	8 mm.
<i>Grado resistencia hidráulica</i>	:	6 - 7
<i>Retentividad</i>	:	Grado 1 (>70%)
<i>Rendimiento saco 45 kg.</i>	:	24 ± 1 lt/saco
<i>Dosis de agua saco 45 kg.</i>	:	5,5 ± 0,5 lt/saco
<i>Consistencia</i>	:	Plástica
<i>Espesor de aplicación</i>	:	20 - 35 mm.
<i>Suministro</i>	:	Saco 45 kg. / Silos en obra

- **A-42 Pega Enchapes Alta Adherencia**

Presec A-42 es un mortero predosificado en base a cemento, diseñado para la instalación de enchapes menos absorbentes o de mayor tamaño que los tradicionales utilizados para fachadas o interiores. Por su alto contenido de aditivos, este mortero adhesivo permite fijar en forma casi instantánea las unidades o enchapes. Además alcanza valores de adherencia muy superiores a los especificados para revestimientos tradicionales, haciéndolo altamente recomendado en caso de aplicación en superficies poco rugosas.

### Características técnicas

<i>Resistencia característica</i>	:	100 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Resistencia a la tracción (adherencia)</i>	:	8 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Tamaño máximo nominal</i>	:	1,25 mm.
<i>Grado resistencia hidráulica</i>	:	6 - 7
<i>Retentividad</i>	:	Grado 1 (>70%)
<i>Rendimiento saco 45 kg.</i>	:	27 ± 1 lt/saco
<i>Dosis de agua saco 45 kg.</i>	:	9 ± 0,5 lt/saco
<i>Consistencia</i>	:	Plástica
<i>Espesor de aplicación</i>	:	5 - 15 mm.
<i>Suministro</i>	:	Saco de 45 kg.

- **A-43 Pega carga enchapes alta adherencia**

Este mortero es similar al anterior, pero de mayor tamaño de árido, por lo que resulta conveniente para aplicación donde se requieran espesores mayores, de entre 10 a 25 milímetros.

#### **Características técnicas**

<i>Resistencia característica</i>	:	100 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Resistencia a la tracción (adherencia)</i>	:	8 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Tamaño máximo nominal</i>	:	2,5 mm.
<i>Grado resistencia hidráulica</i>	:	6 - 7
<i>Retentividad</i>	:	Grado 1 (>70%)
<i>Rendimiento saco 45 kg.</i>	:	27 ± 1 lt/saco
<i>Dosis de agua saco 45 kg.</i>	:	9 ± 0,5 lt/saco
<i>Consistencia</i>	:	Plástica
<i>Espesor de aplicación</i>	:	10 - 25 mm.
<i>Suministro</i>	:	Saco de 45 kg.

#### **3.6.2 Cementos Bío- Bío: Pega enchapes DRYMIX**

Es un mortero predosificado en seco, especialmente formulado para pegar enchape de arcilla cocido. Todos sus componentes son objeto de un control de calidad sistemático, basado en la norma NCh 2256/1.

#### **Características técnicas**

<i>Granulometría de diseño (ASTM C-33)</i>	:	0 – 1,2 mm.
<i>Densidad Mortero Fresco</i>	:	2 [kg / lt o ton/m <sup>3</sup> ]
<i>Resistencia compresión</i>	:	80 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Adherencia 28 días</i>	:	1,5 kg/cm <sup>2</sup> (enchape)
<i>Adherencia 28 días</i>	:	2,0 kg/cm <sup>2</sup> (sustrato)
<i>Retención agua</i>	:	70%
<i>Rendimiento saco 45 kg.</i>	:	25,2 lt/saco
<i>Rendimiento saco 25 kg.</i>	:	14,0 lt/saco
<i>Dosis de agua saco 45 kg.</i>	:	7,7 lts.
<i>Dosis de agua saco 25 kg.</i>	:	4,3 lts.

Suministro

: Saco de 45 y 25 kg. / Silos  
de aproximadamente 20 Ton

### 3.6.3 Resumen morteros premezclados

Mortero Característica	Presec A-13	Presec A-17	Presec A-42	Presec A-43	Drymix
Resistencia característica [Kg/cm <sup>2</sup> ]	80	80	100	100	80
Resistencia adherencia [Kg/cm <sup>2</sup> ]	3	3	8	8	1,5
Tamaño máximo nominal [mm]	2,5	8	1,25	2,5	1,2
Grado de resistencia hidráulica	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7
Retentividad	Grado 1	Grado 1	Grado 1	Grado 1	Grado 1
Rendimiento saco 45 kilos [litros/saco]	27 ± 1	24 ± 1	27 ± 1	27 ± 1	25 ± 1
Dosis agua saco 45 kilos [litros/saco]	7,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5	9 ± 0,5	9 ± 0,5	7,7

## Capítulo 4: Criterios para la selección de revestimientos

### **4.1 Consideraciones generales.**

El revestimiento exterior es, de entre las partes que componen un edificio, la que queda expuesta a las condiciones más extremas. La mayoría de los materiales utilizados suelen ser adecuados para el revestimiento en exteriores, no existiendo una fórmula estándar o consejos especiales a seguir en la elección de un revestimiento exterior. La elección debe realizarse sobre la base de una valoración de las características individuales de funcionalidad y estética de cada uno de estos materiales de revestimiento. Una discusión respecto a los valores estéticos de los distintos materiales de revestimiento puede resultar del todo subjetiva y, en cualquier caso, va más allá del aspecto técnico que incluye esta investigación. Este capítulo se centra fundamentalmente en los criterios funcionales necesarios para determinar si las características físicas de un material de revestimiento pueden satisfacer los requisitos de funcionalidad del proyecto y del emplazamiento de la fachada de un edificio. Si bien es cierto que todo edificio es único en sí mismo, podrán seguirse los criterios presentados seguidamente para determinar la idoneidad funcional general de los revestimientos y en particular de los enchapes cerámicos.

### **4.2 Criterios para la selección del material de revestimiento**

Se presentan a continuación los factores más relevantes a la hora de escoger un material de revestimiento:

- **Bajo grado de absorción del agua (o porosidad):** es la cantidad de agua que puede ser absorbida a través por los poros del revestimiento. Es la diferencia porcentual entre el peso seco y saturado del material. Algunas empresas proveedoras de enchapes incluyen en sus catálogos el grado de absorción del producto. Es recomendable un mayor grado de absorción, pues da más resistencia al congelamiento, ataques químicos y resistencia a la rotura. Sin embargo, una baja absorción puede provocar una pérdida de adherencia.

- **Compatibilidad de movimiento térmico (entre adhesivo y substrato):** debe existir compatibilidad en los movimientos de expansión y contracción provocados por temperatura. Si es diferencia es muy grande, los esfuerzos excesivos pueden provocar una separación de los materiales. Como el comportamiento térmico no es posible controlarlo, esto se convierte en un problema. En la tabla nº 5.1 (capítulo substratos) se muestra los grados de movimiento térmico típicos de los materiales utilizados normalmente para el revestimiento de fachadas externas.
- **Elevada resistencia a la rotura:** es un factor clave. Si bien el revestimiento puede parecer frágil al manipularlo, una vez adherido a la pared el material sube su resistencia a la rotura por tracción 10 veces.
- **Resistencia a los ataques químicos:** debe ser capaz de resistir los ataques químicos que se usan en la limpieza y mantenimiento de la pared y su entorno, así que como los agentes transportados por el aire.
- **Resistencia al impacto térmico:** son los cambios extremos de temperatura que sufre la fachada de un edificio, en breves periodos de tiempo. Nótese que distintas orientaciones de fachadas pueden estar expuesta a no a estos cambios.
- **Compatibilidad con los adhesivos:** los adhesivos deben ser compatibles con el material del revestimiento y la superficie del muro. Además no deben ser capaces deben manchar el revestimiento. En el Capítulo 3 – Adhesivos, se pueden encontrar más detalles de este punto.
- **Estabilidad dimensional:** se refiere a la sensibilidad al calor y a la humedad del revestimiento. Los enchapes de de arcilla sufren una expansión volumétrica permanente tras una exposición prolongada a la humedad, por lo cual hay ponerle atención a este tema.
- **Resistencia a los climas fríos:** esta relacionada con la absorción de agua. Cualquier material que tenga una absorción menor al 3%, es capaz de resistir las



heladas. Sin embargo, los enchapes (y en general cualquier ladrillo) pueden tener una absorción mayor al 3% y aun así ser resistentes a las heladas. No obstante, una alta absorción del agua reducirá la duración y la resistencia a la intemperie en general. El pulido de una superficie de piedra podrá reducir la porosidad de la superficie y aumentar su resistencia a la intemperie.

- **Calidad dimensional y superficial:** los enchapes son productos manufacturados, por lo que las tolerancias dimensionales y superficiales requeridas pueden garantizarse mediante una selección de los materiales de acuerdo con las normas establecidas. En Chile no hay normativas que establezcan los parámetros mínimos a cumplir los enchapes, por lo cual los fabricantes han adoptado cumplir los requisitos de la norma NCh169 “Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos”. Internacionalmente, existe la norma ASTM C1088 Tipo TBX, Norma para los revestimientos con ladrillos de arcilla o pizarra, regula la tolerancia y las dimensiones de la superficie.
- **Parte posterior del enchape:** es aconsejable que la parte posterior del material de revestimiento tenga una configuración de cola de milano (llamado "keyback" en la literatura en inglés). Esta configuración provoca un bloqueo mecánico con el adhesivo. También es recomendable que el material de revestimiento posea acanaladuras o nervaduras, dándole así un factor de seguridad adicional en caso de que el adhesivo no aguante. En Chile, los proveedores de enchapes se preocupan de hacer sus productos con este tipo de configuración en su parte posterior, no siendo una exigencia normativa para el país ni para ningún país, salvo Japón.

#### **4.3 Enchapes cerámicos de arcilla**

Los enchapes de arcilla permiten al arquitecto combinar el agradable efecto visual del ladrillo tradicional con la versatilidad y el bajo coste de un ladrillo de escaso espesor, fijado directamente a una pared de apoyo ligera pero muy robusta.

#### **4.3.1 Elección de enchapes**

Las medidas, forma, colores y grado de absorción de los enchapes varían considerablemente según su procedencia y calidad. Resulta conveniente entonces, contactarse con los proveedores del producto durante la fase de proyecto de un edificio, para determinar que tipo de enchape es compatible e ideal para usarlo como revestimiento en la obra particular en cual se esta llevando a cabo la faena.

Los enchapes típicos en el mercado chileno suelen tener espesores que van desde los 5 a los 20 milímetros, en diversas medidas, formas y texturas. Como se menciono anteriormente, para apoyarse en el análisis de la calidad de los enchapes de arcilla, existe la norma C1088 Tipo TBX Exterior de la ASTM, norma para chapeado con enchapes de arcilla o pizarra (aplicaciones externas). Las medidas de los lados suelen ser las mismas de los ladrillos convencionales, siendo la más común para la cara a la vista del enchape la medida de 24 x 5,5 centímetros. Los enchapes más anchos, denominados "unidades económicas o gigantes", se encuentran disponibles en medidas de hasta 43 x 13 centímetros; éstos aumentan la productividad, reduciendo el número de juntas. Sin embargo, este tipo de enchapes es fabricados sólo por un número limitado de empresas.

Las tolerancias dimensionales de los enchapes varían considerablemente con ciertos productos, es por ello que algunos tipos de enchapes pueden no resultar adecuados para ciertos métodos de colocación del material, como la de paneles prefabricados (sobre todo los de hormigón). Por ejemplo, los enchapes que se adhieren a los paneles prefabricados de hormigón con el método de moldeo negativo, requieren que el enchape posea unas dimensiones específicas para permitir el uso de mallas preformadas, necesarias para colocar correctamente los enchapes durante el moldeo.

Es necesario tener presente que pueden producirse cambios en el color del enchape o aparecer defectos en la superficie, por lo que es muy importante pre-posicionar los enchape antes de la colocación para uniformar de este modo el efecto visual final.

#### **4.3.2 Consideraciones relativas al uso del adhesivo**

Pese a la existencia de la cola de milano en la parte posterior del enchape, la adherencia entre esa zona y el substrato varía según el grado de absorción de la arcilla.

Un bajo grado de absorción por parte del enchape da mayor duración al material, pero reduce el bloqueo mecánico con el adhesivo. Por el contrario, los enchapes con un alto grado de absorción originarán una rápida pérdida del agua necesaria para una justa hidratación de los adhesivos a base de cemento.

Los enchapes que tengan entre un 6% y 9 % de absorción por peso, proporcionan un buen equilibrio entre duración y potencial adhesivo. Grados mayores de absorción pueden requerir que la superficie sea mojada antes de la colocación, pudiendo no ser adecuados en zonas con un clima húmedo.

#### **4.3.3 Expansión y contracción del enchape**

Los enchapes de arcilla, y cualquier material tipo ladrillo de arcilla, aumentan permanentemente de volumen, ya que absorben la humedad atmosférica cuando salen del horno tras la cocción. El coeficiente total de expansión por humedad aconsejado por el Brick Institute of America (Instituto americano del ladrillo) es de entre  $3$  a  $4 \times 10^4$  pulgadas por pulgada de longitud. Los factores que influyen en la expansión por humedad son:

- **Tiempo de exposición:** el 40% de la expansión total se produce durante los tres primeros meses desde la cocción y el 50% se produce durante el primer año tras la cocción.
- **Tiempo de instalación:** la expansión por humedad depende de la edad del ladrillo y de su potencial restante de expansión.
- **Temperatura:** el grado de expansión aumenta con el aumento de temperatura, en presencia de humedad.
- **Humedad:** el grado de expansión aumenta con la humedad relativa. Los cerámicos expuestos a una humedad relativa del 70% tendrán un grado de expansión de dos a cuatro veces superior.

Además de la expansión permanente debida a la humedad, los enchapes pueden sufrir también una expansión y contracción estacional reversible debido a las variaciones del aire ambiental y de la temperatura de la superficie. No es difícil que la

superficie de un enchape alcance los 75°C durante los días calurosos de verano y -5°C durante las frías noches invernales.

#### ***4.4 Tipos de enchapes presentes en el mercado chileno.***

Se presentan en el anexo los tipos de enchapes presentes en el mercado, para cada empresa manufacturadora de enchapes de arcilla.

## **Capítulo 5: Substratos**

### **5.1 Criterios para la selección de substratos**

Además de ser la superficie sobre la que se fija el material de revestimiento por medio de adhesivos, el substrato constituye el principal componente portante de la pared exterior.

Las superposiciones de otros materiales sobre el primer substrato, como pueden ser las membranas impermeables, pueden considerarse también un tipo de substrato. Los materiales superpuestos pueden proporcionar características más interesantes como una mayor finura, dureza o durabilidad, así como una mayor resistencia al agua.

Existen varios tipos de substratos adecuados para la utilización conjunta con los sistemas de revestimiento exterior. El proceso de selección del substrato debería partir de una valoración genérica de las propiedades del mismo y del grado de compatibilidad con el método de revestimiento para exteriores. Los criterios detallados a continuación se consideran propiedades importantes que un substrato para el revestimiento de adherencia directa debe tener:

#### **5.1.1 Densidad**

La densidad de un material se define como el peso por unidad volumen expresado en gramos/cm<sup>3</sup> u otra unidad. Muchas propiedades físicas del substrato dependen de su densidad. En general, al aumentar la fuerza de densidad y el módulo de elasticidad (rigidez) de un material, disminuyen la estabilidad dimensional y la porosidad.

#### **5.1.2 Porosidad**

Los substratos porosos suelen ofrecer una mayor facilidad de adherencia respecto a los no porosos. Cuando un adhesivo logra penetrar en los poros del material, el área efectiva de contacto es mayor. Este concepto adquiere gran importancia al hablar de los adhesivos a base de cemento utilizados comúnmente en los sistemas de

revestimiento de fachadas. La estructura porosa abierta no sólo facilita la penetración de la pasta cementosa aumentando el área de contacto, sino que permite que dentro de los poros del sustrato se produzca una cristalización, provocada por la hidratación del cemento. Este proceso comporta un efecto de bloqueo mecánico además de una fuerte adherencia. La porosidad facilita también la eliminación de los disolventes o del agua en exceso y ayuda a reforzar el conjunto.

Sin embargo, una porosidad elevada puede también ser causa de una migración excesiva de la humedad de hidratación, produciendo lo que comúnmente se denomina una capa adhesiva "empobrecida".

### **5.1.3 Características de la superficie**

La capacidad de una superficie de ser empapada por un adhesivo es fundamental para lograr una buena adherencia e importante para determinar la compatibilidad entre los adhesivos y los sustratos. Ello significa que el sustrato debe ser de un material que posea una porosidad y consistencia superficial equilibrada y también que la superficie debe estar limpia de todo tipo de contaminación, como pueden ser suciedad y polvo, que podrían obstaculizar la penetración de líquido y el contacto con el adhesivo. La tolerancia de planeidad (*ver 5.3.2*) o finura de la superficie de un sustrato (así como de la superficie del revestimiento) juegan también un papel fundamental por lo que respecta al justo contacto y a la justa penetración del adhesivo.

### **5.1.4 Compatibilidad del adhesivo**

El material del sustrato debe ser compatible no sólo con la fijación del adhesivo, sino también con el tipo de adhesivo en cuestión. Ello significa que el material utilizado como sustrato debe poseer una buena calidad de cohesión para resistir los esfuerzos de tracción y los esfuerzos cortantes y no deberá tener reacciones negativas con el adhesivo elegido. Del mismo modo, el material de revestimiento deberá ser compatible con la adherencia del adhesivo y el tipo de adhesivo.

Los materiales en base a cemento, nuestro objetivo de estudio, se distinguen por una extrema variedad de características físicas, sobre todo su grado de absorción de

agua y su estructura superficial, que requieren el uso de adhesivos con características específicas que se adapten a las de este tipo de materiales.

Además, todos los materiales presentan varios grados de sensibilidad a la humedad y los materiales que presentan una sensibilidad excesiva pueden estar sujetos a expansión o retracción, o incluso deterioro, lo que los convierte en materiales inadecuados para ser utilizados como sustratos para el revestimiento de fachadas.

La exposición a la humedad es un factor inevitable, por la infiltración de agua pluvial o debido al paso normal y condensación de vapor de agua a través de la pared exterior. Por lo tanto, es fundamental valorar la compatibilidad de la estabilidad dimensional del sustrato. Si por una parte el sustrato puede presentar una estabilidad dimensional aceptable, una valoración precisa del movimiento diferencial entre el sustrato, el adhesivo y el revestimiento, asegurará un mínimo esfuerzo, debida a las variaciones dimensionales.

#### ***5.1.5 Estabilidad dimensional (Movimiento térmico)***

El coeficiente térmico de expansión lineal de gran parte de los materiales utilizados en la construcción de edificios es un dato conocido o de fácil acceso. Estos datos permiten determinar que materiales para el sustrato podrían tener propiedades de movimiento térmico diversas a las del material utilizado para el revestimiento de adherencia directa. El análisis de la compatibilidad de movimiento térmico con los demás componentes de la pared es menos importante.

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de expansión térmico lineal [ 10<sup>-6</sup> mm/mm/°C]</b>
Granito	8-10
Mármol	4-7
Ladrillo	5-8
Mortero de cemento	10-13
Hormigón	10-13
Hormigón ligero	8-12
Bloques de hormigón celular	8-12
Acero	10-18
Aluminio	24
Cobre	17
Poliestireno	15-45
Vidrio	5-8
Madera fibra paralela	4-6
Madera fibra perpendicular	30-70

*Tabla nº 5.1: Valores de coeficiente térmico lineal para distintos materiales*

Por ejemplo, el aluminio tiene un movimiento igual a tres veces el del granito; lo que significa que por cada 30 metros, el aluminio tendrá una expansión aproximada de 25 milímetros más que la piedra caliza por 35° C de variación de temperatura (algo común en las fachadas expuestas al sol). El aumento excesivo de esfuerzo en los acoplamientos adhesivos entre estos materiales, incluso con adhesivos elásticos, podría provocar daños.

### **5.1.6 Rigidez (Módulo de elasticidad)**

El módulo de elasticidad es la medida de rigidez de un material. Al unir sustratos y revestimientos con valores de estabilidad dimensional y rigidez diferentes, la variación dimensional puede provocar tensión. Dicha tensión puede manifestarse mediante cizallamiento en la capa adhesiva, o bien mediante esfuerzos cortantes o de compresión en el sustrato. Si estas fuerzas están equilibradas, la adhesión del



conjunto de la pared con el revestimiento permanecerá estable. Las condiciones óptimas prevén que entre la rigidez de un substrato y la rigidez del revestimiento exista un equilibrio, para reducir al mínimo la retracción (por parte del revestimiento o del substrato) y, como consecuencia, el esfuerzo cortante, la tensión y la compresión.

<b>Material</b>	<b>E [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
Mampostería de ladrillo	30000 - 50000
Maderas duras (en la dirección paralela a las fibras)	100000 - 225000
Maderas blandas (en la dirección paralela a las fibras)	90000 - 110000
Acero	2100000
Hierro de fundición	1000000
Vidrio	700000
Aluminio	700000
Hormigón (varia según resistencia de este)	215000 - 390000

*Tabla nº 5.2: Valores de módulo de elasticidad para distintos materiales*

### **5.1.7 Costos, disponibilidad, condiciones del lugar de la obra**

Las variaciones regionales existentes con respecto a los costos, al material y a la disponibilidad de la mano de obra pueden hacer que ciertos substratos resulten más adecuados que otros.

Algunos factores, como la tecnología limitada de los equipos y materiales de construcción, así como la experiencia con ciertas técnicas y materiales necesarios, pueden condicionar también la idoneidad de ciertos substratos. Por ejemplo, un substrato utilizado habitualmente para el revestimiento de adherencia directa es el enlucido de cemento con arena aplicado sobre una mampostería de soporte realizada con ladrillos de arcilla relativamente delgados. Este tipo de substrato se denomina "pared de barrera", y por consiguiente resulta imprescindible el uso de materiales "secundarios" como selladores, membranas de escurrimiento y membranas impermeabilizantes, para evitar que el agua se infiltre provocando problemas de expansión por humedad en la mampostería de arcilla, deterioro de la pared interna y eflorescencia. Muchos de estos materiales "secundarios" no se encuentran listos para el uso, y su definición y empleo en el sistema de revestimiento de adherencia directa no

son muy sencillos. No sólo el proyectista deberá conocer perfectamente los detalles y las características de estos materiales, sino también el propio constructor, para asegurar de este modo la justa disponibilidad y el uso consciente de dichos materiales, antes de empezar la obra.

### **5.1.8 Resumiendo**

Podemos ahora establecer claramente los requisitos mínimos que deberá tener el substrato para realizar una correcta colocación del revestimiento.

- *Porosidad:* debe tener una porosidad adecuada de forma que exista una mayor superficie de contacto y se produzca la cristalización de la hidratación del cemento. Sin embargo, el exceso de porosidad puede provocar una pérdida de la humedad de hidratación.
- *Superficie:* debe estar limpia de contaminación y cumplir el requisito de planeidad.
- *Compatibilidad del adhesivo*
- *Estabilidad dimensional y modulo de elasticidad:* el movimiento térmico de los materiales y modulo de elasticidad de los materiales involucrados deben ser compatible entre si.

### **5.2 Tipos de substratos**

Se presenta a continuación una lista que incluye muchos de los substratos donde es posible utilizar revestimientos.

#### ***Substratos comunes para el revestimiento exterior de adherencia directa***

- Hormigón
  - Hormigón moldeado en el lugar
  - Paneles prefabricados de hormigón
  - Paneles prefabricados de hormigón reforzados con fibra de vidrio (GFRC)

- Unidades de albañilería de bloques
  - De hormigón (CMU)
  - Materiales inertes peso estándar
  - Materiales inertes ligeros
  - Celulares (hormigón de cemento aireado)
  
- Unidades de albañilería de arcilla
  - Ladrillos
  - Ladrillos de arcilla con orificios
  
- Enlucidos/revoques de cemento (ligado o no ligado sobre red metálica)
- Unidades con tablas de cemento (CBU))
  - Tabla de cemento
  - Panel de fibra de cemento
  - Panel silicato cálcico
  
- Láminas de acero ondulado
- Revestimiento celular
  - Láminas de fibra de vidrio tubular
- Materiales de recubrimiento
  - Membranas impermeables
  - Estratos adhesivos finos/ligeros
  - Enlucidos

Estos son los diversos sustratos en cual se puede poner el revestimiento. Sin embargo, en este estudio solo se le dará énfasis a instalación de revestimientos en hormigón.

### ***5.3 Preparación del sustrato: requisitos generales de construcción***

El factor principal a respetar en la colocación de cualquier material con un adhesivo es que la adherencia sea de la misma calidad que los materiales y superficies

que deben ser unidos. Ni los adhesivos más potentes ni la aplicación más atenta del mejor revestimiento podrían superar el obstáculo creado por un sustrato débil o sucio.

A continuación se presentara la información necesaria para identificar las características y los defectos comunes de la mayoría de los sustratos, así como las acciones preventivas y correctivas necesarias para una buena preparación de la superficie.

### **5.3.1 Valoración de las condiciones de la superficie**

El primer paso para la preparación del sustrato es la valoración del tipo de sustrato y las condiciones de su superficie. Ello comprende la planeidad (o desviación de la planeidad) y la verticalidad (o desviación de la verticalidad), la identificación de defectos generales, tales como la contaminación debida al aire, y de defectos específicos del sustrato o del lugar de la obra.

### **5.3.2 Tolerancia de planeidad**

La superficie del sustrato debe ser plana. La planeidad es una consideración importante para las fachadas revestidas con el método de adherencia directa que requiere el contacto total y la cobertura con adhesivos. Las desviaciones aceptables, en países como Estados Unidos y de Europa, son de 3 milímetros en 3 metros. Sin embargo, en Chile se utiliza mucho el corregir (con la carga de pega) desviaciones de hasta 1 centímetros en 3 metros.

En caso de existir desviaciones mayores, éstas podrían impedir la justa absorción del adhesivo por parte del revestimiento, pudiendo provocar numerosos problemas, siendo el más grave ellos el de una adhesión incorrecta.

Para la superficie de adhesión del revestimiento también es exigible una tolerancia que tiene directa relación con la carga de adhesivo que será necesaria para obtener un paño con las características de planeidad indicadas en el párrafo anterior.

La mayor parte de los revestimientos cerámicos, adecuados para el revestimiento de fachadas externas, se calibran de modo preciso; la tolerancia de 3 milímetros, con respecto al modulo del revestimiento, corresponde a la desviación de espesor

considerada aceptable para la mayoría de las piedras y enchapes utilizados en el revestimiento.

En caso de que se superen las tolerancias de planeidad del sustrato, será necesario efectuar una restauración, reconstrucción o reparación del sustrato esmerilando, o aplicando mortero o revoque de cemento para nivelar. Si por el contrario las desviaciones entran dentro de las tolerancias aceptables, será conveniente utilizar adhesivos respetando las limitaciones e indicaciones de espesor del fabricante, para eliminar así los defectos menores.

Las fachadas con revestimientos de adherencia directa realizadas con el método "spot bonding" (también conocido como "nivelación" o método "butterball", ver 6.1.3), que utiliza adhesivos de cemento y látex o a base de resina epóxica, pueden tolerar desviaciones mayores respecto a una superficie completamente llana.

La desviación máxima es una variable que debe ser tomada en consideración en el momento de decidir el espesor del revestimiento, al igual que las propiedades de trabajo del sustrato, la resistencia a la flexión y al pandeo y los costos del adhesivo específico.

### **5.3.3 Tolerancias de verticalidad**

Es fundamental verificar las tolerancias de verticalidad (plomo) previstas para una estructura antes de decidir si aplicar el método de adherencia directa en la instalación de enchapes.

Las normas industriales para las estructuras de hormigón limitan generalmente la tolerancia de verticalidad a 25 milímetros, pero las estructuras de acero pueden sufrir desviaciones de hasta 50 a 75 milímetros en 3 metros.

Algunas soluciones arquitectónicas o configuraciones murales pueden ser proyectadas para adaptarse a las variaciones extremas de verticalidad sufridas por la estructura; por ejemplo con canterías de separación entre paños que permitan absorber diferencias entre ellos, pero otras no pueden por condiciones de arquitectura.

La eventual corrección de las desviaciones de verticalidad debe considerar la regulación de la parte subyacente del sustrato y la conexión del mortero de nivelación que se emplee. En general para cargas de más de 2,5 centímetros debe emplearse

armaduras adicionales (mallas) que anclen mecánicamente la carga de nivelación a la estructura.

#### **5.3.4 Condiciones climáticas y del lugar de la obra**

Los factores mencionados a continuación valen para todo tipo de sustrato. Si bien el grado de preparación para corregir estas condiciones podrá variar dependiendo de la estructura superficial así como de otras propiedades físicas propias de los distintos materiales.

##### **5.3.4.1 Contaminación transportada por el aire**

Las superficies de las paredes de apoyo que deben recubrirse con el revestimiento estarán expuestas siempre a diversos grados de contaminación transportada por el aire, como por ejemplo el polvo y otras materias que, por lo general, abundan en las obras. Así por ejemplo, las obras que se encuentran cerca del mar, del desierto o de zonas industriales pueden verse afectadas por la sal, la arena o la contaminación transportadas por el aire debido a una lluvia ácida, sobre todo si entre la terminación del sustrato y la aplicación del revestimiento o del revoque de nivelación transcurre un periodo de tiempo significativo. Las capas finas de polvo pueden impedir una adherencia correcta, los depósitos de sal pueden originar un fino estrato de eflorescencia, y la arena transportada por el viento puede obstaculizar la "fijación" inicial de los adhesivos provocando un efecto de grumos esféricos al aplicar el adhesivo, haciendo que dicha operación resulte difícil.

Para preparar la base requerida para los sustratos será necesario efectuar un lavado con chorros de agua a alta presión (o bien a presión estándar con escobillado en caso de no disponer de agua a alta presión) para eliminar así todo aquello que pudiera obstaculizar la adhesión u originar otros problemas debidos a la contaminación de la superficie. En algunos casos la contaminación transportada por el aire es constante, requiriendo por lo tanto lavados frecuentes antes de la aplicación de revoques de nivelación o morteros adhesivos. Será necesario pues lavar el sustrato antes de aplicar el adhesivo; la única variable es el contenido de humedad y el tiempo de secado

del sustrato antes de la aplicación del adhesivo. El contenido de humedad y el tiempo de secado dependerán del tipo de adhesivo utilizado.

Con la mayoría de los adhesivos o morteros de nivelación a base de cemento, así como con los morteros de cemento y látex o los adhesivos a base de resina epóxica que no son afectados por la humedad, el sustrato podrá estar mojado (esta condición especial se denomina también "condición seca de superficie saturada", SSD), pero no con agua libre; una fina capa superficial de agua podría obstaculizar la fijación y la adherencia incluso en el caso de adhesivos de cemento que no son afectados por el agua o a base de resina epóxica.

Los adhesivos a base de silicona o a base de uretano necesitan, sin embargo, que la superficie esté totalmente seca, condición que puede lograrse transcurridos dos días con temperaturas y humedades relativas normales (20°C, 50% de humedad relativa), después de haber colocado una protección adecuada contra una ulterior contaminación.

#### **5.3.4.2 Contaminación de sales**

Las sales solubles, como el calcio o el cloruro sódico, pueden obstaculizar la adherencia inicial o comprometer la adhesión de los adhesivos a base de cemento o de morteros de nivelación. Existen varias situaciones que pueden originar estos problemas.

Las sales solubles, presentes en algunos materiales transportados por el aire o bien en otras fuentes de contaminación, pueden actuar como aceleradores, al entrar en contacto con adhesivos húmedos a base de cementos o morteros de nivelación. Esto comporta una fuerza de adhesión reducida, según el grado de contaminación.

Del mismo modo, la contaminación de sal de un sustrato puede favorecer la formación de eflorescencia sobre la superficie del sustrato, dando lugar a una exfoliación debida a la fuerza de expansión provocada por el crecimiento de cristales de sal. Existen pruebas químicas y equipos adecuados en el mercado para determinar la presencia de sales

#### **5.3.4.3 Contenido de humedad de los substratos**

Algunos materiales utilizados para pegar el revestimiento de paredes con el método de adherencia directa son afectados por la humedad.

Por ejemplo, la fuerza de los adhesivos a base de cemento puede verse reducida al ser aplicados sobre substratos mojados que están permanentemente recibiendo agua (por ejemplo sometidos a lluvia). Un substrato mojado favorece además la formación de eflorescencia.

Este aspecto resulta especialmente preocupante no sólo a causa de los periodos prolongados de exposición a las lluvias durante la construcción, sino también en algunas áreas de las fachadas que pueden estar expuestas a una creciente humedad a nivel de tierra, y en áreas en las que ciertas filtraciones debidas a un proyecto o construcción inadecuados provocan una humedad continua en el substrato.

Existen diversos métodos que pueden ser utilizados para determinar el contenido de humedad aceptable en un substrato antes de la aplicación de adhesivos que son afectados por la humedad. Medir el porcentaje de humedad no constituye una prueba significativa para los materiales a base de cemento. El método correcto consiste en medir la humedad relativa existente en el aire en equilibrio sobre una superficie.

#### **5.3.4.4 Temperatura de la superficie y del ambiente**

Las temperaturas muy bajas o muy altas durante la colocación del hormigón y la instalación de otros tipos de substrato pueden provocar numerosos defectos superficiales o internos al mismo substrato, tales como agrietamiento debido a la retracción, una capa superficial débil de hormigón endurecido debido a una evaporación prematura o daños debido a la congelación.

Las temperaturas ambientales extremas que afecten al substrato una vez fraguado, afectaran también a las propiedades normales de los adhesivos. Una temperatura elevada del aire (entre 25° y 35° C) y las temperaturas de la superficie (60 a 70°C) aceleran la fijación de los adhesivos de cemento, cemento y látex y epóxicos.

Lavar y humedecer las paredes, como se describió en el punto anterior, no sólo elimina la contaminación, sino que sirve también, en zonas calurosas, para bajar las temperaturas de la superficie para los morteros de cemento y látex y para humedecer en el caso de los adhesivos epóxicos resistentes a la humedad.



Asimismo, proteger las superficies puede ayudar también a bajar la temperatura de las mismas, pero si la temperatura del ambiente es superior a los 35° C, será preferible aplazar el trabajo con los adhesivos a un momento con temperatura más baja. En el caso de tener temperaturas muy bajas, también deben posponerse los trabajos.

#### **5.4 Características de substratos de hormigón moldeado in situ**

Las condiciones del hormigón formado verticalmente son extremadamente variables debido a numerosos defectos potenciales que pueden verificarse con los aditivos de la mezcla, la formación, el moldeo y el fraguado.

Algunos de los defectos más comunes del moldeo vertical de hormigón in situ y sus causas son las siguientes:

##### **5.4.1 Costra**

Este término se utiliza para evidenciar un defecto de las superficies de hormigón, en las que una fina capa de "descascarillado" de cemento Pórtland debilitado ha emigrado a la superficie, debido al agua en exceso o al aire, desde cavidades de aire no consolidadas.

Esta condición se advierte fundamentalmente en hormigones moldeados verticalmente, en los que el exceso de agua emigra por efecto de la gravedad, ayudada por la vibración del hormigón o por la presión del hormigón sobre la superficie del encofrado de la pared.

El agua en exceso queda atrapada de este modo entre el encofrado y la pared. Una vez evaporada esta agua en exceso, deja tras de sí una fina capa de lo que parece una superficie de hormigón endurecido, pero que en realidad es muy débil debido a una excesiva cantidad de agua en el cemento de la superficie. La costra tiene una resistencia a la tracción muy baja y por ello la adhesión de los enchapes (u otro revestimiento) o revoque de nivelación de cemento queda más bien limitada. Existen en el mercado productos específicos para el revestimiento interior de los moldajes para hormigón, capaces de drenar el agua en exceso y de optimizar la relación agua/cemento en proximidades de la superficie del hormigón. Estos productos eliminan la costra y los agujeros (ocasionados por cavidades de aire), eliminando además toda la

preparación ulterior necesaria para remover o reparar estos defectos antes de la instalación del revestimiento de adherencia directa sobre el hormigón.

#### **5.4.2 Carbonatación (Climas fríos)**

La carbonatación de una superficie de hormigón se produce cuando el bióxido de carbono existente en la atmósfera reacciona con el hormigón o el material a base de cementos mojados. Esta interrumpe el proceso de hidratación química del cemento, quitando resistencia a los materiales a base de cemento. Esto comporta una resistencia a la compresión y una carga de rotura de la superficie muy baja, posiblemente en aumento progresivo hacia las zonas internas, dependiendo de la duración de la exposición y del grado de concentración de bióxido de carbono en la atmósfera.

Por lo general esto sucede cuando las temperaturas del ambiente durante las fases de colocación y fraguado se encuentran bajo de los 5°C. Esto influye sólo sobre las superficies expuestas, de modo que los muros descimbrados prematuramente están expuestos a mayor riesgo que el hormigón vertical protegido por los encofrados. El efecto de la exposición es una función de la temperatura. La hidratación del cemento se interrumpe a los 0°C (temperatura de la superficie), al congelarse el agua necesaria para la hidratación; sin embargo, la hidratación empieza a retrasarse a partir de los 5°C. La concentración de bióxido de carbono puede aumentar cuando unidades provisionales de calentamiento no están convenientemente ventiladas fuera de una "cobertura" protectora durante las bajas temperaturas. La temperatura debería mantenerse constante por encima de los 10° C durante el moldeo, el descimbre y la instalación de productos a base de cemento.

#### **5.4.3 Formación de alvéolos**

Esto ocurre cuando el hormigón no se consolida adecuadamente con la vibración. Puede deberse a que las armaduras se encuentran demasiada cerca de los encofrados, provocando interferencia interior con el moldeo del hormigón durante el procedimiento de consolidación. También se produce cuando la mezcla es demasiado pobre o por exceso o incorrecto vibrado.

Estos vacíos deberán rellenarse de forma adecuada, usando un agente adherente, para de este modo asegurar la justa adhesión al hormigón, antes de aplicar cualquier material de revestimiento o revoque de cemento nivelador.

#### **5.4.4 Juntas frías (de construcción) inesperadas**

Las juntas frías inesperadas en las paredes verticales pueden dar lugar a una superficie debilitada, originando grietas de retracción, que se extenderán también a la superficie exterior del revestimiento. Estas son consecuencia de un secado demasiado rápido de la capa más externa de una pared de hormigón, generalmente debida a viento caliente y seco, o bien por la escasa consolidación (falta de penetración en la capa inferior fresca). Por lo general, esto suele ser producto de retrasos en la entrega del hormigón o averías en los equipos. Ello podrá ser evitado coordinando de modo oportuno las entregas de hormigón, efectuando un mantenimiento correcto de los equipos y utilizando correctamente los vibradores para hormigón.

#### **5.4.5 Superficies extremadamente lisas**

Los encofrados de acero o de otros materiales muy lisos pueden dar lugar a una superficie extremadamente lisa y densa, poco adecuada para la adherencia directa, puesto que este tipo de superficie no proporciona el enganche mecánico necesario para la fijación inicial, al aplicarse morteros a base de cemento. Además, este tipo de superficie no favorece la absorción del cemento ni el sucesivo efecto de bloqueo proporcionado por el crecimiento de los cristales de cemento dentro de los poros de la superficie. Los adhesivos epóxicos y a base de silicona sufren en menor grado este tipo de efecto, ya que no necesitan una estructura de poros abiertos.

#### **5.4.6 Residuos de desmoldantes**

En la actualidad existe en el mercado una amplia gama de desmoldantes que va desde el simple aceite para motores hasta los más sofisticados a base de agua.

Todo resto de desmoldante a base de aceite, así como cualquier otro producto que pueda impedir una buena adherencia, debe ser eliminado antes de aplicar el

revestimiento sobre el hormigón. Sin embargo, muchos de los productos disponibles suelen ser químicamente reactivos con los minerales presentes en el hormigón, o bien se disuelven automáticamente mediante oxidación, al ser expuestos a una buena dosis de luz solar. En dicho caso, no será necesario eliminarlos antes de la colocación del revestimiento sobre la superficie de hormigón. En cualquier caso, se aconseja consultar previamente los datos de las pruebas suministradas por los fabricantes de dichos productos o efectuar algunas pruebas sencillas para verificar su validez efectiva.

#### **5.4.7 Aditivos para hormigón**

Así como para los desmoldantes o agentes separadores y preparados para el fraguado o membranas de curado, existen también numerosos aditivos para el hormigón, los cuales, según las propiedades que aportan al propio hormigón, pueden llegar a ser perjudiciales para la colocación de revestimientos. Por ejemplo, los súper-plastificantes son aditivos que permiten reducir la relación agua-cemento en el hormigón obteniendo al mismo tiempo una gran resistencia, sin sacrificar por ello la maleabilidad del hormigón. Este tipo de aditivo puede provocar, sin embargo, una pérdida de agua facilitando la formación de costra. Asimismo, los aditivos que reaccionan con los minerales libres presentes en el hormigón, produciendo una estructura porosa extremadamente densa y resistente al agua, pueden obstaculizar el poder de adhesión de los adhesivos.

#### **5.4.8 Fraguado del hormigón - Edad del hormigón**

Antes de la instalación del revestimiento o de la nivelación con revoque de cemento, es importante tener en cuenta cuándo ha sido moldeado el substrato de hormigón. En efecto, el hormigón se retrae al fraguar y perder humedad. Existe la tendencia a considerar que el hormigón fragua en 28 días completamente, pero ello es inexacto pues el hormigón sigue endureciendo y retrayéndose aún por varios años.

Dependiendo de la humedad y exposición a la humedad en los primeros 28 días, puede que la retracción del hormigón durante este periodo sea muy escasa. Si bien los adhesivos más elásticos, como los morteros de cemento y látex o los adhesivos a base de silicona, pueden regular el movimiento originado por la retracción y por los esfuerzos

que pueden producirse en un periodo inferior a los 28 días, se aconseja en cualquier caso esperar un mínimo de 30 a 45 días para reducir así la posibilidad de esfuerzo concentrado en el acoplamiento del adhesivo. Algunas ordenanzas de la construcción exigen incluso un periodo de espera de 6 meses. Transcurrido este periodo, la resistencia a los esfuerzos concentrados será proporcionada por la resistencia a la tracción dada por el hormigón, y por su capacidad de retraerse como elemento compuesto. El efecto de retracción restante será notablemente reducido ya que se producirá de modo repartido a lo largo del tiempo y favorecido por el uso de adhesivos elásticos o de módulo bajo.

#### **5.4.9 Grietas y roturas por retracción plástica y secamiento**

El hormigón apenas moldeado sufre un aumento de temperatura ocasionado por el calor generado por la hidratación del cemento, lo que comporta un aumento de volumen. En el momento en que el hormigón se enfría, alcanzando la temperatura ambiente, se contrae, produciéndose lo que denominamos rotura por "retracción plástica", debido a su baja resistencia a la tracción durante las primeras horas y los primeros días. La retracción plástica puede ser controlada reduciendo la temperatura del material inerte, el contenido de cemento, la medida del moldeo de los elementos, aplazando el moldeo del hormigón a periodos con temperaturas más frías, haciendo fraguar el hormigón "mojado" y mediante tipos especiales de encofrados, o separando anticipadamente el hormigón de dichas formas. Además, el hormigón también se retrae mientras se seca agrietándose debido al aumento del esfuerzo de tracción. Una rápida evaporación de la humedad puede ocasionar una retracción en un estado muy prematuro, cuando el hormigón no presenta todavía la resistencia a la tracción adecuada para resistir una contracción. El hormigón es más sensible a las roturas originadas por retracción de secamiento durante los primeros 28 días tras el moldeo, durante los cuales desarrolla una fuerza adecuada (resistencia a la tracción) para soportar una retracción distribuida de modo uniforme y menos rápida. Por este motivo, se aconseja esperar entre 30 y 45 días antes de aplicar las manos de revoque de cemento o antes de la adherencia directa de morteros adhesivos.

#### **5.4.10 Rotura estructural**

Las grietas de 3 milímetros de ancho o más, que se verifican a lo largo de toda la sección transversal de una pared de hormigón o de un elemento estructural, señalan un defecto estructural que debe ser corregido antes de aplicar directamente cualquier tipo de material. La rotura estructural del hormigón moldeado verticalmente puede ser reparada sólo mediante la utilización de resina epóxica o metacrilato con bajo coeficiente de viscosidad, mediante moldeo de inyección.

Las grietas con un ancho inferior a 3 milímetros suelen ser grietas de retracción no estructural. Este tipo de grietas no necesitan reparación y se presentarán tarde o temprano en los hormigones, pero hace presente la necesidad de usar adhesivos para los revestimientos compatibles elásticamente con estos movimientos.

#### **5.5 Métodos especiales de preparación para el hormigón**

En Japón se ha desarrollado una técnica muy sencilla para reducir al mínimo la preparación de la superficie de hormigón moldeado verticalmente antes de la aplicación del revoque de nivelación o antes de la adherencia directa del revestimiento. Este método, conocido como "Mortar-Concrete Rivetback System" (MCR), utiliza sobre la superficie de los encofrados láminas multiburbujas de polietileno, las cuales, una vez quitadas, dejan sus huellas sobre la superficie de hormigón, proporcionando un efecto de bloqueo mecánico y aumentando el factor seguridad para la adherencia de los revoques de nivelación y de los adhesivos. La lámina de plástico se fija a los encofrados con soportes de acero inoxidable y después se coloca el hormigón. Tras el fraguado inicial, los encofrados se remueven, pero dejando en su lugar el plástico. Después se quitará el plástico, en un procedimiento separado antes de la aplicación de morteros de nivelación o adhesivos, protegiendo así la superficie de posibles contaminaciones en el lugar de la obra y favoreciendo el fraguado del hormigón en las 28 horas iniciales en las que toma fuerza. Los espesores de plástico eliminan además el uso de los desmoldantes para encofrados y favorecen también la limpieza y la duración de los encofrados. Este método requiere un mínimo de entre 30 y 45 días antes de poder aplicar el revoque o antes de la instalación de los revestimientos, permitiendo de este modo que se produzca el periodo inicial de mayor retracción por secamiento.

## **5.6 Revoque de cemento, capa de nivelación**

Los términos mortero de nivelación a base cemento, enlucido de cemento y revoque de cemento se refieren tanto al cemento como a la arena mezclados con agua o con un aditivo de látex o polímero, cuya mezcla se adhiere directamente a un substrato primario, cuya superficie necesita ser corregida en desviación de planeidad y de verticalidad.

Este material puede ser utilizado también como substrato primario a aplicar sobre una red metálica de refuerzo, fijada a una armadura abierta y separada de la armadura de soporte por medio de una membrana "de ruptura", para evitar la adhesión.

La mezcla puede incluir también otros aditivos, como cal o arcillas, que proporcionan la maleabilidad y la pegajosidad necesarias para las instalaciones en vertical. Muchos aditivos de látex o polímero proporcionan las mismas características que los aditivos a base de cal o arcilla, y por esta razón ninguno de ellos resulta indispensable (aunque combinados entre sí, no provocan daño alguno).

Los polímeros líquidos o el látex suelen proporcionar características físicas de calidad superior. Sin embargo, en la actualidad existe un amplio debate en la industria del sector sobre el uso de morteros de cemento y látex en vez de morteros de cemento y cal. Los morteros de látex y cemento tienen entre otros atributos la capacidad de aumentar la densidad que reduce la absorción de agua, mientras que los morteros a base de cal tienen una capacidad de cobertura y cierre de grietas contra las infiltraciones de agua a través de las fisuras capilares internas. Se cree que se trata de un debate inútil, ya que no deben ser los morteros de nivelación los encargados de prevenir la penetración de agua, excepto en zonas desérticas de clima seco, en las que los largos periodos de lluvias abundantes son muy raros. Por consiguiente, los beneficios de una mejor adhesión y elasticidad proporcionados por el uso de mezclas con aditivos a base de látex superan las ventajas aportadas por los aditivos a base de cal.

### **5.6.1 Aplicación de enlucidos y revoques de cemento**

El enlucido de nivelación a base de cemento puede actuar como substrato primario (si se aplica sobre una armadura abierta reforzada con hilo o red metálica), o bien puede actuar como substrato secundario utilizado para nivelar y aplomar el

substrato subyacente, para el hormigón moldeado en el lugar de la obra, o bien para mamposterías de bloques de hormigón o de ladrillos de arcilla.

A menudo los morteros de cemento no sólo se utilizan para nivelar el substrato subyacente, sino también para proporcionar una superficie de apoyo uniforme y lisa sobre diversos tipos de substratos subyacentes.

El enlucido de cemento puede aplicarse directamente sobre el hormigón sólido íntegro o sobre mamposterías sin necesidad de refuerzo alguno (armadura), ya que la superficie proporciona un "apoyo" mecánico adecuado para soportar la aplicación inicial de enlucido y puede desarrollar una unión adecuada capaz de distribuir cualquier esfuerzo de retracción debido al secamiento, sin originar grietas.

El uso de aditivos de látex y aglomerantes aumenta la adherencia y habilidad para adaptarse al movimiento diferencial causado por una retracción menor.

Los refuerzos de metal o red metálica deberían utilizarse siempre que el enlucido de cemento se aplique sobre los siguientes tipos de substrato o en las siguientes condiciones:

- Construcción con armadura abierta
- Construcción con armadura revestida, que ofrece un apoyo mecánico inadecuado para la adherencia directa
- Substratos sólidos (hormigón o mampostería), no adecuados para la adherencia directa, en la caso de desaplomes.
- Condiciones relativas al proyecto que requieren el máximo aislamiento del movimiento subyacente (zonas sísmicas)

Las normas ASTM C1063 proporcionan las directrices para la armadura de metal sobre la que se aplica el enlucido de cemento. Cada vez que se aplica el enlucido sobre una armadura de metal, sostenida por un substrato sólido, debe utilizarse una "membrana de separación" para evitar la unión parcial del enlucido con el substrato, lo que podría dar lugar a agrietamientos. El refuerzo de metal debe ser discontinuo a través de las juntas de movimiento en el enlucido/revoque de cemento.

El refuerzo de metal está disponible en varias formas, entre las que destacan:

- *Red metálica con mallas rómbicas diamantadas desplegadas*, las que deben ser fabricadas con acero y pesar como mínimo  $1,8 \text{ kg/m}^2$ .



- *Tela de alambre de tejido*, fabricada con acero y estar configurada con aberturas hexagonales de 38 o 25 milímetros.
- *Malla de alambre soldada*, que es una red de acero 16 estirado en frío en forma de cuadrados o rectángulos con aberturas no superiores a 50 x 50 milímetros y soldadas en su punto de intersección.

Una capa de revestimiento de revoque tiene, por regla general, un espesor nominal de 25 milímetros, aplicada en estratos separados de 12 milímetros, con una primera mano también denominada "revoque" y una segunda mano denominada "segunda capa de enlucido". La segunda capa debería ser aplicada en cuanto que la primera mano, o revoque, se haya endurecido, generalmente el día siguiente. Esta breve espera entre una mano y otra sirve para evitar que se produzca un contacto directo entre las capas de revestimiento y facilitar el fraguado del revoque. También se aceptan capas más finas de revestimiento, con tal de haber pensado en cómo compensar el riesgo de una evaporación prematura de la humedad, algo que sucede comúnmente con las secciones delgadas de materiales a base de cemento. Sin embargo, las aplicaciones más espesas corren el riesgo de sufrir una retracción excesiva debido al porcentaje de materiales inertes contenido en algunas mezclas.

Existe también el riesgo de exfoliación por parte del sustrato, debido al peso del material excesivo respecto a la fuerza del adhesivo mojado sobre el sustrato, o bien debido a la fuerza de cohesión del revoque de cemento.

En caso de utilizar el enlucido de cemento como capa de nivelación sobre otros sustratos, éste se podrá aplicar directamente o bien se podrá aislar del sustrato por medio de una red de refuerzo, como se ha explicado anteriormente.

Es aconsejable siempre que una capa de revestimiento de revoque incorpore en su mezcla aditivos como látex o polímero, que actúen como promotores de adherencia y aumenten las propiedades físicas, habrá que utilizar al menos una capa de puente de adherencia entre la mezcla tradicional a base de arena-cemento-cal-agua y la capa subyacente. Las capas de puente de adherencia, conocidas con el nombre de "enlucido rústico", pueden utilizarse también de forma eficaz para asegurar una buena adherencia mecánica. Estas mezclas se preparan con arena, cemento y agua, agregando un aditivo a base de látex, y se moldean o se extienden sobre un sustrato con una brocha de cerdas o, incluso, se bombean o pulverizan con equipos mecánicos. Una vez se ha

secado, la textura bruta de este tipo de revestimiento aglomerante proporcionará un soporte y un bloqueo mecánico para la aplicación inicial del enlucido de cemento.

Es necesario tener en cuenta otras técnicas importantes de instalación. De modo similar a la aplicación mecánica de los puentes de adherencia para los morteros de nivelación a base de cemento, también el revoque y la segunda mano de enlucido pueden pulverizarse utilizando bombas mecánicas de aire comprimido, acabando después el trabajo de forma manual.

Si se utilizan aditivos a base de látex es preferible consultar al fabricante del equipo y de los aditivos para verificar si se necesitan diluyentes especiales con los aditivos plastificantes, para prevenir de este modo el espesamiento y bloqueo del pulverizador.

El procedimiento manual correcto a seguir para extender el revoque consiste en aplicar el mortero contra la pared con la llana mediante presión pero sin lanzarla. El mortero debería trabajarse sobre la superficie utilizando una llana de madera o plástico para evitar la formación de burbujas en la superficie, ateniéndose a las limitaciones relativas al espesor. Realizar múltiples aplicaciones para llegar a obtener el espesor deseado y después proseguir con las técnicas estándares para revoques, para enrasar y acabar el mortero. No es necesario alisar la superficie excesivamente con la llana; se trata de una segunda mano de revoque, es decir una superficie bruta sobre la que después se aplicará un adhesivo.

Con temperaturas extremadamente elevadas, se recomienda seguir los consejos dados para enfriar con agua las superficies de las paredes un poco antes de aplicar el revoque. El uso de aditivos de látex y de un fraguado "mojado" son también muy recomendados en zonas cálidas, para prevenir así una prematura evaporación de la humedad de hidratación. Se aconseja aplazar el trabajo si la temperatura ambiental a la sombra supera los 35°C.

En las zonas frías, el fraguado del mortero sufrirá un retraso por debajo de los 0° C, corriendo el riesgo de sufrir daños; puede ser necesario tener que proteger las superficies con telones y tener un tiempo más largo de fraguado, más de 14 días, antes de efectuar la colocación del material de revestimiento.

Cuando se habla de revestimientos para fachadas externas, la pregunta más frecuente es cuánto tiempo hay que esperar, tras la aplicación del revoque de nivelación a base de cemento, antes de efectuar la colocación del material de revestimiento. El

revestimiento no debería colocarse hasta que la retracción de la capa de revoque no se haya completado. Cuanto más gruesa sea la capa, mayor será la retracción. Un revoque de cemento sufre aproximadamente el 95% de retracción en los primeros 7 a 14 días, por lo que se aconseja esperar al menos 21 días una vez aplicado el revoque antes de efectuar la colocación del revestimiento; este tiempo deberá prolongarse en caso de periodos de lluvias persistentes, que podrían hacer más lento el proceso de retracción.

Los enlucidos de cemento con adición de látex o polímeros suelen tener mayor densidad y menor relación agua-cemento, por ello no sufren demasiado el fenómeno de retracción, como ocurre en cambio con los morteros tradicionales de cemento.

Si el revoque de cemento se mezcla con el látex y si el revestimiento es colocado con el empleo de un adhesivo con adición de látex o polímero, la reducida retracción y la mayor flexibilidad permitirán que la instalación se pueda llevar a cabo en los 7 a 14 días sucesivos a la aplicación del enlucido. No obstante, se aconseja consultar previamente al fabricante de los productos y verificar las ordenanzas de la construcción existentes en la zona.

Una vez concluida la fase de revestimiento de nivelación (preferiblemente después de haber esperado 21 días), es aconsejable efectuar una inspección adecuada así como algunas pruebas para determinar la calidad de la adhesión y la posible presencia de defectos, antes de efectuar la colocación del revestimiento. En caso de no hallar problemas, la superficie de revoque deberá limpiarse ulteriormente con agua, como se presentará a continuación.

## ***5.7 Preparación del substrato: equipos y procedimientos***

### ***5.7.1 Prueba para verificar la presencia de contaminación***

Para determinar si sobre el hormigón vertical y sobre las superficies de cemento o minerales existen agentes contaminantes capaces de obstaculizar la adhesión, como por ejemplo aceites o agentes separadores, será necesario efectuar la siguiente prueba: tomando las oportunas precauciones de seguridad, mezclar una solución con una proporción 1:1 de ácido muriático y agua dejando caer algunas gotas sobre diversos puntos de la superficie. Si la solución produce espuma, significará que el ácido ha

reaccionado libremente con el hormigón alcalino, demostrando que no existe contaminación alguna. Si por el contrario la reacción es escasa o inexistente, existirán bastantes probabilidades de que la superficie esté contaminada de aceite, compuestos de fraguado o agentes separadores; los ácidos no afectan a los residuos de aceite o cera ni los eliminan. Es aconsejable establecer antes una reacción de referencia aplicando la solución ácida sobre una sección transversal interna o superficie del hormigón de cuya incontaminación estamos seguros.

### **5.7.2 Eliminación de la contaminación**

La grasa, la cera, el aceite así como ciertas formas de desmoldantes o selladores pueden obstaculizar o dañar la acción de los adhesivos. En aquellas superficies en las que no se puede eliminar la superficie contaminada del sustrato se recomienda eliminar la contaminación. La eliminación de la contaminación puede efectuarse lavando la zona a tratar con una sustancia normal desengrasante, como el fosfato trisódico, o bien con agentes desengrasantes específicos y enjuagando bien con agua toda la superficie contaminada.

### **5.7.3 Eliminación de volumen**

En caso de que la eliminación del agente contaminante no fuera posible con los métodos antes mencionados, o en caso de que la superficie tuviera defectos o estuviera dañada, podría ser necesario tener que remover parte del volumen de la superficie para preparar el sustrato. Para llevar a cabo esta operación pueden seguirse varios métodos, pero lo más importante es elegir un método apropiado para el sustrato y que no sea demasiado agresivo para que éste no dañe el material sólido existente debajo de la superficie. Se aconsejan los métodos siguientes:

- **Picado mecánico, escarificado y rectificado:** este método se aconseja para la preparación de paredes sólo en caso de presencia de defectos en el sustrato y/o contaminaciones en áreas aisladas que requieren una eliminación volumétrica de la superficie superior a 6 milímetros de profundidad. El picado con un escoplo mecánico de punta cuadrada o el rectificado con una rectificadora en ángulo suelen ser las técnicas más comunes.

- **Chorro con granalla:** se trata de un método para la preparación de la superficie basado en la utilización de un equipo específico, que bombardea la superficie de hormigón con granos metálicos presurizados. Los granos, de diversos diámetros, circulan por una cámara cerrada, removiendo al instante también los residuos. Es el método preferido para la eliminación de capas finas de superficie de hormigón, adecuado sobre todo para la eliminación de películas de superficie o de capas de hormigón pintado.
- **Limpieza con chorro de arena / limpieza con chorro de granalla cortante:** en la actualidad la industria de los revestimientos utiliza una nueva generación de equipos para la limpieza con chorro de granalla cortante más limpios, más seguros y menos invasores, que emplean granos a bajo contenido de sílice solubles en agua (bicarbonato sódico). La limpieza con chorro de arena es aceptable sólo en caso de que no puedan utilizarse otros métodos de eliminación de volumen más seguros y menos invasivos.
- **Eliminación con chorro de agua:** la eliminación con chorro de agua a alta presión, utilizando presiones superiores a 3.000–10.000 psi (21–69 MPa) quitará la capa superficial de hormigón, mostrando el material inerte y proporcionando una superficie limpia y bruta. Será necesario enjuagar toda la superficie con cuidado tras pasar el chorro de agua, para de este modo remover cualquier residuo de cemento (eflorescencia). Este método se aconseja sólo sobre hormigón, ya que la alta presión dañaría la superficie de materiales más finos o menos densos, como las tablas de cemento o los ladrillos de arcilla.
- **Limpieza química (Eliminación de sales):** en el mercado existen productos específicos para la eliminación de sales solubles de la superficie del substrato antes de la colocación del revestimiento o del revoque. Estos productos químicos pueden utilizarse con cualquier método de preparación que prevea la utilización de agua, desde el lavado manual hasta el lavado a alta presión. La contaminación de sal puede dañar la acción de los adhesivos
- **Ataque con ácido:** este método deberá ser aplicado sólo en caso de que no exista ningún otro método alternativo y sólo sobre hormigón moldeado in situ o prefabricado o contengan materiales inertes de carbonato, como la cal. El ataque de los ácidos disolverá la superficie de pasta de cemento, exponiendo

principalmente arena y un pequeño porcentaje de materiales inertes bastos, con una textura similar al papel de lija con grano de 60. El objetivo de este método de preparación es eliminar la superficie débil o dañada de cemento y exponer los materiales inertes para mejorar la capacidad mecánica de adhesión del revoque de nivelación a base de cemento o de los adhesivos. El ataque ácido no elimina, sin embargo, los residuos de aceite o de suciedad; este tipo de contaminación deberá ser eliminada con detergentes y desengrasantes antes de proceder con el ataque ácido. El primer paso a seguir para el ataque ácido es saturar completamente con agua la superficie. Esta acción previene la absorción de ácido dentro de los poros y capilares, que protegen la superficie subyacente de cemento evitando que ésta se disuelva. En caso de que el ácido penetre debajo de la superficie, éste deberá eliminarse por medio de chorreo abrasivo, de agua o mecánico.

El ácido muriático deberá aplicarse en una solución al 15% con una brocha de cerdas de fibra rígida o bien pulverizando una solución caliente de ácido y agua con un aparejo adecuado resistente al ácido. Después de 15 minutos de la aplicación del ácido, la superficie deberá lavarse con un chorro de agua abundante a alta presión, para remover, de este modo, tanto el residuo del ácido, como la fina pasta de cemento eliminada durante el ataque químico. Para verificar si existen aún residuos de ácido, se podrá efectuar una prueba del pH con papel húmedo; se acepta una lectura de  $>10$ .

Las soluciones ácidas pierden fuerza rápidamente al entrar en contacto con superficies a base de cemento. Sin embargo, también las bajas cantidades de ácido residual pueden resultar dañinas para el revestimiento sobre mampostería, ya que el cloruro presente en los residuos ácidos puede originar una contaminación de sal soluble, que provoca eflorescencia, sub-florescencia o bien deterioro ion-cloruro de la armadura así como de otros componentes metálicos de la pared. Los procedimientos aquí descritos son aplicables también a la limpieza con ácidos y eliminación de residuos endurecidos a base de cemento.

#### **5.7.4 Limpieza superficial final (residuos)**

El último paso y el más importante para la preparación de una superficie es la limpieza final, no sólo de los residuos contaminantes y de los residuos de la eliminación de volumen descritos anteriormente, sino también de las partículas disueltas y del polvo transportado por el aire. Se aconseja utilizar una hidro-limpiadora con una presión de 1,000 a 3,000 psi (7–20 Mpa).

El lavado final constituye la preparación básica para todos los substratos. Las superficies de las paredes que deben ser revestidas con el método de adherencia directa están expuestas siempre a la contaminación transportada por el aire, sobre todo a la arena que, por regla general, abunda en todas las obras. Por ello, resulta indispensable una preparación mínima mediante lavado con agua presurizada (o agua a presión estándar "ligeramente agitada" en caso de no disponer de agua a alta presión), eliminando el efecto obstaculizador para la adhesión, provocado por la existencia de finas capas de polvo sobre las superficies. En algunos casos la contaminación transportada por el aire es constante, requiriendo pues lavados frecuentes poco antes de la aplicación del revoque de nivelación de cemento o de morteros adhesivos.

No existen excepciones para esta regla general; la única variación tiene que ver con el tiempo necesario para el secado del substrato antes de la aplicación del adhesivo. El tiempo de secado dependerá del tipo de adhesivo utilizado. Para una gran parte de revoques, como los morteros de látex y cemento o los adhesivos epóxicos insensibles a la humedad, el substrato podrá estar mojado (condición que también se denomina "superficie seca saturada" SSD), pero no chorreando; una fina capa superficial de agua podría bloquear la fijación y el poder adhesivo incluso de adhesivos a base de cemento o epóxicos insensibles al agua. Los adhesivos a base de silicona o uretano necesitan superficies totalmente secas, condición que se alcanza, por regla general, tras 2 días con condiciones de temperatura y humedad normales, procurando después una protección adecuada contra una posible contaminación ulterior. Las obras situadas cerca del mar, zonas desérticas o industriales pueden estar sujetas a la contaminación de sal o arenas transportadas por el aire o una lluvia/polución ácida.

## Capítulo 6: Colocación del revestimiento

Son varios los métodos utilizados en la colocación de un material de revestimiento.

### **6.1 Métodos de aplicación adhesiva para revestimientos exteriores**

Se presenta a continuación los siguientes métodos para la aplicación de revestimientos:

- Capa fina (método adhesivo o positivo)
- Capa espesa (aplicación único/a, fratasado y untadura, aplicación con el método de untadura)
- Aplicación localizada (toque ligero, método de aplicación en puntos localizados)
- Moldeo negativo (paneles prefabricados de hormigón)

#### **6.1.1 Método de capa fina**

Este método, también conocido como "método adhesivo", se basa en la aplicación de una capa fina de adhesivo que va de un espesor mínimo de 3 milímetros a un máximo aproximado de 20 milímetros, que está en pleno contacto con no menos del 95% de la superficie del revestimiento y del substrato.

El substrato se prepara precedentemente con el nivel justo y con el nivel aplomador; los adhesivos no han sido proyectados para nivelar o corregir las desviaciones de nivel y aplomo. El adhesivo puede ir de una simple mezcla de cemento Portland hasta látex y cemento y adhesivos a base de resina epóxica. El espesor de la capa de adhesivo dependerá del tipo y dimensiones del revestimiento, de la estructura de la superficie de adhesión del revestimiento y del substrato, de la configuración del revestimiento (parte posterior llana o con acanaladuras) y de la correspondiente tolerancia del espesor. Un revestimiento "calibrado" presenta un espesor consistente y una tolerancia específica de desviación; un revestimiento "no calibrado" no es uniforme en espesor y necesita, por regla general, métodos de colocación de "capa espesa". Otra variante del método de capa fina se utiliza para montar piezas de mosaico sobre papel, método denominado "de paso único" (no debe confundirse con el método



"paso/aplicación único/a de capa espesa). Esta técnica permite poder efectuar la aplicación del adhesivo y el relleno de juntas al mismo tiempo. El mortero adhesivo se aplica con llana sobre la superficie del substrato y de las piezas de mosaico. Después de haber fijado y asentado la hoja con las piezas, posicionándola y de haber esperado un tiempo adecuado para el asentamiento inicial, se podrá quitar la hoja de apoyo, de modo que el adhesivo, que había sido aplicado con el palustre por detrás entre las juntas de los azulejos, quede liso y terminado como relleno de la junta.

Generalmente la mayoría de los adhesivos poliméricos en polvo dispersivo y a base de látex suelen ser idóneos para el método de capa fina o adhesivo (siempre que la formulación sea valorada previamente, verificando su idoneidad para ser utilizada como adhesivo para los revestimientos exteriores). Se aconseja seguir las directrices proporcionadas por el fabricante, las cuales podrán variar según el tipo de formulación. No se suele aconsejar la utilización de espesores superiores a 12 milímetros para mezclas de cemento de tipo estándar de capa fina o adhesiva. Un espesor superior a 12 milímetros necesitará una formulación especial de polvo con una proporción mayor de arena gruesa o bien una modificación de la mezcla efectuada en el lugar de la obra con la añadidura de arena gruesa.

### **6.1.2. Método de capa espesa**

Este método de colocación se conoce también con los nombres de "paso/aplicación único/a", "untadura" o "fratasado y untadura" (float and back butter) y agrupa varias técnicas.

La técnica de colocación más común de capa espesa es el método de "fratasado y untadura". El procedimiento inicia con el fratasado o enlucido del substrato mediante mortero de nivelación de cemento. Generalmente consta de dos fases principales: primero se aplica una mano "bruta" de mortero y se deja endurecer. Posteriormente se aplica una segunda cobertura de "fratasado" o "enlucido". Mientras que la segunda capa de cobertura está todavía mojada y es fácil de trabajar, se aplica una capa de adhesivo sobre la superficie posterior del revestimiento que debe ser fijado (procedimiento denominado "back buttering" - "untadura de la parte posterior"), a continuación se fija el material de revestimiento y se asienta de manera que exista un contacto y nivel adecuados con el revestimiento adyacente.

La técnica de "paso/aplicación único/a" o "untadura" requiere capas muy espesas de adhesivo (el espesor de la capa va de 20 a 38 milímetros), que se aplica sobre la superficie total del revestimiento y del sustrato con una llana sin dentado. Este método puede utilizarse para corregir las desviaciones de verticalidad y fijar el material de revestimiento en una sola operación.

Así como para el método de "encolado localizado" (ver 6.1.3), es muy importante trazar previamente el nivel aplomador, debiendo realizarse esta operación de modo muy preciso, ya que puede resultar difícil corregir después los eventuales errores.

Para utilizar el método de capa espesa es necesario tener una cierta práctica, pero puede ahorrarse entre un 30 y 50% respecto a las aplicaciones múltiples de morteros de nivelación.

Otra variante de la técnica de "untadura" utiliza una gran "bola" de mortero que se aplica sobre la parte posterior del revestimiento, colocándolo y fijándolo luego en su lugar. Esta técnica requiere especial atención en el momento de asentar el revestimiento, de modo que el mortero toque y se esparza sobre la superficie total del revestimiento. Esta técnica puede llevar a una aplicación, que se parece más al encolado localizado o método de toque ligero (ver a continuación), donde este método puede no resultar idóneo.

### **6.1.3 Método de encolado localizado ("*Spot Bonding Method*")**

Este método se conoce también como colocación de "toque ligero" y se aconseja cuando los adhesivos proporcionan sólo una cobertura parcial de la superficie adhesiva del revestimiento y del sustrato. El espesor y el área a cubrir dependen fundamentalmente del poder adhesivo y de las características de trabajabilidad del adhesivo. El método de "*encolado localizado*" es altamente especializado, quedando limitado sólo a ciertos tipos de adhesivo, materiales de revestimiento y situaciones de construcción. En algunos aspectos, este método es similar a la fijación mecánica de las piedras sobre las fachadas. El nivel aplomador deberá calcularse de modo muy preciso, ya que una vez iniciada la colocación resulta extremadamente difícil modificarla. Si el "*encolado localizado*" se efectúa incorrectamente, ello podrá traer consecuencias serias, en caso de que el arquitecto y el contratista no pongan atención a los siguientes principios fundamentales:

- Resulta adecuado sólo si se utilizan adhesivos con un fuerte poder de adhesión y una gran flexibilidad, como las nuevas tecnologías a base de resina epóxica y silicona estructural, pudiendo necesitar un anclaje suplementario.
- No debe ser empleado en zonas con clima húmedo, con materiales de revestimiento con alto grado de absorción del agua o elevada sensibilidad al agua.
- No es idóneo para materiales de revestimiento finos que no tienen la resistencia al cizallamiento o a la tracción necesarias para soportar los fuertes esfuerzos concentrados, presentes en los puntos de fijación localizada.
- Las paredes de apoyo deben disponer de impermeabilización y membrana de escurrimiento en la cavidad situada entre el substrato y el material de revestimiento.
- Puede no resultar adecuado para climas y condiciones extremas.

#### **6.1.4 Método de moldeo negativo (hormigón prefabricado)**

Este método prevee el moldeo del hormigón y la fijación del revestimiento efectuados en un procedimiento único. El material de revestimiento se coloca boca abajo en el molde del panel; el espesor y la configuración de las juntas serán controlados por medio de una rejilla que asegura una colocación justa, juntas uniformes y una fijación segura durante la operación de moldeo. Las juntas suelen hundirse dentro de la colada, siendo resaltadas o recubiertas de mortero una vez fraguado el panel y una vez quitado del molde.

Este método requiere el uso de un revestimiento con configuración de cola de milano o "keyback" en la parte posterior, proporcionando así una acción de bloqueo mecánico entre el revestimiento y el hormigón. La fuerza de bloqueo mecánico, dada por el bloqueo integral del hormigón en la parte posterior del revestimiento, suele aumentar con el uso de lechadas de cemento Portland y látex, agentes aglomerantes poliméricos o epóxicos, justo antes del moldeo del panel.

## **6.2 Equipos y procedimientos de instalación**

Se presentarán los utensilios, equipos y los procedimientos más comunes requeridos para cada fase de construcción. Las herramientas y los requisitos de los equipos están determinados por las fases de instalación y se enumeran a continuación, definiéndose después sobre la base del tipo de pared, del tipo de material de revestimiento y del método de aplicación del adhesivo.

### ***Procedimientos de instalación, herramientas y equipos para la colocación de revestimientos con el método de adherencia directa***

- Preparación del sustrato y de la superficie del material de revestimiento.
- Posibilidad de acceso para la preparación y la instalación (andamios).
- Preparación de la mezcla de los adhesivos.
- Aplicación de los adhesivos.
- Colocación del material de revestimiento.
- Aplicación del relleno de juntas/selladores.
- Limpieza y protección.

#### **6.2.1 Acceso a la instalación (andamios)**

La elección de los andamios tiene una importancia relevante en la productividad y consiguiente coste de instalación de una fachada realizada con el método de adherencia directa. La comodidad y la seguridad de los colocadores, así como la facilidad de transporte, el montaje y la manipulación de los andamios, son factores todos ellos que contribuyen a la eficacia y al control de calidad.

#### ***Tipos de andamios***

- ***Andamio ligero***

Se trata del tipo de andamio sencillo, eficaz y ligero. Dicho equipo se utiliza sólo para paredes con una altura inferior a 20 metros. Este sistema consiste en marcos de metal, con patas regulables y estabilizadoras en su base, que se

montan unos sobre otros y se arriostran por medio de crucetas tubulares a los marcos contiguos. Puede efectuarse una regulación vertical con variación de 75 milímetros. Pasados los 3 metros se debe anclar el andamio al edificio cada 3 metros para evitar su volcamiento. En los niveles de trabajo se instalan tablonces metálicos y barandas tubulares. El izaje de materiales y subida de trabajadores y herramientas se debe hacer por medios independientes del andamio, como escaleras interiores del edificio, elevadores de plataforma o ascensores de fachada.

- ***Andamio con armadura tubular***

Se trata del tipo más común de andamiaje y consiste en una estructura tubular de metal y refuerzos con contraviento unida mediante mordazas especiales, que dan estabilidad al conjunto. Resulta especialmente eficaz para edificios que no superan los 80 metros, ya que se trata de una estructura que se apoya abajo y se debe armar especialmente hasta lograr la altura deseada, proceso largo y complicado cuando se desean hacer traslados a varios frentes distantes. Entre las ventajas de este tipo de andamio destacan que sus componentes son muy comunes, se adapta bien a las cavidades y a las partes salientes de una pared exterior y es el que puede cubrirse con mayor facilidad para protegerlo de temperaturas demasiado altas o bajas. Las desventajas están en que este tipo de andamio puede regularse sólo con grandes variaciones en cada nivel de la estructura y que cada nivel sucesivo debe montarse antes de poder ser ocupado o cubierto de materiales.

- ***Puente de torre regulable***

Muchos andamios regulables están formados por base, torres, refuerzos con contraviento, carretilla, cabrestante, barreras de seguridad (pretilos) y plataformas. Este tipo de andamio resulta adecuado para edificios de hasta unos 23 metros de altura, pero puede ser utilizado con alturas de hasta 30 metros. El cabrestante, maniobrado manualmente, permite alzar la plataforma a lo largo de las torres de la carretilla. Este sistema puede ser regulado fácilmente para cada variación vertical y el conjunto total puede ser elevado y transportado hasta la pared adyacente por medio de una carretilla elevadora con horquillas. Diversos

estudios han demostrado que los andamios regulables pueden aumentar la productividad de la mano de obra del 20% respecto a los andamios tradicionales.

- ***Plataformas de trabajo con árbol de subida motorizado.***

Este tipo de andamio posee un árbol de subida movido de forma eléctrica o hidráulica y consiste en una unidad básica motriz, una plataforma y una o dos torres (árboles por los que corre la plataforma). Los andamios motorizados, dependiendo de su formación, pueden utilizarse para edificios con alturas de 50 a 150 metros, pero el costo de montaje de la estructura hace que el mismo resulte más eficaz para edificios con alturas inferiores a los 100 metros. Los puentes motorizados tienen todas las ventajas de los andamios regulables, así como características importantes de seguridad, por ejemplo los pretiles integrales (que forman parte de la estructura), parada de seguridad y control de la velocidad. Las desventajas tienen que ver sobre todo con el coste, la no-disponibilidad en algunos países y cuando se requiere proteger las superficies durante y después del trabajo, ya que no aportan una estructura soportante como los andamios tradicionales.

Existe además otra ventaja muy importante de este andamio: sirve también para transportar verticalmente los materiales a instalar y el adhesivo, fuera de los maestros y sus herramientas. Esto en edificios de altura puede ser muy importante, porque de lo contrario se requieren otros elementos mecánicos de izaje y cuadrillas especiales de traslado de materiales.

- ***Puente "múltiple" suspendido***

Este puente está suspendido, sostenido por cuerdas fijadas a vigas salientes, que están ancladas al tejado, a las estructuras intermedias, o bien son fijadas a contrapesos provisionales. Este tipo de andamio es movido por cabrestantes manuales o eléctricamente. Suelen utilizarse para construcciones altas y resultan económicos para la construcción de edificios con alturas de entre 30 y 50 metros. Los puentes suspendidos deben ser diseñados individualmente para cada obra; por regla general, esto es realizado por el proveedor del andamio y por el ingeniero de la empresa constructora. Estos sistemas presentan las mismas ventajas que los andamios regulables y con árbol de subida. Además, no existe

obstáculo alguno entre la pared y el puente, ya que este tipo de andamio suspendido no presenta refuerzos con contraviento en cruz. Las normas de seguridad exigen una especie de "techo" protector, haciendo que resulte difícil efectuar una carga por la parte alta, a menos que la plataforma de protección no prevea una abertura adecuada de carga.

Otra desventaja de este andamio es que se mueve como reacción a los movimientos del trabajo de los instaladores, ya que no tiene anclajes al muro.

### **6.2.2 Protección contra las condiciones atmosféricas**

Las condiciones óptimas para colocar el revestimiento tienen que ver con temperaturas que van de los 15°C a los 25°C, con una humedad relativa del 50% y con viento mínimo. Sin embargo, estas condiciones son atípicas, por lo que será preciso prever posibles variaciones climáticas. Deberán adoptarse pues medidas de protección adecuadas para el substrato, para la aplicación de adhesivos y rellenos de juntas, y para el almacenamiento y manipulación del material de revestimiento.

#### **6.2.2.1 Temperaturas elevadas**

Durante la instalación será necesario adoptar medidas de protección y corrección en caso de que el aire ambiental y las temperaturas de la superficie del substrato y el revestimiento sobrepasen un cierto umbral. El umbral de la temperatura variará dependiendo del tipo de adhesivo, pero por lo general una temperatura ambiental elevada (25-35°C) y una temperatura de superficie (60°-70°C) aceleran la fijación del cemento, cemento y látex, adhesivos a base de resina epóxica y silicona.

Lavar y humedecer las paredes no sólo ayuda a remover los agentes contaminantes, sino que sirve también para bajar las temperaturas de la superficie, mediante un enfriamiento por evaporación de los adhesivos a base de látex y de los adhesivos insensibles a la humedad a base de resina epóxica.

Para mantener bajas las temperaturas de las superficies es útil también mantenerlas a la sombra, pero si la temperatura ambiental supera los 35°C, se aconseja aplazar el trabajo a un periodo más favorable. Si el trabajo no puede aplazarse se podrán enfriar

también los aditivos (agua helada, látex, resina epóxica) teniendo presente también las técnicas descritas precedentemente.

### **6.2.2.2 Temperaturas bajas**

Durante la colocación es necesario adoptar medidas de protección o corrección en caso de que el aire ambiental o las temperaturas de la superficie del substrato/revestimiento alcancen valores por debajo de un cierto umbral.

El umbral de la temperatura varía según el tipo de adhesivo.

Para efectuar una protección o acción correctora capaz de aumentar la temperatura de modo que alcance niveles óptimos de trabajo, se suelen utilizar coberturas o telones e incluso a veces el uso provisional de calefactores. Algunos tipos de andamios pueden estar dotados de accesorios para una protección provisional contra el frío.

En caso de que se utilicen calefactores provisionales será muy importante crear desfuegos hacia el exterior, para evitar así que los trabajadores estén expuestos a humos tóxicos y prevenir también la formación de bióxido de carbono, que puede provocar *carbonatación* de los materiales a base de cemento. Esto sucede por regla general cuando la temperatura ambiental durante la colocación se encuentra a unos 5°C y afecta sólo a las superficies expuestas. La duración de la exposición está en función de la temperatura. La hidratación del cemento se interrumpe a los 0°C (temperatura superficial) cuando el agua necesaria para la hidratación se congela, y el proceso se retrasa a partir de los 5°C. La concentración de bióxido de carbono puede aumentar si las unidades provisionales de calentamiento no disponen de los desfuegos necesarios hacia el exterior del telón protector durante los periodos con clima frío.

Como regla general, durante la colocación de productos a base de cemento, resina epóxica y silicona, la temperatura debería mantenerse alrededor de los 10°C. Algunas formulaciones de productos adhesivos permiten la colocación con temperaturas cercanas a los 0°C; no obstante, sobre el umbral de esta temperatura ambiental crítica es posible que la temperatura de la superficie baje situándose por debajo del punto de congelación debido al retraso térmico, y la hidratación u otras reacciones químicas podrían no producirse en el acoplamiento adhesivo.



### **6.2.2.3 Clima seco y con viento**

Esta condición puede provocar la evaporación anticipada del agua necesaria para la hidratación de los materiales a base de cemento y provocar una pérdida de fuerza. Los aditivos a base de látex han sido formulados para reducir notablemente este efecto de secamiento, revistiendo el agua con una fina película de látex. Sin embargo, en condiciones extremadamente secas y de viento, unidas a temperaturas elevadas (mayores a 30°C), ni siquiera los aditivos a base de látex proporcionan una adecuada protección.

Se aconseja proporcionar una protección provisional contra la evaporación rápida de la humedad en condiciones de viento caliente y seco, principalmente en las 36 horas iniciales tras la colocación de los morteros de cemento y del revoque, aumentando y efectuando lavados periódicos diariamente durante el fraguado. Los adhesivos a base de cemento no están sujetos a deshidratación prematura tras la operación de aplicación del adhesivo y la colocación del material de revestimiento, necesitando sólo una protección provisional contra el viento seco y a fuerte velocidad durante el periodo en que el adhesivo permanece expuesto.

### **6.2.2.4 Clima húmedo**

Algunos materiales utilizados para el revestimiento de paredes con el método de adherencia directa son sensibles a la humedad. Por ejemplo, la fuerza de los adhesivos a base de cemento puede disminuir debido a una exposición constante a substratos mojados o húmedos. Puede ocurrir que algunos materiales, como las membranas impermeabilizantes, no vulcanicen correctamente y se exfolien debido al contacto continuo con la superficie mojada o húmeda del sustrato. Un sustrato húmedo favorece además la formación de eflorescencia. Este problema no sólo se debe a la continua exposición a las lluvias durante la construcción de los edificios, sino también debido a aquellas áreas de la fachada que pueden estar expuestas de forma particular al aumento de humedad a nivel de tierra (en la planta baja) o bien debido a las pérdidas provocadas por defecto de diseño o construcción, provocando una humedad permanente en el sustrato.

A la hora de elegir un adhesivo de látex líquido o polimérico en polvo dispersivo, es necesario verificar con el fabricante del mismo que la formulación del polímero no

sea hidrosoluble. Sin embargo, también las formulaciones no solubles, al secarse, se vuelven vulnerables a la lluvia durante el periodo inicial (generalmente en las primeras 12 -24 horas). Por ello es fundamental proporcionar una protección adecuada contra las eventuales lluvias durante este primer periodo, evitando de este modo la pérdida de fuerza y previniendo la formación de manchas provocadas por la migración de fluido o látex.

Para llevar a cabo una acción de protección o corrección preventiva será necesario disponer telones impermeables y recintos de protección antes, durante e inmediatamente después de la colocación para que actúen de escudo contra la lluvia. Si la superficie es sometida a una exposición prolongada, las superficies que aparentemente están secas podrían estar saturadas en su interior, siendo necesario verificar la idoneidad de algunos substratos o adhesivos por medio de las pruebas pertinentes.

### ***6.2.3 Preparación del substrato y del revestimiento***

Para prevenir posibles contaminaciones que pueden obstaculizar la acción adhesiva del adhesivo será necesario lavar el material de revestimiento y el substrato. Si bien se suele dar una gran importancia a la preparación del substrato, sin embargo, a menudo se descuidan factores como la preparación y el lavado de la superficie de adhesión del revestimiento o como el control de calidad.

Los enchapes de arcilla suelen tener una estructura bruta, con poros abiertos, presentando a menudo, en el caso de los extruídos, una configuración de cola de milano, creada a propósito para la aplicación de revestimientos exteriores de adherencia directa, lo que hace que el enchape sea menos susceptible a la contaminación, gracias al factor seguridad proporcionado por el bloqueo tanto mecánico como adhesivo. Para este tipo de enchape no es necesario tomar precauciones especiales, será necesario sólo una limpieza normal de la suciedad de almacenamiento y manipulación, realizando un lavado a baja presión antes de la colocación.

#### **6.2.4 Equipos y procedimientos para mezclar los adhesivos**

Los equipos y herramientas necesarias para mezclar los adhesivos dependerán principalmente del tipo de adhesivo y de los recursos disponibles en la obra en que se aplicarán.

##### **6.2.4.1 Adhesivos a base de látex y cemento y en polvo dispersivo modificado con polímero**

###### *Mezcla manual*

- Batea, llana y plana mezcladora

###### *Mezcla mecánica*

- Mezclador de morteros de paleta giratoria
- Taladro de baja velocidad (<300 r.p.m) y paleta mezcladora "sin mezclado de arrastramiento por aire".

*Nota: Las betoneras de tambor mezclador rotativo no suelen ser adecuadas para mezclar los morteros adhesivos.*

En el momento de mezclar los morteros adhesivos, añadir siempre el líquido equilibrante (agua o aditivo a base de látex) en el contenedor de mezcla. Empezar a mezclar y añadir el polvo a base de cemento seco de forma gradual hasta que todo el polvo resulte mojado, y seguir mezclando después sin parar durante un minuto aproximadamente o hasta que el mortero resulte mojado uniformemente y maleable.

Si se utilizan mezclas preparadas en el lugar de la obra de cemento Portland y arena, será necesario verter primero la arena, y después, una vez mojada, se añadirá el polvo de cemento. No mezclar demasiado, deteniéndose cuando el mortero resulte mojado y plástico, siguiendo las instrucciones de la empresa fabricante. Si se mezcla durante demasiado tiempo, el aire puede quedar atrapado en el mortero mojado y dar lugar a una densidad reducida (una elevada absorción reduce la estabilidad anticongelación/descongelación) y a una disminución de la resistencia.

#### **6.2.4.2 Adhesivos epóxicos**

##### *Mezcla manual*

- Batea y plana

##### *Mezcla mecánica*

- Taladro de baja velocidad (<300 revoluciones por minuto) y barrena mezcladora "sin mezclado de arrastramiento por aire".

Las instrucciones para la mezcla de los adhesivos epóxicos varían según las formulaciones de la empresa fabricante. Los adhesivos epóxicos más comunes son productos de tres componentes que necesitan que los dos componentes líquidos (resina y endurecedor) y el componente en polvo (material inerte a base de sílice) sean mezclados. Los líquidos se mezclan juntos en un primer momento y deben estar bien amalgamados antes de añadir el polvo de material inerte.

Es necesario tener presente algunas consideraciones importantes al mezclar la resina epóxica. En primer lugar, la reacción química se inicia inmediatamente al mezclar la resina epóxica y el endurecedor y puesto que la duración de la mezcla útil o "pot-life" del adhesivo es relativamente corta (1 hora), pudiendo incluso verse reducida por temperaturas ambientales por encima de los 20°C, to dos los preparados para la mezcla y la aplicación del adhesivo epóxico deberán disponerse y prepararse previamente. La mezcla debe realizarse en cantidades suficientes para la colocación, dentro del tiempo de empleo útil prescrito, según las condiciones de instalación.

Los adhesivos epóxicos fraguan mediante una reacción química exotérmica o generadora de calor que tiene inicio con la mezcla de los componentes líquidos. El tiempo de empleo útil de la resina epóxica no sólo se inicia antes de la añadidura del polvo inerte, sino que el calor generado por la reacción química puede acelerar el proceso de polimerización en muchas formulaciones.

Remover la resina epóxica ya mezclada del contenedor de mezclado es un método para evitar la generación de calor y reducir al mínimo esta aceleración. Además los componentes líquidos pueden enfriarse si las temperaturas del ambiente y de la superficie superan altamente el grado de temperatura aconsejado. Por el contrario, el fraguado de los adhesivos epóxicos se retrasa con temperaturas bajas y el proceso de

polimerización puede interrumpirse con temperaturas inferiores a los 5°C; el fraguado continúa sin consecuencias si la temperatura se eleva.

#### **6.2.4.3 Adhesivos a base de silicona y uretano**

Estos adhesivos suelen venir mezclados y preparados de fábrica para el uso. Existen excepciones, como los de dos componentes reactivos de uretano o los materiales a granel que necesitan ser cargados luego en aplicadores de pistola adecuados. Muchas siliconas se encuentran ya mezcladas disponibles en tubos o potes o bien en cartuchos o “salchichas” envueltos en plástico, que se cargan en aplicadores de pistola de metal con funcionamiento manual o hidráulico.

#### **6.2.5 Equipos y procedimientos de colocación del revestimiento**

Existe una notable diferencia en la medida de una pieza de mosaico de porcelana o un enchape cerámico si se comparan con las grandes dimensiones de ciertos azulejos cerámicos o baldosas de piedra; cada uno de ellos requiere una técnica de colocación especial.

Sin embargo, el concepto básico en la colocación de un revestimiento exterior con el método de adherencia directa es siempre el mismo. La superficie total del material de revestimiento se adhiere (excepto el método de "encolado localizado" mediante adhesivos epóxicos o a base de silicona), y la base para valorar las prestaciones de adhesión se refiere a la resistencia de una zona unitaria; la medida del material de revestimiento es influenciada sólo por la logística de la construcción o por requisitos legales o constructivos regulados por normas específicas.

Los adhesivos, en teoría, se proyectan para adherir con un margen de seguridad del 250-400%. La razón de un factor de seguridad tan alto es, naturalmente, la necesidad de cubrir las condiciones extremas imprevistas de la naturaleza, como por ejemplo un sismo, y la dificultad de controlar la mano de obra.

### **6.2.5.1 Herramientas para la aplicación y estratificación de adhesivos y morteros de relleno de juntas**

Los utensilios y herramientas enumerados a continuación constituyen el equipo básico necesario para la colocación del revestimiento exterior.

- Llana dentada de acero
- Llana plana de acero
- Llana rectangular
- Tabla portamezcla
- Pistolas aplicadoras de metal (sólo para encolado localizado con silicona)
- Mazo de goma
- Bloque de madera
- Vibrador
- Calzos y cuñas de separación
- Soporte de ventosa con dispositivos de desenganche para manejo de elementos pesados de gran tamaño

#### *Corte del material de revestimiento*

- Banco de sierra para piedra y mampostería, húmedo o en seco
- Cortador de azulejos cerámicos y accesorios

#### *Medición e instalación*

- Nivel de carpintero
- Nivel láser
- Regla de madera o aluminio de 1,2 o 3 metros según necesidad

#### *Limpieza*

- Esponjas, trapos
- Cubo para el agua
- Disolventes (resina epóxica o siliconas)
- Acido muriático para la limpieza después de fraguado el enchape.

### *Equipos de seguridad*

- Gafas de protección
- Guantes de goma
- Máscara contra el polvo
- Cinturones y eslingas de seguridad

La **Llana dentada de acero** es la herramienta primaria y más difícil de utilizar durante el método de colocación de capa fina. La llana dentada desempeña muchas funciones importantes, que contribuyen a la obtención de un buen resultado en la colocación del revestimiento exterior.

### ***Funciones de la llana dentada***

- calibra el justo espesor del adhesivo
- proporciona al adhesivo la justa configuración
- ayuda a obtener una aplicación eficaz del adhesivo

El justo espesor de la capa de adhesivo dependerá del tipo y de la dimensión del revestimiento, de la estructura del substrato y del revestimiento sobre el que se extiende el adhesivo, de la configuración y de la tolerancia del espesor efectivo del revestimiento. Un revestimiento "medido" o "calibrado" tiene un espesor nominal y una tolerancia específica para la desviación; un revestimiento "no calibrado" no tiene un espesor definido. Incluso la piedra natural calibrada puede tener diferencias de espesor de hasta 3mm.

Las llanas dentadas de acero están disponibles en diversas medidas y configuraciones, estudiadas para controlar el espesor del mortero aplicado. La configuración de la aplicación del adhesivo es muy importante para el resultado final del revestimiento exterior. Además de controlar el espesor final del adhesivo, la configuración dentada se presenta como "bandas" o "nervaduras" de adhesivo separadas por espacios, que controlan la estratificación o la colocación del revestimiento en el adhesivo. Los espacios consienten que las nervaduras de adhesivo se plieguen unas sobre otras para disminuir la resistencia a la presión necesaria para proporcionar un contacto adecuado, y proporcionan además un método controlado de

relleno de todos los vacíos de aire, consintiendo la salida del aire paralelamente a las nervaduras.

Esta función resulta determinante para garantizar al adhesivo un contacto y una cobertura completa, no sólo para asegurar la máxima fuerza adhesiva, sino también para eliminar los vacíos de aire o canales, que pueden contener o transportar agua.

*La llana dentada de acero* facilita además la aplicación de los adhesivos. Siguiendo la lógica, las aberturas de las extremidades de la llana dentada crean una resistencia física menor y un mayor control respecto a una llana plana

Es importante mantener el espesor del dentado especificado y la justa configuración de las llanas dentadas de acero. El ángulo de aplicación puede tener un efecto significativo en la altura de las nervaduras de adhesivo, las cuales a su vez pueden influir sobre la relación altura-ancho necesaria para el control del espesor y para la eliminación de los vacíos de aire. Por ello se aconseja prohibir el uso común de llanas desgastadas y solicitar un lavado frecuente así como el respeto del ángulo de aplicación especificado, como parte del control de calidad en el programa de inspección.

***La llana plana de acero*** es una herramienta utilizada para la aplicación de la capa fina inicial de adhesivo en contacto "positivo" entre la superficie del revestimiento que se adherirá, también denominada "untadura posterior" (backbuttering), y la superficie del sustrato. Por regla general, la parte opuesta de una llana dentada suele tener un ángulo plano para tal fin.

***El mazo de goma, el bloque de madera y el vibrador*** son todas ellas herramientas utilizadas para impartir una presión de fijación uniforme al material de revestimiento, asegurando así un contacto pleno con el adhesivo y eliminando cualquier vacío de aire en la capa adhesiva. Estas herramientas aportan además una presión uniforme capaz de nivelar el plano de la superficie del material de revestimiento con la tolerancia de nivel y aplomo.

El empleo de vibradores ha mejorado la calidad del difícil acoplamiento adhesivo del revestimiento exterior en países como Japón. Pequeños vibradores manejados manualmente, o bien adaptadores de pulidoras vibrantes, que vibran a una frecuencia de 200 Hz y con una amplitud de 0.4mm, si se mantienen durante un segundo en cada uno de los ángulos y en las zonas internas del revestimiento, han demostrado lograr una cobertura y un contacto con el adhesivo adecuados.



**Las cuñas separadoras** proporcionan un soporte provisional de gravedad para cada fila sucesiva de material de revestimiento hasta que el adhesivo alcanza la fuerza suficiente para sostener el peso de dicho revestimiento. Las cuñas deben ser productos manufacturados o bien de un material de espesor adecuado, para mantener correctamente las conexiones horizontales y verticales entre los elementos del material de revestimiento.

#### **6.2.6 Procedimiento de colocación del revestimiento utilizando capas finas de adhesivo**

1. Aplicar una fina capa (1,5 milímetros de espesor) de adhesivo sobre el substrato húmedo y preparado para tal fin, utilizando la parte plana de la llana; asegurarse de que el contacto sea perfecto, arrastrando el lado de la llana contra la superficie.

2. Posteriormente, aplicar una nueva capa de adhesivo utilizando la parte dentada de la llana. Extender el mortero sobre la pared con la llana dentada, teniéndolo lo más cerca posible y formar un ángulo de 90° con la pared. Ello asegurará la justa medida de las entalladuras (huellas dejadas por la llana dentada).

3. Las nervaduras de adhesivo deben extenderse con la llana en una sola dirección, y no con un movimiento rotatorio. Si fuera necesario, añadir espesor al adhesivo, añadiéndolo por la parte posterior del revestimiento siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la pared, asegurándose de que la dirección del mortero "peinado" sea la misma que la de la pared, ya que, de lo contrario, resultarían nervaduras en dos direcciones opuestas que podrían interferir unas con otras, haciendo que el contacto correcto entre el mortero y la parte posterior del revestimiento fuera imposible.

4. Por regla general, los revestimientos superiores a 100 x 200 mm y los revestimientos de cualquier medida con una configuración de cola de milano, así como los revestimientos de piedra de cualquier medida, deberían "untarse" con el adhesivo en la parte posterior en el momento de su aplicación sobre la fachada. Este procedimiento no sólo mejora el contacto entre el mortero y la parte posterior del revestimiento, sino que asegura también una cobertura completa.

Otra consideración importante con respecto a la operación de "untadura posterior", es que si el material de revestimiento no se adhiere completamente golpeándolo, las

nervaduras del adhesivo que no se allanan quedarán fijadas igualmente gracias a la capa de adhesivo aplicada en la parte posterior del revestimiento.

5. El revestimiento debe ser prensado para fijarlo al lugar y sometido a torsión y prensado, o bien en el caso de revestimientos con una medida de 300 x 300mm o superior, se desliza hasta alcanzar la posición final siguiendo un movimiento hacia adelante y hacia atrás perpendicular a 90° respecto a la dirección de las nervaduras del adhesivo.

6. Por último, el revestimiento se golpeará con un mazo de goma, un bloque de madera o un vibrador mecánico para asegurar así el contacto adhesivo y colocar la superficie al mismo nivel de la superficie adyacente del revestimiento.

### ***6.2.7 Procedimiento de colocación del revestimiento utilizando capas espesas de adhesivo***

1. Preparar el mortero adhesivo siguiendo las instrucciones del fabricante y las directrices para la mezcla proporcionadas en este estudio. Muchos de los morteros creados para utilizar en capas finas no resultan adecuados para satisfacer los requisitos del método de capa espesa. Es conveniente pues verificar la idoneidad del producto consultando al fabricante. Para las mezclas creadas en el lugar de la obra se aconseja una proporción de 1:3 de cemento y arena, equilibrado con látex.

2. En primer lugar, aplicar una capa bruta de adhesivo con la llana plana, manteniendo un contacto perfecto con el substrato, y después aplicar inmediatamente capas más pesadas hasta alcanzar el espesor deseado.

3. Aplicar luego el adhesivo en la parte posterior de revestimiento, primero raspando bien el mortero en contacto con la superficie de forma de dejar una fina capa y después añadiendo capas adicionales hasta alcanzar el espesor requerido.

4. Mientras que el mortero aún está fresco, colocar el revestimiento sobre el mortero fresco aplicado sobre el substrato de la pared.

5. Una vez que el revestimiento se ha colocado y golpeado en su lugar y al justo nivel aplomador, éste se sostendrá en las filas inferiores, mediante espaciadores para evitar que resbale y para que mantenga las juntas. La superficie del revestimiento no necesita ningún tipo de soporte; un adhesivo elegido correctamente posee una fuerza adhesiva

en condición mojada por centímetro cuadrado suficiente para resistir a cualquier componente horizontal de peso del revestimiento.

**6.** Utilizar una esponja mojada para eliminar todo exceso de mortero de la superficie del revestimiento antes de que se endurezca.

**7.** Se podrán remover los soportes provisionales de la primera fila y los separadores de los espacios de conexión, teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante, una vez transcurridas 24 horas (con temperaturas a 5° C o inferiores, puede ser necesario un periodo de fraguado más largo antes de quitar los soportes, sobre todo en caso de materiales de revestimiento más anchos y pesados).

### ***6.2.9 Procedimiento de colocación de revestimiento con el método de "encolado localizado" mediante adhesivos epóxicos***

**1.** Algunas normas que reglamentan la construcción pueden permitir el uso de este método sólo como método suplementario al anclaje mecánico, para reducir la medida y la complejidad del anclaje mecánico, pero puede presentar restricciones de la altura sin anclajes mecánicos; en cualquier caso consulte siempre las ordenanzas locales de la construcción.

**2.** Para el encolado localizado (spot bonding) del revestimiento se necesitan adhesivos epóxicos especiales. Verifique la idoneidad del adhesivo consultando al fabricante del mismo.

**3.** Mezclar la resina epóxica y los líquidos endurecedores durante unos 3 minutos utilizando un mezclador de barrena a baja velocidad (<300 revoluciones por minuto) o bien un mezclador manual. Seguir las directrices relativas a las limitaciones de temperatura de los adhesivos epóxicos. Mezclar pequeñas cantidades de mortero, que puedan ser utilizadas por un colocador en unos 30 minutos con condiciones óptimas de temperatura.

**4.** Algunas formulaciones permiten la adición de hasta el 50% de arena silíceas, en el lugar de la obra por motivos de economía; de este modo se aumenta el tiempo útil de empleo, reduciendo la reacción exotérmica (producción de calor) originada al mezclar la resina epóxica pura con el endurecedor.

**5.** Trabajar desde abajo hacia arriba, colocando un soporte provisional bajo la primera fila de revestimiento, aplicar inmediatamente la mezcla a base de resina epóxica en la

parte posterior del revestimiento en las cuatro esquinas cubriendo como mínimo el 10% de la superficie del área del revestimiento; puede que sea necesario aplicar más adhesivo en caso de módulos anchos de revestimiento. No es necesario raspar ni la capa superficial de la pared ni la de la superficie del material de revestimiento, ya que se presume que ambas han sido ya preparadas y limpiadas adecuadamente.

**6.** El espesor inicial de la mezcla no debe superar los 50 milímetros para evitar así fenómenos de hundimiento; el revestimiento debe colocarse con el nivel aplomador justo, de manera que el adhesivo llegue a tener un espesor no superior a los 18–25mm.

**7.** No colocar más de dos capas, sin esperar a que el adhesivo se fije, para prevenir así la transmisión de excesivo esfuerzo del propio peso a las capas subyacentes.

**8.** Los soportes y los separadores provisionales pueden ser quitados tras 24 horas con condiciones óptimas de temperatura (20°C); en caso de temperaturas inferiores puede ser necesario un tiempo más largo de fraguado.

#### ***6.2.10 Procedimiento de colocación del revestimiento con el método de moldeado negativo (paneles prefabricados de hormigón)***

**1.** El material de revestimiento se coloca bocabajo en el molde del panel; el espesor de las juntas y la configuración son controlados por una rejilla capaz de asegurar la correcta posición, juntas uniformes y una fijación segura durante el moldeado. Por regla general las juntas se ahondan en la colada y posteriormente se resaltan o se rellenan con mortero una vez que el panel ha superado la fase de fraguado y ha sido quitado del molde.

**2.** Si el revestimiento no presenta en la parte posterior una configuración de cola de milano o de "keyback", se aconseja emplear una mezcla líquida adhesiva, formada por cemento y aditivo a base de látex, con un espesor de 3mm, aplicándola en la parte posterior del revestimiento, para ejercer así una acción de bloqueo mecánico entre el revestimiento y el hormigón. El aditivo a base de látex no deberá contener retardadores, dado que la capa espesa de hormigón previene el correcto fraguado de la capa de mezcla líquida adhesiva.

**3.** El hormigón es depositado en el molde y sobre la parte posterior del revestimiento, mientras que la mezcla líquida adhesiva está aún mojada y pegajosa, y se endurece con el espesor total del panel.

## **6.3 Relleno de juntas y selladores**

### **6.3.1 Finalidad de los rellenos o selladores de juntas**

Las juntas o espacios existentes entre las piezas de revestimiento tienen numerosas finalidades dentro de un sistema de revestimiento de adherencia directa. Desde un punto de vista estético, las juntas desempeñan una función decorativa, proporcionando fundamentalmente una escala agradable a la vista. Desde un punto de vista funcional, las juntas compensan las tolerancias dimensionales de manufacturación o fabricación del material de revestimiento.

No obstante, el aspecto más importante es que las juntas independizan el revestimiento en su lugar y proporcionan una protección contra múltiples fuerzas exfoliantes. Dependiendo del tipo de material utilizado para su relleno, una junta actuará también como disipador del esfuerzo cortante provocado por el movimiento.

Los estándares europeos dictan un ancho mínimo para las juntas de revestimiento exterior de entre 2 y 8mm para azulejos cerámicos del Grupo II y III con >3% de absorción, y 10mm para azulejos de porcelana del Grupo I con un grado de absorción de <3%. Para el caso de los enchapes cerámicos no existen ninguna limitación específica en términos normativos.

Una gran parte de las normas industriales y de las ordenanzas de la construcción extranjeras prohíben la aplicación de juntas "empalmadas a tope" o "abiertas" en revestimientos exteriores.

#### **6.3.1.1 Compensación de las tolerancias del revestimiento**

Las juntas de las distintas partes de un revestimiento compensan las posibles tolerancias de manufacturación o fabricación, de modo que las dimensiones efectivas (de un centro a otro de las juntas o dimensión total del panel) puedan mantenerse. Por consiguiente, las juntas deberán ser suficientemente anchas, para permitir las variaciones de ancho de los elementos, nivelando las diferencias de fabricación del revestimiento, sin que resulten evidentes.

### **6.3.1.2 Prevención de las infiltraciones de agua**

Las juntas rellenas en el revestimiento crean una barrera contra la lluvia y agentes atmosféricos. Así, no sólo previene las infiltraciones de agua, que pueden provocar congelación, pérdidas de estanqueidad y eflorescencia, sino también la acumulación de contaminación atmosférica, que puede causar manchas o deterioro.

Prescindiendo de la impermeabilidad del material utilizado y de la calidad de la colocación, ningún material es efectivo al 100% contra la penetración del agua, por lo que existe siempre una pequeña cantidad de agua que logra infiltrarse por absorción capilar o por el paso de la lluvia transportada por el viento a través de los defectos más pequeños, como finísimas hendiduras, por esta razón se suele aplicar posteriormente un impermeabilizante de tipo capilar incoloro, especialmente en materiales porosos, como revestimientos de arcilla.

### **6.3.1.3 Acción compuesta de los rellenos de juntas**

La función más importante del relleno de las juntas es la de ofrecer resistencia a los esfuerzos y descarga de los mismos. La acción compuesta de bloqueo con la capa adhesiva permite que el revestimiento soporte mejor los esfuerzos cortantes y de tracción.

### **6.3.1.4 Disipación del esfuerzo de movimiento y del vapor de agua**

El relleno de las juntas ayuda a disipar el movimiento térmico y el movimiento provocado por la humedad, que pueden dar lugar a exfoliación o separación del adhesivo si los lados y esquinas de las piezas del material de revestimiento se han encolado ligeramente. Eliminar las juntas, aplicando más adhesivo en las esquinas de las piezas de revestimiento es un método bastante común en las instalaciones con piedras naturales, en las que se desea mantener un aspecto monolítico.

El uso de selladores como las mezclas a base de cemento Portland, arena y látex proporcionan una resistencia suficiente, si se comparan con materiales más frágiles, como las mezclas a base de cemento puro y arena, pudiendo absorber sin romperse el esfuerzo de compresión provocado por la expansión.

En muchos Países, las normas y las ordenanzas de la construcción requieren un ancho mínimo de 6 milímetros para las juntas de revestimientos exteriores, permitiendo así que las piezas del revestimiento puedan moverse, en vez de crear unidades monolíticas.

El aislamiento del movimiento puede obtenerse ulteriormente separando secciones de revestimiento con juntas de movimiento. Ello asegurará que la junta de movimiento sea la primera en "fallar", disipando los esfuerzos de compresión, antes de que puedan provocar tensiones excesivas sobre el revestimiento o el acoplamiento adhesivo. La disipación del esfuerzo proporciona un factor de seguridad añadido contra el peligro de exfoliación o de separación del adhesivo.

No es razonable pensar que un colocador pueda ser capaz de rellenar completamente con sellador o lechada una junta de un ancho inferior al indicado anteriormente. La penetración mínima del sellador en juntas demasiado estrechas puede originar roturas, deterioro o aflojamiento, lo que producirá una pérdida de la acción compuesta y de protección contra la lluvia y las infiltraciones de suciedad.

Otra función importante del relleno de juntas es que permita disipar el vapor de agua procedente de la humedad infiltrada o condensada, que ha quedado atrapado debajo del revestimiento. Algunas normas y ordenanzas de la construcción requieren que un mínimo del 10% de la superficie del revestimiento consista en juntas permeables al vapor, dado que las juntas proporcionan el único canal para la evaporación del vapor en muchos revestimientos de tipo impermeable, como los azulejos de gres porcelánico.

### ***6.3.2 Materiales para el relleno de juntas y sellado de los revestimientos exteriores***

Los materiales típicos para el relleno de juntas y sellados, se enumeran a continuación:

- lechada de cemento, arena y agua
- lechada de cemento modificado con polímero, arena y agua
- lechada de cemento y látex
- lechada modificada con emulsión de resina epóxica
- lechada a base de resina epóxica

- sellador de silicona o uretano

### **6.3.2.1 Lechada de cemento convencional**

La mezcla tradicional de cemento-arena-agua se utiliza comúnmente como relleno para las juntas de los revestimientos exteriores.

Aunque esta mezcla ha sido utilizada siempre con un discreto éxito, no se aconseja, debido a los problemas de escasa maleabilidad, problemas de retracción, necesidad de un fraguado "mojado", contaminación de minerales procedente del agua utilizada para la mezcla y problemas característicos, como la rigidez y la reducida adhesión a las esquinas del material de revestimiento de baja absorción o la aspiración por parte de las esquinas del material de revestimiento con alto grado de absorción.

Las lechadas de cemento y látex (y en menor medida las lechadas modificadas con polímero) proporcionan prestaciones notablemente mejores en condiciones externas, sin aportar grandes diferencias de costes.

Las lechadas de cemento Portland no se aconsejan para el revestimiento exterior, debido a los amplios movimientos de la mezcla de cemento puro, al ser expuestas a ciclos de clima húmedo/seco, dando lugar a microgrietas. Los rellenos de arena minimizan el movimiento de retracción y oponen resistencia a la rotura por compresión.

Las lechadas convencionales de cemento y arena suelen ser mezclas de cemento, arena, y pigmentos mezclados previamente o bien mezclados en el lugar de la obra con una proporción aproximada de 1:2 por el volumen, para juntas de 12mm de ancho, calibrando la mezcla con agua potable.

Si se utilizan rellenos tradicionales a base de cemento y arena será necesario hacer fraguar el mortero mojándolo durante un mínimo de 72 horas tras la colocación, para de este modo prevenir la pérdida de humedad de hidratación necesaria y no provocar la consiguiente pérdida de fuerza y color.

### **6.3.2.2 Lechada de cemento modificado con polímero**

Las lechadas de cemento-polímero modificado en polvo dispersivo, mezcladas con agua, compensan, por regla general, el grado reducido de trabajabilidad y de



evaporación prematura de la humedad, típico de las lechadas de cemento y arena tradicionales, sobre todo para el uso en fachadas externas.

Sin embargo, las formulaciones industriales de este tipo de relleno para juntas varían notablemente de unas a otras y, generalmente no suelen añadir características especiales de flexibilidad o adhesión, factores importantes para las juntas de un material de revestimiento exterior.

Algunas formulaciones industriales, al igual que para los adhesivos de la misma categoría, no resultan adecuadas para el uso exterior, debido a la sensibilidad de los polímeros a la exposición prolongada al agua.

#### **6.3.2.3 Lechada de cemento y látex**

Al igual que para los adhesivos de la misma categoría, la lechada a base de látex es la combinación de una mezcla industrial de arena, cemento y pigmentos en polvo, o bien de arena y cemento mezclados en el lugar de la obra, con una proporción aproximada de 1:2 por el volumen, para juntas de 12 milímetros de ancho, calibrada con látex líquido o aditivo polímero acrílico.

Así como para las lechadas modificadas con polímero, el látex líquido o aditivo acrílico debe haber sido formulado para su uso en exteriores.

#### **6.3.2.4 Lechada con emulsión de resina epóxica modificada y resina epóxica sólida al 100%**

Las lechadas a base de resina epóxica no suelen ser aconsejadas para las fachadas externas por varios motivos. En primer lugar, el uso de lechadas a base resina epóxica en combinación con un material de revestimiento con bajo grado de absorción crea una barrera continua, que puede atrapar el vapor o el agua pluvial infiltrada provocando problemas que van desde el deterioro interno de la pared a la exfoliación, dependiendo del tipo de construcción mural.

Como se mencionó anteriormente, las juntas sirven para disipar el vapor que se encuentra dentro de la fachada y algunas ordenanzas de la construcción requieren la presencia de un mínimo del 10% de juntas permeables en una fachada, para permitir la transpiración del vapor. Cuando estos materiales se utilizan para rellenar las juntas de

un tipo de revestimiento con bajo grado de permeabilidad en paredes con un tipo de construcción "de barrera", el revestimiento se transforma en una barrera monolítica antivapor, pudiendo atrapar peligrosamente la humedad dentro de la pared.

En zonas con clima caluroso y húmedo, la barrera monolítica de la superficie exterior de la pared puede constituir un factor positivo, siempre que la pared haya sido proyectada adecuadamente para prevenir la infiltración del agua pluvial que puede quedar atrapada en la pared.

Ello constituye un problema de mayor escala en paredes huecas, proyectadas a propósito para que el agua pluvial infiltrada o el agua de condensación salga fuera de la superficie de la pared.

Las lechadas a base de resina epóxica son sensibles a la temperatura; la temperatura exterior puede restringir severamente la vida útil o "pot-life", la laborabilidad y la facilidad de limpieza final.

Las lechadas a base de resina epóxica tienen una resistencia tal de compresión que crean una acción compuesta monolítica entre las distintas piezas que componen el revestimiento exterior y no disipan los esfuerzos de movimiento. Esto hace que el uso frecuente de juntas de movimiento construidas de modo apropiado sea muy importante.

La lechada a base de resina epóxica sólida al 100% es muy sensible a las condiciones que acabamos de describir; no obstante, en ciertas ocasiones este tipo de lechada puede ser adecuada para aplicaciones especiales o aisladas de revestimiento exterior de pequeña escala.

La lechada modificada con emulsión epóxica posee una mayor permeabilidad así como una menor sensibilidad a las temperaturas; en cualquier caso, ésta deberá tomarse en consideración sólo para aplicaciones especiales.

#### **6.3.2.5 Sellador de silicona o uretano**

Estos materiales sólo suelen utilizarse como rellenos en las juntas de movimiento y entre el revestimiento y los diversos materiales aplicados sobre la misma fachada (como el metal de los marcos), para los que se requiere un grado superior de adhesión y de resistencia al movimiento diferencial y a la tracción o al esfuerzo de compresión. Las juntas de movimiento se proyectan para aliviar el aumento de tensión, que puede

transmitirse a una amplia área; además deben tener características para resistir mayor alargamiento o mayor compresión, respecto a materiales más rígidos como el cemento.

Estos materiales se adhieren también a otros materiales diversos como el metal de los marcos de las ventanas, e sólo para servir de barrera contra el agua, algo que un material rígido podría no lograr, o también para compensar las características notablemente diversas de movimiento térmico entre materiales como el aluminio y el hormigón.

La silicona y el uretano pueden utilizarse también como rellenos para todas las juntas de un revestimiento de acuerdo con determinadas condiciones. En las paredes revestidas con el método de encolado localizado (spot bonding) con resina epóxica, los morteros rígidos no ejercerían una acción de soporte o compuesta con un adhesivo subyacente, por lo que llegarían a romperse o separarse.

Se aconseja el uso de rellenos flexibles para juntas en proyectos en los que se prevean juntas muy estrechas.

### ***6.3.3 Métodos y herramientas para la aplicación de lechadas y selladores de juntas para revestimientos exterior***

#### ***6.3.3.1 Lechada de cemento, cemento seco modificado con polímero y lechada de cemento y látex***

1. Antes de aplicar la lechada es necesario realizar una prueba sobre el panel (preferiblemente como parte de los procedimientos de control de la calidad que deben preceder a la construcción), para verificar los procedimientos de relleno con lechada y limpieza de la superficie en base a las condiciones climáticas efectivas. Durante dicha prueba, se podrá decidir si es necesario aplicar un agente de "desbloqueo" o de "estanqueidad" en el revestimiento antes de aplicar la lechada, para facilitar así la operación de limpieza y prevenir manchas de pigmentos y la absorción de la mezcla de cemento (sobre todo del cemento y látex) dentro de los poros de los materiales de revestimiento naturalmente porosos. Esta prueba determinará además si son necesarias otras precauciones, como la saturación del revestimiento con agua para

bajar la temperatura, menor absorción, y necesidad de ayuda en la colocación y el lavado.

**2.** Es necesario esperar como mínimo 24 horas tras la colocación del revestimiento antes de llevar a cabo el relleno de las juntas.

**3.** Antes de empezar a aplicar la lechada, es necesario quitar todos los separadores colocados provisionalmente (las cuñas); cepillar y quitar todo exceso de adhesivo de las juntas.

Insertar un relleno provisional (cuerda, barra de espuma) dentro de las juntas de movimiento, para evitar que éstas se llenen de mortero duro.

Limpiar la superficie del revestimiento con una esponja o con un trapo humedecido en agua y eliminar la suciedad para facilitar así la limpieza final de los residuos.

**4.** Aplicar la lechada de relleno con un fratás de goma, rellenando completamente las juntas.

**5.** Quitar los excesos de lechada con una escobilla y con un movimiento diagonal respecto a las juntas para evitar quitar la lechada de las mismas.

**6.** Esperar a que la lechada empiece a secarse y después quitar los residuos con una esponja humedecida o con un trapo, realizando un movimiento diagonal sobre la superficie del revestimiento y después secar.

**7.** Los posibles residuos frágiles o películas de lechada deberán ser eliminados antes de 24 horas utilizando una esponja o un trapo mojado.

### **6.3.3.2 Material de relleno a base de silicona o uretano para juntas**

Los procedimientos de aplicación de este tipo de materiales de relleno para juntas son los mismos que los descritos para las juntas de movimiento.

## **6.4 Limpieza tras la colocación**

La mayor parte de la limpieza debería efectuarse durante la colocación, ya que los residuos endurecidos del adhesivo y el mortero de relleno necesitan después métodos de eliminación mecánicos o químicos más agresivos, respecto a los métodos necesarios cuando el material aún está relativamente fresco. Los adhesivos a base de agua, cemento y látex se limpian fácilmente con agua si todavía están frescos, o

pueden necesitar un lavado con agua durante el primer día, frotando ligeramente o raspando con mucho cuidado. Los adhesivos a base de resina epóxica o silicona y las juntas de estanqueidad requieren una limpieza más enérgica y la ayuda de disolventes, en caso de que el residuo tenga más de 24 horas.

## Capítulo 7: Mantenimiento, ensayos y patologías

### 7.1 Introducción

Un plan de mantenimiento sistemático constituye un paso final necesario y crítico del proceso de construcción que suele ser ignorado. La fachada de un edificio está expuesta a algunas de las más duras condiciones de deterioro de cualquier otro sistema del edificio, por lo que, sin un mantenimiento regular, se acelerará el proceso de deterioro normal. Esto produce la pérdida de la especificación de rendimiento y la reducción de la duración.

La mantención de las fachadas de los edificios puede clasificarse según la forma y el momento en que se llevan a cabo las acciones de mantenimiento. El *mantenimiento preventivo* es una acción planificada y proactiva que mantiene el rendimiento especificado y evita defectos o fallos potenciales; un ejemplo es la sustitución del neumático de un coche antes de que pierda la tracción o se "pinche" durante la conducción. El mantenimiento preventivo incluye las acciones y reparaciones de rutina anticipadas, tales como la aplicación de selladores protectores o la sustitución de material de unión deteriorado, sea las reparaciones no previstas, tales como la sustitución de revestimientos de las partes exteriores agrietadas o la corrección de fugas de agua que pueden manifestarse como síntomas de eflorescencia. Se ha demostrado que la prevención aumenta la vida de servicio prevista y cuesta una fracción de la acción reparadora más extensa que típicamente se requiere una vez que se produce el defecto.

El *mantenimiento correctivo* es una acción reparadora que corrige un defecto después de que se ha producido. Este es necesario para prevenir el deterioro adicional o el fallo total de un sistema de pared. El *mantenimiento correctivo* típicamente incluye evaluación a través de un procedimiento de ensayo destructivo o no destructivo.

### 7.2 Protecciones y selladores repelentes al agua

La finalidad y acción de estos materiales es ampliamente mal interpretada por los profesionales del diseño y construcción. Generalmente, los recubrimientos repelentes al agua limpia pueden ayudar a retardar la absorción del agua a través de la superficie de

los materiales porosos y a reducir la adherencia de la contaminación atmosférica y de otras manchas. No obstante, estos materiales suelen proporcionar una falsa sensación de seguridad debido a una mala interpretación de su aptitud, compatibilidad y rendimiento. Los repelentes al agua pueden reducir las filtraciones de agua y el deterioro de los materiales de revestimiento exterior y de unión de porosidad normal, pero no proporcionan un remedio para las filtraciones anormales provocadas por defectos fundamentales de diseño y construcción.

Existen varios principios generales relacionados con el uso y la aplicación de selladores en fachadas. Los selladores repelentes al agua no son impermeables, y suelen ser incapaces de unir las separaciones o fisuras en las juntas de mortero o en el material de revestimiento exterior, de manera que estos materiales no son de utilidad cuando se aplican a fisuras o materiales sumamente porosos. Los selladores para fachadas apropiados deben ser permeables al vapor, permitiendo que los materiales de la pared "respiren" pero que detengan el agua. Por otra parte, los selladores pueden crear defectos funcionales o estéticos que se pretende evitar o corregir mediante su aplicación. Por ejemplo, los selladores pueden tener un efecto adverso si el agua se infiltra por detrás del conjunto de la pared, ya sea a través de fisuras/ separaciones finas o a través de los acoplamientos de paredes de diseño y construcción ordinarios. Los selladores pueden atrapar el agua dentro de una pared, provocando eflorescencia o exfoliación del material de revestimiento exterior.

A medida que los selladores van envejeciendo, se pueden producir diversos problemas. Normalmente, la eficacia se va reduciendo con el paso del tiempo, por lo que se requieren nuevas aplicaciones periódicas (dependiendo de la formulación y de las recomendaciones del fabricante). Una vida de servicio eficaz estaría en el intervalo de 2 a 5 años. Además, los selladores pueden conducir al humedecimiento variable del enlucido o del revestimiento exterior debido a su deterioro por la acción de los agentes atmosféricos o a una aplicación ordinaria, lo que puede producir un aspecto manchado. En algunos casos, el sellador podrá aplicarse nuevamente; en otros, habrá que aguardar a su total deterioro, o bien retirarlo por medios químicos para restituir el aspecto uniforme.

La compatibilidad de los selladores también es importante, y no sólo en relación con los materiales a sellar sino con los componentes adyacentes o subyacentes de la pared. El aspecto de ciertos materiales de revestimiento exterior o de enlucido puede

verse afectado por los selladores. Una aplicación deficiente o la mala calidad de los productos puede oscurecer o cambiar el aspecto. Las formulaciones de silicona provocan decoloración en superficies con alto contenido de cal, tales como la piedra caliza o el mármol. La aplicación (o pulverización) de selladores sobre revestimientos exteriores no porosos, tales como azulejos de gres porcelánico, puede producir residuos visibles o aspecto de chorreado húmedo del sellador que no se absorbe, como en el caso de los acrílicos y uretanos. Las juntas de estanqueidad, las membranas impermeables al agua y las ventanas metálicas son algunos de los componentes de pared que podrían verse afectados por los disolventes de ciertas formulaciones.

Existen varios tipos de selladores y recubrimientos repelentes al agua, por lo que el sellador adecuado dependerá del tipo de material que se pretende sellar y de otras características deseables, tales como la permeabilidad al vapor. El recubrimiento impermeabilizante más común es una solución de silicona al 3-5% en una base disolvente de alcohol mineral. Otros tipos incluyen los silanos, que son soluciones al 20-40% en alcohol o agua, los siloxanos, que son soluciones al 5-20% en agua o alcohol mineral, y el acrílico en soluciones al 5-50% en una base de alcohol mineral o agua. También existen los impermeabilizantes basados en uretano y carburo de cuarzo difuso. Este último pertenece a una tecnología reciente que no interfiere con la porosidad o la permeabilidad natural del material.

Las siliconas, los acrílicos y los uretanos actúan formando una película que permanece después de que el disolvente se ha evaporado. No se pueden aplicar sobre superficies húmedas y adquieren un color blanco al aplicarse sobre un material húmedo. Las siliconas requieren la presencia de sílice para reaccionar químicamente y formar una película de resina de silicona repelente al agua, por lo que carecen de utilidad si se aplican sobre materiales de revestimiento exterior que no contengan sílice.

Además de los problemas potenciales de formación de manchas, las siliconas presentan escasa resistencia a los rayos ultravioleta. Los silanos y los siloxanos tienen una estructura molecular mucho más pequeña que les permite penetrar profundamente, dando lugar a una reacción química que deja una resina de silicona dentro de los poros del material. En consecuencia, se pueden aplicar sobre superficies húmedas, presentan una adecuada permeabilidad al vapor por lo tanto son más apropiados para materiales de unión de revestimiento exterior y porosos, especialmente porque reducen la eflorescencia. Aunque los impermeabilizantes de silano y siloxano se pueden aplicar



sobre paredes húmedas, se recomienda esperar 48 horas desde la última lluvia antes de aplicarlos sobre una pared existente, y 30 días tras la terminación de una nueva construcción.

Las siliconas son menos permeables que las formulaciones de siloxano y silano. Las nuevas generaciones de acrílicos forman película, aunque la mayoría de las formulaciones son permeables y se pueden utilizar cuando los repelentes a base de silicona no reaccionan adecuadamente o no pueden ser absorbidos. Antes de aplicar un repelente al agua, todo trabajo de sellado de uniones deberá dejarse fraguar un mínimo de 72 horas; los disolventes del repelente al agua pueden afectar el proceso de fraguado de los selladores. También deberá proporcionarse protección a otros materiales sensibles a los disolventes - tales como membranas impermeables, caucho, vidrio, marcos metálicos y vegetación – por medio de saturación con detergente de lavavajillas y agua antes de la aplicación. La mayoría de las formulaciones a base de agua no reaccionan frente a los materiales sensibles a los disolventes. Los repelentes al agua se aplican desde el extremo superior de la fachada, empleando un pulverizador sin aire a una presión de 15-30 psi (0,20 MPa), o bien un rodillo, si se trata de superficies menores.

Los repelentes al agua a base de disolventes exigen el empleo de prendas protectoras, además de respiradores y medios de ventilación que protejan el interior del edificio de las emanaciones de los disolventes.

### **7.3 Ensayos no destructivos**

El ensayo no destructivo consiste en examinar un objeto o material por medio de una tecnología que no afecta su utilidad futura. Estos ensayos son útiles no sólo porque se puede utilizar sin destruir o dañar un sistema de revestimiento exterior de la fachada, sino porque determinadas técnicas pueden proporcionar una evaluación precisa de un complejo tipo de construcción de múltiples capas. Debido a que las técnicas de estos ensayos permiten realizar la inspección sin interferir con el avance y la utilidad final de la construcción, ella proporcionan un equilibrio entre garantía de calidad y rentabilidad económica. Incorpora diversas tecnologías y equipos, pudiendo emplearse para detectar defectos tanto internos como externos, para determinar las propiedades y la composición de los materiales, y las características geométricas de medida. Pueden ser

de utilidad en cualquier fase de la construcción de un revestimiento exterior de adherencia directa, e incluye evaluación de materiales, evaluación del área de ensayo antes de la construcción, control de calidad en el curso de la instalación, y mantenimiento posterior a la instalación.

Actualmente, los ensayos no destructivos de revestimientos exteriores de adherencia directa abarcan las siguientes técnicas:

***Tipos de ensayo no destructivo***

- Inspección visual y óptica (VT)
- Modelado informático (análisis de elementos finitos, o FEA)
- Prueba de impacto acústico (golpeteo)
- Scanning termográfico
- Ensayo ultrasónico (velocidad y eco de impulsos, o UT)
- Radiografía (RT)
- Ensayo del contenido de humedad y sales solubles

***7.3.1 Inspección visual (VT)***

Todo tipo de fachada exterior requiere el desarrollo (e idealmente, la implementación) de un plan de mantenimiento sistemático posterior a la instalación por parte del arquitecto o del ingeniero de diseño. Tanto si los defectos provienen de la exposición a las condiciones de servicio normales como de una instalación defectuosa, por regla general éstos estarán ocultos a la vista y no se manifestarán como problemas hasta el momento de producirse una avanzada etapa de deterioro o fallo. Por consiguiente, es esencial desarrollar, como mínimo, un plan sistemático de inspección visual de mantenimiento preventivo durante la evaluación de los materiales y muestras empleados y durante la construcción. Una vez finalizada la construcción, las inspecciones deberían continuar con una frecuencia de 2-3 años. La comparación visual con muestras de referencia y la observación para detectar señales obvias de deterioro, tales como fisuras del material de revestimiento unión, o señales de filtración de agua, deberían estar acompañadas por un mínima prueba de impacto acústico (golpeteo) o bien por un scanning termográfico. Esto proporcionará un registro rápido y económico del estado de la fachada, sirviendo como base para pruebas futuras, en caso necesario.

Además, el rendimiento y la adherencia del material de revestimiento exterior y el comportamiento de otros componentes críticos del sistema de pared, tales como las juntas de movimiento, deberían ser objeto de inspección y evaluación.

### ***7.3.2 Modelado informático (análisis de elementos finitos, o FEA)***

El análisis de elementos finitos se ha utilizado durante muchos años como método de diseño para determinar el comportamiento estructural de sistemas complejos tales como un revestimiento exterior. Sin embargo, sólo recientemente se ha dispuesto, en forma más amplia, de una potente tecnología informática que permita al ingeniero contemplar estas técnicas de diseño y ensayo como económicamente viables.

### ***7.3.3 Prueba de impacto acústico (golpeteo)***

Este método es una simple prueba tradicional, nacida del sentido común y de la necesidad, consistente en golpear sobre el material de revestimiento exterior con un martillo u otro instrumento sólido. Las características de frecuencia y amortiguación del sonido resultante del impacto pueden indicar defectos tales como exfoliación o áreas carentes de adhesivo. Según esta técnica puramente cualitativa, un sonido sólido, definido y de alta frecuencia, probablemente indica una buena adherencia, en tanto que un sonido apagado, reverberante y de baja frecuencia, probablemente indica falta de contacto y áreas huecas provocadas por un recubrimiento de escasa calidad del mortero adhesivo.

La prueba de golpeteo sólo sugiere la existencia de un defecto, y justifica una investigación adicional con métodos de ensayo cuantitativos, tales como el ensayo ultrasónico por eco de impulsos. No obstante, una regla general señala que si el golpeteo de un revestimiento refleja que más del 25% del área de un azulejo individual se encuentra en un entorno hueco, el azulejo deberá ser sustituido aún cuando pueda tener una adherencia funcional. La prueba de golpeteo es útil solamente para sistemas de pared que requieren un soporte y adherencia total del mortero adhesivo, y no es aplicable a sistemas que emplean adherencia selectiva con adhesivos epóxicos o de silicona.

**Ventajas:** La principal ventaja de la prueba de golpeteo es que es una operación económica que no requiere un equipo sofisticado (se recomienda un martillo, aunque bastará cualquier objeto duro), y que se realiza fácilmente en el curso de la instalación.

**Limitaciones:** Aunque una prueba de golpeteo sobre la totalidad de la fachada supondría un trabajo considerable, la principal limitación reside en la naturaleza cualitativa de los resultados de la prueba. La interpretación del entorno es muy subjetiva, y requiere experiencia para distinguir los diferentes sonidos que pueden estar influenciados por factores tales como la masa o la densidad del material del revestimiento exterior, o la ubicación del defecto dentro del sistema de pared compuesto. Incluso para un técnico experimentado, los sonidos provenientes de ubicaciones huecas no necesariamente son indicativos de un estado que pudiera tener un efecto adverso en el rendimiento. La prueba de golpeteo se recomienda sólo a modo de técnica de evaluación general para identificar áreas sospechosamente defectuosas y realizar unas pruebas posteriores con métodos de ensayo más precisos y cuantitativos, de tipo destructivo y no destructivo, tales como pruebas de adherencia mediante tracción o pruebas ultrasónicas.

#### **7.3.4 Scanning termográfico**

El scanning termográfico, conocido también como scanning ultrarrojo, fotografía ultrarroja o IR, ha sido utilizado como técnica diagnóstica durante muchos años en otros campos, tales como la medicina y la industria aeroespacial. Esta técnica se utiliza principalmente para identificar áreas remotas o inaccesibles de pérdida o captación de calor. El scanning termográfico ha sido aplicado al sector de la construcción para determinar pérdidas o captaciones de calor en edificios, para detectar filtraciones de agua y, más recientemente, para detectar defectos estructurales, tales como exfoliación de revestimientos, en sistemas compuestos.

El concepto básico del scanning termográfico consiste en que todos los objetos emiten una radiación electromagnética en el espectro infrarrojo (invisible al ojo humano). Esta radiación infrarroja invisible puede ser captada y convertida en señales eléctricas que luego son descifradas como imágenes visuales (colores de contornos de línea) que ilustran la distribución de la temperatura en la superficie de un objeto.

### ***Ventajas***

El empleo del scanning termográfico como técnica diagnóstica de garantía de calidad y posterior a la instalación para la identificación de defectos potenciales en revestimientos exteriores de adherencia directa es altamente recomendable. Esto se debe a que la técnica es segura, no destructiva y no requiere acceso directo al revestimiento exterior (factor importante en pruebas realizadas sobre áreas a gran altura o inaccesibles de una fachada), lo que la convierte en uno de los métodos de diagnóstico más rentables. Esta técnica tiene valor no sólo para el diagnóstico de defectos posterior a la instalación, sino como herramienta de garantía de calidad y de mantenimiento preventivo. El scanning termográfico puede identificar defectos menores ocultos a la vista que, en su estado presente, no afectan a la seguridad. Las áreas en cuestión pueden ser identificadas y documentadas para un control y mantenimiento periódico destinado a evitar deterioros posteriores.

El empleo y los resultados del scanning termográfico pueden ser mucho más eficaces y concisos si la técnica se utiliza para establecer una imagen termográfica de referencia antes del inicio de la construcción. Se pueden construir paneles de muestra, tanto de acuerdo con la especificación como con la introducción de diversos defectos, que luego son objeto de scanning para determinar un modelo térmico de referencia utilizable como técnica de garantía de calidad durante la construcción.

### ***Limitaciones***

Esta técnica presenta unas considerables limitaciones. El scanning termográfico no se puede emplear para determinar la causa o la ubicación exacta de un defecto, ni tampoco puede cuantificar la naturaleza de un defecto. Este método se utiliza sólo como herramienta cualitativa para proporcionar una evaluación general de la calidad de la adherencia de la capa del revestimiento exterior. Esto se debe a que la técnica sólo puede detectar económicamente un flujo de calor próximo a la superficie del revestimiento exterior, y es incapaz de detectar con facilidad aquellos defectos de la pared subyacente. Por consiguiente, el scanning termográfico debería utilizarse solamente como un método eficiente y económico para identificar y aislar defectos potenciales en grandes áreas y luego realizar pruebas posteriores más concluyentes a través de métodos más cuantitativos.

La realización de la prueba y la interpretación de las imágenes de flujo térmico se ven afectadas por diversos factores, por lo que debe ser llevada a cabo por personal cualificado capaz de reconocer falsas influencias sobre las imágenes térmicas infrarrojas. Las imágenes térmicas pueden verse afectadas por factores tales como el ángulo y la distancia de visión de la prueba desde la fachada y por factores extraños que pueden afectar la medición del flujo térmico, tales como la radiación solar directa, los escapes de calor (o frío) internos, el clima, el flujo del aire y la textura del revestimiento exterior.

### ***Aplicación***

La fachada de un edificio está expuesta diariamente a ciclos de calentamiento y enfriamiento debido a la radiación solar y a los cambios de la temperatura ambiental. Debido a que la fachada se calienta durante el día, o se enfría durante la noche, la pérdida o captación de calor será uniforme a través de un material continuo y homogéneo, tal como un sistema de revestimiento exterior de adherencia directa. El scanning termográfico detecta defectos potenciales midiendo la conducción del calor a través del revestimiento exterior y del conjunto de pared subyacente. Los defectos potenciales se identifican como áreas en las que existe discontinuidad interna, tales como vacíos, fisuras o separación de los materiales. Las áreas de discontinuidad aíslan e impiden la conducción del calor a través del espacio de aire. Como resultado, la transmisión térmica se distorsiona en las áreas defectuosas, y la temperatura difiere respecto a la de las áreas circundantes. Esto significa que, durante el día, las áreas defectuosas se mantienen más frías debido a que el revestimiento exterior (o las capas subyacentes del sistema de pared) está aislado y no permite la conducción y absorción del calor por la pared subyacente. Por el contrario, la pérdida de calor nocturna se ve impedida, y las áreas defectuosas permanecen más calientes que las áreas circundantes.

### ***Procedimientos y equipo***

El siguiente equipo básico es necesario para la realización del scanning termográfico:

#### ***Equipo de scanning termográfico (infrarrojo)***

- Detector infrarrojo (IR)
- Unidad de proceso con monitor y sistema de registro

- Lentes intercambiables
- Trípode o montaje fijo (con cabeza giratoria)

Los procedimientos de ensayo mismos varían según los diferentes tipos de equipo. Por lo general, el ángulo de visión no debería exceder de 30 grados desde la perpendicular hasta la superficie del revestimiento exterior.

### **7.3.5 Velocidad y eco de impulso ultrasónico**

En general, este método diagnóstico se emplea en la construcción de edificios para identificar y cuantificar defectos estructurales. El concepto básico de la velocidad de impulso ultrasónico consiste en que las ondas de sonido ultrasónico viajan a través de los materiales a una velocidad conocida (dependiente de la densidad y las propiedades elásticas del material), y en que los cambios de velocidad y dirección pueden ser medidos en la superficie de contacto entre los diferentes materiales. Normalmente, la velocidad de impulso ultrasónico se emplea para determinar la calidad y uniformidad de materiales sólidos, tales como los de paredes de hormigón o recubrimientos de cemento, en el caso de fachadas. En los sistemas de pared de adherencia directa, la velocidad y eco de impulso ultrasónico se emplea principalmente para detectar exfoliaciones (pérdida de adherencia) o vacíos de aire (áreas carentes de adhesivo). Este método de ensayo también se puede emplear para determinar la uniformidad de los morteros de nivelación y la estructura de hormigón subyacentes, y además para detectar fisuras ocultas a la vista.



*Imagen 7.1: Equipo de impulso ultrasónico.*

El equipo de ensayo, que es compacto y fácil de utilizar, consta de una unidad electrónica de imagen/impulso y dos transductores. Los transductores se pueden situar para transmisión directa a través de un conjunto de pared, o bien se pueden situar sobre la superficie del revestimiento exterior para transmisión indirecta o superficial.



*Imagen 7.2- 7.3: Equipo de impulso ultrasónico usado en terreno.*

### **Ventajas**

Este método diagnóstico se recomienda en caso de necesitarse información precisa y cuantitativa sobre vacíos, fisuras y exfoliaciones de los revestimientos exteriores. El impulso ultrasónico se introduce localmente desde la superficie del revestimiento exterior, y las ondas de sonido son reflejadas y devueltas en caso de existir vacíos de aire tales como fisuras, áreas con carencia de adhesivo, o separación (exfoliación) del revestimiento exterior u otros componentes del sistema de pared.

Este método permite de identificar la ubicación, la orientación, el tamaño y la forma exacta de los defectos de vacío de aire, y se puede emplear conjuntamente con otras herramientas de diagnóstico, tales como scanning termográfico, para verificar áreas locales con defectos sospechosos identificados a través de una evaluación general proporcionada por técnicas de diagnóstico cualitativo tales como pruebas termográficas o de impacto acústico.

### **Limitaciones**

La principal limitación consiste en que el ensayo ultrasónico requiere acceso directo y contacto a escala total con la superficie del revestimiento exterior, lo que hace que el coste de las pruebas realizadas en áreas extensas, remotas o altas resulte prohibitivo. Como en el caso del scanning termográfico, existen factores externos, tales



como la pericia del intérprete de la prueba o la textura del revestimiento exterior, que podrían influenciar falsamente los ecos y ser interpretados como un inadecuado espesor del adhesivo. Es muy importante tener en cuenta que aunque la presencia de vacíos puede ser identificada con toda precisión, los vacíos pueden no necesariamente indicar un fallo presente o potencial de un sistema de adherencia directa. Por consiguiente, el tipo, tamaño y ubicación de los vacíos deben ser objeto de un cuidadoso análisis e interpretación para que el método constituya una herramienta de diagnóstico eficaz.

### ***Futuros métodos de ensayo ultrasónico***

Se están desarrollando nuevos métodos de ensayo ultrasónico con empleo de láser que proporcionan capacidades de detección remota a distancias de hasta 100 metros, aunque actualmente su coste es prohibitivo para pruebas sobre fachadas. En este momento se aplican al ensayo de polímeros compuestos en la industria aeroespacial y en la fabricación de piezas de metal de gran precisión a alta temperatura. Combinando su capacidad de detección remota con unos precisos resultados cuantitativos, las pruebas de láser-ultrasonidos pueden llegar a ser una herramienta de diagnóstico que posibilite una amplia aceptación en el futuro de los sistemas de revestimiento exterior de adherencia directa.

### **7.3.6 Radiografía (RT)**

Esta técnica emplea la misma tecnología familiar de los rayos X para uso médico. La radiación de un componente de construcción y hasta una película situada en el extremo opuesto. El gráfico de sombras resultante muestra la integridad interna de la construcción según los cambios de densidad. Esta técnica es cara, exige el acceso directo a ambos lados de un conjunto y requiere que el área sea despejada para evitar exposiciones no deseadas a los rayos X. La radiografía se emplea principalmente para una evaluación adicional de defectos estructurales potenciales identificados por medio de otras técnicas menos precisas.

### **7.3.7 Prueba del contenido de humedad**

Los efectos de la sensibilidad a la humedad de los componentes exteriores de la pared, de los substratos, de los materiales de revestimiento exterior y de los adhesivos, ya se han tratados en paginas anteriores. La comprobación y medición del contenido de humedad de los materiales es una válida técnica de control de calidad y de diagnóstico de defectos.

Existen diversos métodos de ensayo y tipos de equipos empleados para determinar el contenido correcto de humedad de los conjuntos de materiales y pared. Los resultados de las pruebas proporcionan una valiosa información no sólo para determinar la idoneidad de los substratos a recibir revestimientos exteriores, adhesivos y membranas impermeabilizantes sensibles a la humedad, sino para diagnosticar infiltraciones o condensaciones de agua que podrían tener efectos adversos sobre cualquier componente de un conjunto de pared.

Básicamente, hay dos métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad:

- Prueba de conductividad
- Prueba higrométrica

#### **7.3.7.1 Prueba de conductividad**

Proporciona el porcentaje medio de contenido de humedad de un material. El contenido de humedad es el peso del agua expresado como porcentaje del peso seco del material. En materiales duros tales como el hormigón y el mortero, se insertan pasadores en el material, o bien se taladran unos agujeros que luego son llenados con un gel conductor especial. Un medidor eléctrico de humedad detecta y calcula automáticamente el contenido de humedad.

Existen diferentes umbrales de aceptabilidad para el contenido de humedad de los diferentes materiales. El mismo contenido de humedad de dos materiales diferentes se interpreta de una forma diferente, ya que la lectura no indica si el material está húmedo o seco. El contenido de humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\%CH = \frac{\text{peso mojado} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Un material pesado, tal como el hormigón, tendrá un porcentaje de contenido de humedad mucho más bajo que un material ligero como la madera, ya que, según se deduce de la fórmula, el divisor tendrá un valor mayor. Por consiguiente, un contenido de humedad del 10% para la madera constituye un estado relativamente seco, en tanto que un 10% para el hormigón supone humedad.

Un problema adicional relacionado con el porcentaje de contenido de humedad es que el contenido de humedad de los materiales puede variar a través de su sección transversal, por lo que podría no ser indicativo de un estado estable de humedad o sequedad, es decir, los materiales pueden ser a un mismo tiempo húmedos y secos.

Una norma general para el porcentaje de contenido de humedad indica que unas lecturas inferiores al 10% en materiales con contenido de cemento son aptas para la aplicación de revestimientos exteriores, membranas y adhesivos sensibles al agua.

#### **7.3.7.2 Prueba higrométrica**

Establece la humedad relativa de equilibrio de un material a través de su profundidad. Cuando las lecturas no exceden de un 75% de HR, se estima que una superficie es apta para la aplicación de materiales sensibles a la humedad. Existen varios métodos para medir la humedad relativa. El método tradicional consiste en aplicar, mediante cinta adhesiva, un plástico de polietileno de 300 x 300 milímetros a una superficie y situar un higrómetro bajo el mismo. Una vez que el aire atrapado ha alcanzado el equilibrio de humedad con el material (normalmente después de 24-36 horas), se mide la humedad relativa. No obstante, este método es poco fiable, ya que requiere dejar el higrómetro sin atención. Unos métodos más fiables utilizan un equipo electrónico provisto de sondas taladradas e insertadas 12 horas antes de la prueba. Las lecturas de agua libre que tienen relación con la humedad relativa se obtienen de forma instantánea. Las mediciones se basan en la detección por medios ópticos electrónicos de la condensación en una sonda refrigerada eléctricamente.

Existe una relación directa entre la humedad relativa de un material y su contenido de humedad; diferentes materiales tienen diferentes contenidos de humedad seguros, aunque una lectura de humedad relativa del 75% HR (considerada como el límite superior para el aire seco) constituye un umbral de seguridad del contenido de humedad (75% HR en madera para 18% CH; 75% HR en hormigón para 10% CH).

Un probador de cloruro cálcico constituye un tipo diferente de higrómetro. Esta prueba exige el empleo de equipos específicos para medir la cantidad de agua (en peso) que puede ser absorbida por el cloruro cálcico anhidro en un período de 24 horas. Unos resultados por debajo de las 3 libras de agua por 1000 pies<sup>2</sup> (48.06 kg por m<sup>3</sup>) se consideran aceptables para adhesivos impermeables al vapor y membranas impermeables, y para prevenir la eflorescencia. La prueba está destinada principalmente a la determinación de emisiones de vapor en superficies de suelos horizontales bajo estados de clima controlado; las lecturas de nivel de humedad pueden conducir a equivocación debido a la dificultad para determinar la fuente de humedad de un medio exterior mojado o húmedo, incluso cuando el aparato de ensayo se encuentra aislado.

El método cualitativo de prueba de humedad más sencillo es la Prueba de Lámina de Plástico, detallado por el método de ensayo ASTM E 4263. Este método requiere aplicar, mediante cinta adhesiva, un trozo de lámina de plástico de polietileno de 45 x 45 centímetros y con un espesor de 0,05 milímetros a una superficie de substrato durante 16 horas. En caso de condensación o humedad visibles, se dejará secar el substrato antes de realizar nuevas pruebas. Las pruebas realizadas con este método presentan unos problemas similares a los de las pruebas del contenido de humedad con cloruro cálcico.

### **7.3.8 Prueba de contaminación de sal**

La presencia de sales solubles en un substrato se puede evaluar a través de ensayo químico o de equipos de ensayo electrónico especiales<sup>1</sup>. La razón principal para detectar la presencia de sales es el peligro potencial de fallos de adherencia a causa de la continua descarga de calcio que puede producirse por la aparición de eflorescencia, con la consiguiente pérdida de resistencia de los materiales con contenido de cemento.

La cristalización de las sales solubles, especialmente las que se forman en la superficie de acoplamiento adhesivo-revestimiento exterior, puede ejercer incluso más presión que las fuerzas de expansión volumétrica provocadas por la formación de hielo. Este fenómeno puede producir el descantillado del material de revestimiento exterior o

---

<sup>1</sup> Protimeter Salt Sampling Kit

el fallo de la adherencia del adhesivo. Además, la contaminación de la sal puede acelerar el fraguado de los morteros de cemento. Un fraguado rápido puede producir reducción o fallo de la fuerza de la unión adhesiva.

## **7.4 Ensayos destructivos**

### **7.4.1 Ensayos de resistencia a la tracción**

La prueba de resistencia a la tracción, también conocida como prueba de adherencia de desprendimiento o tracción uniaxial, mide la cantidad de fuerza que se necesita aplicar en sentido perpendicular al plano del revestimiento exterior para inducir a fallo. El fallo se puede producir en un acoplamiento adhesivo, o bien cohesivamente dentro de un material tal como el sustrato o el revestimiento exterior; en otras palabras, el acoplamiento adhesivo es más fuerte que el material que está siendo adherido. El esfuerzo de tracción de un revestimiento exterior de adherencia directa se considera típicamente sin consecuencias, siendo principalmente provocado por la presión de succión del viento. El esfuerzo cortante paralelo al plano del revestimiento exterior es mucho más preocupante. No obstante, el pandeo o alabeo fuera del plano del revestimiento exterior provocado por movimiento térmico o de la humedad puede provocar fallos de tracción, por lo que es una medida cualitativa válida del rendimiento en estado de servicio.



*Imagen 7.3: Equipo para la prueba de tracción.*

La prueba de resistencia a la tracción es un método destructivo que se puede realizar con diversos equipos, empleando cada uno de ellos unos procedimientos ligeramente diferentes. Existen varias normas que se refieren a la metodología de la prueba de tracción de desprendimiento; la British Standard BS 5980 proporciona unos

procedimientos de ensayo específicos para azulejos cerámicos, en tanto que ASTM D 4541, "Método de prueba convencional de resistencia al desprendimiento de revestimientos exteriores con empleo de probadores de adherencia portátiles", y ACI 503-30 del American Concrete Institute, "Prueba de campo para aptitud y adherencia superficial" proporcionan información adicional sobre este tipo de pruebas. El método de prueba de resistencia a la tracción más común requiere adherir un disco metálico de un diámetro de 50 milímetros a la superficie objeto de la prueba por medio de un adhesivo de resina epóxica de dos componentes. Este método indica la resistencia superficial pura de un material de revestimiento exterior. Típicamente, el compuesto epóxico tiene una resistencia adhesiva considerablemente mayor que la del material objeto de la prueba. Si es necesario someter a prueba un acoplamiento adhesivo bajo la superficie, se deberá aislar el revestimiento exterior mediante perforación de núcleos o serrando en torno al disco. A continuación, el disco se afianza a un probador de tracción hidráulico autónomo, aplicándose una fuerza perpendicular a la superficie hasta inducir el fallo. Los resultados se miden y expresan en  $\text{N/mm}^2$  o MPa.

Existen varias dificultades a la hora de interpretar los resultados de una prueba de tracción de desprendimiento. En primer lugar, y principalmente, los resultados son útiles para una evaluación cualitativa más que cuantitativa de la unión entre dos materiales. Debido a que el área efectiva de contacto adhesivo no está bien definida, la fuerza necesaria para separar las superficies puede no proporcionar una indicación de la resistencia de la unión adhesiva en los puntos donde el contacto no se produce. Es necesario disponer de muestras adecuadas para valorar los resultados. Además, los resultados se dan como fuerza por área unitaria, y deberían interpretarse como una media del esfuerzo más que como un esfuerzo uniforme a través del área de contacto. La distribución del esfuerzo rara vez es uniforme a través de un conjunto con adhesivo.

Además, los resultados resultan altamente influenciados por otros factores, tales como el tamaño del núcleo o la alineación del equipo de prueba respecto a la superficie. Los resultados de la prueba son difíciles de interpretar debido a que no existen normas estándares para la resistencia adhesiva a la tracción de revestimientos exteriores o de la resistencia cohesiva de revoques y morteros. Las normas europeas recomiendan una fuerza de tracción de desprendimiento mínima de 0,5 MPa (75 psi) para los revestimientos exteriores de adherencia directa, con una especificación revestimientos exteriores de azulejos cerámicos de gran formato. Las normas brasileñas exigen 1

MPa/145 psi para aplicaciones de alto rendimiento, tales como fachadas. Algunas normas requieren valores tan altos como 1,5 MPa/215 psi, o tan bajos como 0,35 MPa/50 psi.

Para el caso de Chile, la norma que regula el ensayo es la NCh 2471Of.2000 "Morteros – Ensayo de adherencia - Método de tracción directa". Esta basada principalmente en la norma ISO 4624 -1978 y la DIN 18555-Part 6- 1987. En esta norma se establecen diversas definiciones de términos y una explicación de cómo llevar a cabo el ensayo, los equipos a utilizar, el tipo de adhesivo para fijar el disco, como prepara las probetas, la edad a la cual hay que realizar el ensayo (28 días), como colocar el disco fijador, la velocidad de carga (que depende de la adherencia esperada), como calcular los resultados según el tipo de falla y la forma de confeccionar el informe con los resultados respectivos.

Por otra parte, la norma NCh 2256/1 Of.2001 establece los valores mínimos que debe arrojar el ensayo de adherencia para enchapes cerámicos. Estos valores son de 0,20 MPa entre el mortero y el substrato y de 0,15 MPa entre el revestimiento y el mortero. Además el mortero debe ser de retentividad grado 3 según la misma norma; esto significa tener entre un 50 y 60% de retentividad.

Una observación importante: los resultados de las pruebas de tracción de desprendimiento no deben confundirse o compararse con la resistencia de unión a la cizalla que normalmente proporcionan los fabricantes como medida del rendimiento del mortero adhesivo con ciertas combinaciones de revestimiento-substrato. Aunque no existe una correlación directa entre ambas pruebas, los estudios señalan que la resistencia a la tracción es aproximadamente el 57% de la resistencia directa a la cizalla.

Una de las ventajas de la prueba de tracción de desprendimiento es que proporciona no sólo una medida de la fuerza de adherencia entre los materiales, sino que además confirma la calidad de la fuerza cohesiva o de tracción de los materiales adheridos, tales como los de un revestimiento exterior o de un enlucido/revoque con contenido de cemento (las cualidades cohesivas de los materiales adheridos podrían ser más débiles que la unión adhesiva entre los mismos). La Asociación de Cemento Pórtland determinó que la resistencia a la tracción del hormigón varía aproximadamente de 8 a 12% de su resistencia a la compresión. Una prueba de tracción de desprendimiento realizada sobre un mortero adhesivo con una fuerza de compresión de

2000 psi (14 MPa) debería proporcionar unos resultados de 160 psi (1,1 MPa); no obstante, se trata sólo de una medida aproximada de la fuerza cohesiva de un mortero de cemento. Un ejemplo de esto es cuando una prueba de tracción induce un fallo dentro de la capa de revoque. Esto ocurre con frecuencia cuando se emplean revestimientos exteriores y morteros adhesivos de alta resistencia que se desvirtúan por la mala calidad del revoque y de la colocación. Por otra parte, un material de revestimiento exterior débil, tal como una piedra de pizarra "joven", típicamente fallará en su cohesión a lo largo del plano de hendidura paralelo durante una prueba de tracción de desprendimiento.

### ***Prueba in situ de resistencia al cizallamiento***

La prueba de resistencia al cizallamiento es un método que normalmente se emplea para determinar la cantidad de fuerza que se debe aplicar paralela al plano del revestimiento exterior para inducir un fallo en los acoplamientos adhesivos. Esta prueba tiene más sentido que la de adherencia o de resistencia a la tracción de desprendimiento debido a que las instalaciones de revestimiento exterior de adherencia directa están principalmente expuestas a esfuerzos cortantes. No obstante, la prueba de tracción es igualmente importante para medir la resistencia de un pandeo fuera de plano. Lamentablemente, la prueba de resistencia al cizallamiento es rentable sólo como ensayo de laboratorio, empleando muestras o la construcción misma, y no como prueba in situ o de servicio. Aunque existen equipos para realizar pruebas in situ de resistencia al cizallamiento (gatos planos hidráulicos), la dificultad subsiste en la configuración del equipo para inducir un esfuerzo paralelo al plano de revestimiento.

## **7.5 Patologías**

Los defectos de un sistema de pared de adherencia directa suelen clasificarse según tipo y ubicación. El tipo de defecto puede ser estético o funcional. Los defectos estéticos afectan al aspecto de una fachada, aunque típicamente no afectan a la seguridad. Algunos defectos de estética, tales como la eflorescencia, pueden finalmente conducir a defectos funcionales si no se corrige la causa fundamental. Los defectos funcionales, tales como los fallos de adherencia, afectan tanto al aspecto de la construcción y a la seguridad de las personas como a la integridad y seguridad de otros



componentes del conjunto de pared. A continuación se indican algunos defectos estéticos y funcionales:

### ***Tipos de defectos comunes***

#### *Defectos estéticos*

- Manchas
- Eflorescencia

#### *Defectos funcionales*

- Agrietamiento
- Exfoliación y fallo de adherencia
- Movimiento y fallo de la junta de mortero

La ubicación del defecto también es fundamental para evaluar y recomendar una acción correctora. Un sistema de pared de adherencia directa consta de tres capas diferentes:

### ***Ubicación de los defectos***

- Capa exterior del material de revestimiento
- Capa adhesiva
- Substrato y capa posterior de la pared de apoyo

La mayoría de los defectos comunes se pueden producir en el acoplamiento o dentro de cualquiera de las tres capas, constituyendo frecuentemente la evaluación de estas áreas ocultas a la vista y al contacto uno de los aspectos de garantía de calidad más difíciles de un sistema de revestimiento exterior de adherencia directa. Un análisis cuidadoso de los defectos tiene gran importancia, ya que, en muchos casos, los síntomas se manifiestan en lugares diferentes al punto de origen. El agrietamiento y la eflorescencia son ejemplos perfectos, ya que típicamente se manifiestan en la superficie del revestimiento exterior aunque pueden ser causados por una deficiente preparación y construcción de la pared de apoyo.

### **7.5.1 Formación de manchas y acción de los agentes atmosféricos**

La formación de manchas y el deterioro de los agentes atmosféricos son principalmente defectos estéticos, aunque la exposición prolongada a los agentes atmosféricos y ciertos tipos de manchas, tales como las provocadas por la contaminación atmosférica o la eflorescencia, pueden conducir a defectos funcionales y al subsiguiente deterioro o fallo de los materiales de revestimiento.

#### ***Causas de formación de manchas y acción de los agentes atmosféricos***

- Exposición y filtraciones de agua
- Exposición solar
- Corrosión de componentes metálicos
- Crecimiento biológico
- Contaminación atmosférica
- Eflorescencia (migración de sales solubles)
- Migración de fluidos poliméricos (adhesivos, selladores)

#### **7.5.1.1 Corrosión de componentes metálicos**

Se suele incorporar una malla de alambre de acero a los revoques de nivelación de cemento, fijándolos a la estructura o a la pared de apoyo con el fin de aislar el mal estado superficial o los materiales de substrato incompatibles. Las superficies uniformes de hormigón, las superficies friables tales como las celulares CMU, las superficies deterioradas o contaminadas, o los substratos que pueden ser objeto de considerable movimiento diferencial son ejemplos de situaciones en las que es necesario emplear una malla de alambre. Es importante usar un metal resistente a la corrosión o galvanizado que recubra tanto la malla como los elementos de sujeción. La corrosión de los elementos de sujeción es el fallo más frecuente de las aplicaciones de malla de alambre, y puede generar manchas. Las manchas por corrosión pueden ser un síntoma de las primeras etapas de fallo de la sujeción estructural del entero sistema de pared.

#### **7.5.1.2 Eflorescencia**

La eflorescencia en si, es un tipo de mancha. El manchado por eflorescencia consiste en un depósito cristalino blanco que se forma sobre o en la proximidad de la superficie de hormigón, de mampostería o de los materiales a base de cemento. Es el defecto más común posterior a la colocación del azulejo cerámico (en particular el enchape), piedra y ladrillo de un sistema de revestimiento exterior de adherencia directa. La eflorescencia puede abarcar desde un inconveniente estético fácil de eliminar hasta un problema grave capaz de provocar fallos de adherencia o requerir una extensa construcción correctora y unos agresivos procedimientos de eliminación.

La eflorescencia se inicia como una sal que se disuelve en agua; a continuación, la solución de sal es transportada por gravedad o capilaridad hasta una superficie expuesta al aire, donde se evapora y deja tras de sí el depósito cristalino. La eflorescencia también se puede producir bajo la superficie o en los sistemas de revestimiento de azulejos de cerámica, piedra o enchapes.

Ocasionalmente, las manchas sobre fachadas de adherencia directa son erróneamente diagnosticadas como eflorescencia. Los compuestos de vanadio y molibdeno de los azulejos cerámicos y los compuestos de manganeso del enchape se pueden disolver mediante limpieza ácida, dejando tras de sí un depósito insoluble.

La eflorescencia se produce a causa de las tres condiciones simultáneas que a continuación se indican. Aunque teóricamente la eflorescencia no se puede producir al no existir una de estas condiciones, no es aconsejable descartar totalmente la confluencia de tales condiciones en una pared exterior. No obstante, los motivos que provocan la eflorescencia pueden ser fácilmente controlados, minimizándose los síntomas hasta el punto de que los depósitos dejan de ser visibles, o bien son fácilmente eliminados, evitándose su repetición.

### ***Causas de eflorescencia***

- Presencia de sales solubles
- Presencia de agua (durante largos períodos)
- Fuerza transportadora (gravedad, capilaridad, presión hidrostática, evaporación)

#### **7.5.1.2.1 Presencia de sales solubles**

Existen numerosas fuentes de origen de las sales solubles, que pueden venir de diversos materiales y componentes del sistema substrato-revestimiento. Siempre existirá la posibilidad de que se produzca eflorescencia cuando el hormigón y los morteros de cemento, los adhesivos y las lechadas están expuestos a los efectos climáticos. Hay otras fuentes de sales solubles que pueden ser vigiladas, controladas o eliminadas en su totalidad. Se presentan a continuación estas fuentes.

**Hidratación del cemento:** La fuente más común proviene de los materiales con contenido de cemento, tales como el hormigón, los revoques de cemento, las unidades de mampostería de hormigón, las unidades de paneles de apoyo de hormigón, y los morteros a base de cemento, incluyendo los morteros adhesivos de cemento látex. Uno de los subproductos de la hidratación del cemento (el proceso químico de endurecimiento) es el hidróxido cálcico, que es soluble en agua. Si los materiales con contenido de cemento son expuestos al agua durante períodos prolongados y se evaporan lentamente, la solución de hidróxido cálcico se evapora sobre la superficie de la pared exterior, se combina con el dióxido de carbono de la atmósfera y forma carbonato cálcico, una de las muchas formas de eflorescencia. Cuando el hidróxido cálcico se transforma en eflorescencia de carbonato cálcico, que no es soluble en agua, la eliminación de la mancha se hace más difícil.

**Contaminación por cloruro cálcico:** Una fuente habitual de sales solubles es la contaminación por agua de mar, directa o transportada por el aire, de la arena de los materiales de la pared de apoyo o de la superficie del substrato. El agua de la mezcla también puede estar contaminada con elevados niveles de sales solubles. Por regla general, el agua con menos de 2000 ppm de sólidos totales en disolución no tendrá ningún efecto significativo sobre la hidratación del cemento Portland, aunque unas concentraciones inferiores aún pueden provocar una cierta eflorescencia.

**Cal en los morteros:** La cal no hidratada utilizada en revoques de nivelación contiene sulfato cálcico, que es soluble en agua. La entrada incontrolada de agua a través de aberturas, grietas o uniones de construcción defectuosas carentes de protección puede permitir una saturación suficiente de los morteros de cal como para disolver dichas

sales en grandes cantidades. La ventaja de las propiedades autógenas o de "autocorrección" de los morteros de cal ha sido objeto de debate durante largo tiempo en el sector de la albañilería. La reacción química misma, capaz de sellar fisuras capilares en los morteros de cal, también puede provocar eflorescencia.

#### **7.5.1.2.2 Presencia de agua**

Aunque no se pueden controlar las sales solubles presentes de forma natural en los materiales con contenido de cemento, un adecuado diseño, construcción y mantenimiento de un sistema de pared exterior puede controlar y minimizar la penetración del agua en los componentes de la pared. Sin suficientes cantidades de agua y períodos de exposición al agua, las sales no tienen el tiempo necesario para disolverse y precipitarse hacia la superficie de una fachada, por lo que la eflorescencia simplemente no puede originarse. La lluvia y la nieve (en las zonas del país donde es posible tener) son las principales fuentes de agua. El agua que se condensa dentro de las cavidades o componentes de una pared suele ser una fuente de agua que pasa inadvertida.

Existen paredes con pantalla antilluvia para controlar o prevenir la penetración del agua. Cada tipo de pared ha sido diseñado para minimizar la eflorescencia, ya sea proporcionando barreras a la penetración del agua, minimizando el contacto del agua con los contaminantes potenciales, o controlando el flujo del agua que entra en contacto con los materiales contaminados.

La impermeabilización y la conducción del agua en intersecciones de techo con pared, parapetos, cabeceras de ventana, paredes de relleno, juntas de dilatación y caras perimetrales de contacto con otros componentes del conjunto de pared de la fachada constituyen la principal solución o remedio contra la eflorescencia.

#### **7.5.1.2.3 Efectos de la eflorescencia**

La evidencia inicial de la eflorescencia se considera esencialmente un defecto estético. Sin embargo, si no se corrige su causa fundamental (típicamente la infiltración del agua), una eflorescencia continuada puede convertirse en un defecto funcional que afecta la integridad y seguridad de una fachada. El principal peligro es un fallo potencial

de adherencia causa de la continua reducción del calcio y la subsiguiente pérdida de resistencia de los adhesivos y componentes con contenido de cemento subyacentes. La cristalización de las sales solubles, principalmente las que se forman en el acoplamiento adhesivo-revestimiento exterior, o dentro del material de revestimiento exterior, puede ejercer una presión superior a la de las fuerzas de expansión volumétrica provocadas por la formación de hielo. Este mecanismo también puede producir descantillado o fallo de la adherencia.

### **7.5.1.3 Migración de fluidos**

La migración de fluidos desde los materiales de junta de estanqueidad es una causa común de formación de manchas en fachadas. Este defecto frecuentemente se produce con ciertos tipos de selladores de silicona, aunque también puede ser causado por algunos polímeros solubles presentes en los aditivos poliméricos de los morteros. Este problema es más una función de la formulación de los fabricantes que del tipo de polímero. No existe ninguna correlación con un determinado tipo de polímero (es decir, silicona frente a poliuretano), ya que el problema suele ser causado por los aditivos de los plastificantes y no por los polímeros. No obstante, el flujo de fluido depende tanto de la formulación como del tipo de polímero sellador.

Es posible encontrar nuevas de siliconas destinadas específicamente a solucionar los citados problemas estéticos asociados a los selladores empleados tanto en juntas de dilatación como en rellenos entre las secciones del revestimiento exterior. La migración de fluidos también es conocida como "migración de látex" en referencia a la formación de manchas a causa de los aditivos de látex solubles en agua. Se recomienda verificar que la formulación de los fabricantes para un aditivo de látex líquido o un polvo polimérico dispersivo seco no sea soluble en agua. Igualmente, todas las instalaciones de revestimientos exteriores que emplean morteros adhesivos de cemento y látex deberán protegerse de una exposición excesiva a la lluvia durante el período inicial del fraguado (típicamente, entre 12 y 24 horas), tiempo durante el cual cualquier polímero puede ser objeto de migración o deslave. La formación de manchas por migración de fluidos se puede manifestar de las siguientes formas:

- **Oscurecimiento del material de revestimiento exterior:** los plastificantes de ciertos selladores o polímeros pueden ser absorbidos por los materiales porosos del revestimiento exterior, tales como la piedra natural o el ladrillo. Se puede producir un oscurecimiento permanente de los bordes del revestimiento exterior en contacto con el sellador.
- **La impermeabilización del revestimiento exterior:** (acción hidrofóbica) en puntos adyacentes a las juntas de estanqueidad puede producirse por la migración de fluidos del sellador. El área del revestimiento exterior próxima a las uniones permanece seca, aunque las áreas internas absorben la humedad que provoca el oscurecimiento de la superficie del revestimiento exterior en áreas situadas a cierta distancia de dichas juntas de estanqueidad. Este fenómeno depende de la absorción del material del revestimiento exterior, y es típico de piedras naturales con una cierta porosidad y de aplicaciones que emplean erróneamente selladores flexibles a los fluidos para rellenar la totalidad de las juntas entre las piezas o azulejos del revestimiento exterior. Por regla general, esta condición no suele ser permanente.
- **Captación de suciedad sobre el revestimiento exterior:** en puntos adyacentes a las juntas de estanqueidad, donde el fluido ha sido absorbido por el material sellador poroso. La captación de suciedad es otro de los problemas comunes, y es una función del tipo de exposición, de la dureza superficial, del tipo y duración del fraguado, y de la formulación, aunque no del tipo de polímero sellador.

### **7.5.2 Métodos y materiales empleados para la eliminación de manchas**

Los métodos tradicionales de eliminación de manchas de fachadas de adherencia directa incluyen el lavado con agua y detergentes y con soluciones de ácido clorhídrico (muriático) y ácido fluórico. Actualmente, la limpieza ácida es poco recomendable por motivos ambientales y de seguridad. Existen varios métodos modernos menos invasivos disponibles hoy en día en el mercado para la eliminación de eflorescencia y manchas.

Existen compuestos químicos de limpieza menos agresivos, con unos valores de pH de 4,5-4,7, apropiados para revestimientos exteriores de azulejo cerámico, piedra y ladrillo, que han demostrado su aptitud en el curso de los últimos 15 años. Estos

agentes limpiadores se utilizan conjuntamente con agua caliente (80°C) a alta presión (120 kg/cm<sup>2</sup>) para conseguir un máximo efecto de limpieza. Las ventajas del agua caliente a alta presión son el efecto mecánico de la presión del agua, el uso de una mínima cantidad de agua, la rapidez del secado y el alto poder disolvente del agua caliente (el agua caliente a 80°C tiene un poder disolvente 16 veces superior al del agua a 20°C).

Otro método de limpieza menos agresivo, conocido como limpieza "suave", se inventó hace unos 30 años, aunque sólo recientemente es disponible de forma más amplia y económica. Estos tipos de sistema emplean equipo especializado que suministran unos polvos seguros y finos (cristales de piedra caliza y silicato de aluminio) a bajas presiones (60 psi, ó 4 MPa). El equipo reduce también la temperatura del aire comprimido a 93°C para condensar y separar cualquier agua existente en el aire. No se emplea agua, productos químicos o detergentes. Este equipo especializado también puede incluir depósitos que contienen polvo y residuos de enjuague. Los sistemas de limpieza suave son eficaces sobre diversas formas de suciedad, manchas y eflorescencia.

### ***7.5.3 Métodos y materiales para eliminación de eflorescencia***

Antes de proceder a la eliminación de la eflorescencia, es altamente recomendable analizar la causa de la misma y llevar a cabo una acción correctora que evite que se vuelva a producir. Además, el análisis de la causa proporcionará una pista acerca del tipo de eflorescencia en cuestión y el método de limpieza recomendado sin necesidad de entrar en costosos análisis químicos.

***Determinación de la edad de la instalación*** en el momento en que apareció la eflorescencia. En edificios con menos de un año, el origen de las sales suele provenir de los morteros y lechadas a base de cemento, y la fuente de agua suele ser la humedad residual de la construcción. La formación de eflorescencia en edificios más viejos indica una nueva filtración de agua o una nueva fuente de origen de sales, tales como la de los residuos de la limpieza ácida. No debería ignorarse la condensación dentro de la pared ni las fugas de tuberías como causas de una súbita presencia de agua.



**La localización de la eflorescencia** ofrecerá claves acerca de la aparición de agua.

**El análisis químico de la eflorescencia** se puede realizar en un laboratorio de ensayos comercial empleando difracción de rayos X y análisis petrográfico para identificar los tipos de material presentes. Este procedimiento se recomienda para edificios con un problema de gran magnitud, o para casos en los que hayan fracasado anteriores intentos de limpieza con un mínimo de métodos intrusivos.

Los métodos de eliminación varían según el tipo de eflorescencia. Por consiguiente, es de vital importancia evaluar la causa de la eflorescencia y su composición química antes de elegir el método de eliminación.

Muchas de las sales de la eflorescencia son solubles en agua, y desaparecen con el paso del tiempo o mediante cepillado en seco. El lavado se recomienda sólo en climas cálidos, en los que el agua se evapora con rapidez y no tiene ocasión de disolver más sales.

La eflorescencia que no pueda ser eliminada con agua y cepillado requiere limpieza química. El empleo de ácido muriático es un método de limpieza convencional para la eflorescencia persistente. No obstante, e incluso con una cuidadosa preparación, el revestimiento exterior y las juntas de mortero pueden sufrir ataque químico, con el consiguiente daño. Existen alternativas menos agresivas que el ácido muriático, que fueron detalladas anteriormente. Otro método utiliza ácido sulfámico, que es menos agresivo y se comercializa en forma de polvo. Este ácido, disuelto en agua a una concentración de 5-10%, debería tener poder suficiente para eliminar la eflorescencia persistente sin dañar los materiales del revestimiento exterior o de las juntas de mortero.

Con independencia del método de limpieza elegido, el agente limpiador no debería constituir una fuente adicional de sales. Por ejemplo, la limpieza ácida puede depositar residuos de cloruro potásico (una sal soluble) si no se aplica neutralizado y seguido de un adecuado lavado.

La eflorescencia de carbonato cálcico es un tipo de eflorescencia en la que las sales de calcio se combinan con el dióxido de carbono del aire para formar un depósito duro y con forma de costra que no es soluble en agua. Sin embargo, una larga exposición al aire y al agua de lluvia transformará gradualmente este residuo en hidrogenocarbonato cálcico, que es soluble en agua. Por consiguiente, una larga

exposición al medio ambiente puede eliminar este tipo de eflorescencia. Si el estado en cuestión no es aceptable a largo plazo, y la limpieza con agua o con un método químico suave resultara ineficaz, lamentablemente será necesario lavar la superficie con una solución diluida (5- 10%) de ácido clorhídrico (muriático). En el comercio se pueden adquirir soluciones de ácido acuosas; son fáciles de manejar y previenen errores de dilución. Para morteros con pigmentación integral se recomienda una solución máxima al 2% para evitar una acción química superficial que dejaría expuestos los áridos y eliminaría el color superficial.

Los ácidos no deberían utilizarse sobre azulejo esmaltado o piedra pulida, ya que la solución ácida puede atacar y opacar la superficie esmaltada, o bien reaccionar con los compuestos del esmalte y volver a depositar sobre el revestimiento exterior unas manchas marrones que son insolubles e imposibles de eliminar sin dañar el azulejo.

Antes de aplicar cualquier solución ácida, es necesario realizar una prueba sobre un área pequeña con objeto de determinar cualquier efecto adverso. Justo antes de la aplicación, deberán saturarse las superficies con agua para evitar que el residuo ácido sea absorbido debajo de la superficie. Aunque la mayoría de los ácidos pierden rápidamente su fuerza al entrar en contacto con un material con contenido de cemento y no disuelven el cemento debajo de la superficie, la saturación de ésta es importante para evitar la absorción del residuo de las sales solubles (cloruro potásico), que luego no podrá ser neutralizado superficialmente ni quitado con agua. Este estado en sí puede ser una fuente de origen de sales solubles, permitiendo la repetición del problema de eflorescencia que se pretendía corregir a través de la limpieza ácida.

La aplicación de las soluciones ácidas debe realizarse sobre áreas reducidas de menos de 1 m<sup>2</sup>, que permanecerán no más de 5 minutos antes del cepillado, seguido de un inmediato enjuague con agua. Las soluciones ácidas también se pueden neutralizar con una solución al 10% de amoníaco o hidróxido potásico.

#### **7.5.4 Defectos funcionales: Agrietamiento**

El agrietamiento es un término amplio referido a netas separaciones de un material a través de su sección transversal. Las grietas pueden ser estructurales, afectando a la seguridad de la fachada de un edificio, o bien pueden desfigurar el aspecto de éste y permitir la entrada de la lluvia y la suciedad acarreada por el aire. En

un conjunto de pared de adherencia directa, el agrietamiento se puede producir en el material del revestimiento exterior, en el material de relleno de las uniones rígidas (mortero) o en cualquier componente de pared subyacente que se encuentre oculto a simple vista. En muchos casos, las fisuras se desarrollan en uno de los componentes del conjunto de pared, siendo transmitidas a los restantes componentes por la acción compuesta del conjunto adherido.

### ***Identificación de los tipos de agrietamiento y sus causas***

Aunque los mecanismos que provocan el agrietamiento son bastante complejos, se pueden clasificar los tipos de agrietamiento de una fachada de adherencia directa según la causa que provocó el agrietamiento:

- Grietas estructurales
- Grietas superficiales

#### ***7.5.4.1 El agrietamiento estructural***

Se produce por defectos fundamentales del diseño o de la construcción, por corrosión de las barras estructurales de refuerzo del hormigón subyacentes, o por los refuerzos de malla de alambre para morteros de nivelación. El agrietamiento estructural es típicamente difícil y caro de corregir. Estas grietas suelen ser anchas (de hasta 3 milímetros), no están localizadas en un determinado azulejo o sección del revestimiento exterior, y frecuentemente coinciden con componentes estructurales o acoplamientos con materiales o componentes adyacentes o subyacentes del conjunto de pared. En la mayoría de los casos, la causa del agrietamiento estructural se puede identificar a través de un análisis previo de los diferentes tipos de movimiento estructural. Cada tipo de movimiento estructural se manifiesta en unas ubicaciones típicas.

Los tipos de movimiento estructural también están asociados a las características físicas típicas del agrietamiento. Por ejemplo, una grieta diagonal que se origina en una esquina de la cabecera de una ventana y se prolonga o transmite escalonadamente en sentido diagonal a través de las juntas (fisura reentrante) probablemente estaría provocada por un fallo de las juntas de dilatación verticales al momento de controlar la contracción o el escurrimiento plástico, o por la desviación u otro defecto estructural del dintel de la ventana que soporta la pared subyacente a la abertura de la ventana.

### ***Características físicas de las grietas estructurales***

- **Geometría:** Vertical, horizontal, diagonal, escalonada a través de las juntas, en sentido radial.
- **Orientación:** Recta, multidireccional.
- **Posición:** Origen, final.
- **Tamaño:** Longitud, ancho.

Las acciones correctoras aplicables al agrietamiento estructural se centran principalmente en la reparación de la causa estructural básica del agrietamiento, seguida de la reparación de las grietas mismas. Por ejemplo, la eliminación y sustitución de los azulejos que se han agrietado por falta de juntas de dilatación no evitará que el agrietamiento se vuelva a producir.

En algunos casos, el agrietamiento estructural localizado se puede reparar sin una reconstrucción mayor si el agrietamiento ha sido provocado por un movimiento inusual y no recurrente. Un ejemplo podría ser un viento o un movimiento sísmico que excediera las cargas de diseño de la estructura. La posibilidad de repetición es escasa, de manera que las reparaciones del agrietamiento de los elementos estructurales subyacentes se podrían llevar a cabo mediante técnicas de inyección de material epóxico, con sustitución del revestimiento exterior en áreas localizadas. Por el contrario, otras situaciones de agrietamiento estructural, tales como las de una pared de apoyo mal diseñada o mal construida, pueden no ser susceptibles de reparación a menos que se vuelva a construir la totalidad de la pared. Cualquier solución intermedia destruirá la integridad del diseño (por ejemplo, la instalación de anclajes metálicos para afianzar la cara del revestimiento exterior), o bien pondrá en peligro la seguridad pública.

#### ***7.5.4.2 Agrietamiento superficial***

Típicamente, el agrietamiento superficial es un agrietamiento localizado que se produce en la superficie del material de revestimiento exterior o del material (mortero) de relleno de las juntas, y es de origen no estructural. El agrietamiento superficial puede ser causado por el impacto ininterrumpido de objetos extraños, por un material de revestimiento exterior o de substrato subyacente defectuoso, por una instalación

defectuosa, o por el envejecimiento y deterioro normal, como en el caso de los ciclos de congelación-descongelación a través de un período de varios años. El agrietamiento superficial también puede ser una manifestación menor de movimiento estructural, tal como expansión o contracción.

Normalmente, este tipo de agrietamiento se puede reparar por simple sustitución. En muchos casos, el agrietamiento superficial, especialmente en el material (mortero) de relleno de juntas, no supone un riesgo a la seguridad (aspecto que debería verificarse mediante ensayo), por lo que el revestimiento exterior se puede dejar en su sitio, vigilando el comportamiento del agrietamiento. Aunque el agrietamiento benigno puede no suponer un riesgo de seguridad, presenta otros problemas, tales como la infiltración de agua. La infiltración de agua podría causar eflorescencia bajo la superficie o descantillado, que en definitiva podría generar un riesgo de seguridad por fallo de la adherencia. Por consiguiente, y en determinadas circunstancias, el hecho de ignorar un agrietamiento superficial benigno deberá ser sopesado frente a los riesgos.

#### ***7.5.5 Exfoliación o falta de adherencia***

La exfoliación y la falta de adherencia son sinónimos. Ambos términos significan que las superficies de contacto adhesivo del material de revestimiento exterior, o las superficies de contacto de alguno de los substratos o de la pared de apoyo, se han separado físicamente. Este defecto constituye la preocupación y el temor principal de propietarios, arquitectos, agentes de construcción y contratistas al considerar una fachada con revestimiento exterior de adherencia directa que emplea azulejo cerámico, piedra o enchape cerámico. El resultado de la exfoliación o falta de adherencia consiste típicamente en que piezas o secciones del revestimiento exterior u otros componentes de la pared se desprenden y caen, lo que supone un serio riesgo para la seguridad pública. Siempre existe el riesgo de desprendimiento y caída de cualquier tipo de material de revestimiento exterior de una pared o sistema de pared, incluyendo los revestimientos exteriores que emplean anclajes mecánicos o conexiones de soporte de carga. De hecho, los fallos de los sistemas de revestimiento exterior con anclaje mecánico son más relevantes y catastróficos que los de los sistemas de revestimiento exterior de adherencia directa. La única diferencia consiste en que el régimen de incidencias es típicamente mayor para una nueva tecnología, que necesita tiempo para

acumular experiencia empírica y desarrollar una amplia base de conocimiento a todos los niveles, produciéndose una atención natural sobre los problemas y fallos iniciales de las nuevas tecnologías de construcción.

#### ***Causas comunes - Falta de adherencia***

- Superficies de revestimiento exterior contaminadas
- Superficies de substrato contaminadas
- Cobertura adhesiva parcial y falta de material de sujeción del revestimiento exterior
- Presión de fijación (empotramiento) inadecuada
- Mezcla o aplicación inadecuada del adhesivo
- Esfuerzos cortantes y de tracción (expansión, contracción) por movimiento diferencial

La siguiente información proporciona una secuencia lógica para evaluar la causa de una falta de adherencia.

#### ***7.5.5.1 Evaluación de exfoliación y falta de adherencia por localización dentro del sistema de revestimiento exterior compuesto***

##### ***Fallo del acoplamiento entre revestimiento exterior y adhesivo***

Este tipo de fallo se puede producir en revestimientos exteriores cuya cara posterior es lisa y ofrece escaso agarre mecánico entre mortero y el revestimiento. La piedra, el vidrio y el azulejo cerámico (vitrificado) de porcelana prensada pueden fallar de esta forma, especialmente al presentar escasa o nula absorción. Se recomiendan los adhesivos de alta resistencia basados principalmente en una fuerza de adherencia pura en lugar de una fuerza de sujeción mecánica. Este tipo de fallo raramente se produce en azulejos extruídos de cerámica o en enchapes de arcilla, ya que éstos típicamente presentan unas ranuras de cola de milano en la parte posterior, que proporcionan un buen efecto de sujeción mecánica con los tradicionales morteros de cemento o con los morteros adhesivos de cemento o látex de menor resistencia. Sin embargo, se

recomienda usar adhesivos de alto rendimiento, ya que existe una capacidad potencial de fallo en el acoplamiento adhesivo-substrato a menos que se proporcione un mecanismo de adherencia mecánica en la superficie del substrato, tal como una fina capa ranurada o una capa de diseño de rayas y relieves que utiliza los mismos aditivos de adhesivo de alto rendimiento con el mortero de cemento.

También se puede producir el fallo del acoplamiento revestimiento-adhesivo ya sea por la presencia de polvo u otro tipo de contaminación en la superficie posterior del revestimiento exterior o por una inadecuada cobertura del adhesivo o un inadecuado empotramiento en el mismo. La mayoría de las normas para revestimientos de pared exteriores requieren una cobertura de adhesivo y de material de sujeción por el 95-100% del revestimiento exterior, al emplear el método de capa delgada. Sin embargo, estos requisitos son difíciles de cumplir en instalaciones que no disponen de equipos y programas de garantía de calidad adecuados durante la instalación.

### ***Fallo del acoplamiento entre el mortero de empotramiento adhesivo y el substrato de la pared de apoyo***

El substrato de la pared de apoyo suele no estar suficientemente preparado para formar una buena unión con el mortero de empotrado adhesivo. Este tipo de fallo es más común en substratos densos y lisos con escasa o nula absorción de agua, tales como el hormigón. Frecuentemente, la suciedad, la grasa o los compuestos de separación o de fraguado son la causa de una deficiente adherencia sobre hormigón con empleo de acero u otras formas lisas.

En ocasiones, el substrato de la pared de apoyo es tratado para mejorar la unión entre el substrato y el mortero adhesivo. Se aplican al substrato unas delgadas capas adherentes o de lechada, es decir, lechadas de cemento/arena con o sin aditivos de látex para mejorar la unión. Las capas de lechada débiles y con aspecto granuloso suelen producir el fallo de las superficies de contacto con el mortero adhesivo. También se producen fallos en las superficies de contacto entre la capa de lechada y el substrato si este último no ha sido debidamente preparado y limpiado, o si es denso y liso y con baja absorción. Las capas de adherencia de lechada deben aplicarse adecuadamente, empleando ya sea un aditivo de látex o curándolas para lograr la necesaria dureza y fuerza de adherencia.

## **Fallo de los acoplamientos entre el revoque de nivelación de cemento y el adhesivo**

En el hormigón o en la mampostería de hormigón, la pared de apoyo suele ser nivelada con un revoque de cemento antes de aplicar el mortero adhesivo. Esto se realiza en diferentes intervalos de tiempo antes de comenzar la instalación del revestimiento exterior. El fallo de los acoplamientos entre revoque y mortero adhesivo es frecuente. Existen varias razones para el fallo, incluidas un inadecuado material de revoque e inadecuados métodos de preparación e instalación. El revoque debe ser de buena calidad, aplicado ya sea sobre una capa de unión de lechada de látex-cemento, una capa de unión endurecida de textura rugosa (capa en forma de rayas o salpicaduras), o una capa de recubrimiento plana endurecida de textura rugosa para proporcionar agarre mecánico al mortero adhesivo.

Los substratos de la pared de apoyo suelen ser revocados para proporcionar un correcto nivelado y una superficie suave y uniforme para la instalación del revestimiento exterior. Los fallos entre el substrato de la pared de apoyo y el revoque no se consideran un fallo del revestimiento exterior, aunque conducen al fallo de éste y por consiguiente deben ser considerados. Los fallos de este tipo pueden deberse a un factor o a una combinación de varios factores. Unas gruesas capas de revoque de cemento para corregir unas excesivas tolerancias de nivel y plomada (es decir, una mala ejecución) suelen provocar numerosos fallos. Una única capa de enlucido/revoque de cemento no debería tener un espesor superior a 12 milímetros. Si se requiere una capa gruesa de mortero para nivelar una superficie no uniforme, el revoque de cemento deberá aplicarse en capas sucesivas, siendo cada capa fraguada, raspada y preparada para recibir la capa siguiente.

Suele incorporarse una malla de alambre a los revoques de cemento, la cual se adhiere a la construcción de la estructura o pared de apoyo para aislar condiciones superficiales deficientes o materiales de substrato incompatibles. Superficies de hormigón suaves, superficies friables, tales como CMU, superficies deterioradas o contaminadas, o bien substratos que pueden ser objeto de un considerable movimiento diferencial son ejemplos de casos en los que se debe emplear una malla de alambre. Es importante emplear un metal resistente a la corrosión o con recubrimiento galvanizado tanto en la malla como en los elementos de sujeción. La corrosión de los elementos de sujeción es la causa más común de fallo de las aplicaciones de malla de



alambre, y puede generar defectos en cualquier componente del revestimiento exterior o del sistema entero de pared.

#### **7.5.5.2 Acción correctora de exfoliación**

En la mayoría de los casos, el único remedio para la exfoliación consiste en retirar y volver a instalar el sistema de revestimiento exterior defectuoso, o los componentes del mismo. No obstante, ciertos casos permiten el empleo de técnicas de inyección de material epóxico. Primero, la inyección de material epóxico se puede emplear si la exfoliación o el vacío es de un tamaño suficientemente fino y restringido para que sea factible sellar correctamente el área delaminada y acumular presión para un buen suministro, distribución y rendimiento del material epóxico. Segundo, deberá existir un adecuado acceso a la exfoliación que permita disponer de múltiples "aberturas" o puntos de inyección.

Los productos de inyección epóxicos suelen ser materiales de baja viscosidad empleados para reparaciones estructurales de fisuras capilares. Para reparaciones de mayor volumen sobre revestimientos exteriores de fachadas verticales se emplean formulaciones especiales de gel epóxico de mayor viscosidad.

#### **7.5.5.3 Otros mecanismos de fallo de la adherencia**

Frecuentemente, los fallos de adherencia se producen por la combinación y confluencia de factores indeterminados, siendo raramente provocados por un único mecanismo. Las variaciones del contenido de humedad, la temperatura, el escurrimiento de la estructura de hormigón, el empleo de materiales inadecuados o de baja calidad, y una deficiente mano de obra son factores que intervienen. La identificación del origen o causa fundamental del fallo suele ser difícil, ya que las tensiones se pueden producir en cualquier componente del sistema de revestimiento exterior. No obstante, un fallo de adherencia suele producirse a lo largo de los planos más débiles. Por ejemplo, la parte posterior de un azulejo de cerámica que no ha sido debidamente limpiada puede producir una unión de mala calidad adhesiva, aunque la falta de juntas de dilatación puede constituir realmente el mecanismo inductor de unas tensiones que sobrepasan la ya reducida capacidad adhesiva del respaldo contaminado

del azulejo. Suele ser difícil de establecer si el azulejo sucio habría fracasado con unas adecuadas juntas de dilatación, o si la falta de juntas de dilatación podría haber causado el fallo, incluso si el azulejo hubiera sido correctamente limpiado e instalado. Los siguientes movimientos dimensionales, suelen actuar conjuntamente o en oposición para provocar el fallo:

#### ***7.5.5.3.1 Expansión por humedad del revestimiento***

La expansión y contracción reversible a causa del humedecimiento y secado del revestimiento es relativamente pequeña, por lo que puede ser ignorada para fines prácticos dentro de este contexto, salvo en el caso de áreas de gran tamaño. La expansión irreversible de los revestimientos cerámicos y productos de arcilla, denominada expansión por humedad, puede ser relativamente grande. La expansión comienza en el momento en que los materiales abandonan el horno. Se trata de un proceso bastante lento, que se produce durante un largo período. Deben emplearse revestimientos con una baja expansión por humedad, es decir, que no supere el 0,03 %. Se han retirado revestimientos de edificios donde se habían producido fallos, comprobándose que la expansión por humedad de algunos de los revestimientos en cuestión alcanzaba el 7 %. Los revestimientos vitrificados, tienen una baja expansión por humedad y no deberían fallar a causa de la expansión por humedad.

#### ***7.5.5.3.2 Expansión térmica del revestimiento***

La expansión térmica de los revestimientos porcelánicos (vitrificados) es relativamente pequeña. No obstante, al tratarse de grandes superficies expuestas a grandes diferencias de temperatura, el movimiento dimensional total y diferencial puede ser considerable, y producir tensiones. La expansión térmica de las baldosas de vidrio puede ser ligeramente mayor que la de los revestimientos cerámicos.

#### ***7.5.5.3.3 Contracción de los morteros de cemento***

Los morteros adhesivos y los revoques de cemento suelen contraerse más que la pared de apoyo. Para evitar o minimizar las tensiones que se producen a causa de esta

contracción, es necesario emplear morteros con una baja contracción de secado. Esto se puede conseguir empleando un polvo de mortero de marca previamente mezclado y ensacado, tanto en revoques de cemento como en morteros adhesivos. Si se especifican morteros mezclados en obra, empléese arena limpia debidamente graduada y cemento de calidad, en unas relaciones arena a cemento que sean apropiadas para el tipo de aplicación. Las arenas finas con un elevado contenido de arcilla producen morteros con alta contracción de secado. Los morteros ricos en cemento también tienen una alta contracción de secado, y es un hecho bien documentado que el exceso de agua de mezcla o de aditivo de látex también aumenta la contracción. Además, los morteros con alta contracción de secado exhiben grandes cambios dimensionales durante los ciclos de humectación y secado.

#### ***7.5.5.3.4 Movimiento diferencial entre estructura y revestimiento exterior***

Las estructuras, y particularmente las estructuras de hormigón enmarcadas, sufren escurrimiento plástico a causa del peso (o carga muerta) del hormigón, provocando el acortamiento o contracción de columnas y paredes y la desviación de las vigas. Estos movimientos estructurales inducen unos esfuerzos de compresión en los morteros adhesivos y en los revestimientos exteriores, siendo frecuentemente el factor que contribuye al fallo del revestimiento exterior de adherencia directa. El pandeo o curvatura del material de revestimiento exterior a causa del substrato es un síntoma común de movimiento diferencial.

#### ***7.5.5.3.5 Eflorescencia y criptoflorescencia***

El peligro principal consiste en el fallo potencial de la unión adhesiva a causa del agotamiento continuado del calcio y la subsiguiente pérdida de resistencia de los adhesivos con contenido de cemento y de los componentes con contenido de cemento subyacentes.

La cristalización de las sales solubles, especialmente las que se forman en los acoplamientos entre el adhesivo y el revestimiento exterior, o dentro del material del revestimiento exterior puede exacerbar el agotamiento del calcio, ya que ejerce un esfuerzo expansivo. La formación de cristales de sal produce más presión que la

expansión volumétrica provocada por la formación de hielo (el hielo ocupa 9 veces el volumen original del agua). Este mecanismo puede producir el descantillado del material del revestimiento exterior o el fallo de la unión adhesiva.

#### ***7.5.5.3.6 Expansión de los materiales con contenido de cemento debido a ataque de sulfato***

En ambientes húmedos se puede producir una reacción entre los sulfatos y los aluminatos de los cementos Portland. Esta reacción va acompañada de un gran aumento de volumen que puede conducir a la ruptura del hormigón, del revoque de cemento y de los morteros adhesivos, provocando fallos de adherencia en los acoplamientos de cemento dentro del sistema de revestimiento exterior.

#### ***7.5.6 Fallo de las juntas de estanqueidad y mortero***

Los selladores suelen ser mal utilizados, constituyendo el origen y la causa común de defectos en fachadas de adherencia directa, especialmente en las juntas de movimiento o expansión. Los selladores son un enlace crítico en los acoplamientos perimetrales del revestimiento exterior con los otros componentes de la pared, y en las uniones de revestimiento o de expansión, y no obstante son objeto de constantes errores de diseño, especificación e instalación.

Es esencial entender que no se puede depender de los selladores para proporcionar el único medio de protección contra infiltraciones de agua o aire, especialmente en paredes de barrera en las que la junta de estanqueidad puede ser la única línea de defensa. Incluso con una adecuada protección de apoyo, es necesario cumplir con unas reglas de instalación con el fin de garantizar un adecuado alargamiento y compresión libre de desprendimiento o pérdida de adherencia.

Aunque el fallo de las juntas de estanqueidad no supone un riesgo directo a la seguridad, permite la infiltración de agua, aire y suciedad hacia la parte posterior del material del revestimiento exterior. La infiltración de agua presenta varios problemas en sistemas del tipo de pared sin cavidades:

- Problemas potenciales de congelación-descongelación en caso de existir vacíos

- Reducción de la fuerza de adherencia debido a una saturación prolongada del agua
- Aumento de la posibilidad de eflorescencia y formación de manchas.

Un programa de mantenimiento preventivo debería incluir inspecciones visuales periódicas de las juntas de estanqueidad para detectar deterioro, pérdida de adherencia o desprendimiento. Un fallo (o fallo potencial) de las juntas de estanqueidad, manifestado por una extrema compresión o alargamiento, es una señal de exceso de tensión dentro del sistema de revestimiento exterior, con peligro potencial de agrietamiento o fallo de la unión adhesiva.

Las juntas del revestimiento exterior rellenas de mortero con contenido de cemento relativamente rígido suelen estar diseñadas para proporcionar alivio de tensión del movimiento térmico y de humedad. Como consecuencia de esto, el mortero de cemento tradicional, e incluso las juntas de mortero de cemento o látex más flexibles, desarrollarán por regla general un agrietamiento sumamente fino o una separación de los bordes del material de revestimiento exterior con el paso del tiempo. Este estado se considera normal y análogo a la verificación de la madera, y no tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del sistema de revestimiento exterior, ya que el propósito fundamental de las juntas de mortero consiste en separar y llenar las uniones y no de mantener la unión del revestimiento exterior.

La mejor forma de minimizar el agrietamiento capilar consiste en emplear materiales de unión tales como una mezcla de látex cemento Portland-arena, que proporciona suficiente elasticidad respecto a un material más frágil, tal como una simple mezcla de cemento-arena, para absorber los esfuerzos de compresión por expansión sin un efecto de aplastamiento y absorber los esfuerzos de tracción de los bordes del revestimiento exterior debidos a la contracción.

En la mayoría de los Países, las normas y reglamentos exigen un ancho mínimo de 6 milímetros en las juntas de mortero de revestimientos exteriores, permitiendo así que las piezas del revestimiento se muevan como unidades singulares o aisladas en lugar de unidades monolíticas. El aislamiento adicional del movimiento se logra separando las secciones del revestimiento exterior a través de juntas de dilatación. Esto garantiza que la junta de mortero o sellador siempre fallará en primer término, aliviando un esfuerzo de compresión poco común a causa de la expansión antes de que ésta

pueda ejercer una tensión excesiva sobre el revestimiento exterior o el acoplamiento adhesivo. La disipación de la tensión proporciona un factor de seguridad adicional frente a una peligrosa exfoliación o un fallo de unión.

Un excesivo agrietamiento, deterioro o desprendimiento del material de mortero suele provenir de la combinación de varios factores:

- Exceso de movimiento
- Relleno parcial de juntas angostas o profundas
- Prácticas de instalación inadecuadas
- Mala calidad del mortero o diseño inadecuado de la mezcla

El agrietamiento del mortero debido a exceso de movimiento es principalmente una consideración de diseño, y se evita siguiendo unas buenas prácticas de diseño arquitectónico y estructural. El relleno parcial se evita mediante una correcta relación de ancho a profundidad de la junta, y proporcionando buenas herramientas y prácticas de instalación.

## **Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones**

### **8.1 Consideraciones**

Con la presente recopilación de antecedentes, pudo conocerse de mejor manera la forma, materiales, técnicas y métodos a utilizar para de realizar una correcta ejecución de la labor de revestir un edificio.

Podemos establecer claramente las distintas etapas involucradas en la instalación de un revestimiento y el conocimiento adquirido en cada etapa.

#### **8.1.1 Revestimiento**

Al estudiar los requerimientos mínimos que se exigen, se concluye que el material debe poseer una alta absorción de agua y que sea compatible con los movimientos térmicos y con el adhesivo a utilizar. Debe tener una adecuada resistencia a la rotura y resistir los ataques químicos, a las bajas temperaturas, al impacto térmico y poseer una estabilidad dimensional adecuada. Los enchapes de fabricación industrial existentes en el mercado del país, cumplen estas exigencias, por lo cual el uso de estos es totalmente adecuado y recomendado.

#### **8.1.2 Adhesivos**

Si bien es cierto que se presentaron diversos adhesivos que pueden utilizarse para la ejecución de la pega del enchape, los criterios que hay que tener en consideración para una correcta elección son para todos los mismo. Estas exigencias parten por algo que es clave: el poder adhesivo. Este poder se traduce en resistir un esfuerzo mínimo a la rotura de  $15 \text{ kg/cm}^2$  a la rotura y de  $2 \text{ kg/cm}^2$  a la adherencia.

También es importante considerar la resistencia al agua del adhesivo, su flexibilidad (tener bajo modulo de elasticidad) y resistir las temperaturas de buena forma.

En la gran mayoría de la obras del país, el adhesivo utilizado para la pega de revestimiento es en mortero de pega presdosificado en base de cemento que cumple

con las exigencias recién expuestas, por lo cual podemos inferir que los problemas de adherencia no estarían, a priori, relacionados con el adhesivo. Sería una buena práctica corroborar que efectivamente los adhesivos cumplan estos requisitos en la práctica y no solo que salga mencionado en las especificaciones de cada fabricante de mortero de pega.

### **8.1.3 Substratos**

Es necesario que los substratos cumplan ciertas condiciones para que sea adecuado su uso. Gran importancia es la porosidad del substrato para lograr una buena adherencia. En Chile es muy usual usar el puntereo de la superficie para dar mayor rugosidad al muro a revestir. Es curioso no encontrar en las normas o textos extranjeros el uso de esta práctica como una necesidad, siendo que en el país se usa casi en la totalidad de los casos, e incluso es inaceptable no hacerlo o exigirlo. Solo es nombrado como un método utilizable en casos puntuales aislados.

Otro aspecto importante del substrato, es que sea compatible con el adhesivo a utilizar, que tenga un correcto aplome (en vertical y horizontal) y por supuesto que este libre de contaminación. Se explica un método para ver si existe contaminación y la forma adecuada de eliminarla en caso de existir. La presencia de contaminación es una causa frecuente de una mala adherencia.

Se presentaron una gran cantidad de tipos de substratos a utilizar. Sin embargo, en el país lo más frecuente es utilizar edificios de muros de hormigón y en ellos se puso énfasis el estudio. Ante la retracción fuerte que presenta el hormigón en sus primeros 28 días de vida, se recomienda esperar entre 30 a 45 días antes de iniciar la fase de instalación del revestimiento.

### **8.1.4 Colocación**

Dentro de los diversos métodos para colocar el revestimiento destacan principalmente los métodos de capa fina y capa gruesa, por ser los más utilizados en el país.

*El método de capa fina* requiere una excelente aplome tanto en vertical como en horizontal, pues los adhesivos no deben ser usados para corregir imperfecciones del



muro. Como su nombre lo indica, en este método se usan capas finas (su superior a los 20 milímetros) de adhesivo. Los adhesivos más adecuados para este método son los de tipo poliméricos en polvo dispersivo y a base de látex.

Por su parte, el método de capa gruesa admite capas de hasta 38 milímetros de espesor. En primera instancia se realiza un enlucido del substrato con un mortero de nivelación, que se deja endurecer para luego poner una segunda capa. Mientras esta capa esta aun mojada, se aplica el adhesivo y luego el revestimiento.

### **8.1.5 Clima**

El efecto climático y sus problemas no tiene un capítulo especial en esta memoria, pero es considerado tanto en la selección de materiales, como en cada sistema de colocación.

El aire puede transportar contaminación y sales que son nocivas para la correcta instalación del revestimiento, por lo cual debe ponerse atención a este aspecto.

Con temperaturas extremadamente elevadas, se hace necesario enfriar con agua las superficies del substrato (antes de aplicar el revoque). Se recomienda detener el trabajo si la temperatura ambiental supera los 35°C .

En las zonas frías puede ser necesario tener que proteger las superficies con telones y tener un tiempo más largo de fraguado.

### **8.1.6 Control de calidad**

El ensayo de tracción directa nos puede dar una idea de la forma en la cual se encuentra el revestimiento. Como se estableció en la sección de adhesivos, por norma se requiere una resistencia mínima de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Es importante destacar, que el valor de adherencia mínimo esta dado por la norma NCh 2256/01 Of.2001, pero es un valor sumamente bajo comparado con otros países

### **8.1.7 Patologías**

El problema de falta de adherencia se puede producir por varias razones. En la colocación de un revestimiento se pueden presentar defectos estéticos y defectos

funcionales. Sin embargo, los defectos estéticos pueden llevar a un problema de adherencia.

<b>Defecto</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas migratorias</b>
Manchas por corrosión	Pueden provocar futuros desprendimientos	Utilización de mallas y elementos de sujeción galvanizados.
Manchas por eflorescencia	Reducción de calcio del adhesivo, que puede provocar pérdida de resistencia del mismo	Eliminar eflorescencia con sistema adecuado según causa de eflorescencia

*Tabla 8.1: Defectos estéticos, consecuencias y soluciones*

Por su parte, los defectos funcionales ya son un problema, pues demuestran que el conjunto sustrato-revestimiento no está cumpliendo sus exigencias.

<b>Defecto</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Agrietamiento estructural	Rotura y caída del material de revestimiento	Reparación de la causa estructural del agrietamiento y las grietas
Agrietamiento superficial	Podría provocar infiltración de agua que provoque eflorescencia	Sustitución de superficie o material agrietado

*Tabla 8.2: Defectos funcionales, consecuencias y soluciones*

La falta de adherencia, o exfoliación, frecuentemente proviene de un defectuoso diseño o instalación, y en pocas oportunidades está causada por productos defectuosos del revestimiento exterior. Es por ello que en este trabajo se dio énfasis a la selección de materiales adhesivos y preparación de sustrato (diseño) y en las formas de instalación existentes para el material de revestimiento.

## **8.2 Conclusión final**

La instalación de un revestimiento de fachada es un tema complejo que, desafortunadamente, no se le da la connotación que realmente requiere. Múltiples etapas, procesos y materiales están involucrados y una correcta ejecución y selección de todas ellas permite un producto final de calidad. Al ser varias las variables a controlar se hace más difícil de llevarlos a cabo de manera satisfactorias y es por eso que requiere especial cuidado esta labor.

La prevención de la falta de adherencia se basa en la implementación y aplicación de un extenso programa de garantía de calidad tanto para el diseño como para la instalación. Un programa sistemático de mantenimiento preventivo proporciona un factor de seguridad adicional destinado a comprobar cualquier aspecto que haya sido pasado por alto dentro del programa de garantía de calidad, y para prevenir fallos de adherencia.

Es imperiosa la necesidad de efectuar inspecciones verídicas del estado del revestimiento y hacer las reparaciones que sean necesarias para asegurar un buen estado del revestimiento en el tiempo y evitar desprendimientos que pueden acarrear consecuencias graves y hasta fatales.




## Referencias bibliográficas

- Cuadros, A., 1995, “Estudios de practicas constructivas de revestimientos de muros”.
- Quintanilla, B., 2000, “Revestimientos cerámicos para edificios: materiales y tecnología de construcción”.
- Friedemann, D, “Revolución en albañilería: nuevos morteros de pega y técnicas de aplicación”, revista BIT, 2004.
- Zabaleta, H, 1989, “Manual del Mortero”, publicación del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón
- Instituto Valenciano de Edificación, 1949, “Guía de la baldosa cerámica”, serie de guías de calidades del Instituto Valenciano de Edificación.
- Norma ANSI A108/A118/A136.1:2005 “American National Standards for the Installation of Ceramic Tile”, ANSI.
- Norma ASTM D 4261: “Standard Practice for Surface Cleaning Concrete Masonry Units for Coating”.
- Norma ASTM D 4541: “Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers”.
- Norma BS 5385-2:2006: “Wall and floor tiling, design and installation of external ceramic and mosaic wall tiling in normal conditions, code of practice”, British Standards.
- Norma BS 8000-11.1:1989: “Workmanship on building sites. Code of practice for wall and floor tiling. Ceramic tiles, terrazzo tiles and mosaics”, British Standards.
- Norma DIN 18515-1:” Design and Installation of tile or stone cladding”, Deutsches Institut für Normung.
- Norma IRAM 1 759, “Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de revestimientos cerámicos. Método de determinación del tiempo abierto”.
- Norma IRAM 1 756, “Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de revestimientos cerámicos. Método de ensayo de adherencia”.
- Norma NCh 158 Of67 “Cementos: ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento”, Instituto Nacional de Normalización.

- Norma Nch 2182 Of95 “: Hormigón y mortero: aditivos, clasificación y requisitos”, Instituto Nacional de Normalización.
- Norma Nch 2260 Of96: “Morteros: preparación de mezclas de prueba y mezclas comparativas en el laboratorio”, Instituto Nacional de Normalización.

# **ANEXOS**

## ANEXO A: Enchapes Colima Batuco




Marca	Colima / Batuco		Colima / Batuco	Colima / Batuco
				
<b>Nombre</b>	<b>Terracota rustico</b>		<b>Terracota cerámico liso esquinero</b>	<b>Terracota cerámico liso</b>
<b>Fabricación</b>	Manual		A maquina / extruido mecánico	A maquina / extruido mecánico
<b>Materialidad</b>	arcilla		Arcilla	Arcilla
<b>Descripción</b>	Arcilla natural cocido a 800°c temperatura		Arcilla natural cocido a 950° c temperatura	Arcilla natural cocido a 950° c temperatura
<b>Dimensiones (CMS)</b>	15 x 5,5	28 x 5,5	25 x 7 x 12	25 x 7 x 1,2
<b>Peso por unidad (Kg.)</b>	0,15	0,28	0,48	0,49
<b>Unidades X M2 (ml)</b>	96	53	12,5	48
<b>Peso x M2 / ml (kg)</b>	14,60	15,03	6,0	23,6
<b>% absorción</b>	> 15%		< 13%	< 13%
<b>Color</b>	Terracota		Terracota	Terracota / Rojo




Marca	Colima / Batuco	Colima / Batuco	Colima / Batuco
			
<b>Nombre</b>	<b>Enchape Boston Rústico</b>	<b>Esquinero Boston Rústico</b>	<b>Enchape Boston</b>
<b>Fabricación</b>	Manual	Manual	Manual / extruido mecánicamente
<b>Materialidad</b>	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<b>Descripción</b>	Elaborado con distintos tipos de arcilla cocida a temperaturas sobre los 1100° c	Elaborado con distintos tipos de arcilla cocida a temperaturas sobre los 1100° c	Elaborado con distintos tipos de arcilla cocida a temperaturas sobre los 1100° c
<b>Dimensiones (CMS)</b>	28 X 5 x 1,5	28 x 14 x 0,5	28 X 5 x 1,5
<b>Peso por unidad (Kg.)</b>	0,54	0,451	0,575
<b>Unidades X M2 (ml)</b>	53	16,7	desconocido
<b>Peso x M2 / ml (Kg)</b>	desconocido	desconocido	desconocido
<b>% absorción</b>	< 5%	< 5%	< 5%
<b>Color</b>	Gres / Rojo	Gres / Rojo	Gres / Flameado





Marca	Colima / Batuco	Colima / Batuco	Colima / Batuco
			
<b>Nombre</b>	<b>Enchape London</b>	<b>Colombiano Rústico Rojo</b>	<b>Colombiano Amazona Matizado</b>
<b>Fabricación</b>	Manual / extruido mecánicamente	Extruido mecánicamente	Manual / extruido mecánicamente
<b>Materialidad</b>			Gres / Texturado
<b>Descripción</b>	Elaborado con distintos tipos de arcilla cocida a temperaturas sobre los 1100° C	Gres natural cocido a 1200 c temperatura	Elaborado con distintos tipos de arcilla cocida a temperaturas sobre los 1100° C
<b>Dimensiones (CMS)</b>	15 x 5	10 x 10	20 x 6 x 1
<b>Peso por unidad (Kg)</b>	desconocido	desconocido	0,27
<b>Unidades X M2 (ml)</b>	desconocido	desconocido	68
<b>Peso x M2 / ml (Kg)</b>	desconocido	desconocido	18,4
<b>% absorción</b>	< 5%	< 3%	< 3%
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	No hay información	No hay información
<b>Color</b>	Gres / Flameado	Gres natural	Matizado Arena / flameado

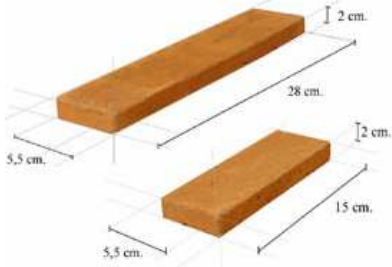
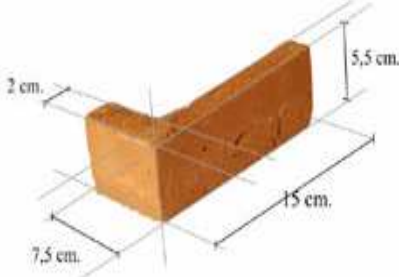
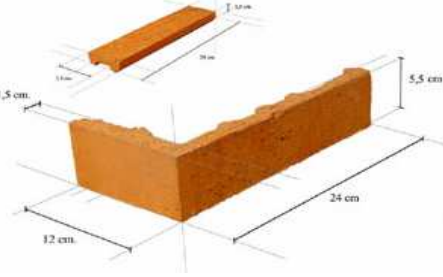
## ANEXO B: Enchapes Princesa

Marca	Princesa	Princesa	Princesa
			
<b>Nombre</b>	<b>Enchape ingles</b>	<b>Esquinero ingles</b>	<b>Enchape Standard corto</b>
<b>Materialidad</b>	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<b>Dimensiones (CMS)</b>	12 x 5,5 x 1,2	12 + 5,75 x 5,5 x 1,2	24 x 5,5 x 1,2
<b>Peso por unidad (Kg.)</b>	0,17	0,25	0,33
<b>Unidades X M2 /ml</b>	111 uni / m2	15 uni / ml	58 uni / m2
<b>Peso x M2 / ml (Kg)</b>	18,9	3,8	19,1
<b>Presentación</b>	pallet de 2142 unidades	pallet de 1470 unidades	pallet de 1830 unidades
<b>% absorción</b>	< 10%	< 10%	< 10%
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	No hay información	No hay información
<b>Texturas</b>	Liso, rustico	Liso, rustico	Liso, rustico
<b>Color</b>	Arcilla especial, ladrillo	Arcilla especial, ladrillo	Rojo, visón, alpaca, arcilla especial, ladrillo, san pedro

Marca	Princesa	Princesa	Princesa
			
<b>Nombre</b>	<b>Enchape Standard</b>	<b>Esquinero Standard</b>	<b>Enchape titán</b>
<b>Materialidad</b>	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<b>Dimensiones (CMS)</b>	24 x 7,1 x 1,2	24 + 11,5 x 7,1 x 1,2	29 x 7,1 x 2,5
<b>Peso por unidad (Kg.)</b>	0,43	0,67	0,79
<b>Unidades X m2 (ml)</b>	47 uni / m2	12 uni / ml	39 uni / m2
<b>Peso x M2 / ml (Kg)</b>	20,2	8,0	30,8
<b>Presentación</b>	pallet de 1464 unidades	pallet de 720 unidades	pallet de 900 unidades
<b>% absorción</b>	< 10%	< 10%	< 10%
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	No hay información	No hay información
<b>Texturas</b>	Liso, rustico	Liso, rustico	Liso, rustico
<b>Color</b>	Arcilla especial, ladrillo	Arcilla especial, ladrillo	Ladrillo




Marca	Princesa	Princesa
		
<b>Nombre</b>	<b>Esquinero Standard corto</b>	<b>Esquinero titán</b>
<b>Materialidad</b>	Arcilla	Arcilla
<b>Dimensiones (CMS)</b>	24 + 11,5 x 5,5 x 1,2	29 + 14 x 7,1 x 2,5
<b>Peso por unidad (Kg.)</b>	0,52	1,02
<b>Unidades X m2 (ml)</b>	15 uni / ml	12 un / ml
<b>Peso x M2 /ml (Kg)</b>	7,8	12,2
<b>Presentación</b>	pallet de 900 unidades	pallet de 600 unidades
<b>% absorción</b>	< 10%	< 10%
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	No hay información
<b>Texturas</b>	Liso, rustico	Liso, rustico
<b>Color</b>	Rojo, visón, alpaca, arcilla especial, ladrillo, san pedro	Ladrillo



## ANEXO C: Enchapes Pica y prieto

Marca	Pica y Prieto		Pica y Prieto	Pica y Prieto	
					
<b>Nombre</b>	<b>Enchape artesanal rustico</b>		<b>Esquinero artesanal rustico</b>	<b>Enchape terracota trana</b>	
<b>Materialidad</b>	Arcilla		Arcilla	Arcilla	
<b>Dimensiones (CMS)</b>	15 x 5,5 x 2	28 x 5,5 x 2	15 + 7,5 x 5,5 x 2	24 x 5,5 x 1,5	24 x 7 x 1,5
<b>Peso por unidad (grs)</b>	300	500	400	400	500
<b>Unidades X M2 (ml)</b>	100	55	100	60	50
<b>Peso x M2/ml (Kg)</b>	30	27,5	40	24	25
<b>% absorción</b>	< 15%		< 15%	< 10%	
<b>Texturas</b>	Liso, rasguñado y pulido		Liso, rasguñado y pulid	Liso, rasguñado y pulido	
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información		No hay información	No hay información	

Marca	Pica y Prieto	
<b>Nombre</b>	<b>Enchape artesanal rustico</b>	
<b>Materialidad</b>	Arcilla	
<b>Descripción</b>		
<b>Dimensiones (CMS)</b>	24 x 5,5 x 1,5	24 x 7 x 1,5
<b>Peso por unidad (grs)</b>	400	600
<b>Unidades X M2 (ml)</b>	60	50
<b>Peso x M2/ml (Kg)</b>	24	30
<b>% absorción</b>	< 15%	
<b>Texturas</b>	Liso, rasguñado y pulido	
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	

## ANEXO D: Enchapes Cerámica Santiago

Marca	Cerámica Santiago	Cerámica Santiago	Cerámica Santiago
Nombre	 <b>Enchape cerámica santiago</b>	 <b>Enchape cerámica santiago</b>	 <b>Especial Liso</b>
Materialidad	Arcilla	Arcilla	Arcilla
Dimensiones (CMS)	24 x 5,5 x 1,3	29 x 5,5 x 1,3	43,5 x 13 x 1,8
Peso por unidad (Kg)	0,34	0,40	1,2
Unidades X M2 /ml (Kg)	62	52	16,2
% absorción	< 15%	< 15%	< 15%
Tolerancia dimensional	No hay información	No hay información	No hay información
Texturas	Liso, rasguñado	Liso, rasguñado	Liso
Color	arenado, chocolate, extra	arenado, chocolate, extra	arenado, chocolate, extra

Marca	Cerámica Santiago	Cerámica Santiago
		
<b>Nombre</b>	<b>Especial Milan</b>	<b>Especial texturado natural</b>
<b>Materialidad</b>	Arcilla	Arcilla
<b>Dimensiones (CMS)</b>	43,5 x 13 x 1,8	43,5 x 13 x 1,8
<b>Peso por unidad (Kg)</b>	1,2	1,2
<b>Unidades X M2 /ml (Kg)</b>	16,2	16,2
<b>% absorción</b>	< 15%	< 15%
<b>Tolerancia dimensional</b>	No hay información	No hay información
<b>Texturas</b>	Liso	Texturado Natural
<b>Color</b>	arenado, chocolate, extra	arenado, chocolate, extra