



EL ARQUITECTO Y EL DISEÑO DE PANELES PREFABRICADOS DE FACHADA

RICARDO HUETE FUERTES

Doctor Arquitecto

CONSIDERACIONES GENERALES

La disposición ordenada de materiales y elementos para garantizar en un edificio su protección ante los agentes exteriores constituye lo que tradicionalmente entendemos por "cerramiento". A lo largo de la historia, numerosas soluciones han sido adoptadas por el hombre con el fin de obtener una mejor relación costo/prestación, adecuándolas en todo momento a su nivel de conocimiento y a las posibilidades que la técnica le ofrece.

La progresiva sustitución de las técnicas artesanales por los procesos y tecnologías industrializadas ha tenido su exponente más significado en la ejecución de la fachada de los edificios.

Entendemos por prefabricación la tecnología que nos permite emplear elementos (funcionales, constructivos, componentes, etc.), de grandes dimensiones, fabricados fuera de la obra y que podrían ser realizados en la misma.

Se convierte entonces la construcción en un proceso aditivo de elementos que son elaborados por un personal y en unas instalaciones por completo ajenas a la obra, bajo un criterio o método industrial y por ello garantizando un nivel de calidad sensiblemente superior al conseguido mediante técnicas tradicionales.

La tipología del panel de fachada es lo suficientemente amplia como para limitarnos a citar los casos genéricos. Si seguimos la clasificación tradicional tendremos los siguientes tipos:

a. Según su sección:

a1. Unicapas: constituidos por una única lámina del material considerado base (habitualmente hormigón).

a2. Multicapas o sandwich: constan de dos láminas, la interior y la exterior del material considerado como base, separados por una capa intermedia de un material aislante.

b. Según los materiales que lo constituyen:

b1. Metálicos: con una amplia gama de perfiles y con los materiales convencionales como el acero galvanizado, aluminio, etc.

b2. Hormigón: el panel de hormigón es el tradicionalmente conocido como panel de fachada.

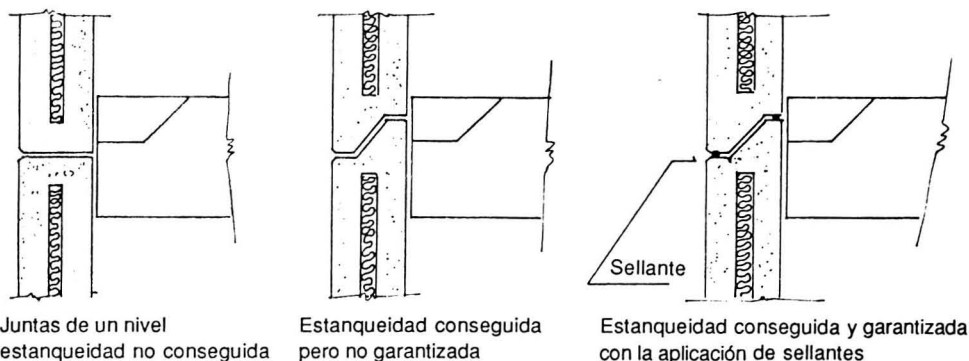
b3. Especiales: todos aquellos que no se ajustan estrictamente a los dos grupos anteriores.

CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS

La prefabricación o el empleo de elementos prefabricados en la edificación, es una **TECNOLOGIA** al servicio del arquitecto y como tal, no debe constituir un fin en sí misma sino que se justifica en tanto en cuanto, con su aplicación consciente permite alcanzar estándares más altos en la calidad del elemento, en su costo, en el tiempo de ejecución, en su expresión formal, etc. El técnico deberá por ello proceder a un análisis equilibrado de sus ventajas e inconvenientes antes de adoptar su empleo si desea rentabilizar globalmente el proceso edificatorio.

Hacemos esta introducción con el fin de insistir en la conveniencia de estudiar el comportamiento del panel de cerramiento prefabricado bajo la óptica del cumplimiento de los requerimientos exigibles a todo cerramiento de un edificio, independientemente de la tecnología o medios y materiales aplicados en su ejecución.

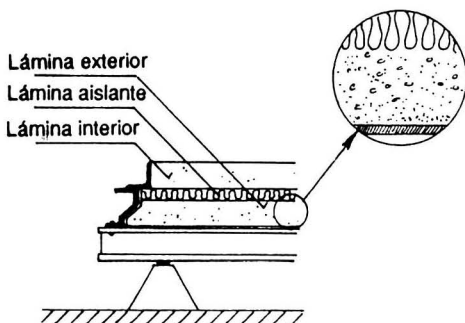
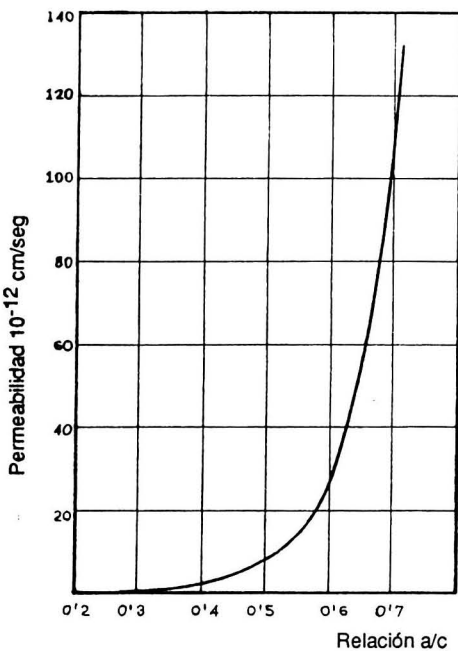
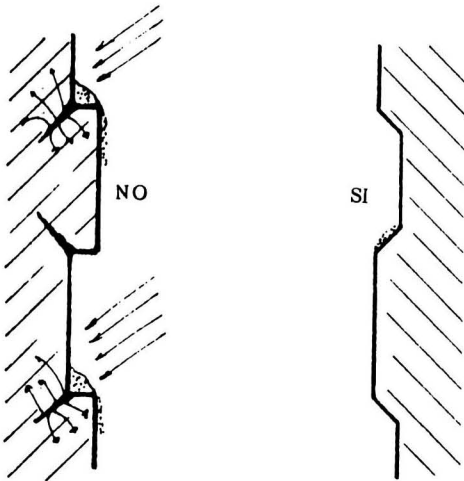
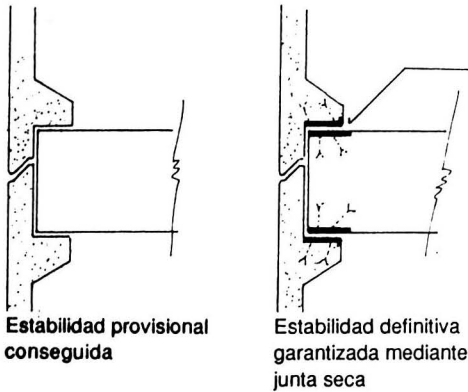
Como tal cerramiento o fachada, el panel deberá satisfacer las exigencias fisiológicas, psíquicas, de durabilidad, estructurales, etc., tanto por sí mismo, como elemento aislable del conjunto o como conjunto, al establecer una solución de continuidad a través de las juntas entre piezas adyacentes, disponiendo el profesional dos vías claramente diferenciadas para "hacer frente" o responder adecuadamente a cada demanda:



Juntas de un nivel
estanqueidad no conseguida

Estanqueidad conseguida
pero no garantizada

Estanqueidad conseguida y garantizada
con la aplicación de sellantes



- a) Con la geometría del elemento: basándonos en una correcta definición de los planos y líneas (bordes) del panel podremos obtener la garantía de su comportamiento adecuado ante una determinada exigencia.
- b) Mediante la aplicación de tecnologías apropiadas: ciertos requerimientos no pueden ser atendidos sin el empleo de materiales o elementos ajenos en principio al sistema; son exigencias que con la simple geometría de la pieza no se pueden garantizar, como por ejemplo, la estanquidad de las juntas o la propia estabilidad estructural del panel, siendo preciso realizar "a posteriori", las operaciones adecuadas de sellado, anclaje, etc.

Por último, complemento indudable de estas líneas de trabajo del profesional son las especificaciones y controles del proyecto y la ejecución, los medios fundamentales de los que dispone el profesional para conseguir y mantener los niveles de calidad bajo los que el proyecto ha sido definido. Por ello, y con la importancia que tienen serán expuestos en cada uno de los apartados que constituye el presente trabajo.

EXIGENCIAS FISIOLÓGICAS

Englobaremos en este apartado aquellas exigencias del cerramiento, en cuanto piel o envoltura del edificio y que como tal han de constituir una barrera de orden físico que impida la agresión desde el exterior de aquellos fenómenos capaces de turbar o impedir la actividad que en el edificio se desarrolla.

Pueden ser acciones intermitentes (lluvia, viento, etc.) con períodos de no actividad y que pueden permitir la recuperación del elemento o bien fenómenos continuados (ataque de microorganismos, plantas, etc.), que progresarán paulatinamente en su acción destructiva hasta afectar sensiblemente la calidad ambiental interior.

Si seguimos la norma I.S.O. 3447 "General check list of joints-functions", aún cuando adoptemos una ordenación más acorde con la terminología habitual, estas exigencias de tipo fisiológico son, de forma genérica las siguientes:

- F.1. Regulación del paso de insectos u otras alimañas.
- F.2. Regulación del paso de plantas, sus hojas, raíces, semillas y polen.
- F.3. Regulación del paso del polvo y otras partículas de tipo inorgánico.
- F.4. Regulación de la estanquidad frente al agua, la nieve y el hielo.
- F.5. Regulación de los fenómenos de condensación.
- F.6. Evitar la formación de abrigos que favorezcan la proliferación de microorganismos perjudiciales.

De ellas, intuitivamente podemos admitir que las características intrínsecas del material al que habitualmente nos

referimos constituyen una barrera suficientemente experimentada como para que establezcan la regulación necesaria al paso de insectos, el polvo, etc.; no tan inmediata supone la barrera a las plantas, raíces y semillas que son favorecidas principalmente por la acumulación de agua y polvo en los rehundidos "estéticos" que con demasiada frecuencia marcamos en los cerramientos y por último, precisaremos un estudio más exhaustivo en cuanto a crear una barrera ante la penetración del agua, los fenómenos de condensación y la formación de hielo.

La estanquidad al agua de lluvia

Destacamos esta exigencia ya que se considera decisiva tanto por la alteración que puede suponer de las condiciones de confort como por afectar a la propia durabilidad del elemento o a otros factores exigidos (por ejemplo el aislamiento térmico); la impermeabilidad y estanquidad al agua de lluvia (el movimiento del vapor de agua será estudiado dentro del contexto de la permeabilidad al aire), ha de ser analizada tanto en su incidencia sobre el panel como en la junta entre elementos adyacentes y resuelta, o proponiendo su solución, mediante la geometría de la pieza o con aplicación de medios tecnológicos adecuados.

a) El comportamiento del panel

El movimiento del agua a través del hormigón es esencialmente un fenómeno de tipo capilar (no se considera de interés analizar el movimiento originado por el diferencial de humedad entre los dos paramentos del panel) debido a la estructura porosa que tienen tanto la pasta de cemento como los áridos añadidos. La permeabilidad de la pasta de cemento es muy baja, alrededor del 7×10^{-11} cm/seg., debido a la extremadamente fina textura que tiene el material con muchos poros pero muy pequeños, en contraposición con las piedras naturales que aún teniendo menos poros, al ser éstos mayores, su permeabilidad es superior.

Tipo de roca	Permeabilidad	a/c*
Diorita	$8,24 \times 10^{-12}$	0,42
Mármol	$2,39 \times 10^{-11}$	0,48
Granito	$5,35 \times 10^{-9}$	0,70
Caliza	$1,23 \times 10^{-9}$	0,71

* Relación a/c de pasta de cemento con la misma permeabilidad.

Se relacionan los valores referidos a la pasta de cemento ya que en el caso del hormigón, la presencia de los áridos tiene poca incidencia (siempre y cuando no sean porosos) en la permeabilidad del material al quedar completamente rodeados por la pasta.

Como norma general podemos admitir que la permeabilidad (de la pasta de ce-



mento o del hormigón) es función directa del contenido de cemento, de la relación agua/cemento (ver gráfico) y de la edad de la mezcla, aumentando a medida que la cantidad de agua crece y reduciéndose con el progreso de la hidratación. Valores típicos para distintas relaciones son los ofrecidos en la tabla siguiente, tomados del American Concrete Institute.

Contenido de cemento (Kg/m ³)	a/c	Permeabilidad 10-10 cm/seg.
155	0,69	8,25
170	0,54	4,24
220	0,46	2,77

Bajo estas consideraciones, la función impermeable que debe garantizar el paramento de fachada será potenciada por el técnico responsable prestando atención a los dos aspectos siguientes:

Aumentar la compacidad del hormigón, fundamentalmente en la zona próxima al plano exterior, mediante el empleo de dosificaciones continuas, es decir, con áridos gruesos, medios y finos y una relación agua/cemento baja (0,45-0,5) y una puesta en obra adecuada. El proceso de ejecución del panel prefabricado favorece esta exigencia al ser habitual el hormigonado con la cara exterior contra el molde y la vibración aplicada en ella, provocándose una segregación natural, con desplazamiento de los finos hacia el plano inferior, con lo que se favorece la compacidad de las interfase aire-hormigón y consiguientemente reduciéndose la permeabilidad del cerramiento.

Un factor importante en esta situación favorable lo constituye la carbonatación progresiva que se forma en la superficie del hormigón (recordemos el factor tiempo en la permeabilidad) por la acción del CO₂ de la atmósfera, depositando carbonato cálcico que colmata los capilares con este material impermeable.

En segundo lugar, el técnico debe garantizar con la propia geometría del elemento que no se favorece la acumulación de agua y/o polvo sin evacuar. Estos depósitos presentan un potencial de agresión importante, no solamente por penetración directa, sino por la absorción de agua que los limos y arcillas presentes en los áridos van a llevar a cabo en la superficie de la pieza, provocando manchas y decoloración del hormigón y, sobre todo, por la probable fisura que por retracción se nos producirá en los vértices del rehundido, y que constituirá una vía de entrada inmediata del agua al interior del panel.

La retracción puede constituir un problema de importancia decisiva ya que puede adquirir valores importantes por el alto contenido en cemento de la zona externa del panel, provocando fisuras que facilitan la entrada del agua. Se recomienda por ello disponer una armadura de retracción con una cuantía mínima

de 0,8 cm²/m., en malla de luz no superior a 10 cm.; esta malla se dispondrá a una profundidad no superior a los 10 mm., si el panel no lleva tratamiento posterior de acabado y no mayor de 20 mm., si se realizara un acabado mecánico a base de chorro de arena, ácido, etc.

La situación se plantea de forma similar en los cerramientos tradicionales de fábrica de ladrillo visto, agravándose en este caso por la mayor porosidad de la cerámica lo que nos permite ver ciertas fachadas todavía "húmedas" varios días después de producirse la lluvia, aun cuando su incidencia en el interior de la edificación puede soslayarse si existe cámara de aire y si ésta se ventila y drena, evaporación y drenaje que no se producirá en el panel sandwich o multicapa (ver "Cuadernos de Construcción" n.º 7, pág. 12) al ser (normalmente) de tipo estanco.

b) El comportamiento de las juntas

Las juntas entre componentes exigen un estudio específico del problema en tanto en cuanto son aberturas en el muro por las que su estanqueidad puede quedar anulada si no se tratan adecuadamente.

Seguiremos la clasificación convencional según su posición en juntas horizontales y juntas verticales, siendo para ambas los métodos fundamentales de impermeabilización, los siguientes:

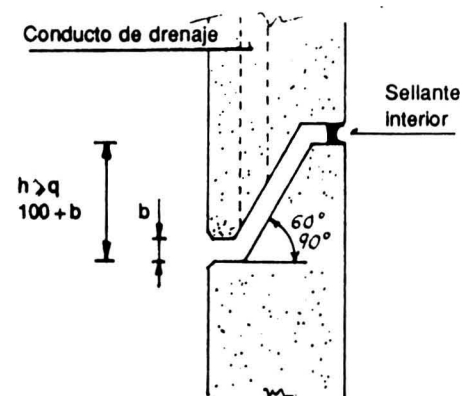
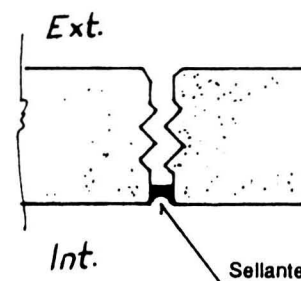
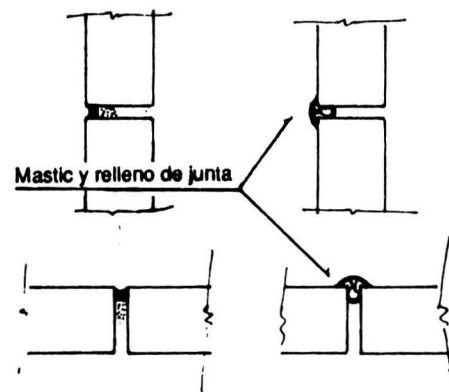
JUNTAS DE UN NIVEL: todas las barreras dispuestas para garantizar la estanqueidad, se basan en la aplicación de materiales sellantes, ya que la geometría o el perfil de la junta no es suficiente para constituir por sí misma una defensa ante la acción del agua y del viento.

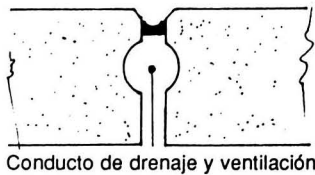
Este tipo de juntas se recomienda exclusivamente cuando los paneles son trasdosados por el interior con una fábrica tradicional o prefabricada, pero siempre creando una protección interior que mantenga la impermeabilidad del cerramiento si se produce un deterioro en el material sellante.

Tienen como ventaja su facilidad de ejecución, ya que no condicionan un perfil determinado del borde del panel; se pueden aplicar sellantes, perfiles prefabricados a base de diversos materiales como el acero inoxidable, el aluminio de P.V.C., etc., aunque son menos habituales tanto por su elevado costo como por las exigencias de precisión en las dimensiones de la junta.

JUNTAS DE DOS NIVELES: también denominadas "juntas abiertas", cumplen la condición de estanquidad mediante dos métodos:

a) La geometría de la junta: conformando los bordes del panel de tal manera que en sí mismos constituyan un impedimento al flujo del agua. Para las juntas verticales se crean quiebros





que dificulten la circulación del viento y consiguientemente la penetración del agua. Para las juntas horizontales, el método consiste en disponer un resalte entre los planos exterior e interior del panel, tal que la altura entre ambos extremos sea siempre superior a la presión del viento estimado, en columna de agua; el agua puede ocupar el espacio libre de la junta, pero alcanzado una cota máxima, función de la presión del viento que podemos calcular o seguir las recomendaciones al efecto, como la de la NTE-FPP.

q	← 90	91-110	> 110
h	5	7	10

siendo q la carga total de viento y h la altura de la junta, o las normas italianas que fijan un resalte mínimo de 100 mm., más el ancho de junta, para el que se adopta un mínimo de 10 mm. y un máximo de 15 mm.

b) El empleo de sellantes: el funcionamiento de estas juntas se complementa con la aplicación de sellantes de fraguado en obra, dispuestos en la cara interior del panel y por consiguiente independiente su ejecución de las condiciones meteorológicas.

JUNTAS VENTILADAS: constituyen una ampliación conceptual y tecnológica de las clasificadas como abiertas, con ciertas consideraciones de similitud con los cerramientos tradicionales, en la disposición de una cámara de ventilación que sirva para drenar o evaporar ventilando el agua que pase a su interior.

Su geometría se basa en los criterios anteriormente expuestos distinguiéndose en las juntas horizontales la formación de una "cámara de descompresión" que rompa el efecto originado al reducirse la sección por la que se produce el paso del aire.

Esta cámara o ensanchamiento, provoca una reducción en la presión y consiguientemente una pérdida del poder de penetración del agua que es desalojada a través de la misma cámara directamente al exterior.

Paralelamente a esta geometría constructiva se disponen materiales sellantes en la cara exterior del panel, que tienen la función de impedir la entrada directa de la lluvia, recomendándose que sean inalterables frente a los agentes atmosféricos y a temperaturas comprendidas entre -20 y +80° C.

Tradicionalmente se suelen ordenar según dos grandes grupos:

- Mastics extruídos
- Perfiles preformados

a.1. **Mastics extruídos:** son productos pastosos que precisan su puesta en obra mediante "pistola" diferenciándose los mastics elastoméricos y los plásticos según su comportamiento una vez superado el proceso

inicial de polimerización. Los primeros son los más habituales en el campo de la construcción por componentes, encontrándonos entre ellos a:

* **Las siliconas:** cuyos ingredientes a base de polímeros, silóxano y la correspondiente carga mineral hacen que a temperatura ambiente polimericen y adquieran una consistencia similar al caucho, con una gran elasticidad y perfecta adherencia si se aplica previamente una imprimación a las caras de la junta.

* **Los tiokoles:** masillas a base de cauchos polisulfuros que se presentan en dos componentes, una base (polisulfuros, polímeros y cargas) y un activador o reactor (aceleradores y expansores) debiendo mezclarse previamente a su empleo.

* **Los poliuretanos:** masillas también suministradas en dos componentes, en este caso la base son el poliuretano, un prepolímero y la carga mineral y el activador con las mismas características y exigencias que los tiokoles.

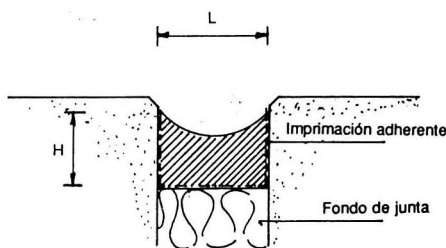
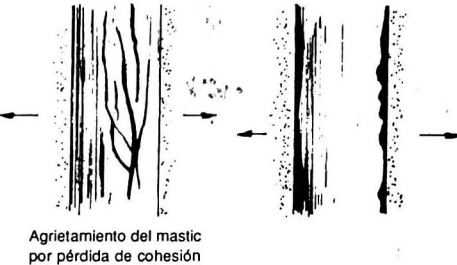
En la actualidad, existen suficientes marcas comerciales que suministran estos sellantes (Texsa, Sika, Rubson) y que marcan las específicas exigencias y propiedades de cada material, debiendo informarnos en ellos sobre las recomendaciones particulares para su puesta en obra.

Algunas de las características más significadas de estos sellantes moldeados en obra son:

	silicona	tiokol	poliuretano	m. plásticos
Tipo de curado	5 días	7 días	3-5 días	continuo
max. movimiento de junta admisible	+ 20%	25%	25%	+ 7%
Elasticidad	alta	alta	alta	baja
res. a la intemperie	excelen.	buena	muy buena	buena
esperanza de vida	20 años	20 años	20 años	10 años

Es importante esquematizar y comentar el empleo o aplicación de estos sellantes por lo que su conocimiento supone de incidencia en el proceso de diseño y en el de ejecución y control.

1. Preparación de la junta: las paredes de la junta deben estar limpias de polvo y grasas y secas. Previo al sellado se limpiarán con un cepillo de alambre o con aire a presión.
2. Imprimación previa: es necesario aplicarla en la casi totalidad de casos con el fin de asegurar una perfecta adherencia de la masilla aprovechando al máximo la capacidad de deformación del mastic. La imprimación se aplica en una sola mano, normalmente con pincel, y formando una fina película sobre las paredes de la junta, pero nunca en el fondo de la misma ya que en ese caso se limitarían sensiblemente las posibilidades de contracción y dilatación del sellante.
3. Aplicación del mastic: los mastics de tipo elastómero se aplican mediante





cartuchos (1/2 kg. de carga) con émbolo manual o mediante pistola. La profundidad del sellado será la menor posible, con el fin de incrementar su capacidad de elongación, estando limitada por la necesaria superficie de contacto para garantizar la adherencia. Como norma general se pueden recomendar los siguientes:

Ancho de junta (L)	Prof. del sellado (H)
5 mm.	5 a 4 mm.
10 mm.	8 a 5 mm.
15 mm.	10 a 8 mm.
20 mm.	12 a 10 mm.

Cuando la profundidad de la junta exceda las proporciones recomendadas, se dispondrá un material de relleno que sea comprensible (corcho, poliestireno expandido, etc.) hasta conseguir la profundidad conveniente; deberá prestarse atención especial a la capacidad de adherirse que tenga este relleno con el mastic. Se realizarán ensayos "in situ" aplicándose una capa de deslizante (aceite, jabón, papel Kraft, etc.), si se comprueba que puede limitarse la libertad de movimiento del sellante.

El sellado se ejecutará de modo distinto según se haga en verano o invierno para tener en cuenta las variaciones de longitud de los paneles por la acción de la temperatura. Si se realiza en verano, la profundidad será la máxima recomendable, incluso se puede sobrepasar los valores indicados en la tabla anterior, y el motivo es obvio, en verano el ancho de la junta alcanzará su mínima dimensión posible debido a la dilatación de los materiales que forman sus paredes. Al ir descendiendo la temperatura, la contracción de los paneles hará que la junta se ensanche, pudiendo encontrarnos con una insuficiente superficie de anclaje a las paredes para que no se despegue de ellas.

El sellado en invierno supone el caso contrario, la junta debe sellarse con la menor profundidad posible, con el fin de que al producirse el estrechamiento durante el verano, el sellante pueda flexionar conservando todas sus propiedades.

a.2. Perfiles prefabricados: se utilizan casi exclusivamente en elementos prefabricados ligeros basando su comportamiento en la deformación previa que es preciso introducir en el prefabricado para colocarlo en la junta.

Son de forma o perfil diverso y se suministran en P.V.C. (cloruro de polivinilo), aluminio, neopreno, etc., siendo el ancho de junta más habitual el de 10-12 mm. Anchos superiores o inferiores exigen pedidos especiales no recomendándose para anchuras superiores a 15 mm.

c) Casos especiales de estanqueidad

Los pretiles de cubierta y las juntas entre ellos constituyen un punto de im-

portancia capital en el proceso de impermeabilización, al estar sometidos a la intemperie en todas las direcciones. La geometría del elemento deberá ser tal que se impida que el agua resbale por la fachada, dándole una inclinación en toda su anchura hacia el interior, siendo esta recomendación independiente de que el antepecho sea unicapa o multicapa (caso de constituir la prolongación del panel inferior). En cualquier caso, el encuentro con la lámina impermeable de la cubierta deberá llevarse a cabo manteniendo los criterios y recomendaciones de la construcción convencional, es decir ajustándose a los siguientes principios:

- Permitir la libre dilatación del relleno de formación de pendiente sin que transmita esfuerzos al antepecho.
- Permitir la ejecución del refuerzo de la lámina en su encuentro con el pretil.

La lámina se fijará al hormigón mediante una banda de neopreno atornillada o clavada, si la cubierta es del tipo estanco, y quedara protegida mediante un tapajuntas metálico y sellante si debe permitirse su ventilación.

El otro punto a comentar en los pretiles es la protección de las juntas verticales tanto por el plano superior como por el interior (en este caso también exterior). En función del grado de acabado que queramos conseguir, podremos prolongar la lámina impermeabilizante en toda la altura del pretil, fijándola en los bordes mediante un adhesivo y doblándola sobre el plano superior (ver esquema), quedando protegida con un tapajuntas de P.V.C. o libre.

Sin embargo, la solución más habitual es proteger la junta con un perfil prefabricado de P.V.C. o metálico de los tipos y diseños comentados anteriormente, como alternativa más correcta a la aplicación de un mastic extruido por su intradós y el perfil o tapajuntas en el plano superior.

El segundo caso que conviene citar como especial en el diseño ante la acción del agua de los paneles de fachada, lo constituye las jambas, alféizar y dintel de las ventanas, sean incorporadas en el proceso de fabricación o montadas posteriormente en obra, en cualquier caso podemos adoptar la solución de asimilar la función impermeabilizante del alféizar al propio hormigón; esta solución es bastante habitual, aunque presenta graves inconvenientes por los problemas de acumulación de agua y polvo y las consiguientes decoloraciones que ya hemos comentado. Como contrapartida, podemos recuperar la solución tradicional de la albardilla, como piedra artificial pulimentada, ladrillo gotera yidriado, etc., que presenta el inconveniente de exigir una mano de obra adicional al proceso de ejecución, o bien, y ésta es la propuesta que se considera más adecuada, definir un recercado del mismo material que la carpintería e incorporado a ella, recercado que será completo en el caso del panel sandwich para proteger el elemento aislante, y sólo como alféizar en el panel unicapa.

