

MANUAL DE MONTAJE, TOLERANCIAS Y SUBESTRUCTURA DE PANEL COMPOSITE

Documento Técnico de Obra para Operarios, Técnicos e Instaladores

1. ELEMENTOS DE LA SUBESTRUCTURA DE ALUMINIO

La subestructura de aluminio es el esqueleto de la fachada ventilada. Su correcta instalación garantiza la seguridad estructural, la planeidad del revestimiento y el comportamiento óptimo frente a los esfuerzos de viento y dilataciones térmicas.

Ménsulas o Brackets de Sustentación y Retención

Las ménsulas son los elementos de anclaje que unen el soporte (forjado o muro de cerramiento) con los perfiles verticales. En obra se diferencian estrictamente dos tipos según su función mecánica:

- **Ménsulas de Sustentación (Puntos Fijos):** Absorben la carga de **peso propio** de la fachada (paneles + subestructura) y las acciones de **viento** (presión y succión). Se colocan generalmente en los cantos de forjado para asegurar un anclaje estructural firme. Sus taladros de fijación al perfil son circulares, impidiendo el deslizamiento vertical del montante.
- **Ménsulas de Retención (Puntos Móviles):** Tienen como única función absorber los esfuerzos de **viento** y guiar el perfil vertical en su movimiento. **No soportan peso propio**. Disponen de colisos (taladros rasgados longitudinalmente) que permiten que el perfil vertical deslice libremente de forma vertical debido a la dilatación térmica, evitando deformaciones o alabeos en la fachada.

⚠ REGLA DE ORO EN OBRA: Un perfil vertical solo debe llevar un nivel de ménsulas de sustentación (normalmente arriba o en el centro). El resto de los apoyos intermedios e inferiores deben ser obligatoriamente ménsulas de retención.

Aislantes Térmicos Interpuestos (Ruptores Galvánicos)

Es obligatorio interponer una pieza plástica de aislamiento (junta de PVC, EPDM o polipropileno) entre la ménsula de aluminio y el soporte (especialmente si es hormigón o acero estructural). Esta junta cumple una doble función crítica:

1. **Rotura de puente térmico:** Evita la transmisión de frío/calor directo al interior del edificio.
2. **Evitar el par galvánico:** Impide la corrosión electroquímica por el contacto directo entre metales de diferente potencial (o el efecto alcalino del hormigón húmedo sobre el aluminio).

Perfiles Montantes Verticales (Perfiles Omega y Perfiles T)

Los perfiles verticales reciben directamente la carga del panel composite y la transmiten a las ménsulas. Se emplean principalmente dos geometrías según el sistema de fijación:

- **Perfil T:** Utilizado principalmente en sistemas de panel remachado o fijado mecánicamente. Ofrece una cara plana ancha para el solape y remachado de los paneles colindantes.
- **Perfil Omega (Ω):** Utilizado en el sistema de casete colgado. Sus alas laterales permiten la fijación a las ménsulas y su cara central sirve para alojar los accesorios de cuelgue o pasadores.

Modulación e Interjes Recomendados

La separación estándar entre ejes de perfiles verticales (intereje) se establece de manera general a **600 mm**.

No obstante, esta distancia puede variar en función del cálculo estructural de viento de la zona y del espesor del panel composite (estándar de 4 mm). El intereje máximo en zonas de alta presión (esquinas de edificios o grandes alturas) no debe superar los **500 mm**, mientras que en zonas interiores resguardadas puede llegar a un máximo de **750 mm**, siempre bajo validación de la dirección técnica.

2. SISTEMA DE BANDEJA (CASETE COLGADO / DOBLADO)

El sistema de bandeja o casete conformado ofrece una estética limpia sin fijaciones vistas, convirtiendo el panel composite en una caja rígida autoportante.

Fabricación del Casete: Fresado, Troquelado y Plegado

La transformación del panel composite de 4 mm (dos pieles de aluminio de 0.5 mm y núcleo mineral) se realiza siguiendo un proceso estricto en taller:

1. **Fresado en V:** Se realiza por la cara posterior del panel utilizando fresas de disco o fresadoras de control numérico (CNC).
 - Para pliegues a **90°**, se ejecuta un fresado con un ángulo de **90°**, dejando un espesor remanente de núcleo de polímero/mineral de entre 0.3 mm y 0.5 mm sobre la piel de aluminio exterior.
 - Para esquinas especiales o retornos a **135°**, se utiliza una fresa de **135°**.

2. **Troquelado de Esquinas:** Se eliminan los cuadrantes de las esquinas mediante troqueladora mecánica para permitir el cruce de las pestañas perimetrales sin solapes de material que engrosen la esquina.
3. **Plegado Perimetral:** Se doblan las pestañas de forma manual o asistida. El doblado debe realizarse siempre hacia la cara del núcleo. Para rigidizar la bandeja, se colocan escuadras de aluminio (perfiles de refuerzo de rincón) en las cuatro esquinas, fijadas mediante remaches estructurales.

Fórmulas de Cálculo de Desarrollo de Chapa

Para cortar y fresar el panel plano correctamente antes del doblado, se debe calcular el "desarrollo" total de la pieza. La fórmula matemática para el desarrollo longitudinal o transversal es:

$$D = C_v + B_1 + B_2 + P_{\text{sup}} + P_{\text{inf}} - (n \times K)$$

Donde:

- D : Desarrollo total de la chapa a cortar.
- C_v : Cota vista del panel (la dimensión final visible de la modulación).
- B_1, B_2 : Botas o pestañas de doblado laterales (típicamente entre **25 mm y 30 mm**), necesarias para dar rigidez y alojar los sistemas de cuelgue.
- P_{sup} : Pliegue superior de cuelgue (habitualmente **45 mm** para alojar el colgador).
- P_{inf} : Pliegue inferior de retorno o goterón (habitualmente **20 mm**).
- n : Número de pliegues a realizar.
- K : Factor de corrección por plegado (para panel de 4 mm fresado a 90°, el descuento por pliegue suele oscilar entre **1 mm y 1.5 mm** dependiendo de la maquinaria; debe verificarse siempre con una pieza de prueba).

Sistema de Cuelgue sobre Pasadores

Una vez conformada la bandeja, el montaje en obra sigue los siguientes pasos:

1. En las pestañas laterales del casete se remachan unos accesorios de aluminio denominados **colgadores o "pinzas"**.
2. En los perfiles montantes verticales (Omegas) se instalan unos **pasadores de acero inoxidable o aluminio con fundas de plástico (EPDM/poliamida)** para evitar ruidos por vibración de viento.
3. El operario suspende el casete introduciendo las pinzas laterales sobre los pasadores del perfil vertical.
4. **Regulación:** Mediante un tornillo de nivelación situado en el colgador superior, se ajusta la altura milimétrica del panel y su nivelación horizontal respecto a los paneles adyacentes.

3. SISTEMA REMACHADO O FIJACIÓN DIRECTA

Es el sistema de colocación más rápido y económico, donde el panel composite se instala completamente plano, solapando directamente sobre la cara exterior de los perfiles en T o modulares.

Fijación Mediante Remaches de Aluminio/Acero

Los remaches deben ser específicos para fachadas, compuestos por un cuerpo de aluminio (AlMg3 o AlMg5) para resistir la intemperie y un vástago de acero inoxidable. La cabeza del remache debe ser lacada en el mismo código RAL que el panel para que quede mimetizada.

El Principio de la Dilatación Térmica del Aluminio

El aluminio tiene un coeficiente de dilatación térmica lineal de:

$$\alpha = 0.024 \text{ mm/m}^{\circ}\text{C}$$

Ejemplo de obra: Un panel de 4 metros de longitud expuesto a un salto térmico de 50°C (de -10°C en invierno a $+40^{\circ}\text{C}$ de temperatura de superficie en verano) sufrirá una variación dimensional de:

$$4 \text{ m} \times 0.024 \text{ mm/m}^{\circ}\text{C} \times 50^{\circ}\text{C} = 4.8 \text{ mm}$$

Si el panel está rígidamente bloqueado en todos sus puntos de fijación, esta dilatación provocará tensiones internas brutales que abollarán el panel (efecto "alabeo" o "bamboleo") o terminarán degollando los remaches.

Regla Crítica: Punto Fijo y Puntos Móviles

Para permitir el movimiento libre del panel por temperatura sin perder la estabilidad geométrica en su plano, se aplica estrictamente la regla del Punto Fijo y Puntos Móviles:

Tipo de Punto	Cantidad por Panel	Diámetro Taladro en Panel	Diámetro Taladro en Perfil	Método de Ejecución y Herramienta
Punto Fijo	1 solo (preferiblemente en el centro geométrico del panel).	5.1 mm (ajustado al remache).	5.1 mm	Se taladra directamente el conjunto panel-perfil a 5.1 mm. Se coloca el remache normal de 5.0 mm. Este punto centra el panel y absorbe el peso dinámico.
Puntos Móviles	Todos los demás (perímetro e interior).	8.5 mm a 10.0 mm (sobredimensionado).	5.1 mm	<ol style="list-style-type: none">1. Se realiza un taladro previo al panel a 8.5 mm.2. Se centra el taladro del perfil a 5.1 mm usando una broca de centrar.3. Se coloca el remache utilizando una boquilla distanciadora (o de holgura) en la remachadora.

PROHIBIDO EN OBRA: No utilizar la boquilla distanciadora en los puntos móviles bloqueará la cabeza del remache fuertemente contra el panel, impidiendo su deslizamiento y anulando el taladro sobredimensionado. La cabeza del remache debe "flotar" unas décimas de milímetro sobre el panel.

4. JUNTAS DE DILATACIÓN Y TOLERANCIAS EN OBRA

Las juntas entre paneles absorben los movimientos del edificio y de la propia piel de la fachada, garantizando además la correcta evacuación del agua de lluvia y la ventilación interna.

Dimensionamiento de las Juntas

- **Ancho de Junta Estándar:** Las juntas horizontales y verticales entre paneles deben dimensionarse entre **8 mm y 12 mm**.
- **¿Por qué nunca instalar a tope?** Instalar paneles composite con juntas inferiores a 6 mm o a testa (a tope) provoca que, al dilatar los paneles, choquen entre sí. Esto destruye los bordes del material, genera ruidos crujientes molestos y desancla la subestructura por empuje mecánico, con riesgo de desprendimiento.

Tabla de Tolerancias Máximas Admisibles

Durante la fase de replanteo y la recepción de la estructura, no se deben superar las siguientes desviaciones métricas:


Concepto de Control	Tolerancia Máxima Admisible	Herramienta de Comprobación
Desviación de verticalidad (plomada) de perfiles	$\leq 1.5 \text{ mm}$ por cada 3 m (máx. 5 mm en toda la altura)	Plomada óptica / Nivel Láser / Regla de 3m
Desviación de planeidad de la subestructura	$\leq 2 \text{ mm}$ en una regla de 3 m	Regla de aluminio y cuña calibrada
Desalineación de juntas horizontales/verticales	$\leq 1.0 \text{ mm}$ entre paneles contiguos	Calibre pie de rey

Espesor / Ancho de la junta de dilatación	$\pm 1.5 \text{ mm}$ respecto al valor nominal (ej. 10mm)	Calibre de espesores o cuña
---	---	-----------------------------

5. CHECKLIST DE CONTROL DE CALIDAD EN LA PUESTA EN OBRA

Este listado de comprobación rápida debe ser ejecutado por el Jefe de Montaje y firmado por el instalador en cada tajo de obra terminado antes de liberar la fachada para su recepción.

- **1. Verificación del Soporte y Ménsulas:** ¿Tienen todas las ménsulas instalada su correspondiente junta de rotura térmica/par galvánico? ¿Las fijaciones al muro estructural están apretadas con el par de torsión requerido?
- **2. Libre Dilatación de Perfiles:** ¿Se ha comprobado que las ménsulas de retención permiten el deslizamiento vertical del perfil (tornillo apretado en el centro del coliso, no al fondo)? ¿Existe una junta de separación de al menos 15-20 mm entre tramos verticales de perfil en T u Omega?
- **3. Plomada y Alineación:** ¿Se ha verificado la planeidad global del entramado de perfiles con láser o regla de 3 metros antes de colocar los paneles?
- **4. Ejecución del Sistema Remachado (si aplica):** ¿Se ha garantizado que existe **únicamente un (1) Punto Fijo** por panel? ¿Se ha utilizado la boquilla distanciadora en todos los puntos móviles? ¿Se limpió la viruta de aluminio entre el panel y el perfil antes de remachar?
- **5. Colocación de Pasadores en Sistema de Bandeja (si aplica):** ¿Están colocados los casquillos plásticos antivibración en todos los pasadores de las Omegas? ¿Los tornillos de regulación de los colgadores están fijados para evitar que el panel se mueva con ruidos de traqueteo?
- **6. Limpieza de la Cámara de Aire:** ¿Existe un espacio libre mínimo de **20 mm** (recomendable 30 a 50 mm) entre el aislante térmico (lana de roca/EPS) y la cara posterior del panel composite? ¿Están libres las entradas inferiores (muecas de arranque) y salidas superiores (coronación) para asegurar el efecto chimenea?
- **7. Dirección de Flechas del Film Protector:** ¿Se ha comprobado que todos los paneles de una misma fachada se han instalado siguiendo la misma dirección de las flechas impresas en el film protector? (*Nota de obra: El composite metálico o satinado tiene direccionalidad óptica; colocar un panel invertido genera un efecto visual de cambio de color radical*).
- **8. Retirada de Film Protector:** ¿Se está retirando el film protector inmediatamente después de la colocación de los paneles o, como máximo, **dentro de los 30 días posteriores** a su exposición solar?

 **ALERTA DE CONTROL:** Nunca dejar el film protector expuesto al sol por más de un mes. Los rayos UV cristalizan el adhesivo, haciendo que se fusione con la laca del panel, arruinando el acabado de la fachada de forma irreversible durante el despegue.