

Soluciones térmicas y de disipación
de calor para aplicaciones electrónicas de
potencia
AAVID & PRIATHERM

Carlos González (FAE)

Helping
Innovation

- **Introducción:**
 - Estudio térmico de los dispositivos de potencia para conseguir un rendimiento óptimo, y su importancia.
 - Sobre AAVID Thermalloy y Priatherm
- **Soluciones térmicas y de disipación de calor para aplicaciones electrónicas de potencia**
 - Sectores involucrados.
 - Soluciones de refrigeración por aire pasivas y activas.
 - Soluciones de refrigeración líquida y aplicaciones donde se recomienda el uso de estas soluciones.
- **Casos de Éxito**
- **Preguntas**



Introducción al Problema

Disipación del Calor

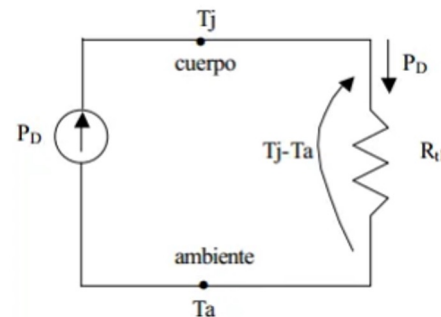
- Por efecto Joule, cualquier cuerpo que conduce corriente eléctrica pierde parte de su energía en forma de calor.
- Los dispositivos semiconductores como TRIAC, transistores, MOSFET, reguladores de tensión, etc., suelen manejar potencias de cierta magnitud y su tamaño suele ser pequeño.
- En dispositivos de potencia reducida, la superficie de los mismos es suficiente para evacuar el calor hacia el ambiente, manteniendo un flujo térmico que evita la destrucción de la unión.
- En dispositivos de mayor potencia, la superficie del componente no es suficiente para mantener el flujo térmico necesario y debemos ampliar la zona de radiación mediante disipadores (radiadores o “heatsinks”) y, en ocasiones, apoyados por ventiladores.

Propagación del calor y conceptos básicos

Propagación:

- Radiación
- Conducción
- Convección

- Equivale a la potencia eléctrica disipada por el dispositivo. La transferencia de energía entre dos cuerpos. Unidades: W
- Temperatura
 - Temperatura que se alcanza en la cápsula del dispositivo. Unidades: °C
- Resistencia Térmica
 - Es la oposición que ofrece un cuerpo al paso de un flujo calorífico. Unidades: °C /W



$$P_D = \frac{T_j - T_a}{R_{th}}$$

¿Qué es la gestión térmica?

Es el proceso de controlar el calor generado por los productos, normalmente enfriándolos con sistemas líquidos, conjuntos de dos fases, refrigeración por aire o soluciones de conducción. En la mayoría de los casos, la energía térmica se extrae de las fuentes de calor y se disipa en el aire ambiente.

¿Por qué es tan importante en la industria moderna?

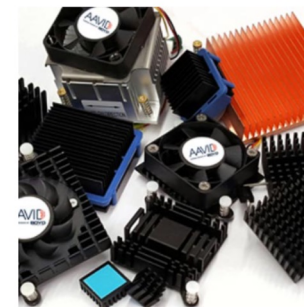
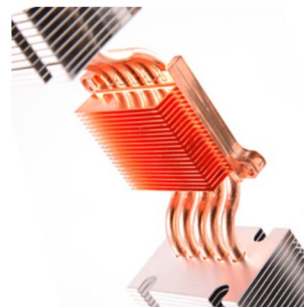
Casi todas las industrias y productos emplean dispositivos o productos electrónicos de alta potencia y, a medida que los dispositivos se vuelven más inteligentes y están más conectados, utilizan más energía en volúmenes más pequeños. Esta tendencia concentra el calor y es un factor limitante para un procesamiento más rápido y una mayor capacidad de la batería.



Aavid y Priatherm

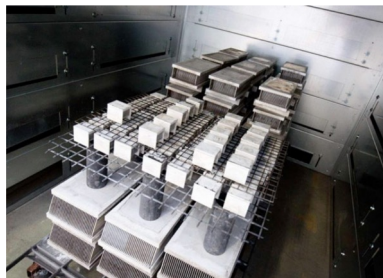


Empresa Norteamericana, que actualmente es la división térmica de Boyd Corporation. Tiene una larga trayectoria en el desarrollo, diseño, prueba, optimización y fabricación de soluciones de enfriamiento de alto rendimiento en todas las industrias. A través de una innovación constante en ingeniería y fabricación, Aavid proporciona sistemas y soluciones térmicas optimizadas y rentables que utilizan la gama más amplia de tecnologías de refrigeración tradicionales y avanzadas.



PRIATHERM

Con sede en Ferrara, Italia, Priatherm se fundó en 2010 como una empresa emergente dentro del grupo industrial Arete & Cocchi Technology , compartiendo valores y objetivos. Priatherm proporciona soluciones eficaces en una amplia gama de aplicaciones de electrónica de alta densidad de potencia. Se especializa en el diseño de disipadores de calor, utilizables tanto para enfriamiento por convección natural como para enfriamiento por convección forzada.



Energía



Industrial



Transporte



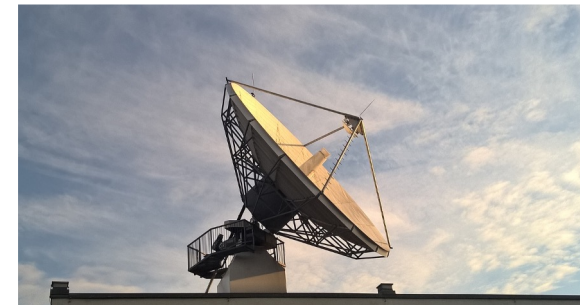
Medicina

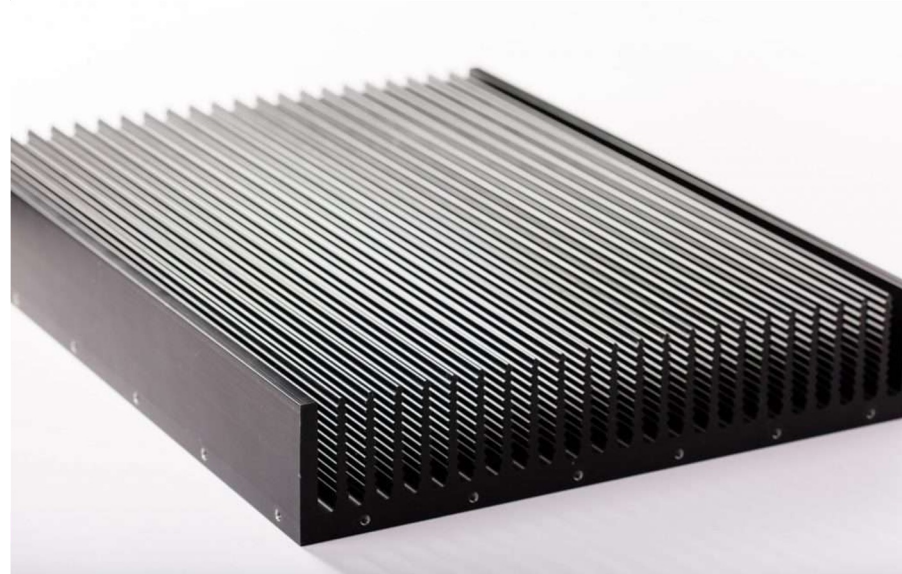


Movilidad Eléctrica



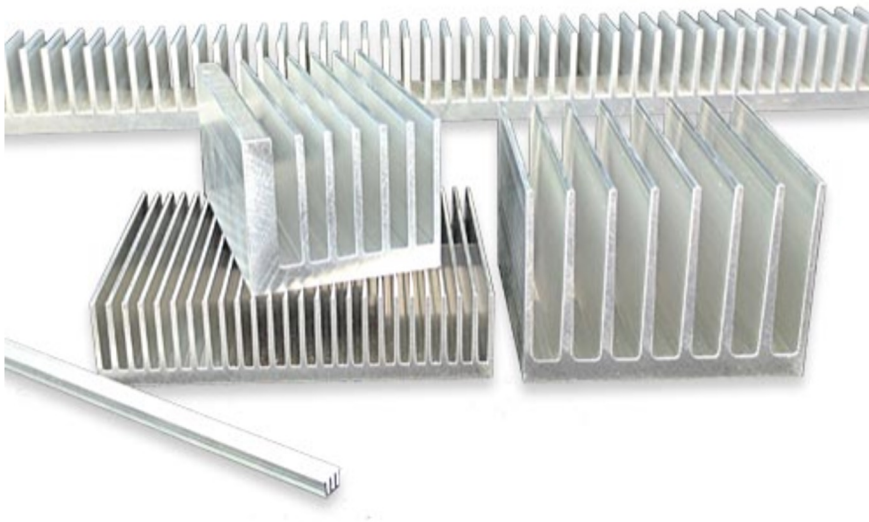
Radiodifusión





Refrigeración por Aire

Disipadores de Aluminio Extruido

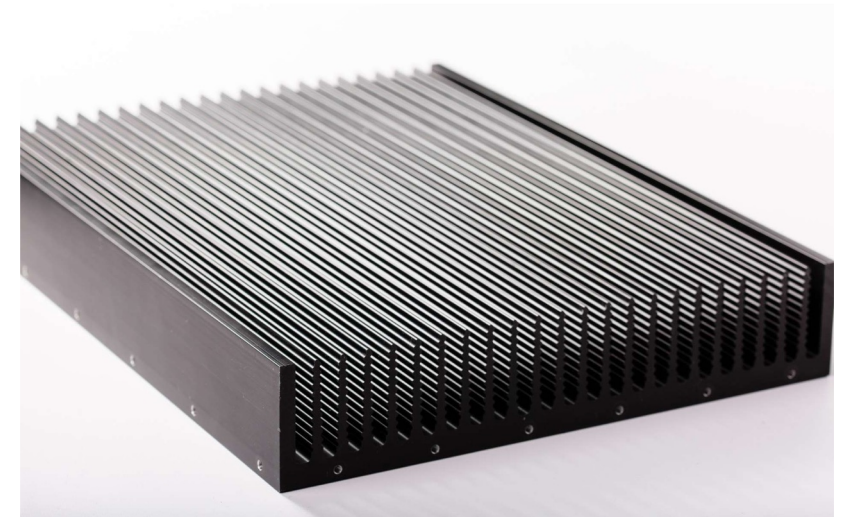


Beneficios

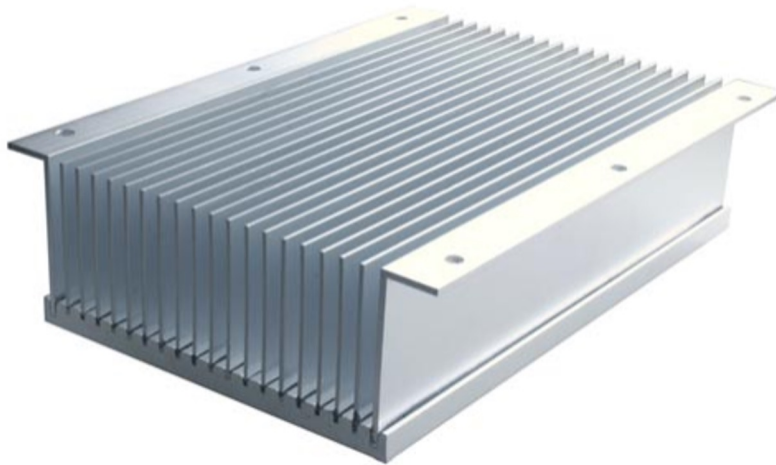
- Ideal para aplicaciones de baja y media potencia
- Rápido y rentable
- Alto volumen escalable
- Simples personalizaciones
- Construcción de una pieza para una resistencia térmica limitada

Disipadores de Aluminio Extruido

- La aleación de aluminio para extrusión (generalmente EN AW 6060 o 6063) es conocida como uno de los mejores materiales para construir disipadores de calor debido a su compromiso ideal entre costo, peso, facilidad de trabajar y conductividad térmica.
- Las diferentes formas de perfil pueden permitir la disipación de calor en diversas aplicaciones industriales, donde el enfriamiento se produce mediante convección natural o convección forzada (cuando se utilizan ventiladores).
 - Acabados en pintura o anodizados



Disipadores con Aletas Insertadas



Beneficios

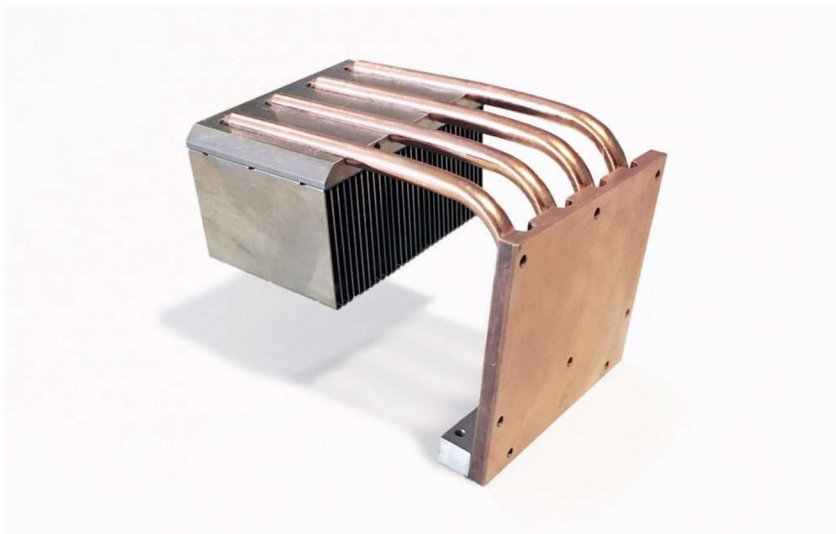
- Footprint más pequeño para aplicaciones con espacio limitado
- Alto rendimiento térmico
- Bueno para convección forzada, sin límite en la longitud del flujo de aire
- Distancia entre aletas estrecho
- Relación de aspecto de aleta alta
- Alta flexibilidad de diseño y fácil integración
- Menores costos de herramientas

Disipadores con Aletas Inscartadas

- Perfiles personalizados con aletas **pegadas** o **soldadas** colocadas en una o ambas caras.
- Esta familia de disipadores de calor permite crear soluciones de refrigeración de mayor rendimiento (mediante convección forzada), necesarias cuando el flujo de calor en cuestión es particularmente alto.
- Las aletas de aluminio puro se colocan sobre una placa de aluminio, creando la posibilidad de tener disipadores de calor con espacios mínimos entre las aletas y estructuras complejas, inalcanzables mediante la tecnología de extrusión.
- Utilizando el proceso de Soldadura Fuerte en Atmósfera Controlada, podemos crear uniones metálicas entre la base y las aletas, asegurando así una perfecta conductividad térmica y eléctrica y resistencia mecánica.



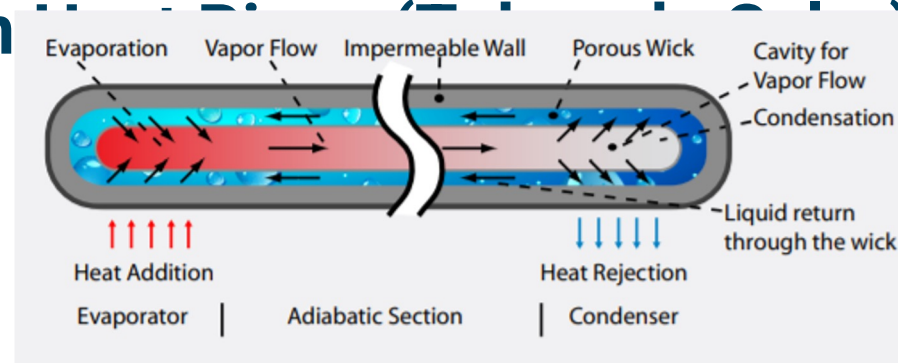
Disipadores con Heat Pipes (Tubos de Calor)



Beneficios

- Mejora las rutas de conducción del calor lejos de los dispositivos.
- Extiende el rango térmico de enfriamiento por convección natural y forzada
- El proceso de incrustación del heat pipe mejora la transferencia térmica
- Reduce el costo total y el peso sin aumentar el volumen en una placa base
- El mejor sistema de enfriamiento pasivo sin partes móviles
- Los conjuntos de heat pipes de diámetro pequeño proporcionan una mayor eficiencia térmica
- Los conjuntos de heat pipes de gran diámetro transfieren mayores cargas de potencia

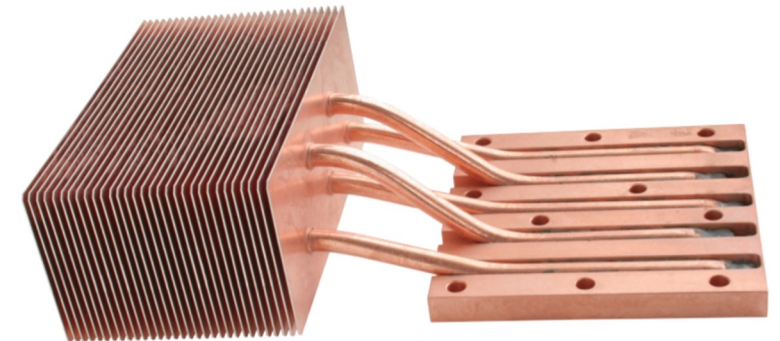
Disipadores con



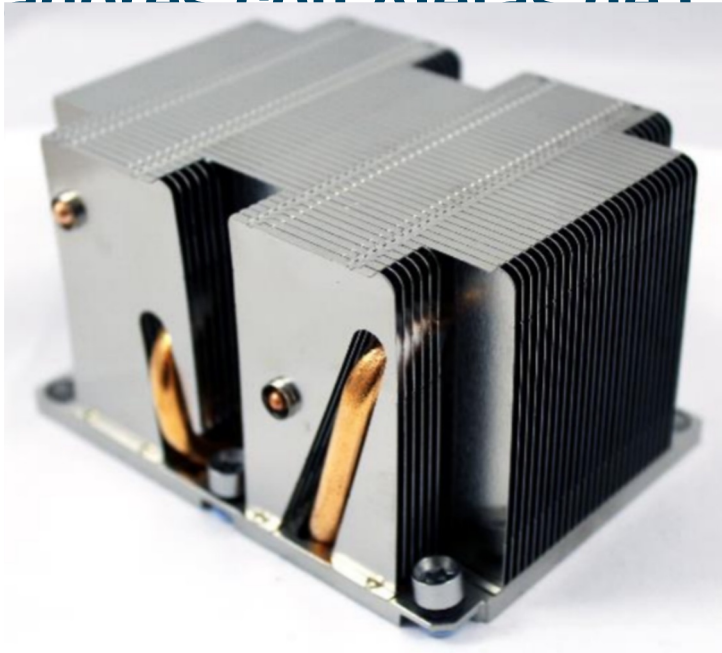
- El líquido interno absorbe la energía térmica conducida a través de la pared de la tubería y se evapora.
- La presión hace que este vapor se aleje de la parte calentada del heat pipe hacia la región o regiones más frías.
- La energía térmica es absorbida por la región del heat pipe más fría, lejos de la fuente de calor, donde el vapor se condensa nuevamente en líquido.
- La acción capilar de la estructura absorbente transporta el líquido de regreso al área donde ocurre la evaporación, comenzando el ciclo nuevamente.

Diseñadores con Heat Pipes (Tubos de Calor)

- Los tubos de calor son excelentes para mover o difundir el calor, especialmente cuando están incrustados en una placa base.
- Pueden alejar rápidamente el calor de los dispositivos sensibles a la temperatura a un lugar donde se pueda disipar el calor.
- Los tubos de calor también se pueden usar para aumentar la eficiencia de las aletas al mover el calor directamente a la parte superior más fría de las aletas.
 - Aplicaciones aeroespaciales
 - Electrónica de consumo
 - Servidores
 - Telecomunicación
 - Accionamientos y controladores de motor
 - Sistemas de alimentación ininterrumpida
 - Transporte



Disipadores con Aletas de Cremallera (Zipper Fins)

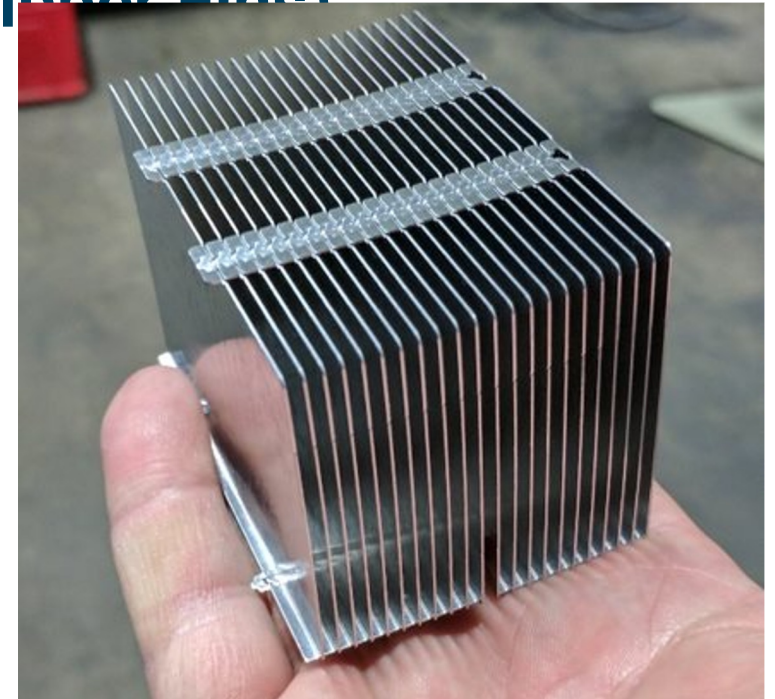


Beneficios

- Alto rendimiento térmico
- Ideal para convección forzada
- Alta flexibilidad de diseño y fácil integración
- Menores costos de herramientas
- Peso más ligero
- Puede usarse para aumentar la eficiencia de los heat pipe
- Mayor integridad mecánica

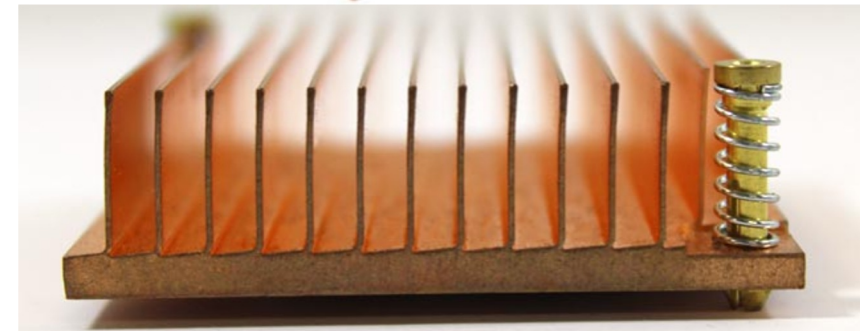
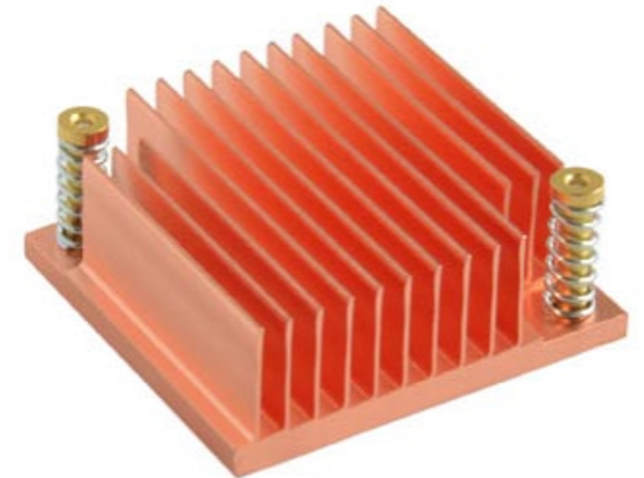
Diseñadores con Aletas de Cremallera (Zipper Fins)

- Se troquelan las aletas con la forma deseada, y se pliegan unas con otras formando una pila de aletas.
- Permite espesores de aletas mínimos, aumentando la densidad de aletas.
- Ideal para grandes volúmenes.
- Permite mezclar y combinar materiales.
- Puede personalizarse con placa de cobre o Heat Pipes para mejorar la transferencia de calor.



Disipadores de Aleta Biscelada (SKIVEN)

- Permiten densidades de aletas más altas que las que se pueden fabricar mediante metodologías de extrusión, pero sin una unión que restrinja el flujo de calor como los disipadores de aletas insertadas.
- Fabricados con una sola pieza de material.
- Ofrecen una resistencia térmica reducida ya que no hay unión entre la base y las aletas.
- Se fabrican cortando con precisión la parte superior de la base, doblándola hacia atrás hasta donde está perpendicular a la base y repitiendo a intervalos regulares para crear aletas.
- Fabricación con herramientas más baratas, lo que proporciona una mayor flexibilidad de diseño y una creación de prototipos más rápida.
- Se pueden construir de aluminio o cobre.



Disipadores Ligeros Aluminio-Grafito

- Disipadores de tipo “cremallera” con aletas de aluminio puro unidas a una base compuesta obtenida combinando moléculas de aluminio con estructuras de grafito: el resultado es una aleación con características mecánicas comparables al aluminio, peso más ligero y conductividad térmica bastante cercana al cobre.
- Solución que resulta especialmente interesantes cuando el peso del disipador de calor y, por tanto, de toda la unidad, juega un papel decisivo en la aplicación.
- Opción de reducir el peso de una solución de cobre existente hasta en un 60%
- Facilidad de trabajar mecánicamente, que gracias al aluminio se evita la extrema fragilidad que tendría el grafito puro.



k-Core® Sistema avanzado de materiales de conducción

- Sistema avanzado de material de conducción sólida de alto rendimiento que puede ayudar a disipar el calor en la electrónica de alta potencia para aplicaciones **aeroespaciales, militares** y comerciales.
- Utilizando material de **grafito pirolítico recocido** (APG) sólido colocado dentro de un encapsulado, k-Core® ofrece una conductividad térmica efectiva de 1000 W/mK, que es **cinco veces mayor que la del aluminio sólido y tres veces mayor que la del cobre sólido**. k-Core® también es liviano y ofrece **menos peso que el aluminio**.
- k-Core® se puede fabricar empleando la mayoría de los metales y materiales de gestión térmica convencionales como encapsulante, como aleaciones de aluminio y cobre, cerámica y compuestos, según la necesidad del usuario y la aplicación.

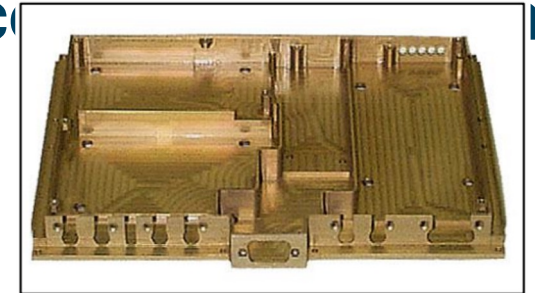


Figure 1. k-Core® Cold Plate

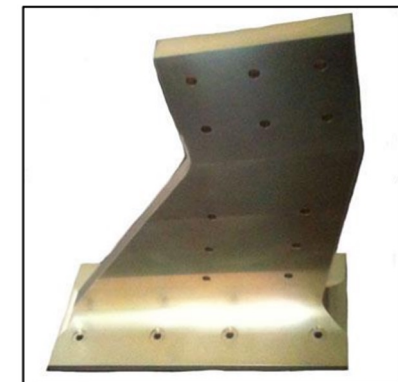
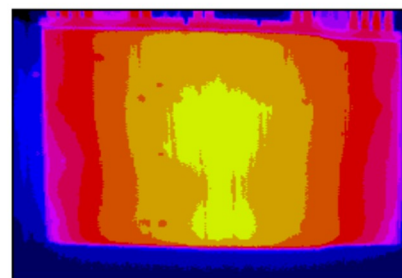
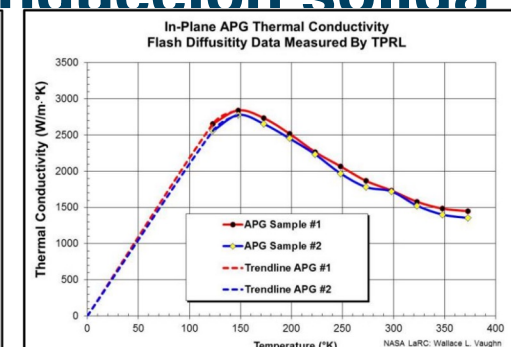
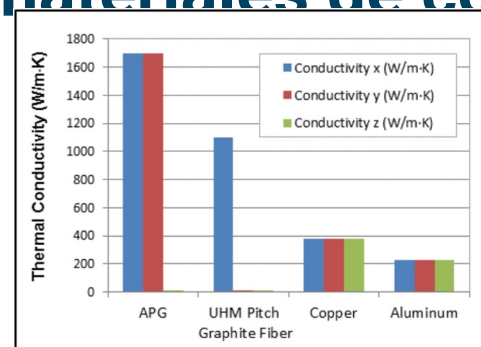


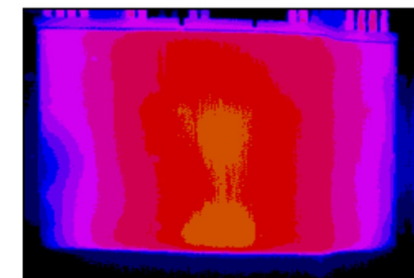
Figure 2. k-Core® NASA Satellite Bracket

k-Core® Sistema avanzado de materiales de conducción sólida

- Temperaturas máximas de semiconductores significativamente reducidas
- “Reemplazo directo” para conducción sólida equivalente
- Tamaño de disipador de calor más pequeño
- Menor masa que los disipadores de calor tradicionales de aluminio o cobre
- Independiente de la gravedad (para entornos de 0g a >9g)
- Encapsulación completamente hermética
- Se puede hacer coincidir CTE con materiales semiconductores para conexión directa
- Robusto y resistente a los daños
- Calificación aeroespacial



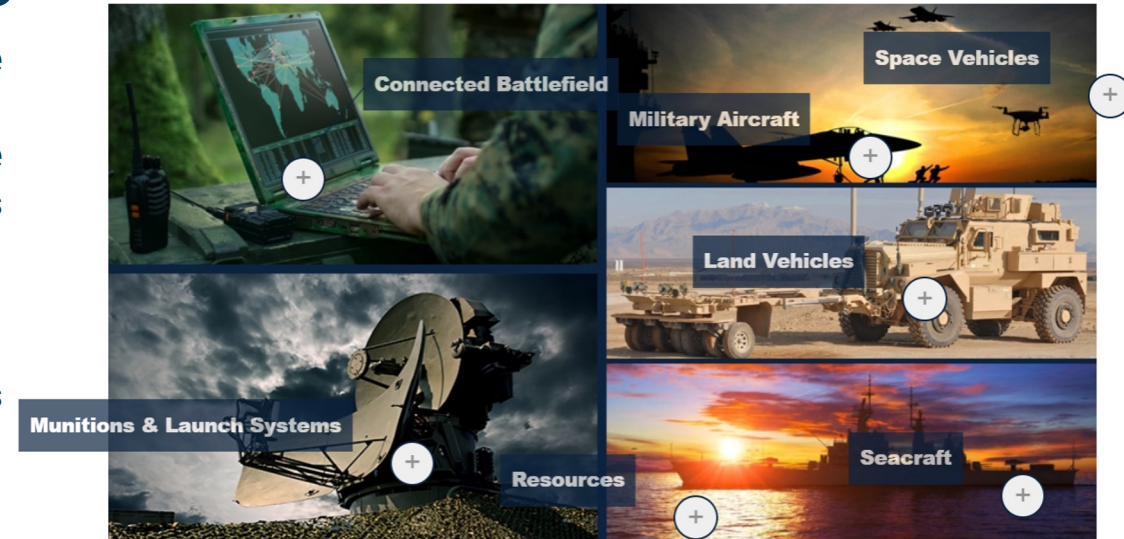
Aluminum: Maximum Center Source Temp. – 61.3° C



APG: Maximum Center Source Temp. – 22.8° C

k-Core® Sistema avanzado de materiales de conducción sólida

- Aeronaves avanzadas: F-35/JSF, FA-22/Raptor y F-18
- Control, adquisición de objetivos y refrigeración de aviónica
- Componentes electrónicos sensibles y sistemas de control para satélites de comunicaciones aeroespaciales y espaciales
- Chasis Electrónico
- Escudos Térmicos, Planos de Tierra y Duplicadores
- Barras de conducción, soportes de batería y núcleos de restricción
- Radares, Convertidores de Potencia y Diodos Láser





Refrigeración Líquida

Beneficios de la refrigeración por aire

- Sistemas más baratos
- No requieren de líquidos especiales o regulados
- Menos componentes
- Mayor fiabilidad
- Fáciles de modificar/actualizar

Tendencia

- Sistemas electrónicos de potencia más complejos
- Más potencia
- Factores de forma más reducidos

Limitaciones de la refrigeración por aire

- Requiere optimización
- Mayor tamaño
- Mayor peso
- Más ruido al aumentar el flujo de aire
- **MENOR RENDIMIENTO TÉRMICO DEL AIRE FRENTE AL LÍQUIDO**

¿Refrigeración por aire o por líquido?

$$Q = h \times A \times (T_s - T)$$

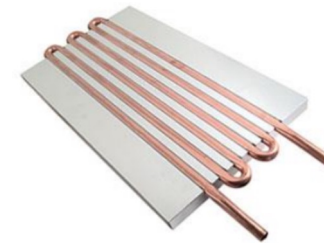
- Q es el calor transmitido de un sólido a un fluido en movimiento
- T_s es la temperatura de la superficie del cuerpo
- T es la temperatura del fluido
- h es el coeficiente de transferencia de calor por convección
- A es la superficie que está en contacto con el fluido

$$25 < h_{\text{aire}} < 250 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$
$$100 < h_{\text{líquido}} < 20,000 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Refrigeración Líquida

Un sistema refrigerado por líquido se utiliza generalmente en casos en los que es necesario disipar grandes cargas de calor o altas densidades de potencia y el aire requiere un caudal muy grande.

- Mayor Rendimiento Térmico en una solución más pequeña
- Elementos que conforman el sistema de refrigeración líquido:
 - Cold plate (componente en contacto directo con la fuente de calor)
 - Intercambiador de calor
 - Bomba (que mueve el líquido)
 - Tanque (que almacena el líquido)



Líquidos refrigerantes más utilizados:

- Agua
- Agua Destilada
- Soluciones de Agua y Glicol
 - Glicol de etileno + Agua (EGW)
 - Propilenglicol + Agua (PGW)
- Fluidos Dieléctricos



Refrigeración Líquida

Aplicaciones Típicas:

- Sistemas de energía renovable
- Sistemas de tracción
- Equipos médicos
- IGBT y sistemas de semiconductores de potencia
- Láseres
- Centros de datos
- Aplicaciones de energía industrial
- Sistemas de defensa
- Aviónica
- Pilas de combustible
- Enfriamiento de baterías

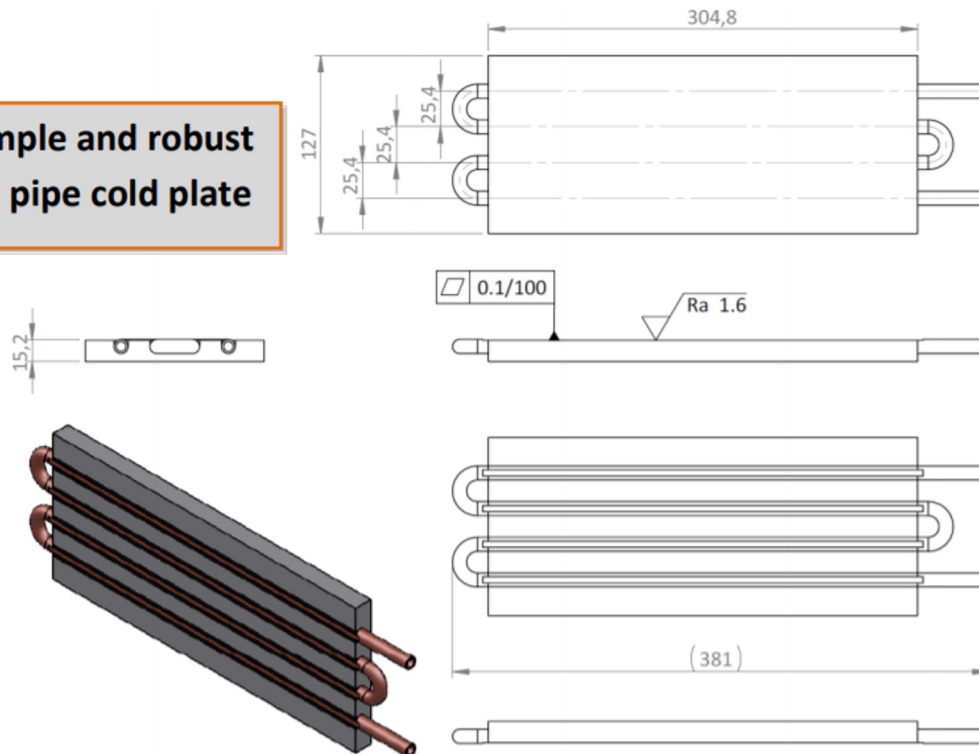
Liquid cold plates con tubos insertados

Soluciones de refrigeración líquida más extendidas actualmente en el mercado, ya que también fueron las primeras en ser introducidas.

- La base es una placa de aluminio con ranuras, realizada mediante un proceso de fresado mecánico, en la que posteriormente se insertan tubos de cobre (o aluminio o acero inoxidable). Es una solución ideal, dada su buena conductividad térmica y la resistencia a la corrosión del cobre.
- La unión de metal entre la tubería y la placa se crea de forma mecánica con la adición de resina epoxi térmicamente conductora para minimizar la ineficiencia de intercambio de calor creada por un contacto imperfecto.
- El dispositivo de refrigeración está en contacto directo con el propio tubo, optimizando así el rendimiento térmico.

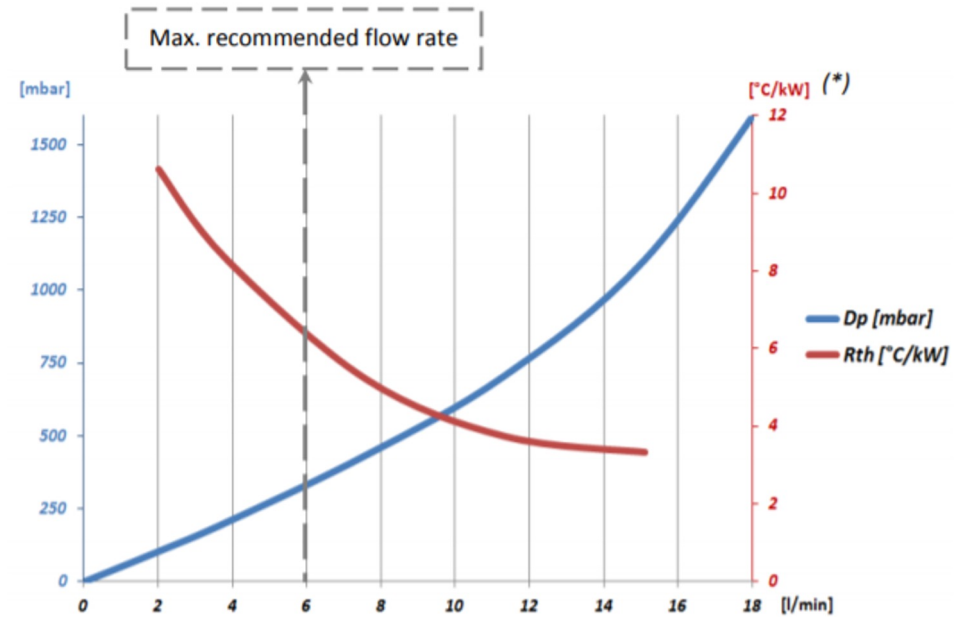
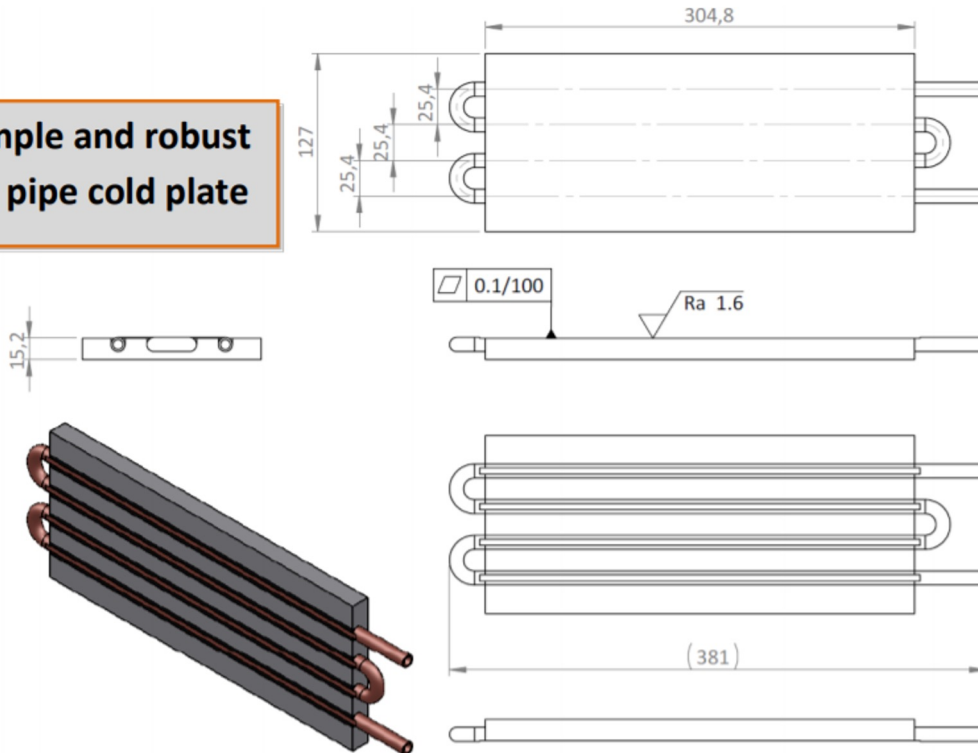


Simple and robust
Cu pipe cold plate



- Tamaño estándar: 127 x 304,8 x 15,2 mm
- Materiales: Aleación de aluminio Al EN AW 6063 (placa) + Cobre (tubo)
- Tubo: DE = 10 mm; DI = 7 mm
- Sin fugas (100% probado a 10 bar)
- Contacto directo entre dispositivos eléctricos y tubos para garantizar los mejores rendimientos térmicos

Simple and robust
Cu pipe cold plate



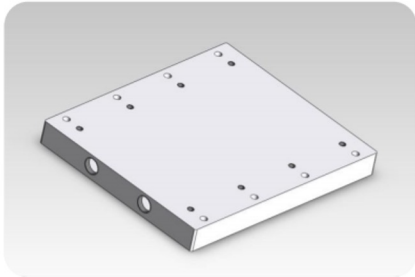
Liquid cold plates selladas por soldadura

Formada por una base y una tapa, sellada mediante tecnología de soldadura fuerte en “Hornos de soldadura fuerte con atmósfera controlada”.

- Se construyen a partir de una placa de aluminio con ranuras, realizada mediante un procesamiento mecánico, a través de la cual fluye el fluido refrigerante (una mezcla de agua y glicol). A través de una soldadura se fija una cubierta de aluminio a la base, que sella las ranuras, creando una unión de metal entre la base y la cubierta.
- El resultado es una estructura única con ventajas considerables:
 - No se requiere junta tórica, ya que la unión entre la base y la tapa es de metal
 - Gran flexibilidad en el diseño de las ranuras, que se pueden colocar directamente debajo de las fuentes de calor
 - Si son de aluminio, los conectores se pueden soldar directamente sobre la placa
 - Solución más compacta y de mayor rendimiento en comparación con un disipador de calor de aire



Li



Materials: Aluminum alloy Al EN AW 6060 + turbulators inside

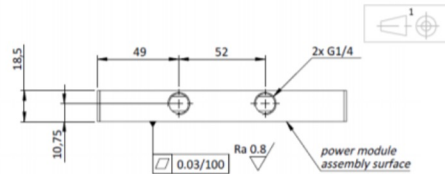
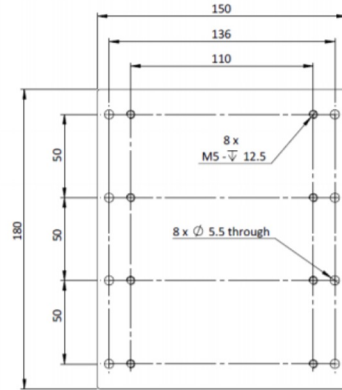
Cooling circuit 100% sealed by brazing under controlled atmosphere

Very uniform temperature distribution under power modules

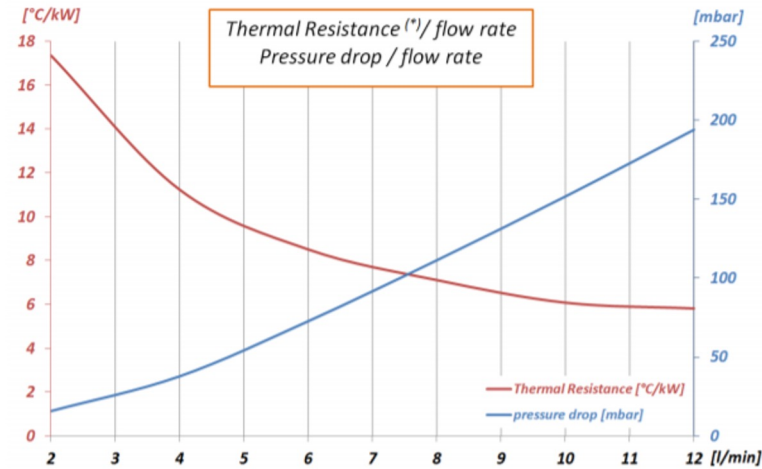
Compatible Power Module Packages:

- ✓ MITSUBISHI Intellimod™ L-Series
- ✓ INFINEON EconoPACK™ +
- ✓ SEMIKRON SEMiX® 33
- ✓ FUJI Semiconductor M629

- ✓ **compact** (150 x 180 x 18.5 mm)
- ✓ **light** (1.1 kg)
- ✓ **efficient** ($R_{th} < 10 \text{ }^\circ\text{C/kW}$ @ 5 l/min)
- ✓ **safe and reliable** Leak free (100% tested @ 10 bar)



soldadura



(* Thermal Resistance: max T_{LCP} surface to $T_{fluid IN}$ (Water + Ethylene Glycol 50%vol. @40°C)

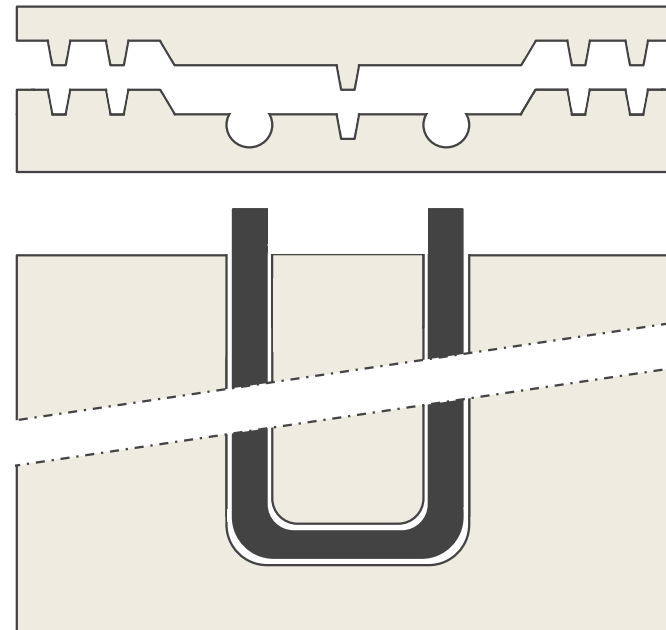
Suitable for any high power semiconductors application



Liquid cold plates con tubo insertado y tapa mecanizada

Solución que combina el uso de tubos insertados y dos tapas formando un “sandwich”:

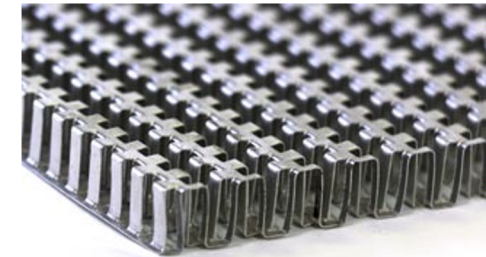
- Base de aluminio con el canal mecanizado para insertar el tubo
- Tapa de aluminio mecanizada para encajar sobre la base
- Tubo de aluminio
- A través de la unión mecánica junto al uso de un pegamento especial, se forma el disipador con el tubo insertado.
- Solución más económica al no depender de una soldadura que encarece el precio.



Liquid cold plates de superficie extendida

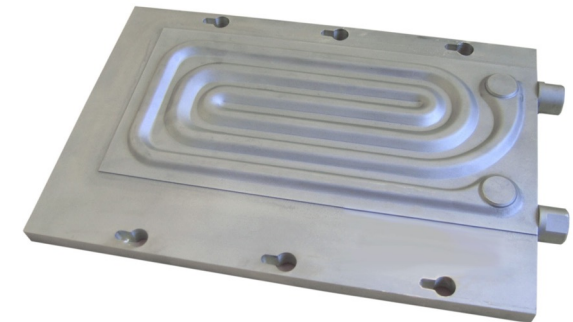
Se aumenta el rendimiento de un cold plate en su volumen existente agregando inserciones de aletas dobladas, inserciones de aletas biseladas o turbuladores de alambre.

- Optimice el diseño para equilibrar el caudal y la caída de presión para un rendimiento optimizado.
- Los cold plate personalizados con superficies extendidas se benefician de un área de superficie de enfriamiento adicional y una mayor turbulencia.



Liquid cold plates por estampación

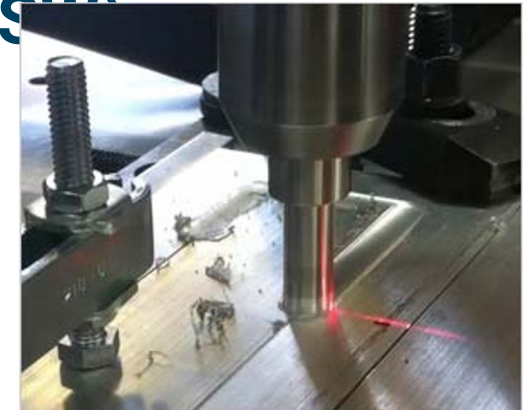
Alternativa ligera y de perfil bajo a las típicas placas frías de superficie extendida para aplicaciones más sensibles al coste, para producciones de mayor volumen.



Liquid cold plates con soldadura por fricción (FSW)

Se une la base con los canales del líquido refrigerante a una tapa utilizando una herramienta personalizada, que mediante la rotación del cabezal y la fricción genera el calor suficiente para unir la base y la tapa.

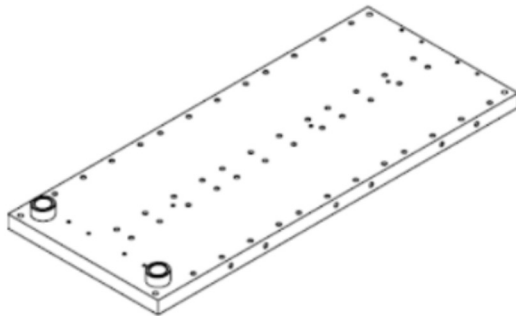
- Este proceso se implementa en una máquina CNC vertical de alta velocidad. El mecanizado y la soldadura se realizan en el mismo centro de trabajo, lo que da como resultado una alineación y un registro superiores de la pieza, así como un tiempo de espera reducido.
- Creación de prototipos más rápida
- Mayor volumen de producción
- Tiempos de entrega de producción más cortos
- La solución más económica para un diseño más simple



Análisis y Diseño **Personalizado**

Diseño 2D y 3D

- ¿Flujo del líquido?
- ¿El refrigerante es agua con glicol 60/40?
- ¿Temperatura del refrigerante a la entrada?
- ¿Presión máxima del sistema / bomba?
- ¿Temperatura superficial máxima en el disipador de calor?
- ¿Tamaño / ubicación del dispositivo y TDP (W)?



Comments:

1. Inlet: water/glycol 60/40 25l/min 65degC
2. Pressure drop max. 75kPa
3. components: semiconductor 140x190 6pcs
4. Power of losses 6x1,3kw
5. Test pressure 7 bar
6. Working pressure 3 bar
7. Max temperature of cold plate (under semiconductors) 80 degC

Análisis y Diseño Personalizado

- Una vez obtenida la información, se acepta el resumen de diseño.
- Se emite una propuesta de diseño, indicando el tiempo y precio.
- Se evalúa el diseño para lograr los objetivos térmicos, así como los objetivos mecánicos, de peso y tamaño según sea necesario.
- Una vez que el modelado está completo y los resultados firmados, se realiza la oferta formal para fabricar las piezas según el diseño acordado.

Análisis y Diseño Personalizado

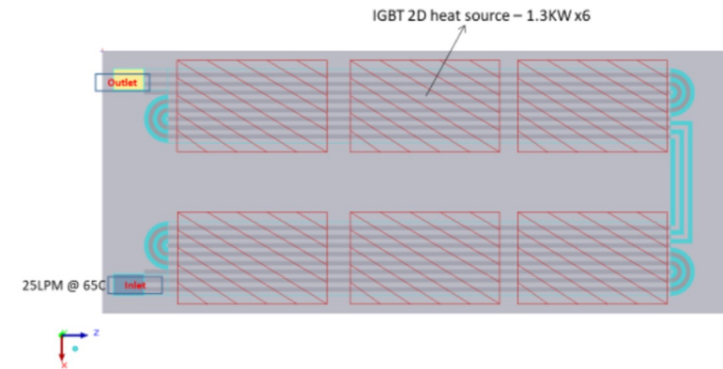
Objective

- Maximum allowable temperature on the LCP is 80C
- Maximum pressure drop of LCP is 75Kpa

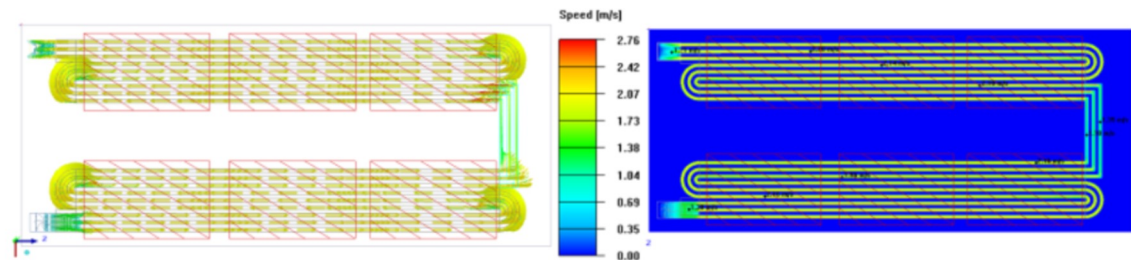
Inputs

- Total component losses : 7.3KW
- Type of Fluid : Water/Glycol : 60/40
- Flow rate : 25LPM
- Fluid inlet temperature : 65C
- LCP size: 300(W)X720(L)X25(H) in mm
- LCP material : Aluminum

ICEPAK model

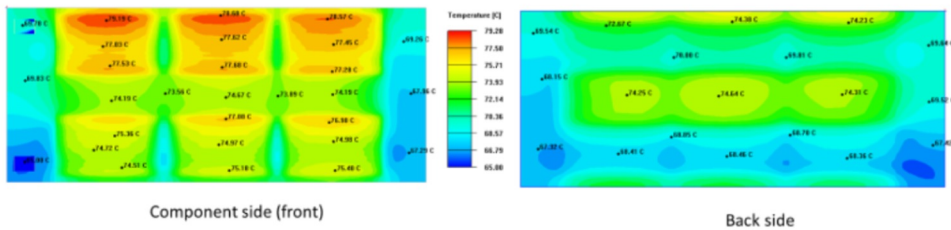


Flow vectors



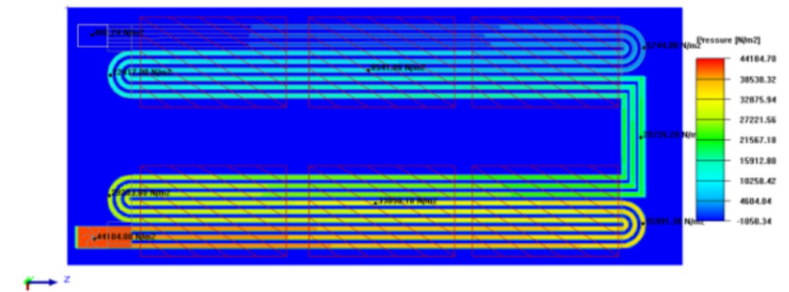
Análisis y Diseño Personalizado

LCP temperature contour



Maximum temperature on the LCP : 79.28C
Temperature between the inlet and outlet : 4.9C

Pressure contour

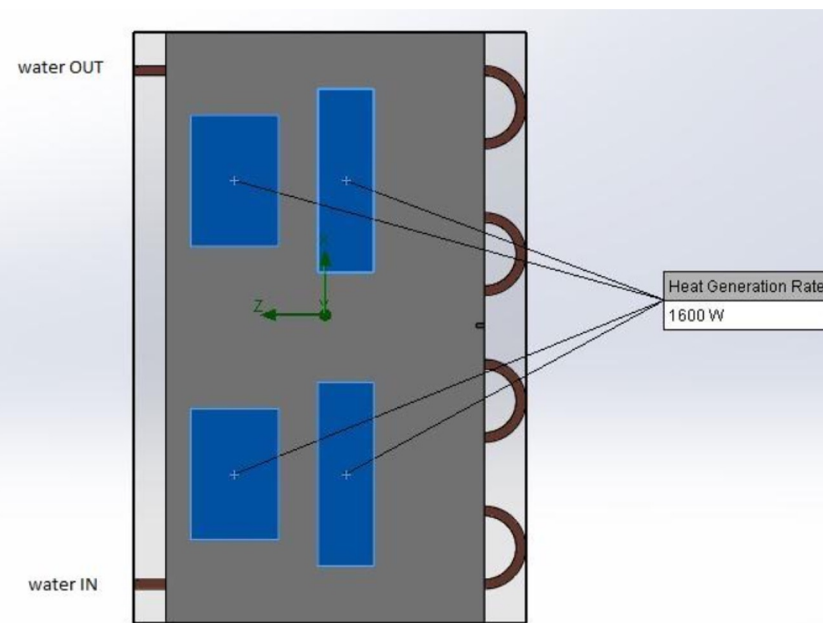
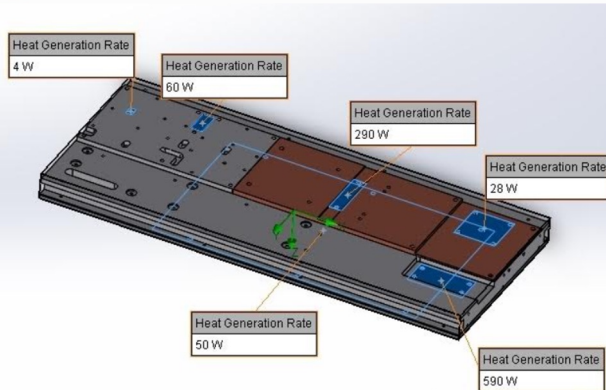
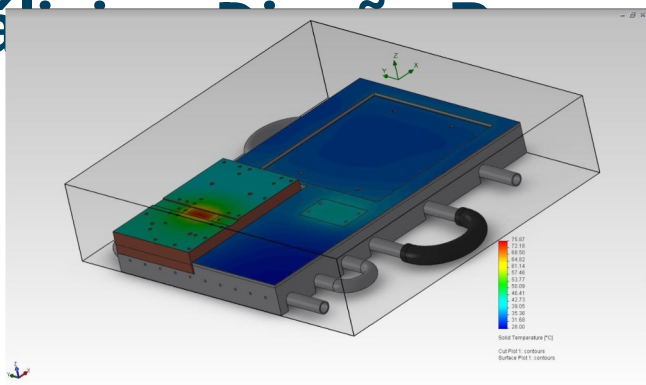


Pressure drop across the LCP: 44KPa.

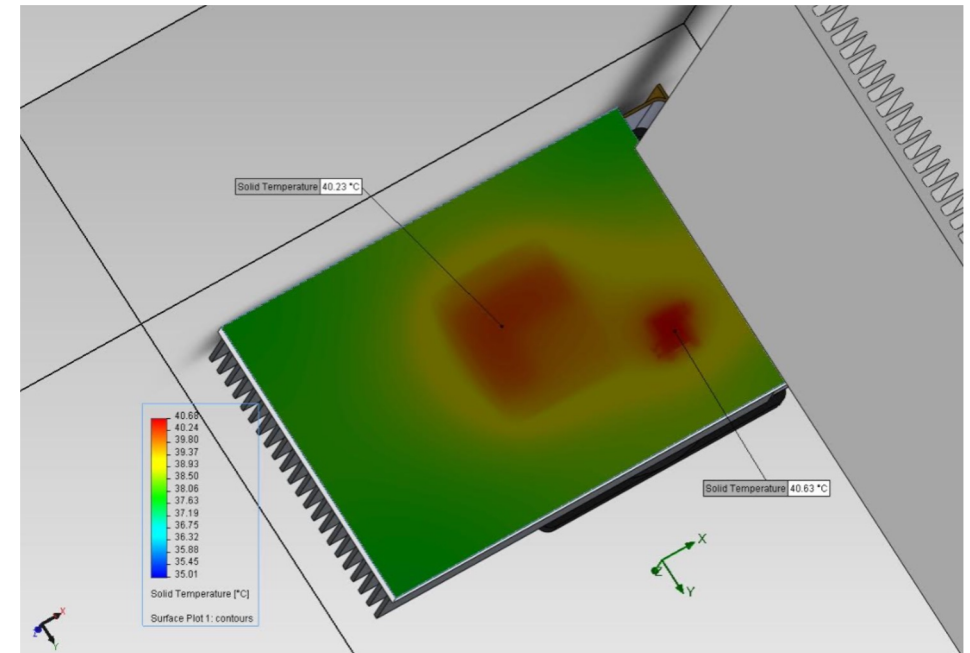
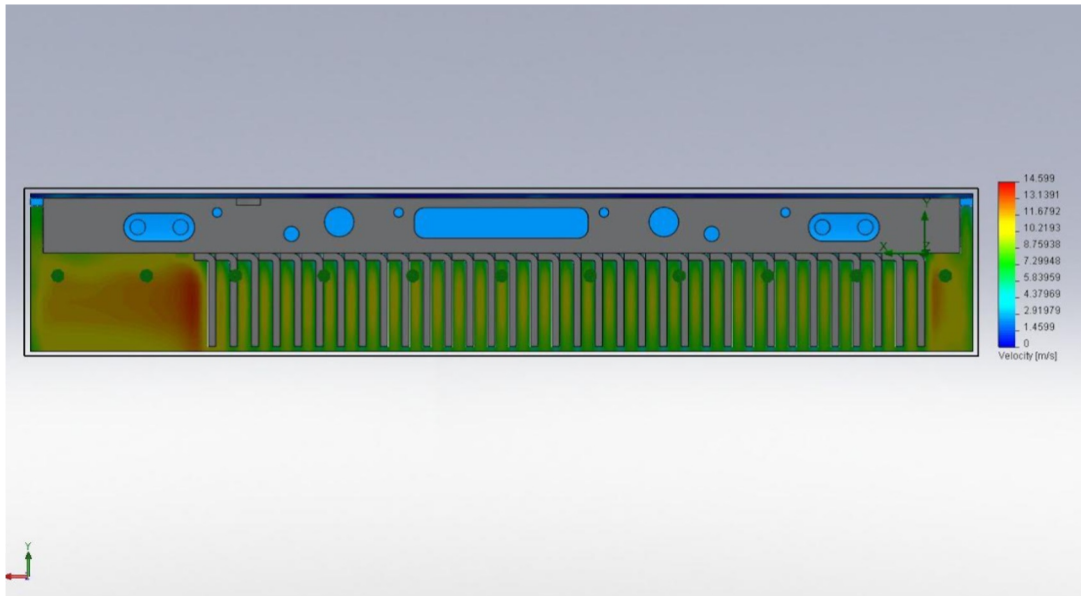
Conclusions

- Pressure drop across the LCP is 44KPa which is less than the target pressure drop of 75KPa
- Maximum temperature on the LCP is 79.28C which is slightly below the target temperature of 80C
- Temperature between the inlet and outlet : 4.9C

Análisis Térmico y Simulación



Análisis y Diseño Personalizado





Casos de Éxito

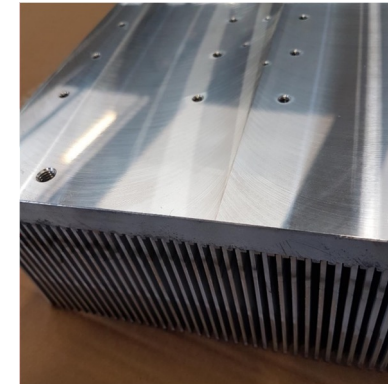
Disipador de calor refrigerado por aire compacto y de alto rendimiento para aplicaciones solares

El objetivo del cliente era lanzar al mercado un inversor trifásico con las siguientes características:

- Eficiencia máxima
 - Gran robustez y flexibilidad
 - Fácil instalación
 - Seguro
 - Inteligente
 - Control y mantenimiento a distancia
- Selección ajustada del disipador para cumplir con las especificaciones de coste, tamaño y flexibilidad para aumentar el rendimiento sin inversiones adicionales en equipos de producción.

SOLUCIÓN

- Disipador con Aleta Soldada, 225x300x100 mm, con 44 aletas - 3000 W
- Se pudo alargar hasta los 375 mm para poder disipar 4000 W



Refrigeración líquida por soldadura para broadcasting

- Disipar el calor de elementos de alta densidad de potencia (hasta 200-250 W/cm²) en un espacio reducido (rack 19"):
 - Muy baja resistencia térmica solicitada
 - Alta densidad de potencia bajo algunos componentes pequeños
 - La caída de presión del refrigerante debe mantenerse lo más baja posible
 - Fiabilidad



SOLUCIÓN

- Diseño interno realizado mediante software CFD
- Análisis del caudal, la velocidad del fluido, la caída de presión, la trayectoria del circuito (serie Vs paralela, atajos, curvas propias, colectores, etc.)
- Solución segura probada a sobrepresión para validar la calidad de la unión y asegurar al cliente que no caerá líquido en los circuitos electrónicos por error.





Muchas gracias