



# Proyecto Fin de Carrera

Disipadores de calor para iluminación con  
LED de potencia

Autor

Juan Calleja del Ser

Director

D. Carlos Monné Bailo

Escuela de Ingeniería y Arquitectura – Ingeniería Industrial  
2013



# **Disipadores de calor para iluminación con LED de potencia**

## **Resumen**

Este proyecto consiste en la búsqueda de una solución al problema de disipación de calor que aparece en los LED de iluminación de alta potencia. Dada la evolución que han experimentado estos dispositivos en los últimos años, se ofertan en el mercado elementos comerciales con unas elevadas potencias de trabajo sobre superficies físicas muy reducidas, una situación perfectamente comparable a la de los procesadores o CPU's de los equipos sobremesa actuales.

Se parte de un estudio térmico del LED en el cual intervienen las limitaciones impuestas por el fabricante del dispositivo en lo referente a degradación del mismo, además de las condiciones de contorno del ambiente que se imponen de forma arbitraria. El resultado del estudio arroja un valor mínimo de disipación de calor que deberemos cumplir en cualquier caso para el correcto funcionamiento del LED.

Para este proyecto se escogen, de entre diversos catálogos, disipadores comerciales aptos para las necesidades del LED que se han calculado. Además se diseñan otros modelos que pretenden resultar al menos tan competitivos como los anteriores o incluso mejores en algunos aspectos. Todos los disipadores, comerciales y diseñados, se simulan en el programa de elementos finitos SolidWorks 2011.

Con los resultados que se obtienen de las simulaciones en el programa se emiten unas conclusiones centradas en la selección de la mejor solución de todas, orientada principalmente en aquella que ocupe un menor volumen y, en consecuencia, un menor peso, ya que éste está directamente relacionado con el precio final del mismo.



## Tabla de contenido

---

Introducción .....	7
La tecnología LED .....	8
1. ¿Qué es un LED?.....	8
2. Partes de un LED .....	9
3. Evolución de los LED.....	10
4. El LED de potencia.....	11
5. Modelado térmico del LED de potencia .....	12
Metodología del diseño/elección del disipador .....	14
1. LED de trabajo .....	14
2. Lente .....	15
3. Acceso a la corriente .....	16
4. Escalable.....	17
Soluciones comerciales .....	18
1. 1510HS Birmingham Aluminium .....	18
2. 65605 Aavid Thermalloy.....	19
3. 82160 Aavid Thermalloy.....	20
4. CH5114 C&H Technology Inc.....	20
5. 8735 Wakefield Thermal Solutions.....	21
6. 410DN HS Marston Aerospace .....	22
Propuestas alternativas .....	23
1. Diseño I .....	23
2. Diseño II .....	24
3. Diseño III .....	25
Comparación de soluciones por simulación .....	29
2. 65605 Aavid Thermalloy.....	31
3. 82160 Aavid Thermalloy.....	33
4. CH5114 C&H Technology Inc.....	34
5. 8735 Wakefield Thermal Solutions.....	35
6. 410DN HS Marston Aerospace .....	37
7. Diseño I .....	39
8. Diseño II .....	40
9. Diseño III .....	41
10. Tablas resumen .....	43
Conclusiones .....	44

Bibliografía.....	46
Anexos .....	48
CLL050 18 25 A1 – 50 3 M1 A2.....	49
1510HS Birmingham Aluminium .....	61
65605 Aavid Thermalloy .....	63
82160 Aavid Thermalloy .....	65
CH5114 C&H Technology Inc. ....	67
8735 Wakefield Thermal Solutions .....	69
410DN HS Marston Aerospace.....	71
Diseño I .....	73
Diseño II .....	77
Diseño III.....	79

## **Introducción**

---

A lo largo de los siguientes capítulos se presentarán las distintas etapas que se han desplegado para el correcto desarrollo del proyecto cuyo objetivo es encontrar la mejor solución para la disipación de calor en dispositivos de iluminación con LED de potencia.

Comenzaremos con una breve exposición de la tecnología LED, abarcando su funcionamiento físico, la evolución del dispositivo en el tiempo y cómo se modela su comportamiento térmico para su uso en análisis posteriores.

Plantearemos las condiciones de trabajo en las que se estudiarán los disipadores, desde las especificaciones del modelo de LED concreto que se ha escogido de entre la amplia variedad disponible en la actualidad, hasta detalles sobre los accesorios que acompañarán al LED.

Con la base del estudio definida podremos avanzar y calcular el límite máximo de resistencia térmica necesaria del disipador, el cual se empleará para buscar entre los catálogos de diferentes fabricantes las soluciones más simples y prácticas que cumplan el requisito de estar por debajo de dicho límite máximo.

Adicionalmente a las soluciones comerciales que se seleccionen, se presentarán varios diseños propios que se han desarrollado con el objetivo de competir con los anteriores bajo las mismas condiciones. De forma secundaria, estos nuevos diseños buscarían ser más eficientes que las alternativas comerciales buscando, por ejemplo, una mejor distribución del calor a evacuar y así poder reducir el peso del disipador.

Para poder llegar a unas conclusiones que se puedan sustentar, se procederá a simular mediante un programa de elementos finitos, en concreto SolidWorks 2011, los distintos disipadores, tanto comerciales como diseñados. Los resultados de las simulaciones, se enfrentarán entre sí para poder identificar la opción más eficiente o apreciar si alguna presenta problemas.

## **La tecnología LED**

---

La iluminación en la actualidad está evolucionando hacia otras fuentes de generación distintas de las empleadas en las últimas décadas. Desde la aparición de las bombillas incandescentes han ido entrando en escena diferentes tecnologías que mejoraban en alguna característica a las primeras pero siempre en detrimento de otras.

En particular la tecnología de los LED ya ha superado las barreras tecnológicas que le impedían competir con sus rivales, presentándose como la mejor alternativa para obtener un ahorro energético considerable sin reducir la calidad de luz generada.

En la siguiente tabla (ver Tabla 1) vemos las cifras que ponen de manifiesto la superioridad técnica que demuestran los LED frente al resto de sistemas.

<b>Tipo</b>	<b>Eficacia [lm/W]</b>	<b>Vida útil [h]</b>	<b>IRC [%]</b>
Incandescente	10 – 15	1.000	100
Halógena	25	2.000	100
Fluorescente	60 – 93	10.000	63 – 95
Fluorescente compacto	50 – 81	8.000	82
LED	75 – 100	50.000	85 – 90

Tabla 1 – Eficacia y vida útil de diferentes sistemas luminosos (UPC Plus, 2012) (ESE+, 2012)

Además de las características listadas en la tabla anterior, podemos citar que los LED pueden ser regulados en intensidad y tienen un arranque instantáneo del 100% de luz emisible, a diferencia de los fluorescentes.

Resumiendo, un LED tiene mejor rendimiento luminoso que la gran mayoría de los otros sistemas, además de tener una fidelidad en la reproducción del color casi tan buena como la luz natural y, por último, poseen una durabilidad extraordinaria.

A continuación se van a presentar las generalidades técnicas que caracterizan a la tecnología LED para seguir con el desarrollo de la misma a lo largo de la historia y, finalmente, presentar el ámbito de trabajo en el que nos moveremos a lo largo del proyecto.

### **1. ¿Qué es un LED?**

---

Para responder a esta pregunta correctamente tendremos que comenzar señalando que un LED (Light Emitting Diode) es un diodo, o componente electrónico que posee dos terminales y solo conduce corriente en un sentido, que es capaz de emitir luz al paso de la misma.

El hecho de poder conducir la corriente en un solo sentido se debe a su naturaleza atómica de huecos y cargas creados artificialmente por el dopaje de unos elementos dentro del Silicio, que es un aislante en su estado natural. Según con qué elementos se dope al Silicio, la corriente que necesitamos para poder conducir, potencial de salto de banda, tendrá un valor u otro.

Además de necesitar más o menos tensión para conducir en un LED, existe una correlación entre dicho potencial y el color de la luz que emiten. A continuación se muestra la Tabla 2 donde aparecen reflejados los compuestos que dan lugar a cada color y las tensiones necesarias para que se produzca el salto de banda.

Color	$V_0$	Compuesto	Color	$V_0$	Compuesto
Infrarrojo	1,7	Ga-Al-As/Ga-As	Blanco Natural	3,3	In-Ga-N
Ultra Rojo	1,9	Ga-Al-As/Ga-Al-As	Blanco Frío	3,3	In-Ga-N
Rojo Eléctrico	2,0	Ga-As-P/Ga-P	Verde Súper Claro	2,0	In-Ga-Al-P
Rojo Súper Eléctrico	2,2	In-Ga-Al-P	Verde Súper Eléctrico	2,3	Ga-P
Súper Naranja	2,0	In-Ga-Al-P	Verde Súper Puro	2,1	In-Ga-Al-P
Naranja	2,0	Ga-As-P/Ga-P	Verde	2,2	Ga-P/Ga-P
Súper Amarillo	2,0	In-Ga-Al-P	Aguamarina	3,4	In-Ga-N
Amarillo Súper Puro	2,3	In-Ga-Al-P	Azul Verdoso	3,4	In-Ga-N
Amarillo	2,1	Ga-As-P/Ga-P	Súper Azul	3,2	In-Ga-N
Blanco cálido	3,3	In-Ga-N	Ultra Azul	4,0	Si-C/Ga-N
			Ultravioleta	3,8	Si-C/Ga-N

Tabla 2 - Relación de colores y compuestos (LED Color Chart and Design Guide, 2012)

## 2. Partes de un LED

Existen numerosos encapsulados disponibles para los LED y su cantidad se incrementa de año en año a medida que las aplicaciones de los LED se hacen más específicas. Presentamos a continuación (ver Figura 1) un diseño típico de un LED de baja potencia frente a otro de una potencia media - alta.



Como se puede apreciar, las diferencias entre ambos se encuentran localizadas en su construcción y no en las partes, ya que comparten los mismos rasgos básicos. Debido a que el proyecto se centra en los LED de alta potencia describiremos las partes del mismo haciendo referencia al esquema correspondiente de la Figura 1.

Todos los LED tienen al menos dos terminales para conectarse a la corriente continua, denominados cátodo y ánodo. Desde estos conectores principales unos filamentos de oro son los encargados finalmente de transportar la corriente al chip.

Muchos de los LED actuales disponen de una protección integrada frente a descargas electrostáticas (ESD), que evitan que al manipular el LED con las manos pueda ser dañado de manera irreversible.

El reflector o lente primaria se realiza normalmente en materiales poliméricos, se coloca en el LED para poder fijar un ángulo de emisión determinado (120º, 90º, etc...), de forma que si no se quiere reducir o modificar este ángulo de emisión primario no sea necesario la inclusión posterior de lentes secundarias. En virtud de esta lente se consigue colimar los haces de luz que se emiten desde el chip LED y obtener un mayor rendimiento lumínico dentro del ángulo de emisión fijado.

En los diodos de baja potencia uno de los terminales servía para evacuar el calor generado en el LED pero al incrementar la potencia se hace necesario alternativas a este sistema. Un disipador se hace necesario en los LED de potencia hoy en día, ya que el 80% aproximadamente de la potencia consumida por el LED es disipada en calor.

El conjunto de las partes del LED puede completarse con una lente de plástico que proteja el chip, el reflector y los contactos, si bien es opcional para el correcto funcionamiento del dispositivo. Se pueden pensar escenarios donde la lente debería ser instalada como en el caso de una luminaria en un vial o en ambientes sucios como el interior de una industria de mecanizado. En la iluminación de una oficina o de un almacén logístico sería prescindible.

### **3. Evolución de los LED**

---

El primer LED comercial fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (Ga-As-P) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650nm y una intensidad relativamente baja. El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (Ga-P). A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión corriente-luz más elevada que con el Ga-As-P, ésta se producía a relativamente baja corriente y un incremento en la misma no generaba un aumento lineal en la luz emitida. Adicionalmente ocurría que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo, por lo que el LED parecía tener un brillo bajo a pesar de su superior rendimiento de conversión.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década de los 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distintas proporciones de materiales produjeron distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando Ga-P y ámbar, naranja y rojo utilizando Ga-As-P. También se desarrollaron LED infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los mandos a distancia de diferentes dispositivos del hogar como los televisores.

En la década de los 80 un nuevo material entró en escena, el Ga-Al-As (Galio, Aluminio y Arsénico). Con la introducción de este material el mercado de los LED empezó a despegar ya que dotaba de un mayor rendimiento a los LED comparado con los desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y, además, se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados, así, los LED podían ser utilizados en pantallas y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material trabaja solamente a frecuencias del orden del color rojo y se degrada más rápido en el tiempo que los otros materiales.

En los 90 apareció en el mercado otro material para producir LED, el Al-In-Ga-P (Aluminio, Indio, Galio y Fósforo). Las principales virtudes de este tetra compuesto son que se puede conseguir una gama de colores, desde el rojo al amarillo, cambiando la proporción de los materiales que lo componen y su vida útil es sensiblemente mayor que la de sus predecesores.

A final de los años 90 se cerró el círculo sobre la gama de colores, cuando gracias a las tareas de investigación de Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LED japonesa, se llegó al desarrollo del LED azul. Este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa

frecuencia. Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul pero la más utilizada es con el compuesto Ga-N, inventado por Nakamura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres. Es también posible lograr otros colores con el mismo material Ga-N, como por ejemplo el verde azulado o turquesa, muy importante ya que es el utilizado para los semáforos, un tono azulado que lo hace visible para las personas daltónicas.

Otro “color” como el ultravioleta es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, éste absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor.

El siguiente paso en la evolución de los diodos es el OLED, o diodo orgánico. Aún se están desarrollando pero el principio en el que se basan es el de sustituir el semiconductor de cualquiera de los materiales citados anteriormente por un polímero orgánico semiconductor, siendo éste capaz de producir la emisión de luz ante la estimulación de una corriente eléctrica.

#### 4. El LED de potencia

---

Se denominan así aquellos LED cuya potencia nominal de trabajo es de 1W o superior. Con el descubrimiento del LED blanco, éste se ha convertido en el centro de la revolución de este sistema de iluminación. Dentro del color blanco, según veíamos en la Tabla 2, existen diferentes tonalidades del mismo, siendo las denominadas luz cálida (blanco cálido) y luz fría (blanco frío) las más extendidas dentro del mercado.

Estas dos tonalidades tienen una equivalencia en grados Kelvin, 4500K para la luz cálida y 6000K para la luz fría, que no tienen que ver con que la fuente luminosa, en este caso un LED, produzca un mayor o menor calor. Su nombre lo toman de la sensación psicológica de calor que produce en el usuario la visión de una luz anaranjada o de su opuesto, que produce una tonalidad azulada en una habitación. En función de esa temperatura, el índice de reproducción cromática (IRC) cambia, siendo mayor a bajas temperaturas.

En la Figura 2 se muestra el espacio de color de CIE (Comission Internationale de l’Eclairage) donde se refleja el espectro de colores y sus longitudes de onda características.

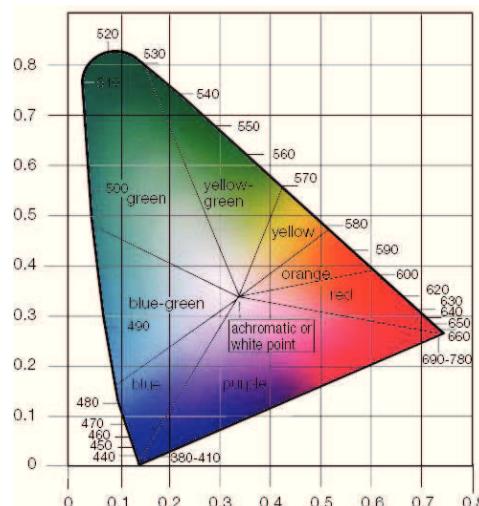


Figura 2 – Diagrama de cromaticidad (Espacio del color, 2012)

## 5. Modelado térmico del LED de potencia

Los LED que se tenían hasta finales de los 90 estaban diseñados para operar con un consumo nunca superior a los 60mW, pero en 1.999 Philips Lumileds presentó un LED de potencia capaz de funcionar de modo sostenido consumiendo 1W. Este tipo de LED requería un tamaño de matriz semiconductor mucho mayor que los vistos hasta la fecha para poder procesar toda esa potencia. En la actualidad estamos viendo como aparecen en el mercado dispositivos capaces de manejar potencias de hasta 200W.

Pero toda esa potencia ya no puede ser disipada por los medios descritos en apartados anteriores y se requiere de un sistema de evacuación de calor desde el chip hacia el exterior. Casi todo el calor producido se genera en la unión PN por la energía eléctrica que no se convirtió en luz útil y es conducido a través del lado posterior del chip. Este calor debe ser evacuado al ambiente pero no puede hacerse directamente desde su origen y tiene que realizar el siguiente trayecto: de la unión al punto de soldadura, de éste al sustrato, luego pasará al disipador de calor y, por último, al ambiente.

Para comprender mejor los fenómenos de generación y transferencia de calor que se producen en los LED de potencia presentamos la Figura 3 donde se indican las temperaturas y resistencias térmicas de las diferentes partes que componen el conjunto del LED.

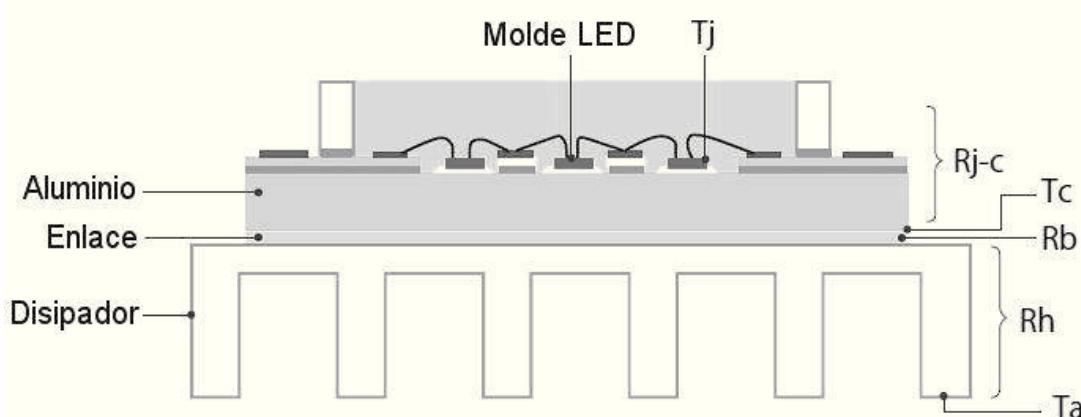


Figura 3 – Diagrama de la vista en sección del LED de potencia (New COB Series, 2009)

Del conjunto, la temperatura de la unión ( $T_j$ ) debe ser controlada minuciosamente ya que es crítica en el funcionamiento y la vida del mismo. Esta temperatura nunca debe sobrepasar el máximo absoluto especificado por el fabricante ya que originaría la fusión del LED y, en consecuencia, la destrucción del diodo.

Como la medición directa de la temperatura de la unión ( $T_j$ ) de un diodo emisor de luz dentro de un empaquetado es difícil, se mide normalmente la temperatura de una determinada parte de la envoltura ( $T_c$ ).  $T_j$  se calcula utilizando la resistencia térmica entre la unión y la envoltura ( $R_{j-c}$ ) [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ], y la cantidad de calor emitido será casi igual a la potencia de entrada  $P_d$  [ $\text{W}$ ].

$$T_j = P_d \times R_{j-c} + T_c \text{ (I)}$$

Si queremos una buena disipación de calor, seleccionar un dispositivo LED con la mínima resistencia térmica entre la unión y la envoltura ( $R_{j-c}$ ) es primordial, ya que cualquier medida de evacuación de calor que tomemos desde este punto vendrá limitada por la eficiencia de la anterior.

Una vez que el calor ha llegado a la parte inferior del conjunto del LED, por una transferencia de calor de naturaleza conductiva, debemos transferirlo al ambiente. Dado que la superficie del

LED es muy pequeña una solución sería aumentar el área de intercambio de calor, para lo cual una alternativa sencilla y fácil de implementar es el uso de un disipador pasivo o intercambiador de aletas.

Adicionalmente se debe tomar la precaución de incorporar una sustancia pastosa o un adhesivo entre la parte inferior del empaquetado y la superficie de contacto del disipador. Esta acción persigue lograr que el calor se transfiera de la mejor manera posible y evitar que en puntos o zonas de insuficiente planitud de ambas piezas se produzca un contacto tipo LED-Aire-Disipador que, en definitiva, sería un punto de aislamiento térmico.

A fin de obtener la temperatura de la unión ( $T_j$ ) en función de un valor más sencillo de obtener que la temperatura de la envoltura ( $T_c$ ) podemos emplear la temperatura del ambiente ( $T_a$ ), si bien, necesitaremos conocer las resistencias térmicas del adhesivo ( $R_b$ ) y del disipador ( $R_h$ ). Estos dos últimos parámetros pueden combinarse en uno solo al estar en serie ( $R_{c-a}$ ) como aparece en la Figura 4.

$$T_j = (R_{j-c} + R_b + R_h) \times P_d + T_a = (R_{j-c} + R_{c-a}) \times P_d + T_a \text{ (II)}$$

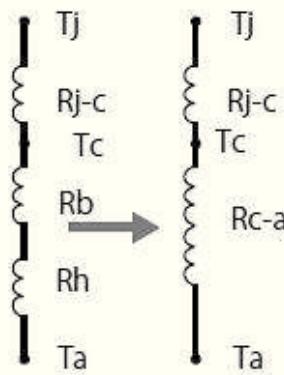


Figura 4 – Puente térmico entre la unión del LED y el ambiente (New COB Series, 2009)

Una vez que el calor se ha transferido al disipador, éste lo transfiere al ambiente por medio de la convección natural.

Las características que vendrían impuestas por un LED comercial serían la resistencia térmica del empaquetado ( $R_{j-c}$ ), la temperatura máxima de trabajo de la unión ( $T_j$ ) y la potencia de funcionamiento ( $P_d$ ). Quedarían como grados de libertad la resistencia del conjunto adhesivo/dispador ( $R_{c-a}$ ) y la temperatura ambiente ( $T_a$ ), si bien ésta última quedaría fuera de nuestro control al imponerla el entorno en el que trabajará el LED. Por lo tanto podemos despejar la  $R_{c-a}$  en función del resto de parámetros:

$$R_{c-a} = \frac{T_j - T_a}{P_d} - R_{j-c} \rightarrow R_{c-a} = \left( \frac{T_j}{P_d} - R_{j-c} \right) - \frac{1}{P_d} \times T_a \text{ (III)}$$

De esta forma tenemos que la resistencia térmica del conjunto adhesivo/dispador se convierte en una función lineal con la temperatura ambiente y con pendiente negativa  $1/P_d$ . Un sencillo análisis de los parámetros indica que si la temperatura ambiente crece y el resto de parámetros permanecen constantes  $R_{c-a}$  debe disminuir y el mismo comportamiento arroja un aumento de la potencia.

## Metodología del diseño/elección del disipador

---

Una vez que hemos descrito como son los LED de potencia, su problemática con la temperatura de la unión y la necesidad de evacuar calor que presentan, debemos abordar cómo solucionarlo.

Se ha presentado la solución del disipador pasivo unido al empaquetado LED, pero esto solo es una parte ya que, en realidad, se requieren ciertas exigencias adicionales que se plasman brevemente en la siguiente lista:

- Una lente o campana que proteja, la superficie luminosa del LED, del medio externo.
- La accesibilidad a los contactos del LED.
- La posibilidad de agrupar en conjuntos para escalar la potencia.

Las necesidades en particular de cada uno de estos puntos junto con las del dispositivo LED se describirán a continuación en una serie de apartados.

### 1. LED de trabajo

---

Lo primero, evidentemente, será presentar las características más relevantes del LED con el que trabajaremos para saber las especificaciones que debe cumplir un disipador comercial, o uno diseñado, para considerarse apto para nuestras necesidades.

En particular se ha seleccionado el modelo más potente de la serie COB de la empresa Citiled del grupo Citizen. En la Tabla 3 se han reflejado algunas de sus características más representativas como la potencia a disparar, la resistencia del conjunto empaquetado y las medidas generales del dispositivo.

Serie	Modelo	Potencia [W]	R <sub>j-c</sub> [°C/W]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]
CLL050	18 25 A1 – 50 3 M1 A2	200,5	0,3	38	38	1,4

Tabla 3 – Características del LED de potencia (New COB Series, 2009)

Un punto distintivo de la serie CLL050 de Citiled es que el chip va montado directamente sobre el sustrato de aluminio (buen conductor) y no en la capa aislante. Así, el calor generado en el chip puede ser conducido eficientemente hacia el exterior del empaquetado. Este dato queda reflejado en la baja resistencia térmica del conjunto ( $R_{j-c}$ ).

A la hora de diseñar o adquirir un disipador, de la Tabla 3, solo las dimensiones del LED (38x38mm) son relevantes ya que la superficie de contacto entre disipador y LED deberá ser siempre mayor o igual que las del propio LED a fin de poder maximizar la transferencia de calor al disipador.

Un dato mucho más representativo que la superficie de contacto, sobre todo en tareas de selección y no tanto en diseño, es conocer el valor de la resistencia térmica que debe tener el disipador para un cierto punto de trabajo. En concreto, debemos pensar en el punto más desfavorable para garantizar el funcionamiento del dispositivo en cualquier otra situación más ventajosa. Para esta tarea debemos emplear la ecuación (III) introducida anteriormente en la que intervienen las siguientes variables:

**Pd** Potencia de entrada

**T<sub>j</sub>** Temperatura de la unión

**R<sub>j-c</sub>** Resistencia térmica del empaquetado

**T<sub>a</sub>** Temperatura ambiente

Las dos primeras variables son conocidas y fijadas por el propio LED con 200,5W la primera y 0,3°C/W la segunda, mientras que las temperaturas debemos fijarlas nosotros.

En cuanto a la temperatura en la unión fijaremos que ésta sea de 150°C, es decir, la máxima que soporta el LED antes de fundirse. Si bien podría resultar interesante seleccionar una temperatura inferior a la máxima para que el flujo luminoso no decaiga tanto por el uso, trabajaremos con 150°C para obtener la mínima solución al problema que garantice la funcionalidad del conjunto y genere el coste mínimo a la hora de la adquisición o el diseño del disipador.

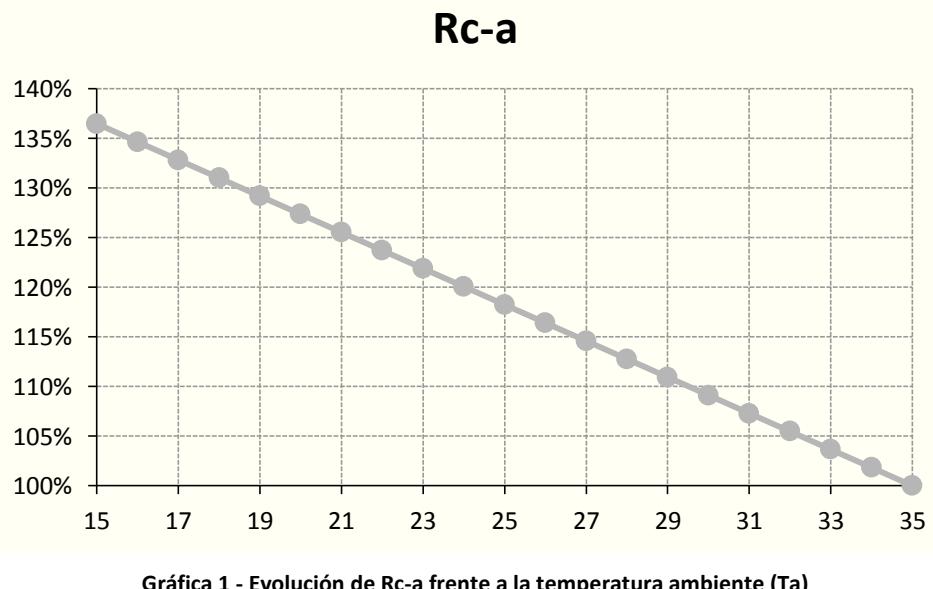
Para definir la situación más desfavorable referente a la temperatura del ambiente se podrían seguir varios criterios. En este proyecto se ha optado por considerar 35°C como la temperatura máxima del ambiente, la cual es aproximadamente la media de las máximas más altas registradas en la ciudad de Zaragoza (AEMET, 2012). De esta manera si la temperatura es más baja, el disipador será capaz de extraer más calor del LED y por tanto tendremos un mejor comportamiento y ampliaremos la vida del chip.

Por lo tanto, al aplicar a la ecuación (III) los valores especificados de las variables de entrada, se obtendrá finalmente la resistencia térmica indicada en la Tabla 4.

Serie	Modelo	Potencia [W]	R <sub>j-c</sub> [°C/W]	T <sub>j</sub> [°C]	T <sub>c</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	R <sub>c-a</sub> [°C/W]
CLL050	18 25 A1 – 50 3 M1 A2	200,5	0,3	150	89,85	35	0,2735

Tabla 4 - Resistencia máxima del disipador

En la Gráfica 1 se pretende ilustrar como se reducen las exigencias de resistencia, al permitir valores mayores de ésta cuando las condiciones del ambiente son más benignas.



Gráfica 1 - Evolución de R<sub>c-a</sub> frente a la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)

## 2. Lente

En el punto anterior hemos deducido las propiedades térmicas que debe garantizar el disipador comercial para un correcto funcionamiento del LED, pero queremos cumplir otra serie de requisitos los cuales pueden inducir a más restricciones que las impuestas por la resistencia térmica. Buscando que el LED opere correctamente en cualquier ambiente sin que sufra daños o

merma en la luz emitida por la suciedad, se desea dotar al chip de un elemento protector del medio exterior, una lente o bien una campana.

En concreto se ha buscado una lente FLYDRAGON (ver Figura 5) cuyas dimensiones principales son 100mm de diámetro y 21mm de altura.

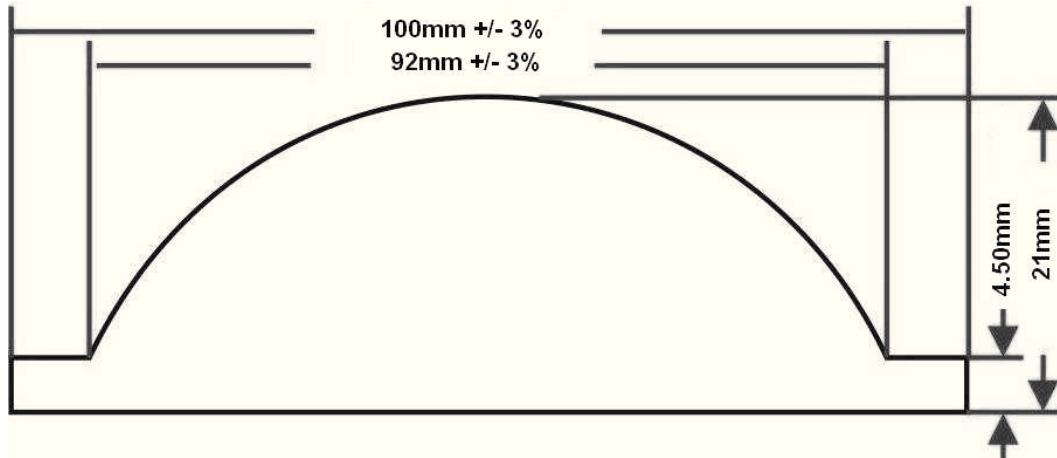


Figura 5 – Dimensiones de la lente (Shoptronica, 2012)

Esta lente está recomendada para uso en LED de alta potencia ya que es capaz de resistir temperaturas de hasta 180°C y, dado que en nuestra situación la temperatura del LED no será mayor de 150°C, la lente se considera válida para el conjunto.

### **3. Acceso a la corriente**

---

Además de incorporar una lente al conjunto hay que pensar en la alimentación eléctrica del propio LED. Como se puede ver en la Figura 6 la cara superior del LED presenta los dos puntos de contacto para la alimentación por lo que debemos ser capaces de transportar corriente hasta estos puntos. Si queremos que la parte normal al LED, en su cara luminosa, esté protegida por la lente descrita en párrafos anteriores, necesariamente tendremos que acceder por la parte trasera que ocupará el disipador. Debemos poder permitir acceso vía disipador.

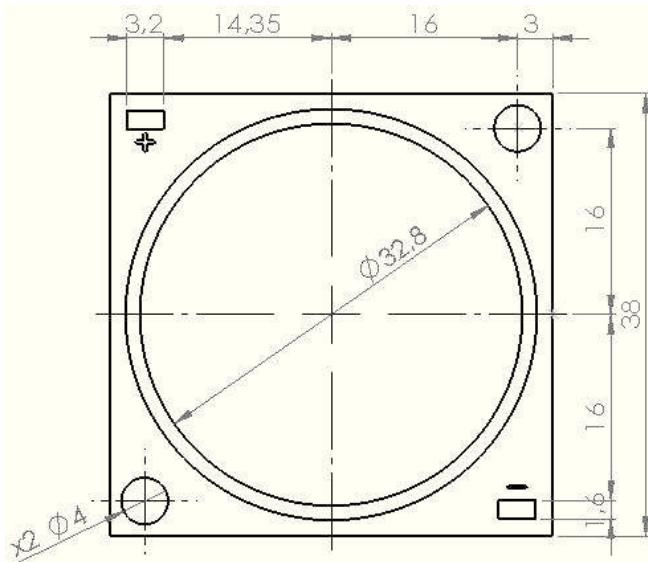


Figura 6 – Medidas del LED CLL050 (New COB Series, 2009)

#### **4. Escalable**

---

Para terminar la lista de requisitos, añadiremos que el diseño del disipador debe facilitar la escalabilidad de la luminaria. Esto significa que podamos agrupar con facilidad repetidas unidades del conjunto o celda definido anteriormente (LED, lente, disipador) con el fin de conseguir una potencia lumínica superior. Por ejemplo, lograr una potencia de 600W con 3 celdas de 200W en línea, en círculo o en un triángulo.

Este aspecto tendrá más relevancia en los disipadores diseñados ya que los dispositivos comerciales que podamos encontrar tendrán unas formas geométricas adaptadas a las necesidades térmicas, pero sin haber tenido en cuenta dicho punto.

## Soluciones comerciales

En este capítulo presentaremos los resultados de búsqueda de disipadores comerciales capaces de cumplir las necesidades expuestas en el capítulo anterior. Éstas eran:

- Resistencia térmica  $\leq 0,2735 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$  para tener una  $T_j \leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Diámetro o dimensión menor  $\geq 100\text{mm}$  para poder instalar una lente
- Permite acceso para corriente eléctrica hasta el LED o susceptible de modificarse.
- Opcional: Forma geométrica fácil de agrupar

Aunque existen una gran variedad de disipadores en el mercado, pocos fabricantes suministran el dato de resistencia térmica en todos sus modelos por lo que se ha tenido que filtrar aquellos que no indicaban tal dato. Adicionalmente los disipadores pensados para LED de potencia, principalmente formas cilíndricas, no se encuentran para potencias tan elevadas (200W) por lo que las opciones restantes pueden no ser las óptimas.

### 1. 1510HS Birmingham Aluminium

Esta serie de la empresa Birmingham Aluminium tiene las dimensiones básicas expuestas en la Figura 7 y una gama de longitud que permite obtener un rango de resistencias térmicas.

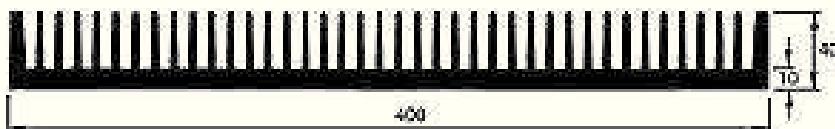
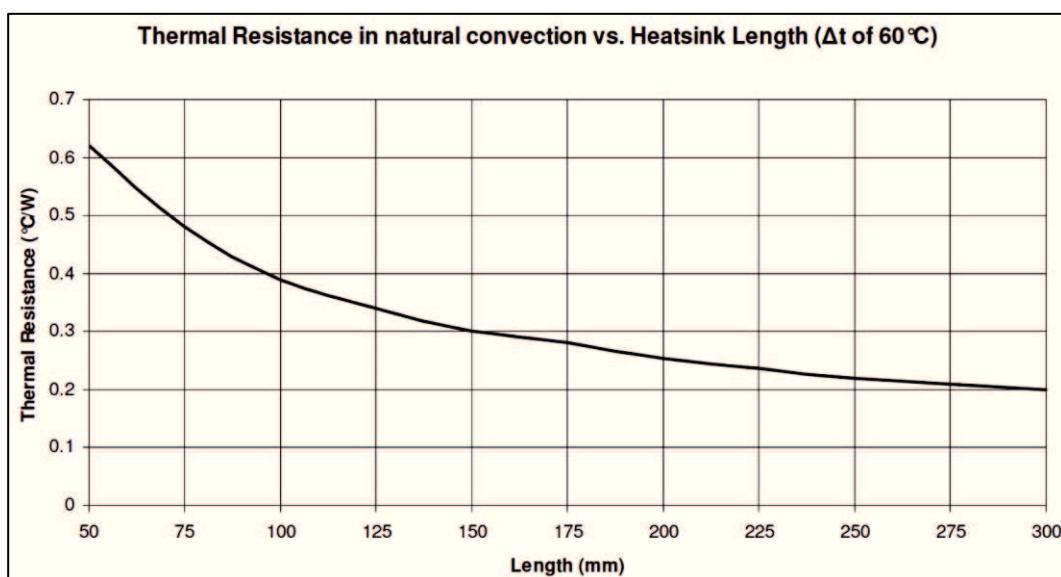


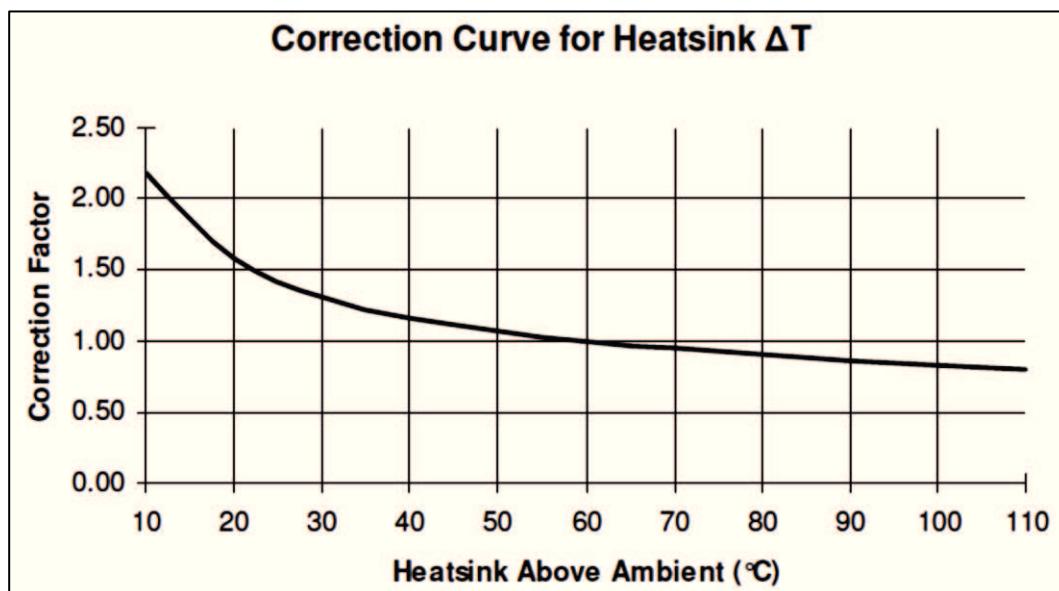
Figura 7 - Vista en sección del disipador 1510HS (1000 Series, 2012)

En la información suministrada aparece una gráfica que representa la resistencia térmica del disipador en función de la longitud (ver Gráfica 2). Estos valores están generados para una diferencia de temperatura entre el disipador y el ambiente de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en nuestro caso esta diferencia podría asumirse como la que hay entre el envoltorio ( $T_c$ ) y el ambiente ( $T_a$ ), la cual sería de  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.



Gráfica 2 - Resistencia térmica del disipador para convección natural y  $\Delta T$  de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1000 Series, 2012)

Este fabricante aporta una gráfica adicional (ver Gráfica 3) donde se representa como varía la resistencia térmica de la gráfica anterior en función de la diferencia de temperaturas con el ambiente. Para nuestro caso tenemos aproximadamente gradiente de  $55^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = T_c - T_a = 89,85 - 35 = 54,85^{\circ}\text{C}$ ) por lo que podemos asumir que la curva de la Gráfica 2 es válida ya que el factor de corrección a aplicar es muy próximo a la unidad.



Gráfica 3 - Correcciones para HS1510 (1000 Series, 2012)

Necesitamos un dissipador con una resistencia como máximo de  $0,2735^{\circ}\text{C}/\text{W}$  así que la medida de 200mm de longitud es la que ofrece una resistencia más próxima a la máxima pero sin sobrepasarla.

Si bien la forma rectangular no ofrece muchas posibilidades de agrupación, una formación en cuadrícula o matricial es perfectamente alcanzable.

## 2. 65605 Aavid Thermalloy

Este dissipador pertenece a la serie con menor resistencia térmica de la empresa Aavid Thermalloy en su apartado específico para LED. Aunque inicialmente se ofrece como una solución para múltiples LED su funcionamiento debería ser equivalente para un gran LED de potencia.

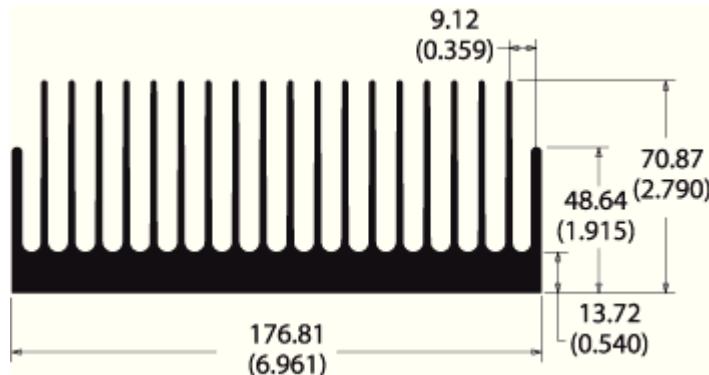


Figura 8 - Vista en sección del dissipador 65605 (Aavid Thermalloy, 2012)

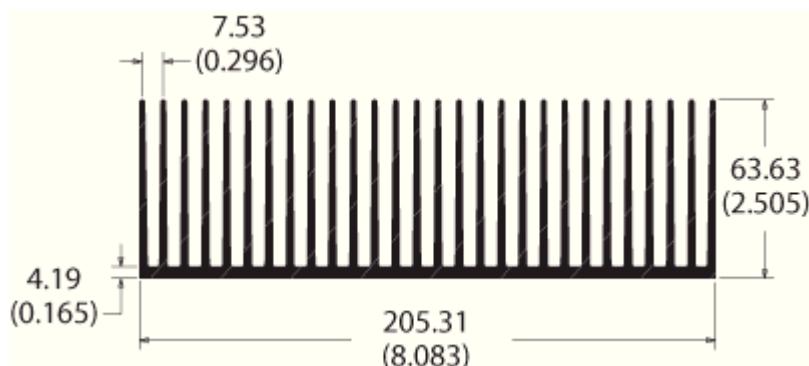
A través de su página web podemos introducir la longitud del perfil y ésta nos ofrece la resistencia térmica que presentará, bajo convección natural y con un gradiente de temperatura con el ambiente de 75°C. Mediante un proceso iterativo se ha logrado conocer que para un perfil extruido de 550mm se obtiene una resistencia térmica de 0,26°C/W.

Si bien para el modelo HS1510 habíamos usado como referencia un gradiente de 55°C entre disipador y ambiente, puede que la longitud seleccionada de 550mm sea excesiva y con una menor podamos lograr nuestro propósito. Pero esta circunstancia no será esclarecida hasta realizar la simulación pertinente.

### **3. 82160 Aavid Thermalloy**

---

Este modelo es otra propuesta del distribuidor anterior cuya principal diferencia radica en las dimensiones, como se aprecia en la Figura 9, de tal manera que ofrece una resistencia térmica similar al anterior pero con un perfil la mitad de profundo.



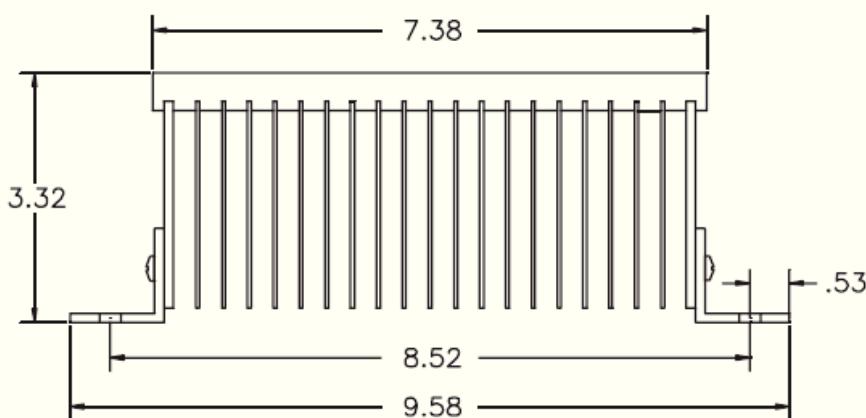
**Figura 9 – Vista en sección del disipador 82160 (Aavid Thermalloy, 2012)**

En este caso al usar el mismo procedimiento que con el otro disipador de Aavid Thermalloy se obtiene una resistencia térmica de 0,27°C/W con una longitud de perfil de 250mm.

### **4. CH5114 C&H Technology Inc.**

---

Aunque este disipador presenta una sección transversal parecida a las de los modelos anteriores, éste no se ha fabricado por medio de la extrusión de un perfil sino que se realiza mediante la inserción de las aletas en la base (Bonded fin heat sink) permitiendo mayores alturas de las aletas.



**Figura 10 – Vista en sección del disipador CH5114, cotas en pulgadas (C&H Technology Inc., 2012)**

Posee unas escuadras, ver Figura 10, que se colocan en la parte más alejada de la base de las aletas externas para poder fijar el conjunto a lo que se deseé.

En concreto hemos seleccionado el modelo CH5114 porque presenta una resistencia inferior a la máxima permitida, pero no conocemos para qué gradiente de temperatura. Aunque la otra opción del fabricante (CH5113) tiene una resistencia algo mayor ( $0.3^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) en el estudio con SolidWorks probaremos su viabilidad ya que solo se diferencian en la longitud del mismo.

Como en los disipadores anteriores presentamos a continuación la Tabla 5 donde se reflejan las dimensiones (sin considerar las escuadras) y características térmicas del disipador.

Modelo	Longitud perfil [mm]	Resistencia térmica [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]	Ancho [mm]	Alto [mm]
CH5113	177,8	0,3	187,45	80
CH5114	300	0,220		

Tabla 5 – Especificaciones para dos modelos de C&H Technology (C&H Technology Inc., 2012)

## 5. 8735 Wakefield Thermal Solutions

Este otro modelo también se basa en la tecnología de Bonded fin heat sink pero el fabricante ofrece un catálogo más amplio de dimensiones que el anterior. En la Figura 11, pese a su pobre calidad, se distinguen las cotas relevantes en formato paramétrico.

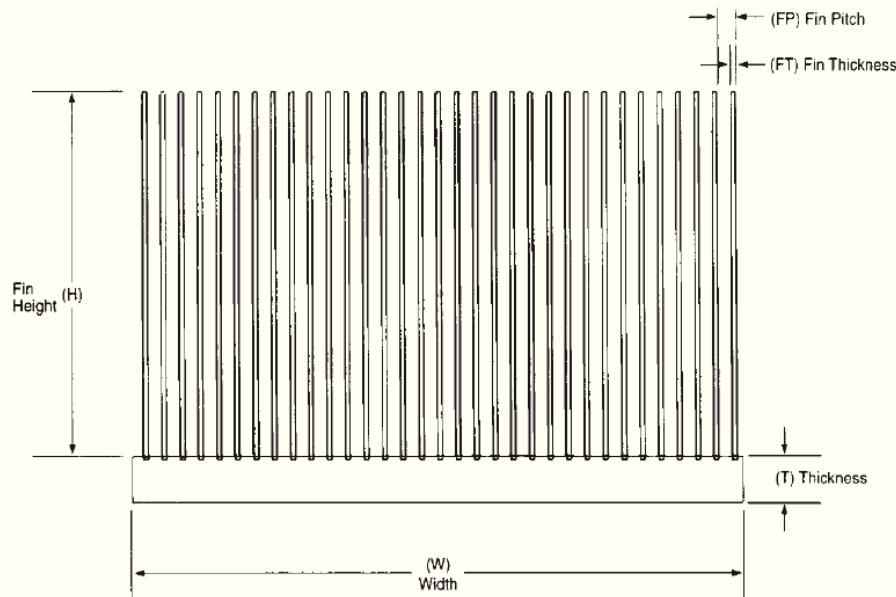


Figura 11 – Vista en sección de un disipador genérico de Wakefield (Wakefield Thermal Solutions, 2012)

Se procede a listar las cotas de la Figura 11 para aclarar cualquier duda sobre el contenido de la misma:

- Width (W) = Anchura de la base
- Thickness (T) = Espesor (o altura) de la base
- Fin Height (H) = Altura de la aleta

- Fin thickness (FT) = Espesor de la aleta
- Fin pitch (FP) = Espacio libre entre aletas

En la Tabla 6 se recogen las medidas concretas para este modelo de todos los disponibles en el catálogo de la empresa C&H Technology Inc.

Modelo	Resistencia térmica (para 304,8mm) [°C/W]	W [mm]	T [mm]	H [mm]	FT [mm]	FP [mm]
8735	0,264	381	15,9	50,8	1,3	6,4

Tabla 6 – Especificaciones para el modelo 8735 (C&H Technology Inc., 2012)

## 6. 410DN HS Marston Aerospace

Por último hemos seleccionado un dissipador pensado originalmente para transistores o etapas de potencia que presentan unas necesidades de evacuación de calor tan elevadas como el LED de trabajo. A continuación la Figura 12 con el corte en sección del dissipador.

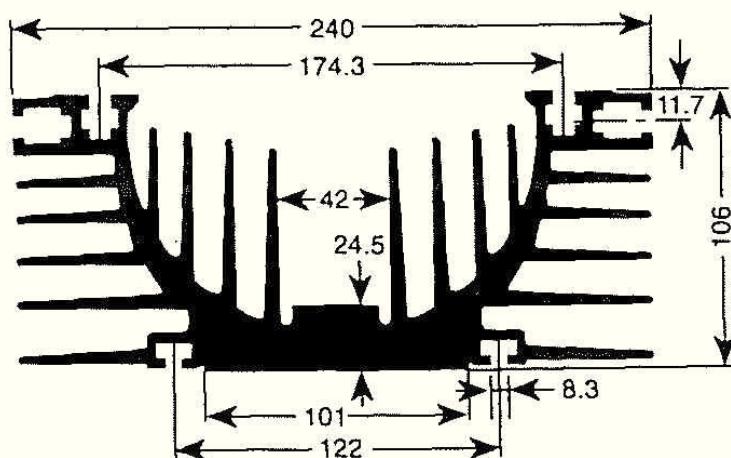


Figura 12 – Vista en sección de un dissipador 410DN (HS Marton Aerospace, 2012)

Como en el caso del primer dissipador, el fabricante suministra una curva de la resistencia térmica en función de la longitud del mismo, ver Figura 13, de la cual podemos deducir que para una longitud de 250mm tenemos una resistencia aproximada de 0,25°C/W con un perfil sin acabado y de 0,22°C/W si lo deseamos en negro anodizado.

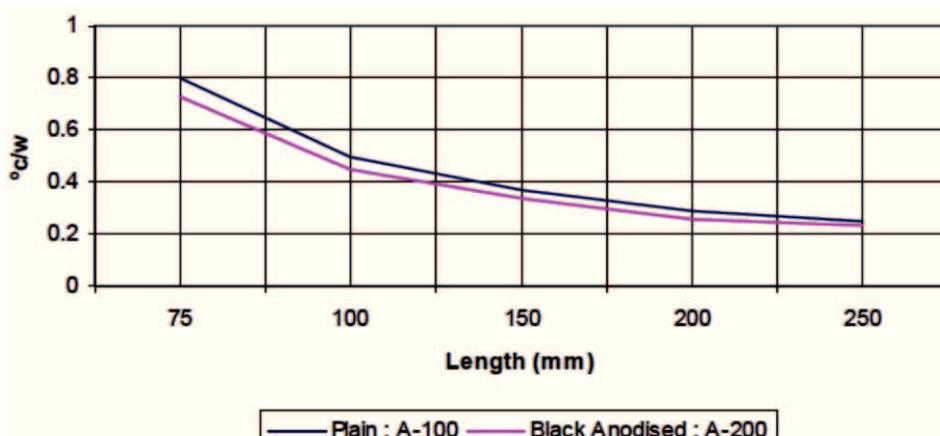


Figura 13 - Resistencia térmica del dissipador 410DN (HS Marton Aerospace, 2012)

## **Propuestas alternativas**

---

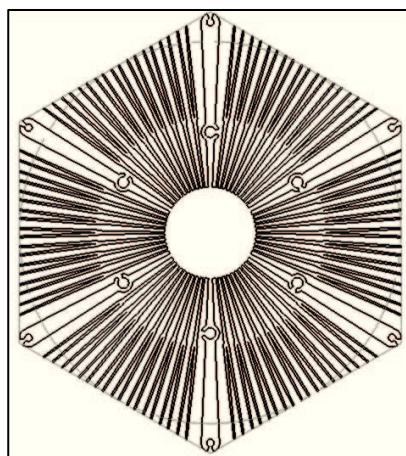
Durante la búsqueda en catálogos online de los disipadores comerciales se han localizado diversos modelos que cumplen, teóricamente, con las necesidades del problema. Sin embargo la inmensa mayoría tienen configuraciones planas, con grandes áreas en planta y poca altura, si las comparamos con el LED.

En este capítulo se van a presentar las diferentes propuestas no comerciales que se han diseñado con la perspectiva de poder garantizar una temperatura igual o menor a 150ºC en el LED.

### **1. Diseño I**

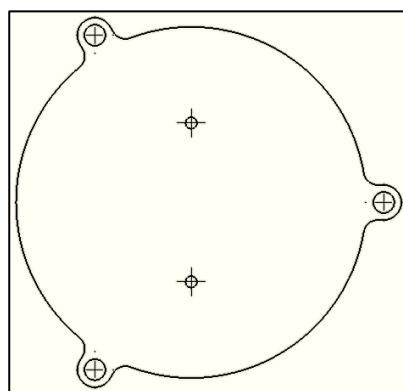
---

Con una forma exterior de tipo hexagonal, inscrito en una circunferencia de 209mm de diámetro, tiene 6 brazos en cuyos extremos presentan sendos agujeros de 4mm y, a un radio de 55mm, existe otra serie de agujeros, en este caso, de 6mm.



**Figura 14 – Disipador del diseño I**

La función de los primeros agujeros es la de fijar el disipador a un soporte que lo sostenga, bien para una lámpara o para una red formada por varias de ellas agrupados en forma de panal de abejas. Este detalle permite la escalabilidad sencilla del conjunto. Por otro lado, los orificios a la mitad de cada brazo sirven para unir un portalentes al propio disipador.



**Figura 15 – Portalentes del diseño I**

Este portalentes tiene 100mm de diámetro para poder acoger a la lente indicada en capítulos anteriores, y con 3 coronas dispuestas simétricamente formando 120º entre ellas. En estas extensiones es donde se unirá el portalentes con el disipador mediante tornillos M6.

Adicionalmente se han practicado dos agujeros por si se decide fijar el LED mediante tornillos en lugar de pegarlo con adhesivo de alta temperatura.

Entre cada uno de los 6 brazos descritos existen 9 aletas en forma de diapasón de tal manera que una rama crece desde el núcleo hasta cierta distancia y después se divide en dos hasta alcanzar el perímetro exterior descrito por el hexágono.

Se ha pensado inicialmente que tanto disipador como portalentes sean fabricados en material de aluminio, siendo el disipador creado por extrusión del perfil y el portalentes mediante mecanizado de un disco.

La profundidad de dicho disipador se dejará como una variable hasta realizar el estudio térmico simulado en SolidWorks. La siguiente imagen representa el montaje de las dos partes con unos espesores elegidos solo con fines representativos.

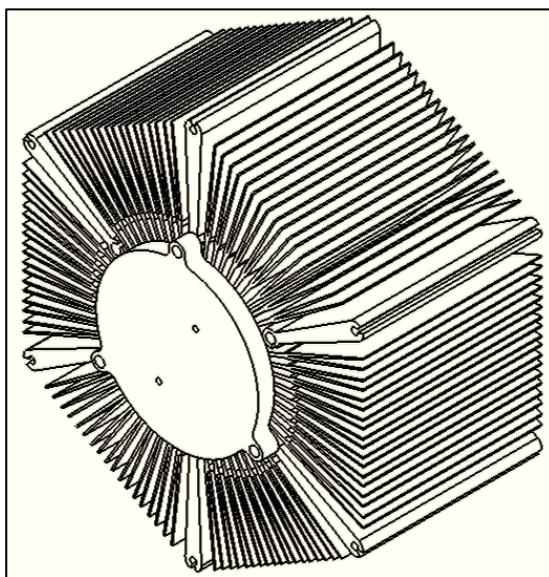


Figura 16 – Disipador y portalentes del diseño I

## **2. Diseño II**

Para este diseño se va a mantener la forma general de un hexágono que se empleó en el diseño I, si bien es de lo poco que se mantiene junto con el sistema de sujeción en los extremos de los brazos.

Éstos cambian respecto al diseño anterior donde cumplían una función principalmente de soporte y unión para las distintas piezas. Ahora son formaciones de aspecto dendrítico, de tal manera que la espiga principal se extiende desde un núcleo hasta alcanzar el perímetro del hexágono. De ésta parten las dendritas en dirección paralela al perímetro hexagonal siendo la situada más hacia el exterior de un grosor superior al resto.

El núcleo es más grueso que en el diseño anterior y es debido a que se ha eliminado la pieza del portalentes y se necesita una superficie de 100mm de diámetro donde apoyar la lente. Igualmente se han dispuesto los agujeros opcionales para la fijación con tornillos del LED.

También se pretende utilizar la extrusión como medio de fabricación y por eso se han practicado unas aberturas en los agujeros pasantes del exterior. Sin embargo, los agujeros para la fijación del LED se deberán realizar en un proceso de mecanizado (taladrado) aparte ya que no serán pasantes.

Como ocurría antes, la profundidad de dicho disipador se dejará como incógnita hasta realizar el estudio térmico simulado en SolidWorks.

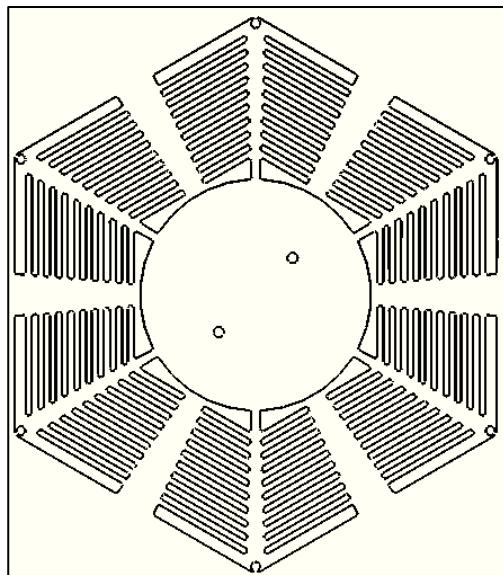


Figura 17 – Disipador del diseño II

### **3. Diseño III**

---

Para el último diseño cambiamos tanto la forma, de hexagonal a cilíndrica, como de proceso productivo ya que esta opción es básicamente un ensamblaje de diferentes piezas en lugar de la extrusión del modelo final.

Una barra de cobre del diámetro del LED hace las veces de núcleo conductor del calor a lo largo del disipador. Se ha pensado en este material para una conducción mayor hacia las partes superiores o más alejadas del foco del calor. Esta barra podría obtenerse por corte de una barra de cobre hasta la medida adecuada y, si no encontramos un suministrador del diámetro concreto (32,8mm), habría que mecanizar el exterior del cilindro.

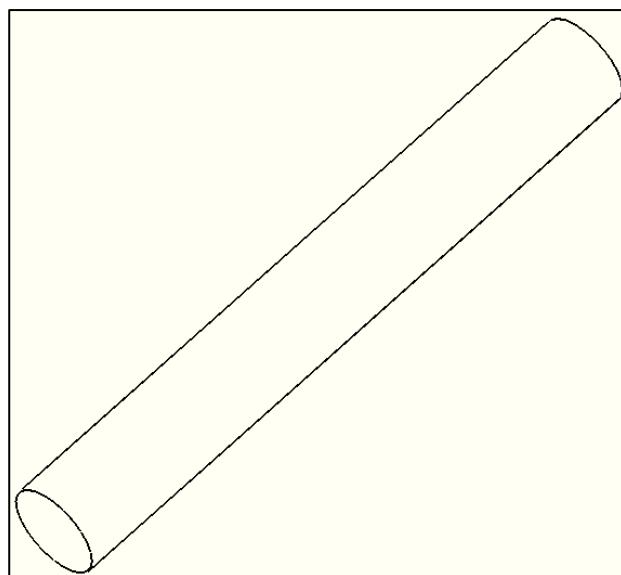
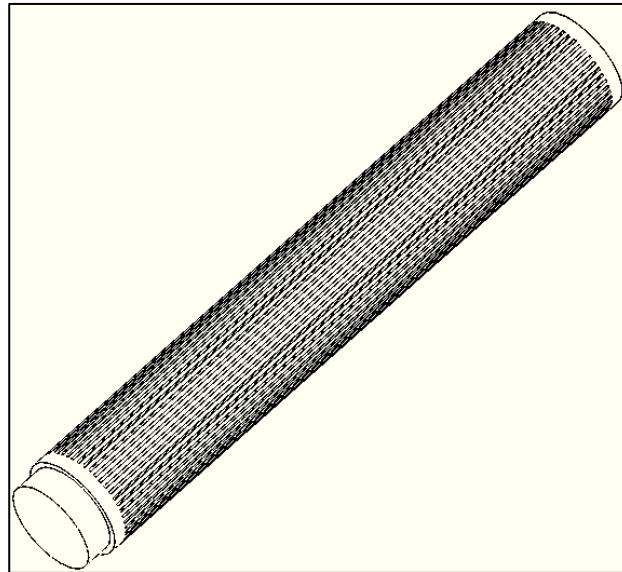


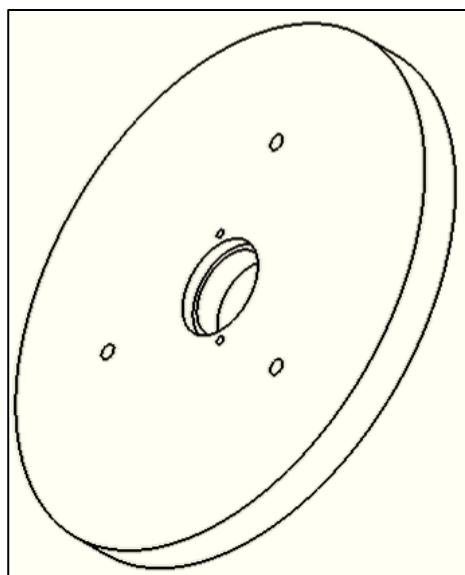
Figura 18 – Núcleo de cobre

Recubriendo al núcleo habría una camisa de aluminio de diámetro interior igual que el del núcleo de cobre y de un diámetro exterior 4mm mayor que el interior. Su longitud será de 10mm menos que la del núcleo para un mejor ensamblado con el portalentes de la parte inferior del conjunto. En él se deberán hacer 42 ranuras rectangulares, de una anchura de 1mm y otro de profundidad, que albergaran sendas aletas. La longitud total de la camisa será 10mm menor que la del núcleo y las ranuras no se mecanizarán a lo largo de toda su longitud sino que se dejarán 5mm sin tocar desde cada extremo. Para producir esta pieza se podría extruir un cilindro hueco de las medidas precisas y posteriormente realizar la serie de 42 ranuras por fresado.



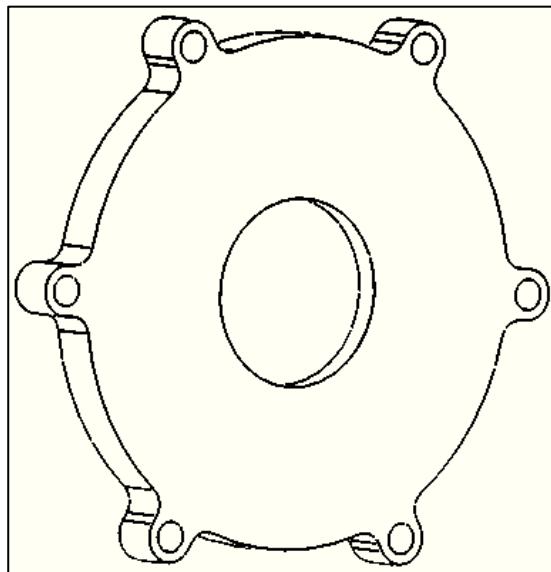
**Figura 19 – Revestimiento o camisa con el núcleo embebido**

El portalentes de este disipador es un disco de 200mm de diámetro y 15mm de espesor, con diversos agujeros. Uno de 32,8mm pasante en el centro sirve para que el núcleo de cobre esté en contacto con el LED. En la cara opuesta a la del LED otro agujero de profundidad 5mm y diámetro 36,8mm hace las veces de ajuste para el conjunto núcleo-camisa. Lleva dos agujeros para la sujeción del LED por tornillos si se desea hacer uso de ella en lugar de emplear adhesivo. Por último 3 agujeros de M6 están a un diámetro de 110mm y separados 120º entre sí.



**Figura 20 - Portalentes**

La tapa superior solo tendrá un espesor de 10mm y un agujero de 36,8mm con una profundidad de 5mm en la cara enfrentada al núcleo y la camisa. Este agujero y el de la tapa inferior buscan un correcto acoplamiento entre las diferentes piezas que componen el conjunto para un fácil montaje.



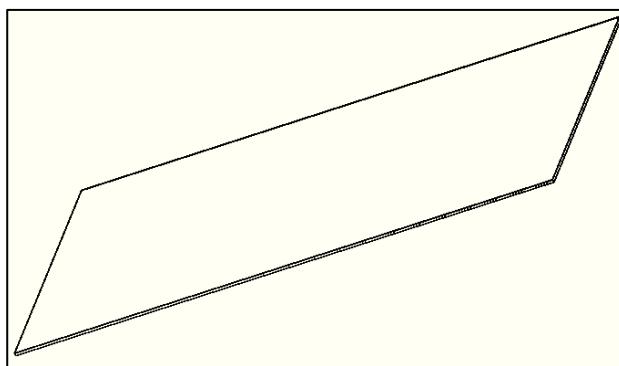
**Figura 21 - Tapa superior**

El conjunto se mantendrá unido con solo 3 espárragos atornillados entre el portalentes y la tapa superior, que dejarán otros 3 orificios libres en la tapa para poder fijar el conjunto a un soporte que lo sostenga.

Para fabricar el portalentes se parte de una barra de 200mm de diámetro y se rebanaría cada 15mm. Después habría que realizar un taladrado pasante de 32mm y que posteriormente se abocardaría hasta los 32,8mm para que encajara el núcleo de cobre. Por la cara opuesta a la del LED habría que mecanizar, a una profundidad de 5mm, otro abocardado hasta un diámetro de 36,8mm. Se realizarían los dos agujeros de soporte del LED y después los tres de unión con la tapa superior. Los primeros de M4 y los últimos de M6.

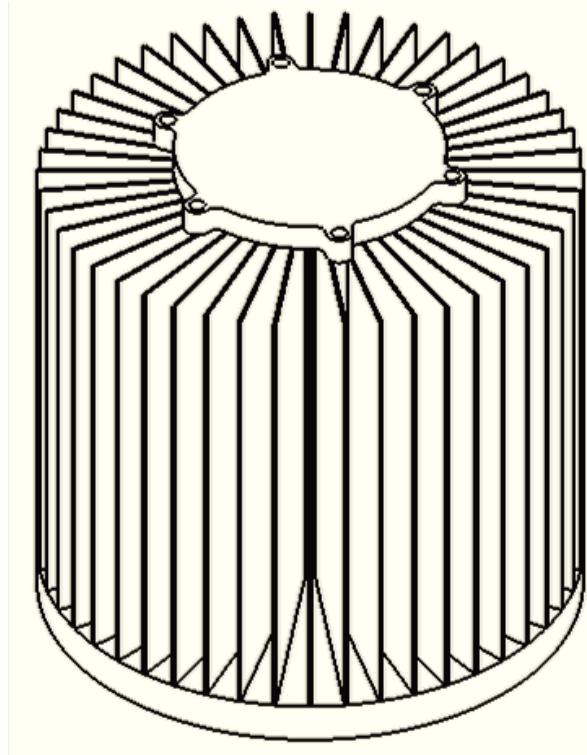
Para la tapa superior se partiría de una barra de aluminio de 120mm de diámetro que se rebanaría cada 10mm. Se mecaniza el contorno exterior. Se le practicaría un taladro de 36mm y 5mm de profundidad que se abocardaría hasta los 36,8mm necesarios para alojar la camisa.

Las aletas son de aluminio con un espesor de 1mm y una anchura de 82,6mm, sus longitudes serán de 20mm menos que la del núcleo, debido a los 15mm y 5mm que encajarán dentro de cada una de las tapas. Un sistema de fabricación muy sencillo sería partir de una lámina de 1mm de espesor y realizar los rectángulos por electroerosión por hilo dado el poco espesor de pieza.



**Figura 22 - Aleta**

Todas las longitudes de los componentes que no se han indicado deberán ser determinadas por ensayo térmico, por lo que las figuras indicadas anteriormente solo representan una vista a modo de ejemplo para una correcta comprensión del conjunto.



**Figura 23 - Disipador ensamblado**

La secuencia de montaje para este disipador sería:

- Encajar las aletas en el revestimiento.
- Embeber el núcleo de cobre dentro del revestimiento hasta enrasarlo en la parte superior.
- Encargar el revestimiento en la tapa superior.
- Situar agujeros de la tapa superior entre aletas para no interferir con el paso de los espárragos.
- Atornillar los espárragos al portalentes.
- Encargar el portalentes de tal manera que los espárragos hagan de referencia y pasen por los agujeros de la tapa superior.
- Enroscar las respectivas tuercas por la parte superior del conjunto para dejarlo completamente unido.

## Comparación de soluciones por simulación

Una vez que se han seleccionado por catálogo diversos disipadores comerciales y hemos diseñado una serie de alternativas, el siguiente paso es compararlos entre sí. Para ello simularemos en SolidWorks las diferentes soluciones introduciendo el modelo en 3D junto con las propiedades del material de cada uno y las condiciones de contorno.

Los pasos que seguiremos con el programa, en orden cronológico serán:

- Generación de la geometría del disipador por modelado en 3D
- Asignación del material, en todos los casos aleación 6061 de Aluminio
- Mallado fino mínimo de la pieza/s
- Ubicar el área de transferencia de calor desde el empaquetado al disipador
- Asignar al resto de caras expuestas las propiedades de transmisión de calor por medio de la convección.

Para el primer paso debemos recurrir a la información que aporta cada fabricante en formato de planos o diseños esquemáticos. En algunos casos no todas las cotas o detalles se publican, por lo que realizaremos suposiciones lo más justificadas y cercanas al original.

Un punto crítico de la simulación es el área de transferencia de calor desde el empaquetado hacia el disipador, ya que se necesita transferir una alta cantidad de calor en una superficie muy pequeña. Debemos ser muy precisos en la definición de esta área porque cada milímetro cuadrado cuenta. En la Figura 24 se muestran las medidas del LED visto en planta, el cual se puede resumir como un cuadrado de 38mm con dos huecos de 4mm de diámetro cada uno.

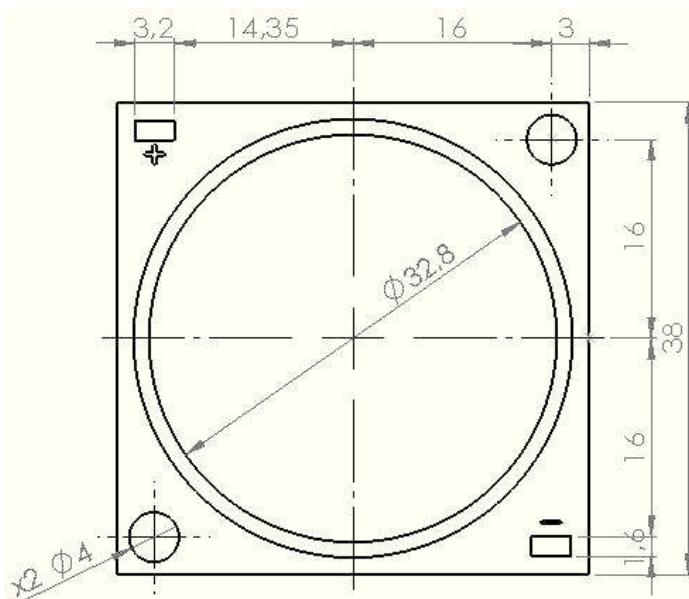


Figura 24 – Medidas del LED CLL050 (New COB Series, 2009)

Sin embargo no toda la superficie va a generar los 200W sino solo el círculo de diámetro 32,8mm que es donde está el LED. Éste tiene un espesor de apenas 1,4mm por lo que es perfectamente asumible que el calor generado en el círculo de 32,8mm mantenga su propagación normal a esta superficie y no se conduzca hacia las partes más alejadas del empaquetado. Hubiera resultado interesante simular el conjunto del LED y el disipador para no tener que realizar dicha suposición, pero el fabricante no indica qué materiales componen el empaquetado ni qué propiedades térmicas poseen cada una de sus partes.

El resto de caras expuestas de los disipadores trabajarán intercambiando calor con el ambiente por medio de una transferencia de tipo convectiva. Los parámetros que la definen son:

- Coeficiente de convectividad =  $4\text{W/m}^2\text{K}$
- Temperatura ambiente =  $35^\circ\text{C}$

## 1. 1510HS Birmingham Aluminium

En el capítulo de soluciones comerciales ya presentamos este disipador, pero algunas de las cotas del dispositivo no aparecen indicadas en la información suministrada por el fabricante. Se indica en la Figura 25 el modelo introducido en el programa SolidWorks.

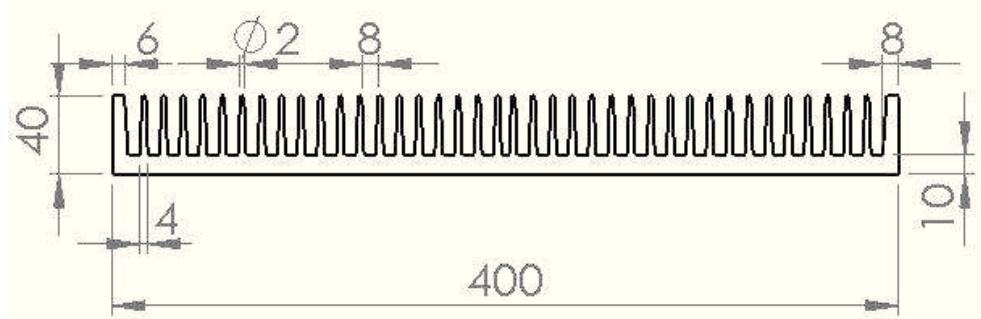


Figura 25 – Vista en alzado del disipador HS1510

Según habíamos consultado en la hoja de referencia del fabricante, para una longitud del perfil de 200mm teníamos una resistencia térmica de aproximadamente  $0,25^\circ\text{C}/\text{W}$  (ver Gráfica 2) por lo que ésta había sido nuestra elección.

Al simular este disipador hemos tenido en cuenta dos particularidades:

- Se ha ubicado la fuente de calor en el centro de la superficie del disipador.
- Se ha simulado una sección al cuarto del disipador aprovechando la simetría del mismo y reduciendo así el tiempo de cálculo.

Los resultados de dicha simulación se muestran en la Figura 26.

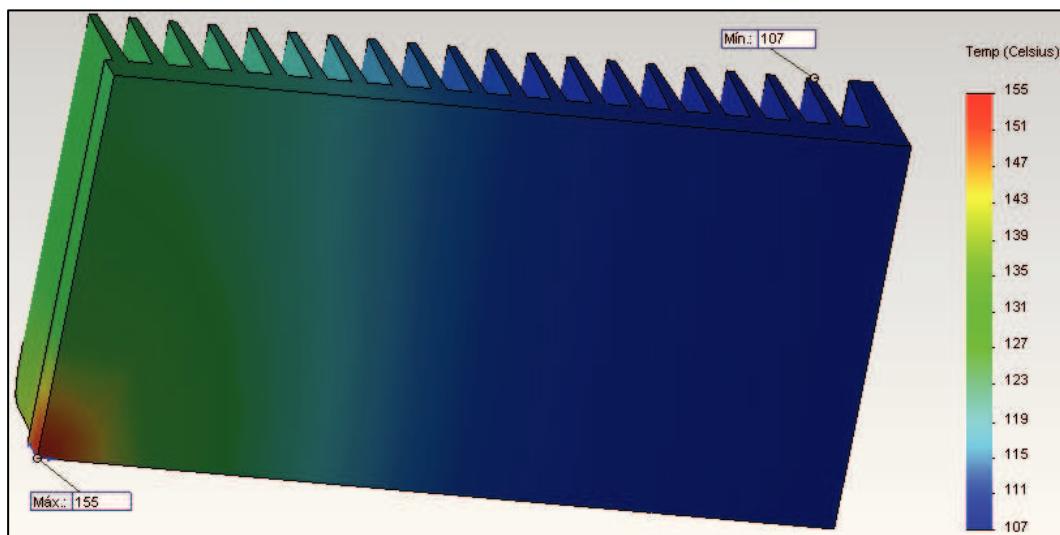
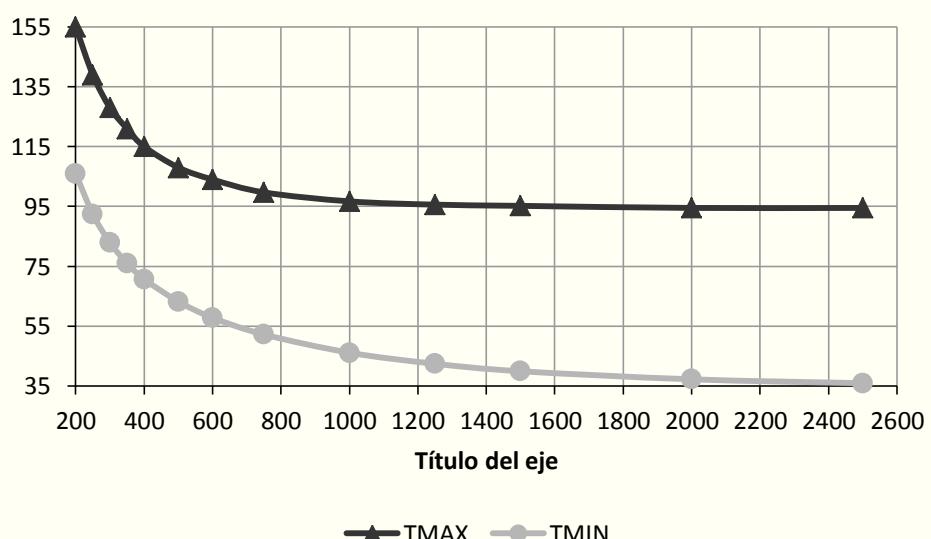


Figura 26 - Simulación del disipador HS1510

Tanto en ésta como en el resto de capturas de las simulaciones que se obtengan hay que prestar atención a la temperatura máxima que se alcanza en el disipador. Dicha temperatura nunca debe ser superior a la temperatura Tc o temperatura de carcasa indicada en la Tabla 4.

Para este disipador en particular se registra una temperatura máxima de 155°C. Este resultado es muy diferente del esperado, ya que la resistencia térmica a priori era incluso menor de la máxima necesitada (0,2735°C/W).

Dado que el disipador se obtiene por extrusión se han simulado una serie de perfiles más largos cuyos resultados se muestran en la Gráfica 5. En ella se han representado en el eje X las distintas longitudes del perfil y en el eje Y las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas en el disipador.



Gráfica 4 - Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador HS1510

De la gráfica anterior llegamos a la conclusión de que la temperatura máxima alcanza una asíntota a unos 94,5°C por más largo que hagamos el perfil. Lo único que lograríamos sería incrementar ligeramente el calor intercambiado con el ambiente debido a que la temperatura mínima sigue disminuyendo pero también alcanza los 35°C y la nueva superficie no intercambiaría calor alguno. Es decir, que el disipador no es válido para nuestros requisitos.

## 2. 65605 Aavid Thermalloy

En este otro disipador también nos enfrentamos a la limitación de información sobre las cotas que no especifica este fabricante por lo que debemos suponerlas de la forma más precisa posible. Por ejemplo, las aletas exteriores que son más bajas suponemos que tienen un espesor el doble que las interiores.

La anchura total del perfil se puede descomponer como la suma de las 19 separaciones entre aletas de 9,12mm y las dos mitades de las exteriores, éstas equivaldrían a dos espesores de las normales (TF). De esta manera podemos plantear la siguiente ecuación:

$$176,8 = 19 \times 9,12 + 2 \times TF \rightarrow TF = 1,76mm$$

Con el espesor de las aletas calculado (1,76mm) y los radios de redondeo de las aletas ya tendríamos el modelo definido, tal y como se aprecia en la Figura 27. Recordamos que habíamos preseleccionado una longitud de 550mm según lo obtenido por el fabricante.

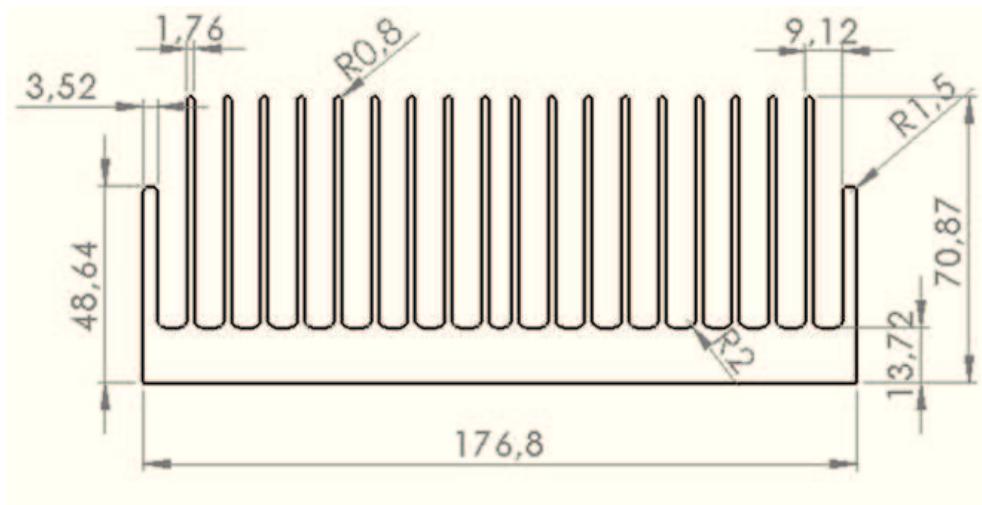


Figura 27 – Vista en alzado del disipador 65605

Al simular este disipador hemos tenido en cuenta las mismas particularidades que con el anterior debido a que la forma general de éste es semejante a la del anterior. Los resultados del estudio térmico ante una carga térmica de 200W se muestran en la Figura 28.

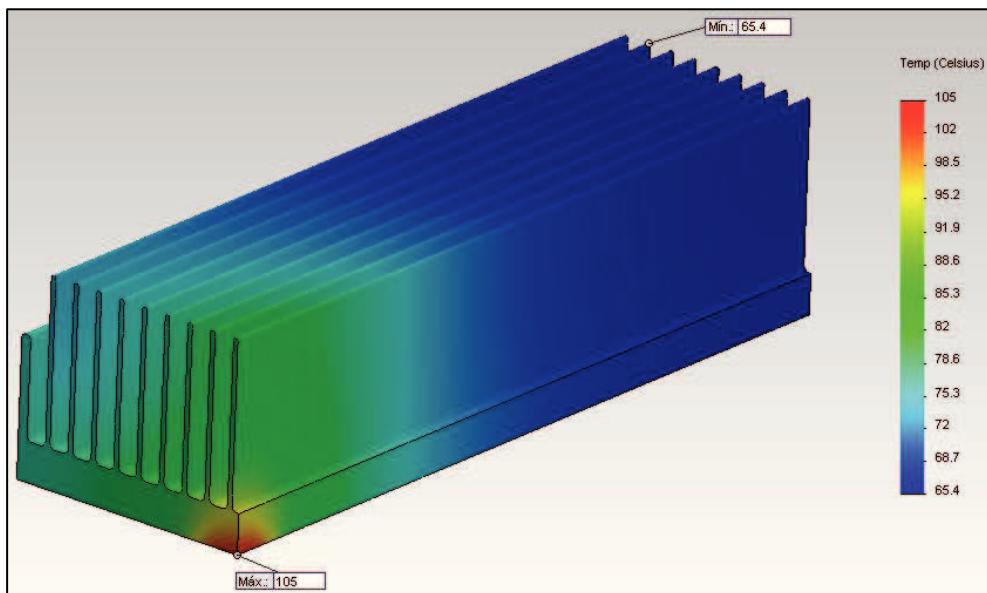
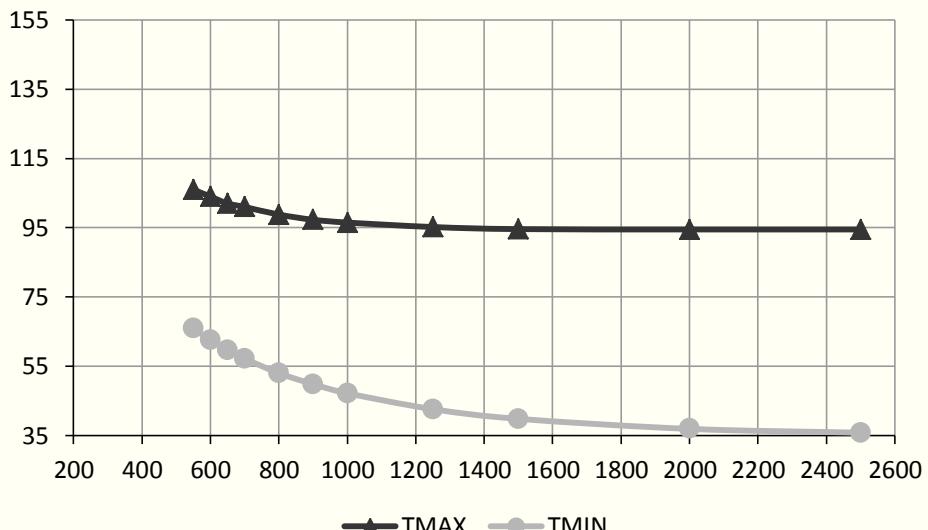


Figura 28 - Simulación del disipador 65605

En este caso vuelve a ocurrir que la temperatura máxima arrojada por la simulación (105°C) es superior a la esperada, pero desviándose en menor medida que en el caso del disipador HS1510.

Este disipador se obtiene por un proceso de fabricación de extrusión, de tal manera que el fabricante puede suministrar casi cualquier longitud. Gracias a ello podemos simular una serie de nuevas longitudes en búsqueda de la una longitud del disipador que lo habilite como solución a nuestros requisitos que se representan en la Gráfica 5.

Llegamos a una conclusión similar a la del caso anterior donde la temperatura máxima alcanza una asymptota a unos 94,5°C por más largo que hagamos el perfil. El comportamiento de este disipador es muy parecido al anterior aunque sus dimensiones geométricas sean diferentes. De nuevo tenemos que desechar el disipador ya que no es válido para nuestras necesidades de evacuación de calor.



Gráfica 5 - Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador 65605

### 3. 82160 Aavid Thermalloy

Este disipador es otro modelo disponible del mismo fabricante que el anterior, pero con ligeras diferencias en su diseño y sus medidas y con un mayor número de aletas, 28 en total, de igual espesor. Éste podemos calcularlo ya que la anchura total del perfil se puede descomponer como la suma de las 27 separaciones entre aletas (7,53mm) más las dos mitades de las exteriores que serían el espesor de una aleta:

$$205,31 = 27 \times 7,53 + TF \rightarrow TF = 2mm$$

Este espesor es el que se tiene en la cabeza de cada aleta pero en la base son más gruesas, alcanzando una anchura de 4mm. En la Figura 29, se han representado el resto de cotas del disipador a falta de la longitud de 250mm del perfil que no se aprecia en el alzado.

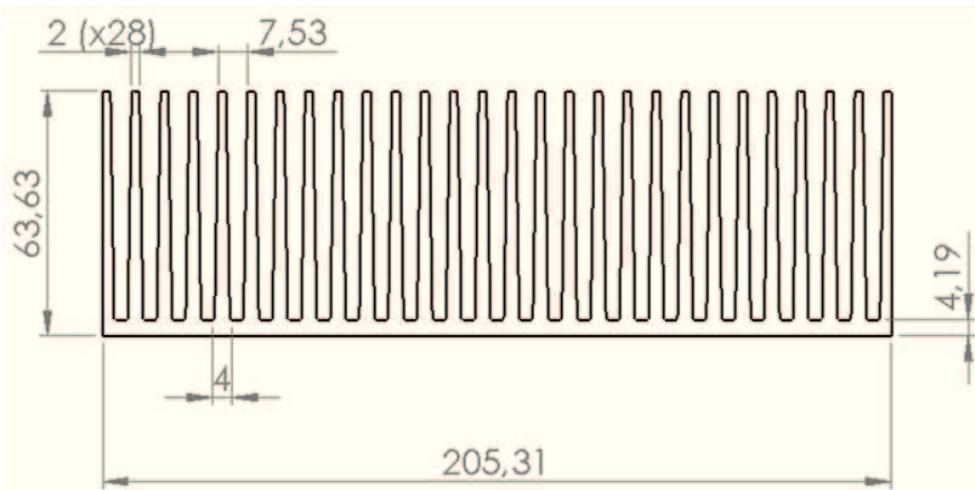


Figura 29 – Vista en alzado del disipador 82160

Con SolidWorks hemos simulado el modelo con las mismas peculiaridades que en los disipadores anteriores (material, disipador centrado y simetría). Los resultados del ensayo térmico se muestran en la Figura 30 en un corte al cuarto del disipador.

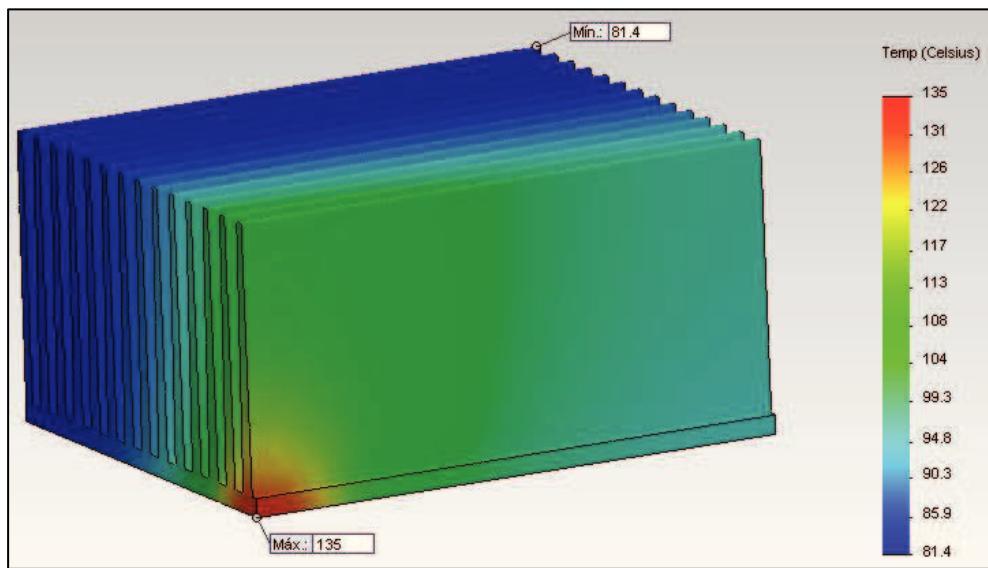
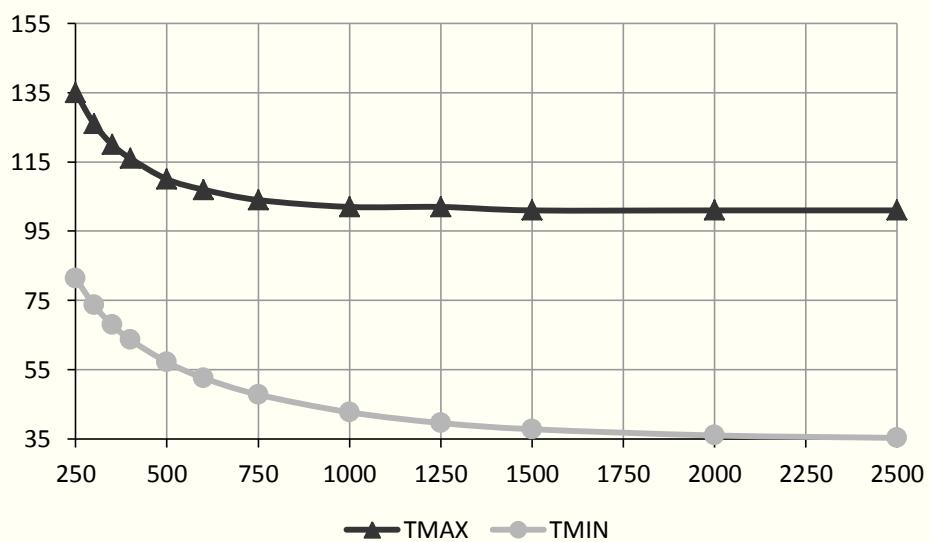


Figura 30 - Simulación del disipador 82160

En esta ocasión nos encontramos con un resultado entre el primer y el segundo disipador con una temperatura máxima de 135°C. Al igual que ha ocurrido con las dos opciones analizadas anteriormente, la disipación térmica no ha resultado como se había predicho. Probamos con perfiles más largos y mostramos los resultados en la Gráfica 6.



Gráfica 6 - Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador 82160

Llegamos a la conclusión de que la temperatura máxima alcanza una asíntota a unos 101°C por más largo que hagamos el perfil. De nuevo tenemos que descartar este disipador ya que nunca podrá garantizar una temperatura de carcasa menor a los 89,85°C calculados.

#### 4. CH5114 C&H Technology Inc.

Al seleccionar este disipador teníamos ciertas dudas sobre la validez de la resistencia térmica indicada por el fabricante ya que no se referenciaba a ningún gradiente de temperatura. En principio el perfil más largo era el que presentaba una resistencia térmica menor de la necesaria, por eso comenzaremos por éste, y si resultara sobredimensionado cambiaríamos a la otra

opción más corta. Las medidas de la pieza se muestran en la Figura 31 donde se representa la vista del alzado del disipador, incluido el soporte.

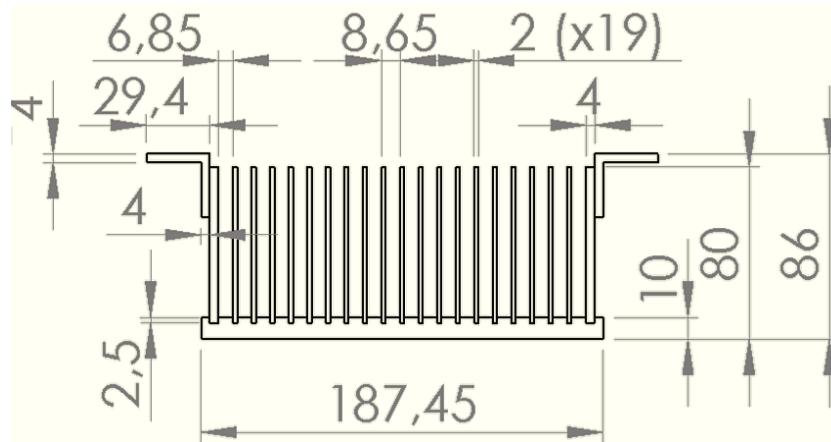


Figura 31 – Vista en alzado del disipador CH5144

El fabricante ofrece unas escuadras que se atornillan a la parte más elevada de las aletas externas. Éstas permitirían poder fijar el disipador a una estructura o soporte donde descansaría la lámpara. Bajo las mismas condiciones del entorno y del material se muestra la Figura 32 donde aparecen los resultados de dicha simulación.

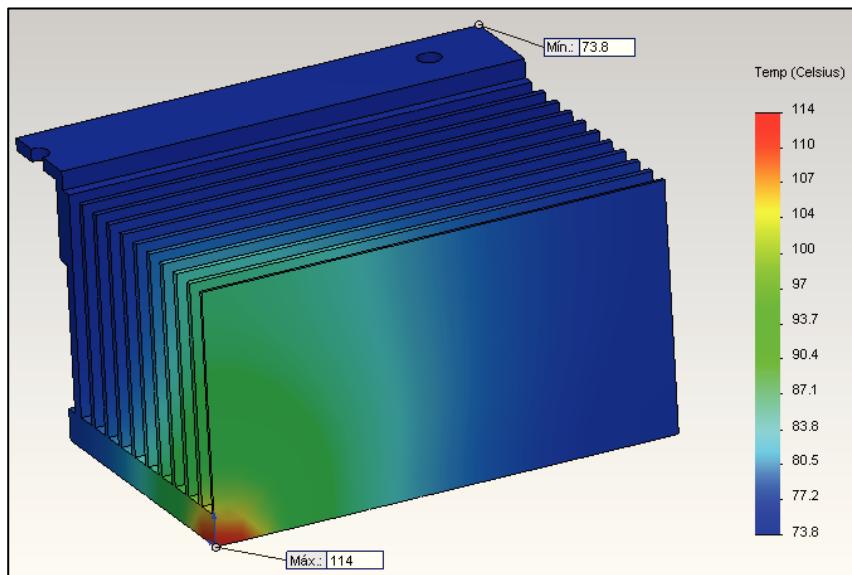


Figura 32 – Simulación del disipador CH5114

Al igual que en las simulaciones anteriores la temperatura máxima en el disipador (114°C) dista mucho de la máxima permitida de 89,85°C. En este caso el fabricante solo ofrece una alternativa a este modelo, pero con una longitud menor, por este motivo no se simulará el perfil más corto ya que el mayor tan siquiera cumple con las especificaciones.

## 5. 8735 Wakefield Thermal Solutions

Este otro disipador también se fabrica con la misma técnica que el anterior pero el fabricante Wakefield Thermal Solutions ofrece un catálogo de modelos mucho más amplio, por lo que si la solución inicial no alcanzara la temperatura esperada podríamos ensayar otras posibilidades.

El modelo concreto que habíamos preseleccionado es el 8735 que posee un total de 60 aletas de 1,27mm insertadas una profundidad de 2,54mm. En la Figura 33 se muestra la vista del alzado del disipador con todas las cotas.

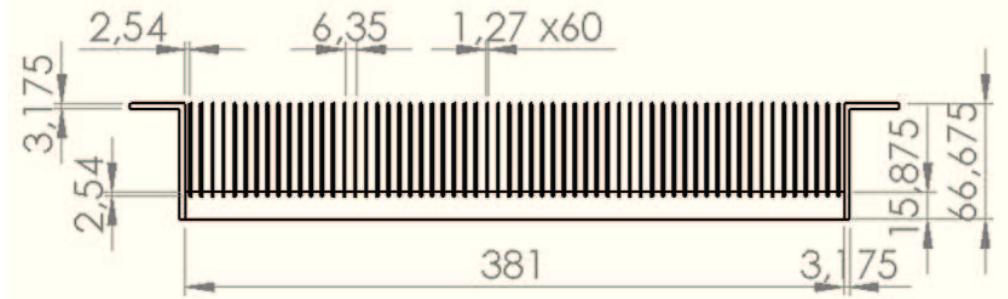


Figura 33 – Vista en alzado del disipador 8735

Este fabricante también suministra unas escuadras para poder fijar el disipador por la parte superior a cualquier elemento. En este caso dichas escuadras se unen al disipador en las paredes exteriores de la base del mismo en lugar de las aletas situadas en sus extremos, debido al espesor tan fino de las mismas.

Si comparamos, desde un punto de vista descriptivo, este disipador con el CH5114 vemos que es aproximadamente el doble de ancho, posee una base un 50% más gruesa y unas 3 veces más aletas. Estos datos nos hacen pensar que su comportamiento será mucho mejor que el anterior pero con la duda de si sobrepasará la temperatura máxima permitida.

Los resultados que se han obtenido del ensayo en SolidWorks se representan en la siguiente captura (ver Figura 34).

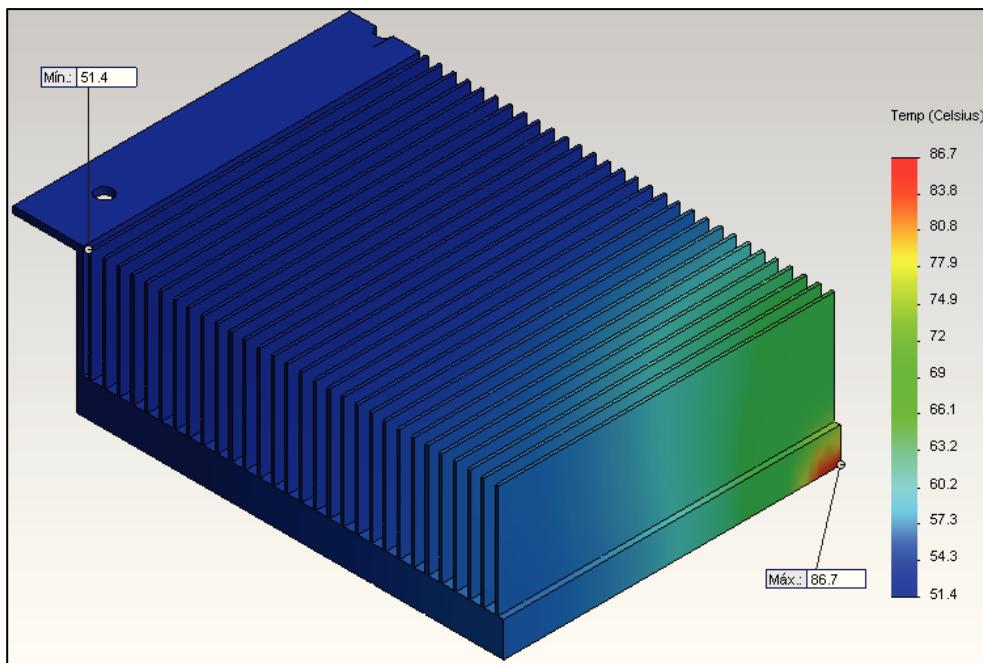


Figura 34 – Simulación del disipador 8735

Con este disipador alcanzamos una temperatura máxima de 86,7°C por lo que se puede dar como válido al situarse ésta por debajo de los 89,85°C. Pero como el fabricante ofrece diversas variantes dimensionales del disipador vamos ensayar el modelo 8714 que es más pequeño y posee menos aletas, a fin de acercarnos más a la temperatura máxima permitida.

En la Figura 35 se muestran las medidas del disipador 8714 en una vista de su alzado, donde se puede apreciar que hay 4 aletas menos que en el 8735 pero de igual altura, la base es un poco menos ancha y alta por lo que el conjunto también lo es.

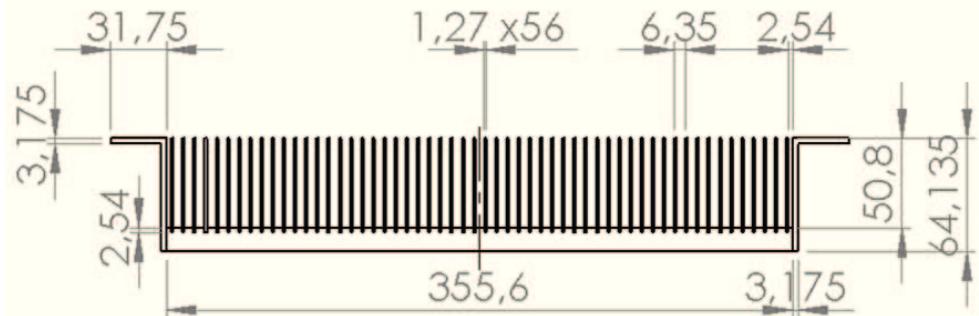


Figura 35 – Vista en alzado del disipador 8714

Bajo las mismas condiciones podemos ver en la Figura 36 los resultados para este modelo.

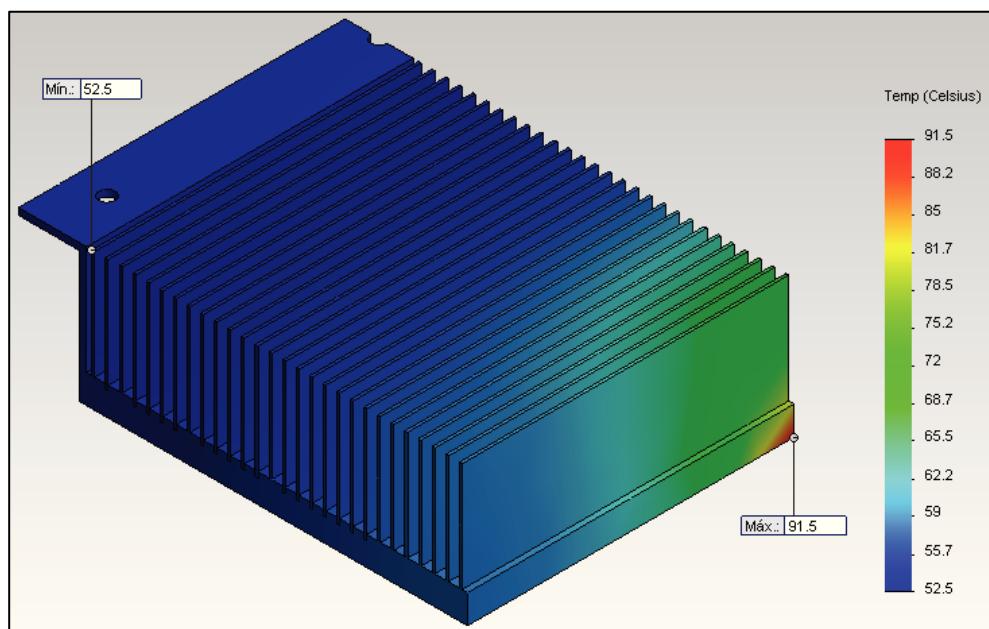


Figura 36 – Simulación del disipador 8714

Lamentablemente el modelo 8714 se queda un poco por encima del máximo permitido al registrar una temperatura máxima en el disipador de 91,5°C. Por lo tanto nos quedamos con el modelo 8735 como el único válido.

## 6. 410DN HS Marston Aerospace

El último de los disipadores comerciales que vamos a analizar representa un gran reto a la hora de introducir su geometría en el programa SolidWorks ya que el fabricante no ofrece todas las cotas necesarias para que quede definido.

Por ello se han realizado diversas suposiciones para completar su paso a programa 3D, quedando todas ellas expuestas en la Figura 37. Destacar que en la parte superior hay un alojamiento para componentes electrónicos que podemos usar, previo mecanizado de 6 taladros, como puntos de fijación cumpliendo la misma función que realizaban las escuadras que se presentaban en los dos disipadores anteriores.

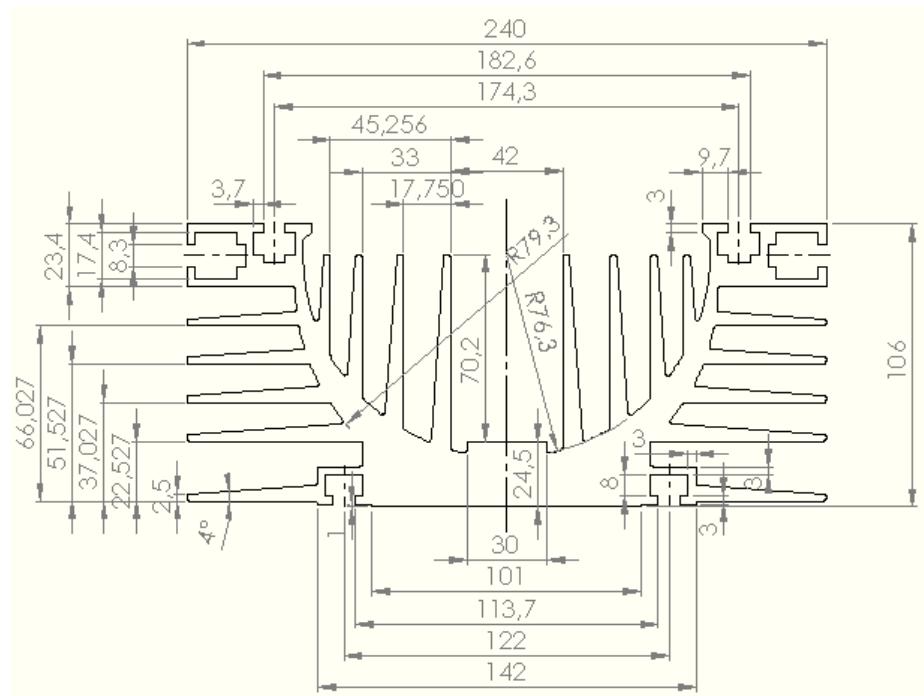


Figura 37 – Vista en alzado del disipador 410DN

Al simular este disipador hemos tenido en cuenta las mismas particularidades que con los anteriores, es decir:

- Se ha ubicado la fuente de calor en el centro de la superficie del disipador.
- Se ha simulado una sección al cuarto del disipador aprovechando la simetría del mismo y reduciendo así el tiempo de cálculo.

Los resultados que se han obtenido se representan en la siguiente captura (ver Figura 38).

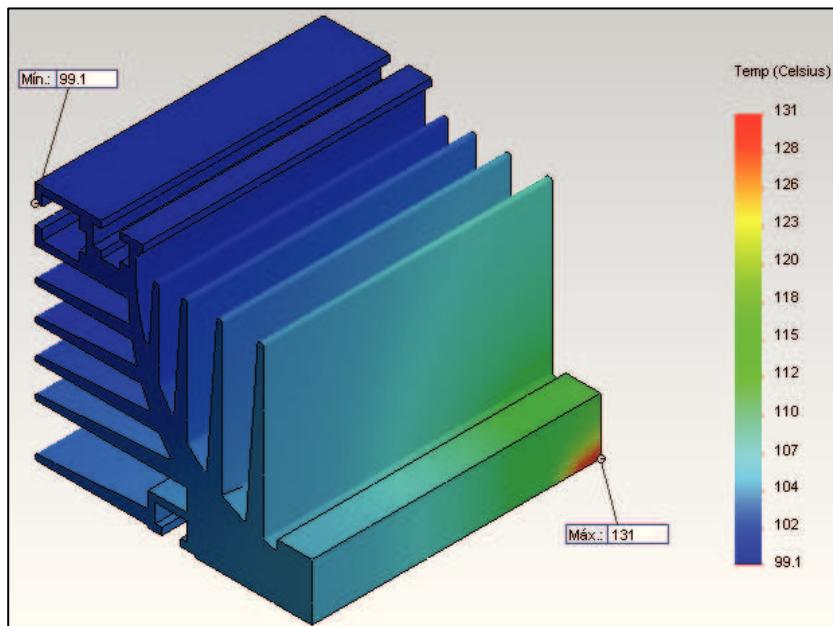
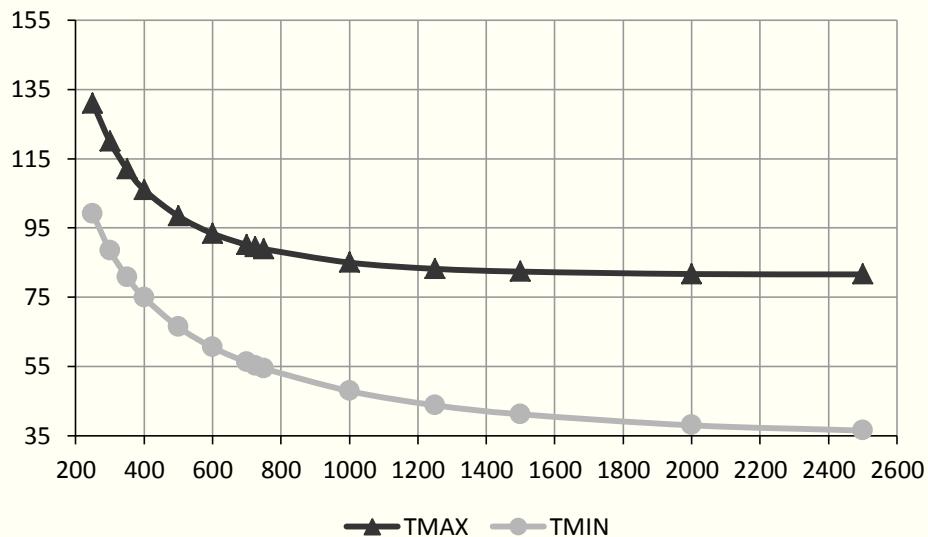


Figura 38 – Simulación del disipador 410DN

Ocurre que la longitud inicial que habíamos predicho como la necesaria para tener una resistencia  $\leq 0,2735^{\circ}\text{C}/\text{W}$  no es suficiente ya que la temperatura máxima es de  $131^{\circ}\text{C}$ , aún por encima del máximo permitido. Vamos a simular diferentes longitudes hasta alcanzar la mínima necesaria, si es que no presenta un comportamiento asintótico como ha ocurrido con anteriores disipadores que inicialmente tampoco eran suficientemente largos.



Gráfica 7 – Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador 410DN

De la gráfica anterior y sus diferentes ensayos se obtiene que para una longitud de 725mm la temperatura máxima es de  $89,5^{\circ}\text{C}$ , si el fabricante no ofreciera la posibilidad de una medida tan precisa podríamos irnos a los 750mm y obtendríamos  $88,9^{\circ}\text{C}$ .

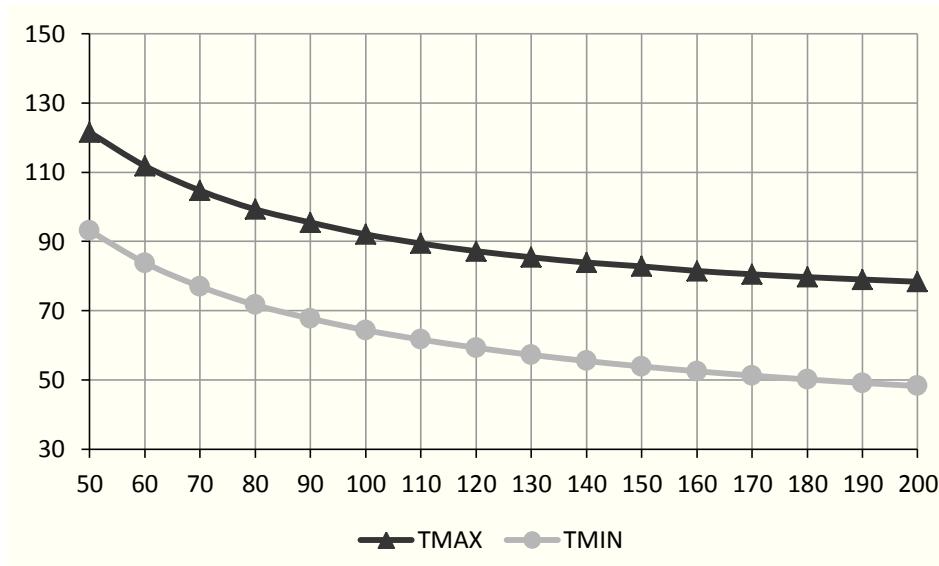
## 7. Diseño I

Es el momento de simular el primero de los diseños presentados en este proyecto. Recordamos que estaba compuesto por dos piezas: un portalentes y el disipador. En este caso se ha centrado, en una de las caras planas del porta, la carga de los 200W generados por el LED y éste los distribuirá al disipador.

En cuanto a las simetrías que se presentan en este conjunto hay que indicar que son diferentes según la pieza, por ejemplo el disipador podría simularse solo con una sección de  $60^{\circ}$  pero el porta necesita de  $120^{\circ}$ , por eso el conjunto se simulará al más restrictivo que son los  $120^{\circ}$ .

Aunque el portalentes ya esté perfectamente definido en todas sus dimensiones (diámetro y longitud), en el caso del disipador no conocemos la longitud de extrusión adecuada para nuestras necesidades. Por este motivo necesitamos probar diferentes longitudes durante los ensayos térmicos en SolidWorks y decidir a partir de dichos resultados. Empezaremos con 50mm e iremos aumentando el espesor en bloques de 10mm, los resultados aparecen reflejados en la Gráfica 8.

Entre 100 y 110mm se ha encontrado el límite de la temperatura máxima permitida ( $89,85^{\circ}\text{C}$ ) y se han repetido los ensayos a esas longitudes usando una malla más fina que en el resto del análisis. Si bien podríamos hacer más ensayos para analizar con mayor resolución el comportamiento entre 100 y 110mm, desde un punto de vista práctico optaremos por la medida de 110mm que presenta una temperatura de  $89,41^{\circ}\text{C}$  la cual no dista mucho del límite.



Gráfica 8 – Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador I

En la Figura 39 se muestra el resultado gráfico de la simulación del disipador para la longitud de 110mm en una vista seccionada de 120º.

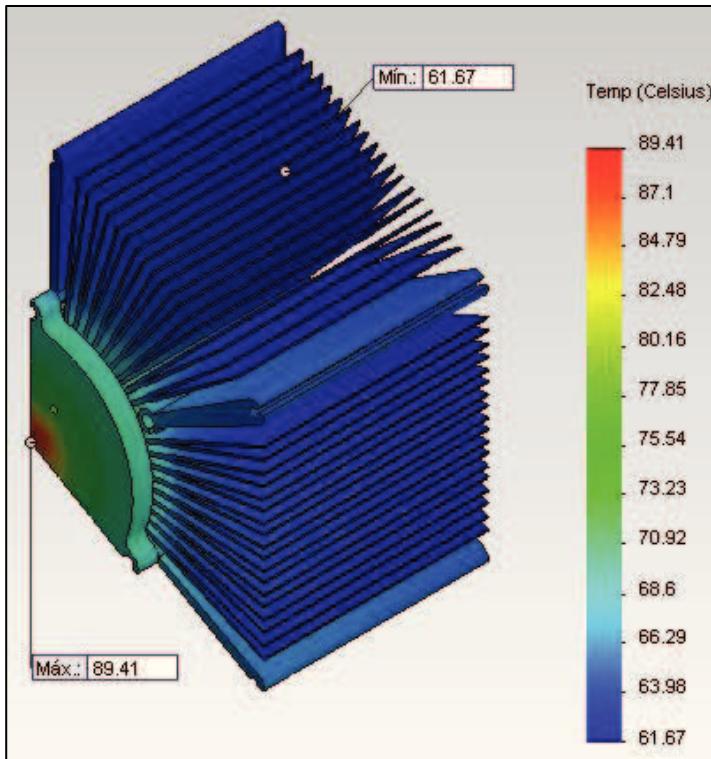
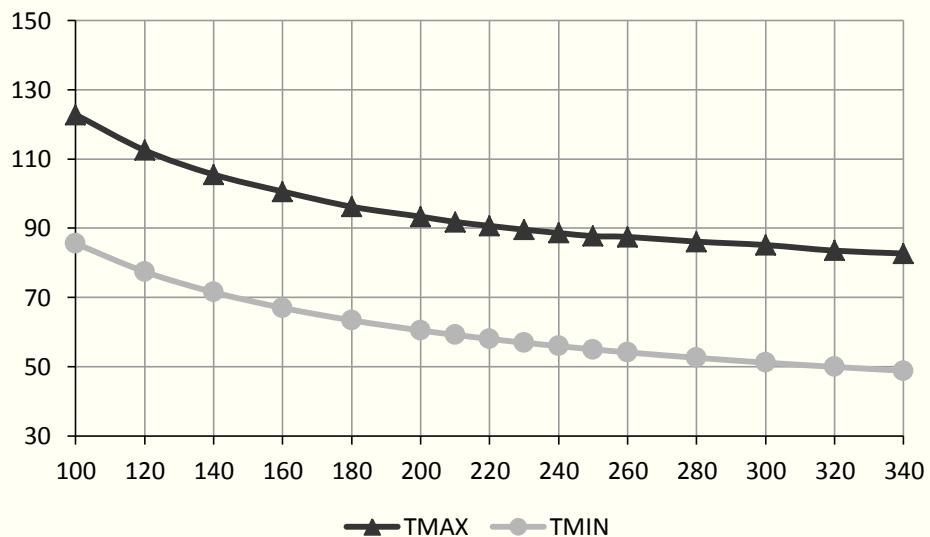


Figura 39 – Simulación del disipador I

## 8. Diseño II

Ahora simularemos el segundo de los disipadores diseñados. En este caso podemos aprovechar la simetría de la pieza y simular una sección de 60º del mismo. Probaremos una serie de longitudes del perfil partiendo de los 100mm a intervalos de 20mm y posteriormente, donde

se alcance la transición por debajo de la Tc máxima de diseño, se harán más ensayos pero a un intervalo de 10mm. Los resultados de dichos ensayos se muestran en la Gráfica 9.



Gráfica 9 – Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador II

De los datos de la gráfica anterior se puede concluir que para una longitud de 230mm se logra una temperatura máxima de 89,58°C ligeramente inferior a la máxima de diseño. En la Figura 40 se muestra la simulación de la medida anterior.

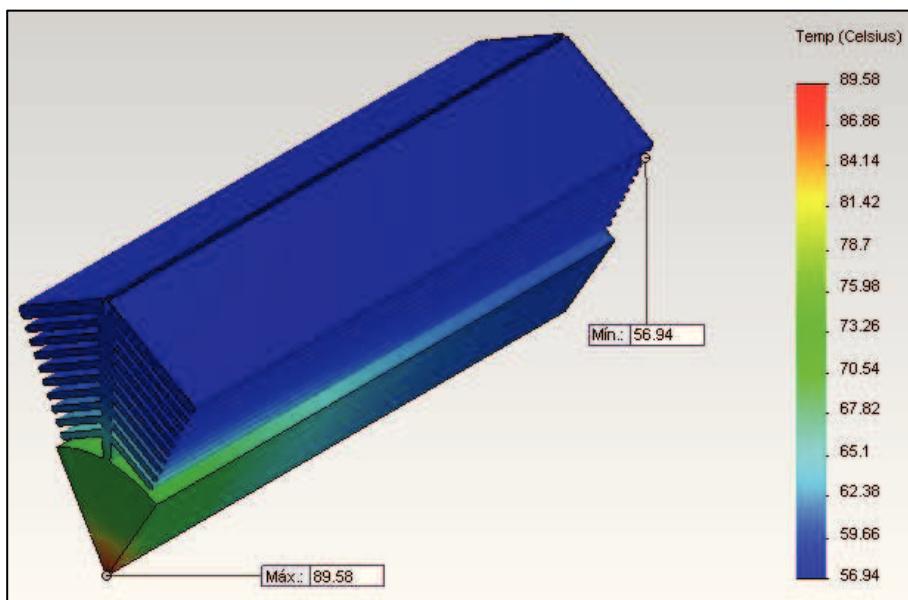
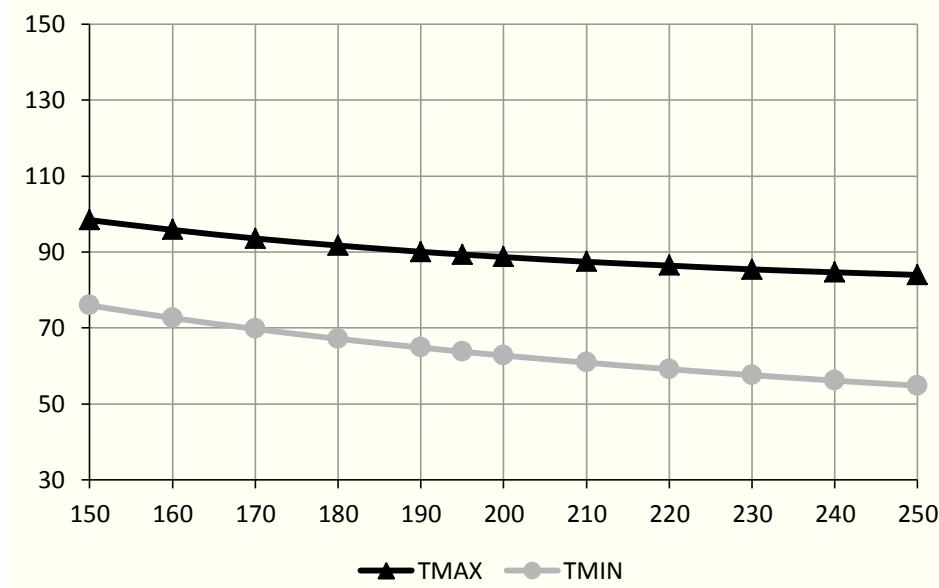


Figura 40 – Simulación del disipador II

## 9. Diseño III

El último de los disipadores diseñados presenta algunas diferencias con los anteriores en cuanto a los parámetros de simulación. Una de ellas es que la simulación se realizará de nuevo como en el diseño I, aprovechando la simetría de 120º que presenta, y la otra diferencia es que no todo el dissipador será simulado en aluminio ya que su núcleo es de cobre.

Expuestas las nuevas condiciones del disipador se procede a simular con SolidWorks un ensayo térmico para diferentes longitudes con el que deberíamos obtener la mínima medida del disipador que garantice las condiciones de funcionamiento del LED. Partimos de una longitud inicial de 150mm y la iremos incrementando a intervalos de 10mm. Los resultados se muestran en la Gráfica 10.



Gráfica 10 - Evolución de la temperatura con la longitud del perfil para el disipador III

Como se aprecia de la gráfica anterior la temperatura máxima permitida se ha encontrado entre las longitudes de 190 y 200mm por lo que se simuló una longitud intermedia de 195mm para tener mejor definición en esa franja.

Fruto de dicha simulación se ha obtenido que para una medida de 195mm el disipador ya presenta una temperatura máxima menor de 89,85°C, en concreto es de 89,35°C. Por lo que esta será la medida que escogamos en este diseño. La simulación del nivel térmico en el disipador para esa longitud se muestra en la Figura 41.

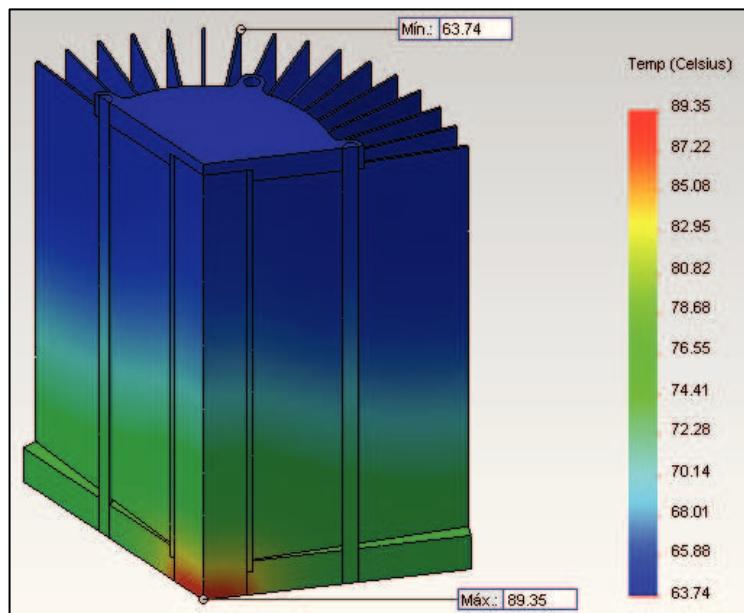


Figura 41 – Simulación del disipador III

## 10. Tablas resumen

---

En la Tabla 7 se quiere poner en común las características dimensionales, el peso y las temperaturas registradas para las diferentes alternativas simuladas. Aquellos disipadores que se han mostrado no aptos para nuestras necesidades sea cual sea su tamaño, se muestran en otra tabla (ver Tabla 8) con las dimensiones de la preselección a mero título informativo.

Modelo	Largo [mm]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	S/V [mm <sup>-1</sup> ]	Peso [gr]	Tmax [ºC]	Tmin [ºC]
8735	304,8	3,207x10 <sup>6</sup>	2,473x10 <sup>6</sup>	0,771	8.658,64	86,7	51,4
410DN	725	6,709x10 <sup>6</sup>	2,095x10 <sup>6</sup>	0,312	18.116,17	89,5	55,2
I	110	1,692x10 <sup>6</sup>	1,742x10 <sup>6</sup>	1,029	4.568,15	89,41	61,67
II	230	5,131x10 <sup>6</sup>	2,156x10 <sup>6</sup>	0,42	13.853,49	89,58	56,94
III	195	1,415x10 <sup>6</sup>	1,556x10 <sup>6</sup>	0,909	4.817,19	89,35	63,74

Tabla 7 – Resumen de los disipadores válidos simulados

Modelo	Largo [mm]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	S/V [mm <sup>-1</sup> ]	Peso [gr]	Tmax [ºC]	Tmin [ºC]
1510HS	200	1,557x10 <sup>6</sup>	6,37x10 <sup>5</sup>	0,409	4.204,7	155	107
65605	550	2,479x10 <sup>6</sup>	1,4x10 <sup>6</sup>	0,564	6.694,7	105	65,4
82160	250	1,448x10 <sup>6</sup>	0,929x10 <sup>6</sup>	0,642	3.911,42	135	81,4
CH5114	300	1,659x10 <sup>6</sup>	1,173x10 <sup>6</sup>	0,707	4.478,71	114	73,8
8714	304,8	2,725x10 <sup>6</sup>	2,31x10 <sup>6</sup>	0,848	7.357,83	91,5	52,5

Tabla 8 – Resumen de los disipadores no válidos simulados

## Conclusiones

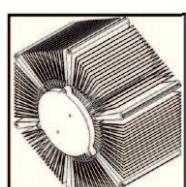
Llegados a este punto hemos recorrido un camino que comenzó con la presentación de las necesidades de evacuación de calor del LED de potencia Citiled CLL050 18 25 A1 – 50 3 M1 A2. Definimos unas condiciones de trabajo (temperatura máxima del LED y temperatura máxima del ambiente) que arrojaron un dato fundamental para la selección de elementos comerciales ya que estos se identifican por su resistencia térmica. Siete fueron los disipadores que, acorde a la información que suministraban sus distribuidores o fabricantes, podían evacuar el calor suficiente del LED de potencia como para mantenerlo por debajo de su límite máximo de funcionalidad. Adicionalmente se aportaron tres diseños no comerciales para ser ensayados bajo las mismas condiciones que los anteriores, a fin de comprobar si realmente con los primeros era suficiente o si las condiciones de alta concentración de calor en tan escasa superficie de contacto requerirían de una nueva forma de razonar el diseño del disipador apropiado.

Alejados de los diseños planos se optaron por formas cilíndricas o de revolución ya que las necesidades de potencia a evacuar se asemejan a las que presentan los modernos procesadores de ordenadores domésticos. Se tuvo en cuenta en los diseños que estos no llevarían un dispositivo mecánico para forzar la circulación del aire, como sí se da en los ordenadores, por lo que sus dimensiones deberían ser mayores. Con una batería de disipadores sobre la mesa nos dispusimos a comprobar como habían sido de acertadas todas nuestras elecciones y suposiciones. Después de haber realizado las simulaciones en Solidworks de los 10 disipadores, tanto reales como proyectados, se obtuvieron unos resultados (ver Tabla 7 y Tabla 8) de los que podemos extraer unas interesantes conclusiones que intentaremos exponer de la forma más clara y directa en este último capítulo del proyecto.

En primer lugar mencionar que se han encontrado múltiples soluciones válidas al problema presentado. De entre los cinco disipadores capaces de mantener la temperatura de la carcasa por debajo de los 89,85°C debemos escoger aquél que mejor se ajuste a unas exigencias de menor volumen, mayor relación de superficie por unidad de volumen y con un menor peso. De entre las candidatas sobresalen dos de ellas (Ver Tabla 9):

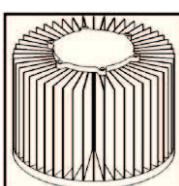
Modelo	Largo [mm]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	S/V [mm <sup>-1</sup> ]	Peso [gr]	T <sub>max</sub> [°C]	T <sub>min</sub> [°C]
I	110	1,692x10 <sup>6</sup>	1,742x10 <sup>6</sup>	1,029	4.568,15	89,41	61,67
III	195	1,415x10 <sup>6</sup>	1,556x10 <sup>6</sup>	1,099	4.817,19	89,35	63,74

Tabla 9 - Soluciones candidatas



Diseño I

- Menor peso
- Menor número de piezas
- Fabricación más sencilla



Diseño III

- Menor volumen de material
- Mayor relación superficie-volumen

El Diseño III destaca por ser el que presenta un menor volumen de material de entre los candidatos y mayor relación superficie-volumen. Tiene en su contra que, al optar por un núcleo de cobre, su peso es mayor que el del Diseño I. Ante esta circunstancia de equilibrio entre las ventajas que presenta cada uno de los diseños, deberíamos introducir una variable de elección adicional, como puede ser el coste de fabricación. Si bien queda fuera del alcance del proyecto indicar una cantidad exacta sobre lo que costaría producir cada

uno de los diseños, se aprecia que el Diseño I es más sencillo de producir y montar que el Diseño III por estar compuesto de tan solo de un perfil extruido y un disco con poco mecanizado. Por el contrario con la otra opción tenemos que el núcleo es de cobre (material más caro que el aluminio), hay que mecanizar muchas más piezas y con procesos más complejos (como el ranurado) y ensamblar un total 46 piezas que requieren de bastante más precisión que la única unión con tornillos del Diseño I. Por todo lo anterior, **la mejor solución al problema resulta ser el Diseño I.**

La segunda de las conclusiones que se deriva de este proyecto es que muchos de los modelos comerciales (5 de 7) que sobre el papel ofrecían la mínima o incluso mayor capacidad de evacuación del calor, no han resultado válidos para nuestro problema, pese a ensayarlos en diferentes longitudes de perfil cuando el fabricante ofrecía la posibilidad. Una de las causas para este comportamiento se ha encontrado en que foco del calor representa una pequeña parte de toda la superficie de contacto disponible.

Si el calor a evacuar hubiera estado repartido en una superficie de contacto mayor es probable que el comportamiento se hubiera ajustado más a los datos referidos por los fabricantes. En concreto, los modelos 1510HS, 65605 y 82160 poseen una base muy delgada que no es capaz de propagar correctamente el calor a lo largo de toda su superficie y transmitirlo a la mayor parte de las aletas, recayendo esta tarea en solo unas pocas de las aletas centrales.

La tercera conclusión, derivada de la segunda, es que para grandes concentraciones de calor en superficies pequeñas, los diseños cilíndricos o de revolución ofrecen mucho mejor resultado que los planos ya que mejoran la conducción del calor y los transportan a más aletas.

Para finalizar, una última conclusión que se ha extraído de los diferentes ensayos simulados es que el tamaño de la malla es un factor de cierta importancia. Era previsible que las más finas iban a requerir más tiempo de cálculo para obtener resultados, pero lo que realmente llamó la atención fue que algunos disipadores pasaban de no cumplir las especificaciones requeridas con un mallado a dar soluciones válidas, con cambios de hasta medio grado centígrado, tan solo aplicando un nivel más de precisión en el mallado.

## Bibliografía

---

- New COB Series.* (2009). Recuperado el 20 de marzo de 2012, de Citizen Electronics Co. LTD.:  
[http://ce.citizen.co.jp/lighting\\_led/dl\\_data/tech/en/CLL050/CLL050\\_Th\\_P1620\\_1011\\_E.pdf](http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/tech/en/CLL050/CLL050_Th_P1620_1011_E.pdf)
- New COB Series.* (2009). Recuperado el 3 de abril de 2012, de Citizen Electronics Co. LTD.:  
[http://ce.citizen.co.jp/lighting\\_led/dl\\_data/datasheet/en/5000K/CLL050-1825A1-503M1A2\\_P1786\\_1211\\_R1%280112%29\\_E.pdf](http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/datasheet/en/5000K/CLL050-1825A1-503M1A2_P1786_1211_R1%280112%29_E.pdf)
- New COB Series.* (2009). Recuperado el 20 de marzo de 2012, de Citizen Electronics Co. LTD.:  
[http://ce.citizen.co.jp/lighting\\_led/en/products/COB\\_series.html](http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/en/products/COB_series.html)
- 1000 Series.* (2012). Recuperado el 4 de abril de 2012, de Birmingham Aluminium:  
<http://www.wattbits.com/media/datasheets/1510HS.pdf>
- Aavid Thermalloy.* (2012). Recuperado el 5 de abril de 2012, de 65605:  
<http://www.aavidthermalloy.net/cgi-bin/process.php?pf=exdisp.pl&Pnum=65605&therm=0.277746635312798&airflow=57.2&AirUnits=&CType=&ExLength=550&LengthUnits=mm&SButton1=Change+Length>
- Aavid Thermalloy.* (2012). Recuperado el 5 de abril de 2012, de  
<http://www.aavidthermalloy.com/cgi-bin/process.php?pf=exdisp.pl&Pnum=82160&therm=0.271878366091565&airflow=57.2&AirUnits=LFM&CType=Natural&ExLength=250&LengthUnits=mm&SButton1=Change+Length>
- AEMET.* (2012). Recuperado el 3 de abril de 2012, de  
<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9434&k=arn>
- C&H Technology Inc.* (2012). Recuperado el 6 de abril de 2012, de Bonded fin heat sink:  
<http://catalog.chtechnology.com/Asset/CH5111.pdf>
- ESE+.* (2012). Recuperado el 22 de mayo de 2012, de  
[http://www.eseplus.es/catalogos/Catalogo\\_HOMBO-03\\_Comercial.pdf](http://www.eseplus.es/catalogos/Catalogo_HOMBO-03_Comercial.pdf)
- Espacio del color.* (2012). Recuperado el 22 de Mayo de 2012, de Wikipedia:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Espacio\\_de\\_color\\_CIE\\_1931](http://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color_CIE_1931)
- HS Marton Aerospace.* (2012). Recuperado el 6 de abril de 2012, de  
[http://hsapps.utc.com/hs\\_marston/Documents/410DN.pdf](http://hsapps.utc.com/hs_marston/Documents/410DN.pdf)
- LED Color Chart and Design Guide.* (2012). Recuperado el 22 de mayo de 2012, de Densitron Displays: [http://www.densitron.com/displays/led\\_color\\_chart.aspx](http://www.densitron.com/displays/led_color_chart.aspx)
- Shoptronica.* (2012). Recuperado el 3 de abril de 2012, de Reflectores y lentes de cristal para LED: <http://www.shoptronica.com/1339-optica-de-cristal-flydragon-de-100x21mm-20-65.html>

*UPC Plus.* (5 de Mayo de 2012). Recuperado el 2012, de  
[http://www.upcplus.com/Contents/COURSECLASSROOM/5000/CONTENTS/3\\_7.htm](http://www.upcplus.com/Contents/COURSECLASSROOM/5000/CONTENTS/3_7.htm)

*Wakefield Thermal Solutions.* (2012). Recuperado el 6 de abril de 2012, de Bonded fin heat sinks:  
[http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Wakefield%20\\_345/PDF/Wakefield\\_bonded\\_fin.pdf?redirected=1](http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Wakefield%20_345/PDF/Wakefield_bonded_fin.pdf?redirected=1)

## **Anexos**

---

### Especificaciones

1. CLL050 18 25 A1 – 50 3 M1 A2

### Planos

1. 1510HS Birmingham Aluminium
2. 65605 Aavid Thermalloy
3. 82160 Aavid Thermalloy
4. CH5114 C&H Technology Inc.
5. 8735 Wakefield Thermal Solutions
6. 410DN HS Marston Aerospace
7. Diseño I
8. Diseño II
9. Diseño III

**CLL050 18 25 A1 – 50 3 M1 A2**

---

**1. Scope of Application**

This data sheet is applied to the LED package, model CLL050-1825A1-503M1A2.

**2. Part code**

**CLL 050 - 18 25 A1 - 50 3 M1 A2**

[1] Part Code

[2] Dies in series quantity

[3] Dies in parallel quantity

[4] Correlated color temperature

[5] Chromaticity range

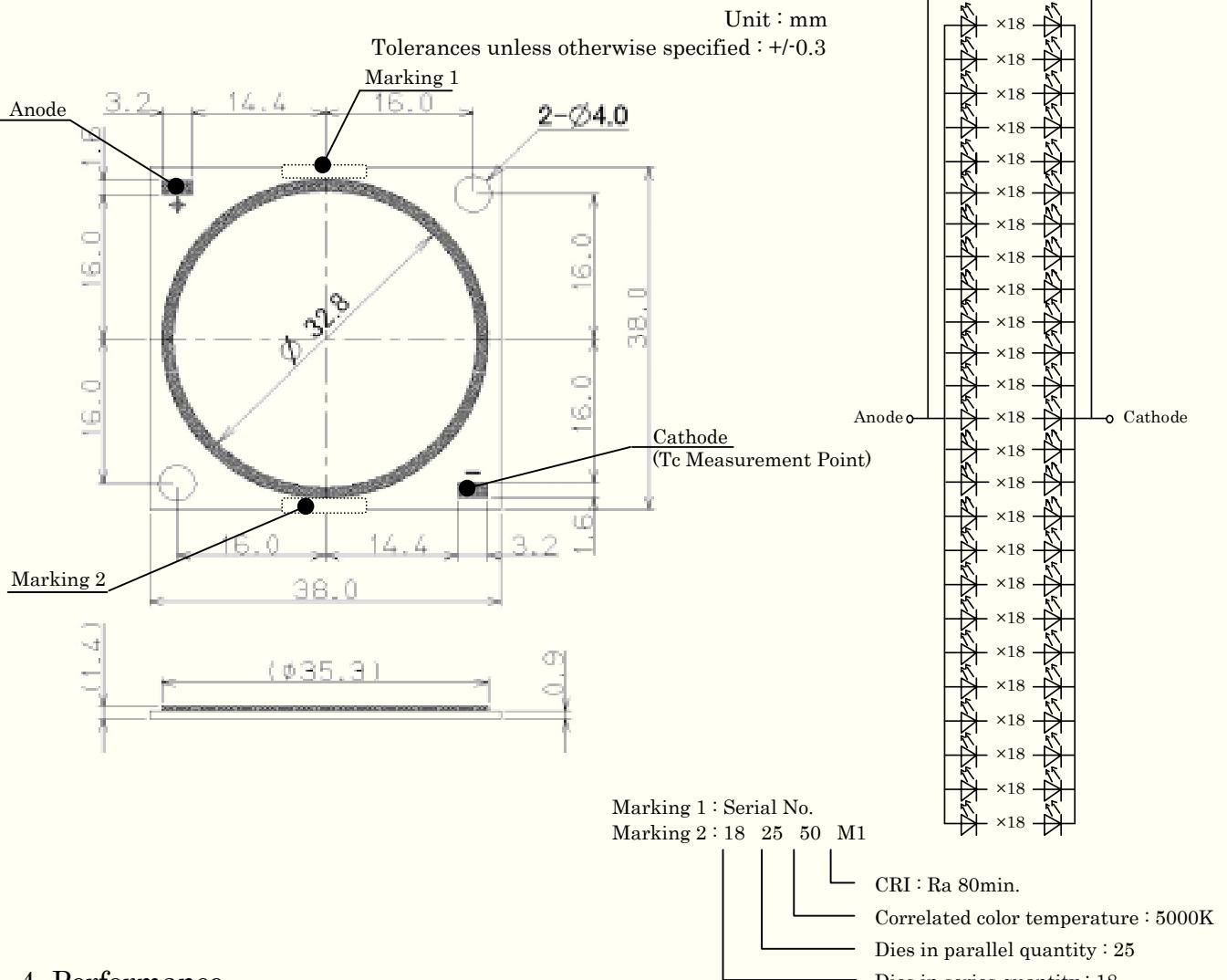
[6] CRI

**< Features >**

- External Dimensions: 38.0×38.0×1.4 mm
- Internal Structure: Aluminum Base Chip on Board
- Connection to Heat Sink: By M3 screw (Recommended)
  
- Luminous Flux: 8460 lm @ 1500 mA
- CCT: 5000 K (ANSI C78.377 Compliant, in 3-Step MacAdam Ellipse)
- CRI: Ra 80 min.
- Thermal Resistance: 0.3 C/W
  
- RoHS Compliant

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

### 3. Outline drawing - Marking



## 4. Performance

#### (1) Absolute Maximum Rating

Absolute Maximum Rating			
Parameter	Symbol	Rating Value	Unit
Input Power	P <sub>i</sub>	200.5	W
Forward Current	I <sub>F</sub>	3000	mA
Reverse Current	I <sub>R</sub>	1	mA
Operating Temperature	T <sub>op</sub>	-30 ~ +85	C
Storage Temperature	T <sub>st</sub>	-40 ~ +100	C
Case Temperature	T <sub>c</sub>	100	C
Junction Temperature	T <sub>j</sub>	150	C

\*1 Input power and forward current are the values when the LED is used within the range of the derating curve in this data sheet.

\*2 Refer to 3. Outline drawing for Tc measurement point

\*3 D.C. Current :  $T_j = T_c + R_{j-c} X P_i$

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO. LTD. JAPAN	

## (2) Electro-optical Characteristics

Tc=25C

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max	Unit
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =1500 mA	50.4	54.9	59.8	V
Luminous Flux	Φv	I <sub>F</sub> =1500 mA	7190	8460	-	lm
CRI	R <sub>a</sub>	I <sub>F</sub> =1500 mA	80	-	-	-
Thermal Resistance	R <sub>j-c</sub>	Junction-Case	-	0.3	-	C/W

Chromaticity coordinates ( Condition : IF=1500mA, Tc = 25C)

Center	
x	y
0.3447	0.3553
Oval parameter	
a	0.00822
b	0.00354
θ°	59.62

Reference (ANSI C78.377)

5000K	Center	x	y
		a	b
	Center	0.3447	0.3553
	a	0.3551	0.3760
	b	0.3376	0.3616
	c	0.3366	0.3369
	d	0.3515	0.3487

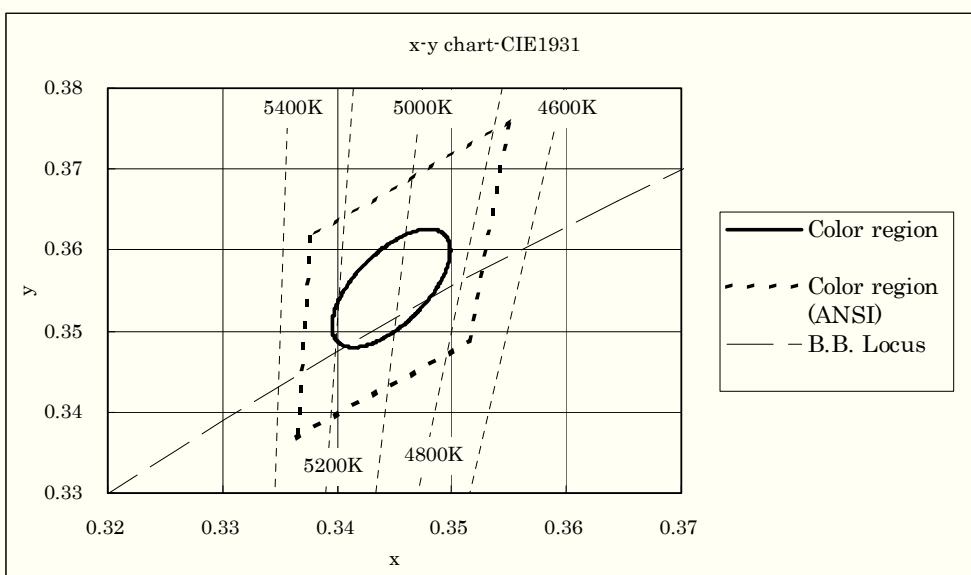
\*Color region stay within MacAdam "3-step" ellipse from the chromaticity center.

\*The chromaticity center refers to ANSI C78.377:2008.

Please refer to ANSI C78.377 for the chromaticity center.

\*θ is the angle between the major axis of the ellipse and the x-axis,

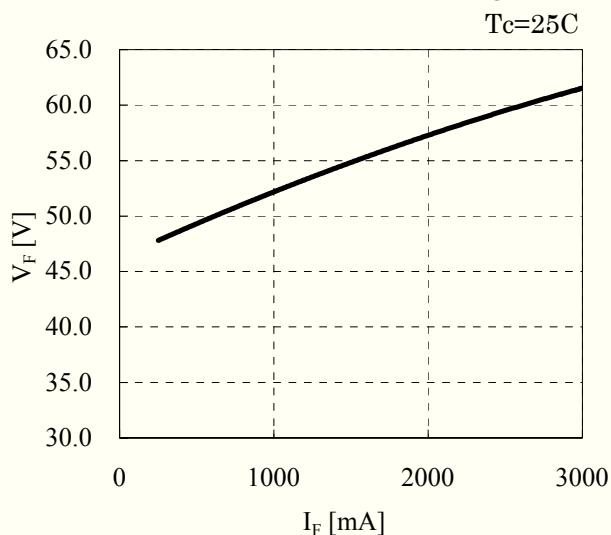
and a and b are the major and minor semi-axes of an ellipse. (Ref. IEC 60081-1997 AnnexD)

Note: The tolerance of measurement at our tester is V<sub>F</sub>+/-3% , Φv+/-10% , Chromaticity(x,y)+/-0.005 and Ra+/-1.

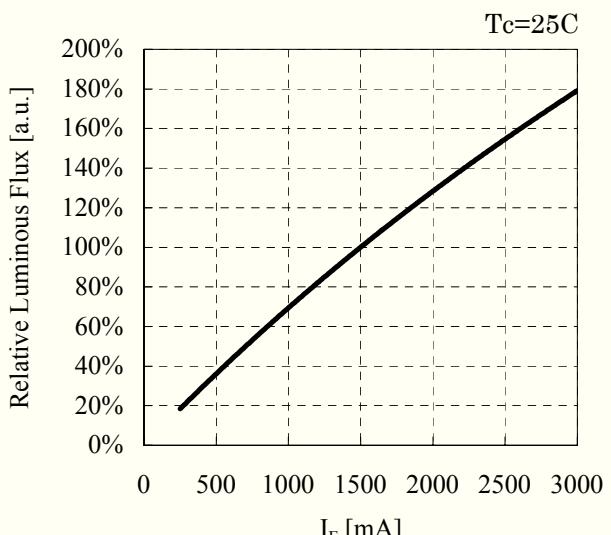
Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 5. Characteristics

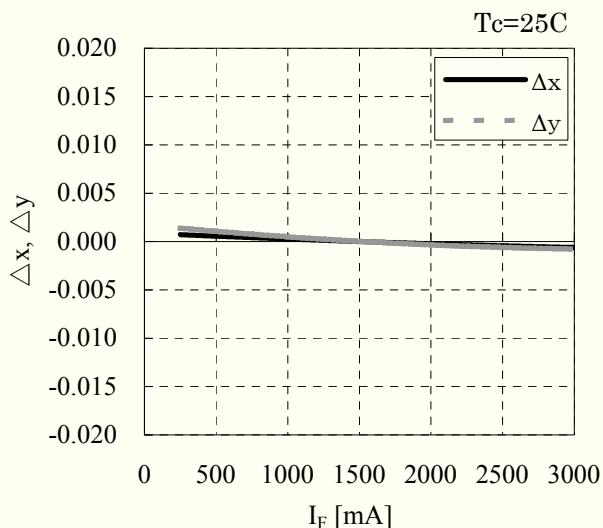
Forward Current vs. Forward Voltage



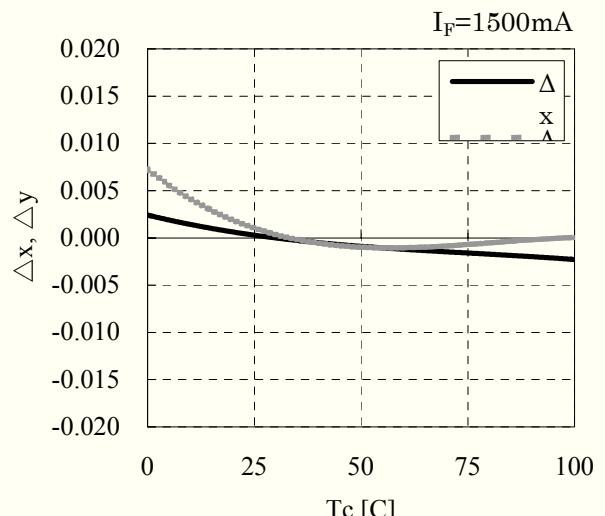
Forward Current vs. Relative Luminous Flux



Forward Current vs. Chromaticity Coordinate

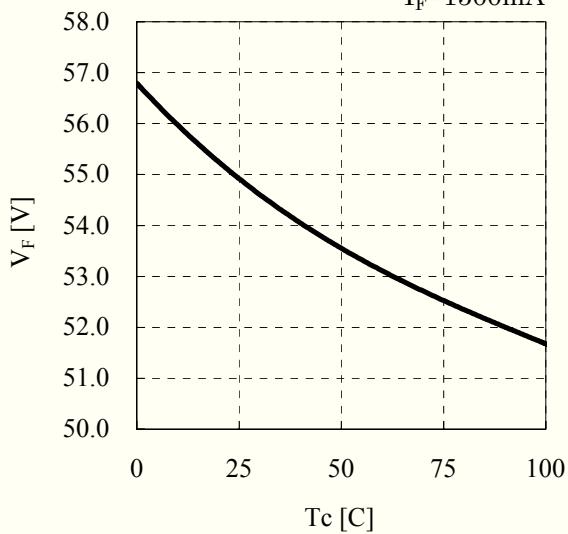


Case Temperature vs. Chromaticity Coordinate

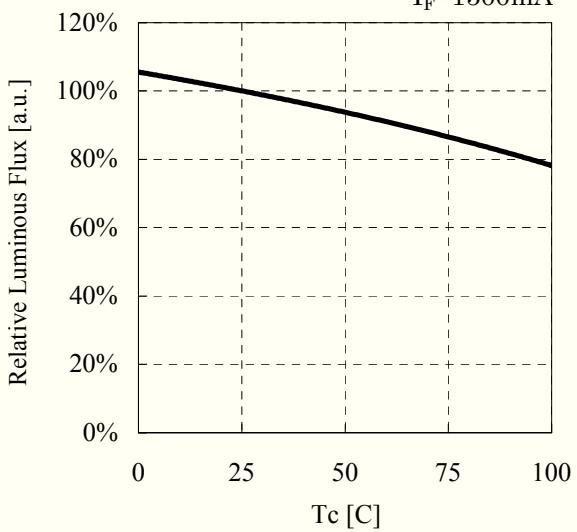


Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD. JAPAN	

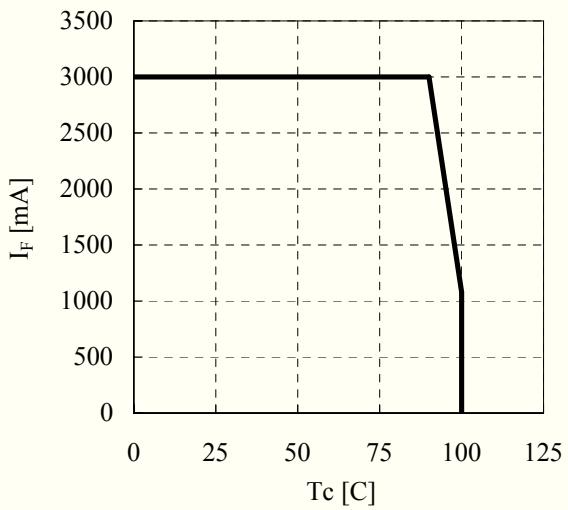
Case Temperature vs. Forward Voltage

 $I_F=1500\text{mA}$ 

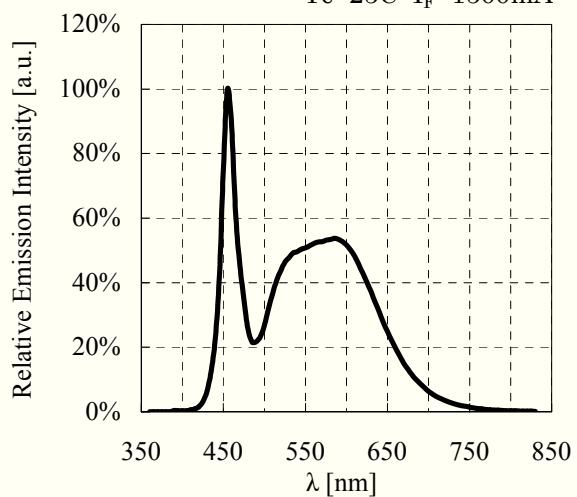
Case Temperature vs. Relative Luminous Flux

 $I_F=1500\text{mA}$ 

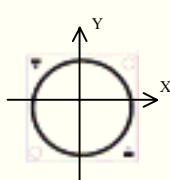
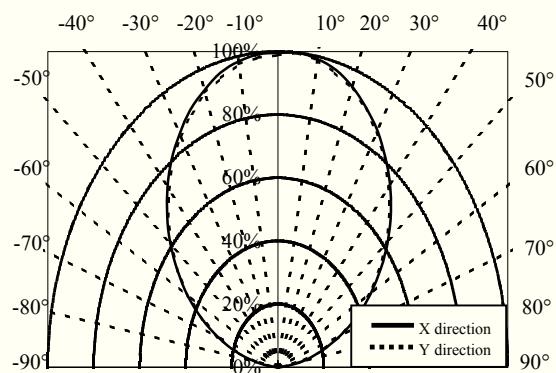
Case Temperature vs. Allowable Forward Current



Spectrum

 $T_c=25^\circ\text{C} I_F=1500\text{mA}$ 

Directive Characteristic



Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 6. Reliability

### (1) Details of the tests

Test Item	Test Condition
Continuous Operation Test	T <sub>a</sub> =25 C, I <sub>F</sub> =1500 mA× 1000 hours(with Al-fin)
	I <sub>Fmax</sub> =3000 mA T <sub>jmax</sub> =150C× 1000 hours(with Al-fin)
Low Temperature Storage Test	-40 C × 1000 hours
High Temperature Storage Test	100 C × 1000 hours
Moisture-proof Test	85 C, 85 %RH for 500 hours
Thermal Shock Test	-40 C × 30 minutes – 100 C × 30 minutes, 100 cycle

### (2) Judgement Criteria of Failure for Reliability Test

(T<sub>a</sub>=25C)

Measuring Item	Symbol	Measuring Condition	Judgement Criteria for Failure
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =1500 mA	>U X 1.1
Total Luminous Flux	Φ <sub>v</sub>	I <sub>F</sub> =1500 mA	<S X 0.85

U defines the upper limit of the specified characteristics. S defines the initial value.

Note : Measurement shall be taken between 2 hours and 24 hours, and the test pieces should be return to the normal ambient conditions after the completion of each test.

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 7. Packing Specifications

### (1) Packing

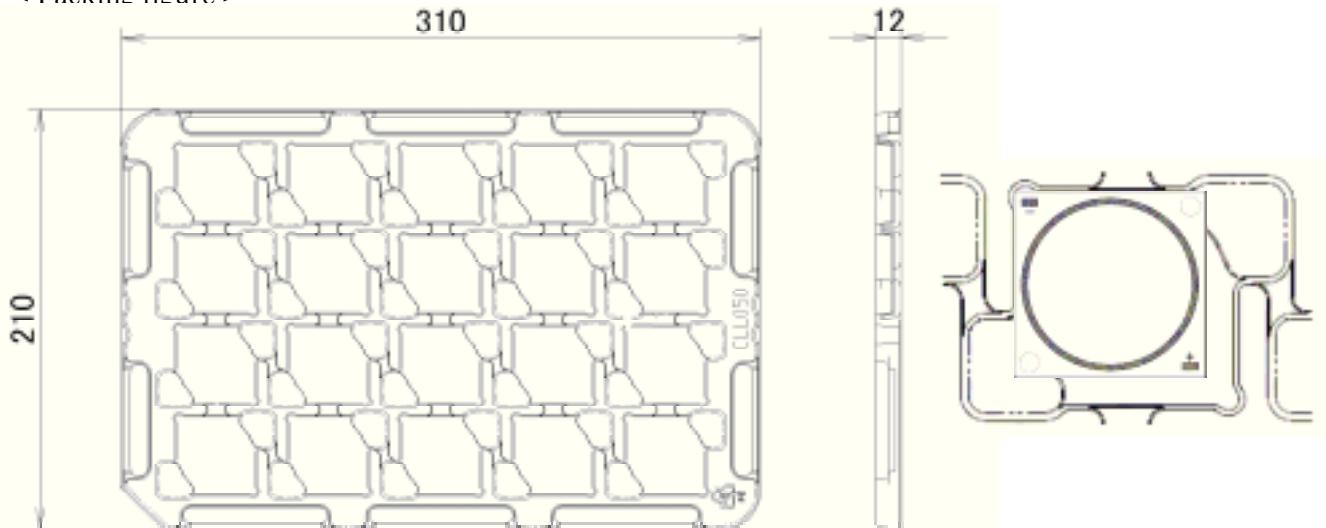
An empty tray is placed on top of a six-tier tray which contain 20 pieces each. The set of seven trays is banded together with two rubber bands.

(Smallest packing unit: 120 pieces)

A label with product name, quantity, lot number is placed on the upper empty tray.

Tray (Dimensions: 310 × 210 × 12 mm / Materials: Electrically conductive PS)

< Packing figure >



Product 20 pcs/tray

### < Example of indication label >

<b>CUSTOMER</b>			
TYPE : CLL050-*****-*****-(1)			
P. NO : *****	---(2)		
Lot No: *****	---(3)		
Q'ty : ***	---(4)		
CITIZEN ELECTRONICS			

1. TYPE e.g. CLL050-1825A1-503M1A2

2. P.No. (Cutomer's P/N) e.g. 50008-010-1203303M1

3. Lot No.

- First and second letter: Last digit of the year e.g. 11 : year 2011

- Third letter: Production month e.g. 8 : August

Note: October, November and December are designated

- Forth letter: CE's control number e.g. 5035

4. Quantity

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 8. Precautions

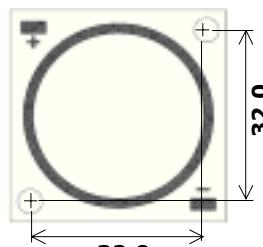
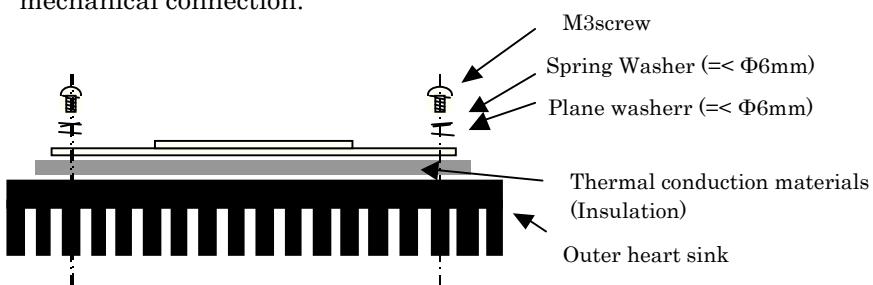
1. Avoid the application of any stress to the resin portion.
2. Avoid any contact by a sharp metal nail or other materials with the resin portion.



Resin portion (including white resin)

### 3. Precautions for product assembly

- When the LED package is attached to the heat sink by M3 screws, please be careful not to apply too much stress to the LED package. For example, fix the screws firmly after temporarily fixing them.
- Attachment to heat sink conditions such as tightening torque for screws should be optimized in accordance with the specifications for heat sinks. In addition, asperity or burrs harms the thermal connection between the LED package and heat sink. So please ensure correct contact to keep both thermal and mechanical connection.



Recommended installation screw pitch

4. Insulation of the thermal section from the heat sink section of the LED has been confirmed up to 500V. However, for voltages higher than 500V, the customer should confirm the level of insulation themselves or contact Citizen Electronics. With regard to insulation after this product has been assembled in an apparatus, preventive action should be carried out by the customer.

5. For fixing this product to the outer heat sink, heat grease should be applied to the whole rear deformation when conducting the clamping operation with heat grease in sheet form.

### 6. Handling of static electricity

- These products are sensitive to static electricity charge. Please take measures to prevent any static electricity being produced such as the wearing of a wristband or anti-static gloves when handling this product.
- All devices, equipment and machinery must be properly grounded. It is recommended that precautions be taken against surge voltage to the equipment that mounts the LEDs.
- ESD sensitivity of this product is 1000V (HBM, based on JEITA ED-4701/304).
- When inspecting the final products in which LEDs were assembled, it is recommended to check whether the assembled LEDs are damaged by static electricity or not.
- It is easy to find static-damaged LEDs by a light-on test.

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 8. Precautions (continued)

### 7. Lighting at a low current

A minimum current value of lighting of all dice is 125mA.

When a minimum current is applied, LED dice may look different in their brightness due to the individual difference of the LED element, and it is not a failed product.

### 8. Please be aware that this product should not come into contact with any other parts in assembled status.

### 9. Drive circuit

- A constant current circuit is recommended as a drive circuit.  
And when two or more LED packages are connected, the series connection between each package is recommended.
- Please design a circuit that prevents any reverse voltage (excess current) from being applied to this product instantaneously when the circuit is ON or OFF.

### 10. Heat generation

- As this product is designed with consideration of the heat release property of module, a heat release design is required to use this product efficiently.  
Please ensure that heat generation is not in excess of the absolute maximum rating.  
(Refer to 4-1 Performance)
- Factors responsible for an increase in temperature include heat generation attributed to ambient temperature conditions or power dissipation. Thus, drive conditions should be taken into consideration, depending on ambient temperature (Ta).

### 11. Recommended soldering condition (This product is not adaptable to reflow process)

- Manual soldering
  - Soldering shall be implemented using a soldering bit of 40W or less with a temperature 350°C or less within 3.5 seconds for one land.  
(Recommended condition in a case of lead-free solder condition)
  - No external force shall be applied to resin part during soldering.
  - Next process of soldering should be carried out after the product has returned to ambient temperature.
- For soldering correction
  - Regarding soldering correction, above conditions shall be used.
  - Contacts number of soldering bit should be within twice for each terminal as a correction.

\* Citizen Electronics cannot guarantee if usage exceeds this recommended conditions.

Please use it after sufficient verification is carried out on your own risk if necessary.

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 8. Precautions (continued)

### 12. Eye Safety

- The International Electrical Commission (IEC) published in 2006 IEC 62471 "2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems" which includes LEDs within its scope. When sorting single LEDs according to IEC 62471, most white LEDs can be classified as belonging to either Exempt Group or Risk Group 1.
- However, Optical characteristics of LEDs such as radiant flux, spectrum and light distribution are factors that affect the risk group determination of the LED, and especially a high-power LED, that emits light containing blue wavelengths, may have properties equivalent to those of Risk Group 2.
- Great care should be taken when directly viewing an LED that is driven at high current, has multiple uses as a module or when focusing the light with optical instruments, as these actions may greatly increase the hazard to your eyes.
- It is recommended to regard the evaluation of stand-alone LED packages as a reference and to evaluate the customer's final product.

- 13. If the product might to be used under the following conditions, the customer must evaluate its appropriateness them. This product is not designed for use under the following conditions. in places where the product might:
  - get wet due to rain
  - suffer from damage caused by salt.
  - be exposed to corrosive gas such as Cl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and so on.
  - be exposed to dust, fluid or oil.

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

## 9. Precautions with regard to product use

1. This document is provided for reference purposes only so that CITIZEN ELECTRONICS' products are used as intended. CITIZEN ELECTRONICS neither makes warranties or representations with respect to the accuracy or completeness of the information contained in this document nor grants any license to any intellectual property rights or any other rights of CITIZEN ELECTRONICS or any third party with respect to the information in this document.
2. All information included in this document such as product data, diagrams, charts, is current as of the date this document is issued.  
Such information, however, is subject to change without any prior notice.  
Before purchasing or using any CITIZEN ELECTRONICS' products listed in this document, please confirm the latest product information with a CITIZEN ELECTRONICS' sales office, and formal specifications must be exchanged and signed by both parties prior to mass production.
3. CITIZEN ELECTRONICS has used reasonable care in compiling the information included in this document,  
but CITIZEN ELECTRONICS assumes no liability whatsoever for any damages incurred as a result of errors or omissions in the information included in this document.
4. Absent a written signed agreement, except as provided in the relevant terms and conditions of sale for product, and to the maximum extent allowable by law, CITIZEN ELECTRONICS assumes no liability whatsoever, including without limitation, indirect, consequential, special, or incidental damages or loss, including without limitation, loss of profits, loss of opportunities, business interruption and loss of data, and disclaims any and all express or implied warranties and conditions related to sale, use of product, or information, including warranties or conditions of merchantability, fitness for a particular purpose, accuracy of information, or no infringement.
5. Though CITIZEN ELECTRONICS works continually to improve products' quality and reliability, products can malfunction or fail. Customers are responsible for complying with safety standards and for providing adequate designs and safeguards to minimize risk and avoid situations in which a malfunction or failure of a product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property, including data loss or corruption.  
In addition, customers are also responsible for determining the appropriateness of use of any information contained in this document such as application cases not only with evaluating by their own but also by the entire system.  
CITIZEN ELECTRONICS assumes no liability for customers' product design or applications.
6. Please contact CITIZEN ELECTRONICS' sales office if you have any questions regarding the information contained in this document, or if you have any other inquiries.

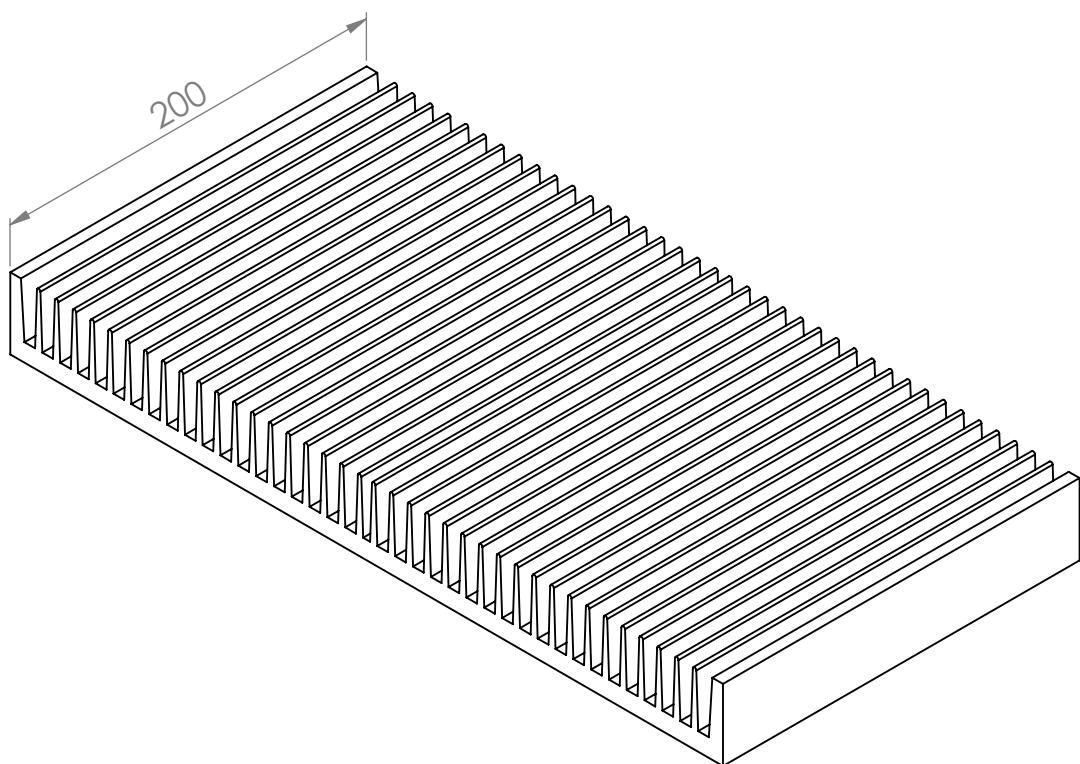
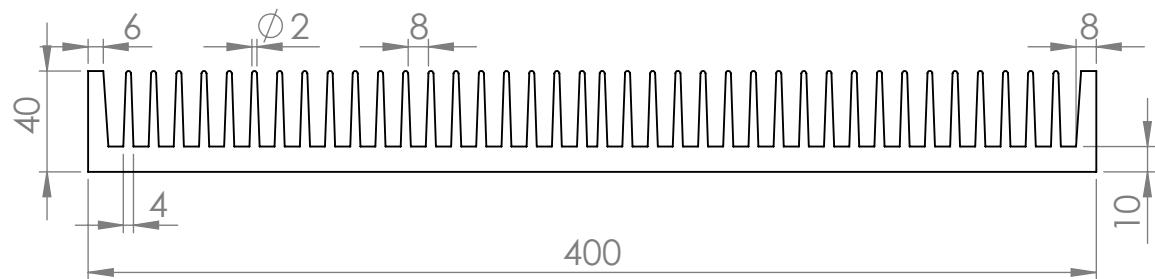
CITIZEN Micro HumanTech is a registered trademark of Citizen Holding Co., Japan.

CITILED is a registered trademark of CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD. Japan

Symbol	CITILED
Name	CLL050-1825A1-503M1A2
CITIZEN ELECTRONICS CO.,LTD. JAPAN	

---

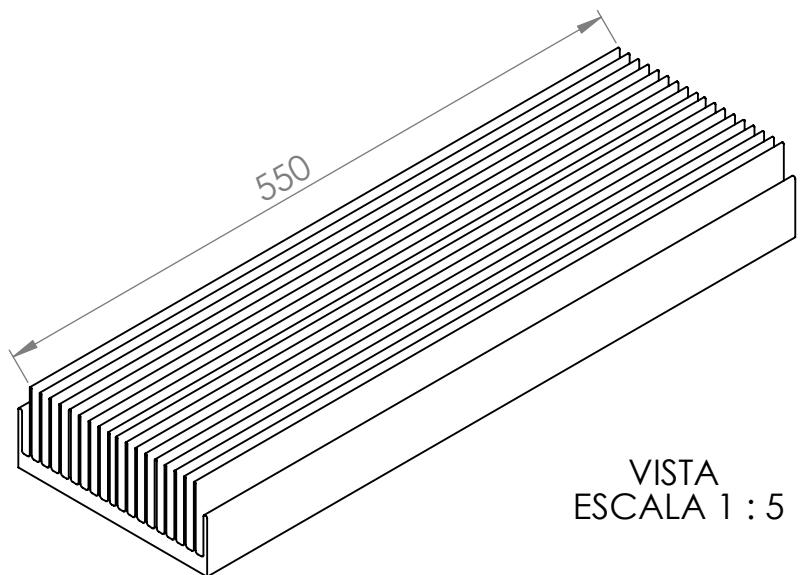
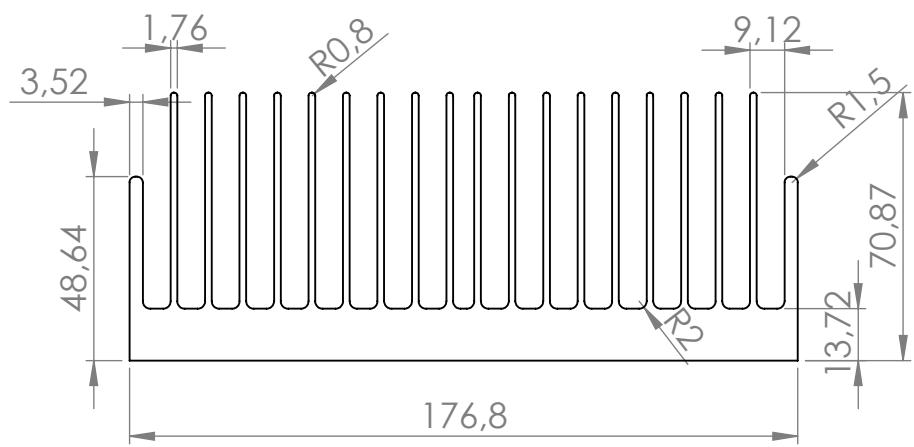
**1510HS Birmingham Aluminium**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			
VERIF.					TÍTULO:	
APROB.					HS1510 Birmingham Aluminium	
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico					
CALID.					N.º DE DIBUJO	
						A4
					PESO:	HOJA 1 DE 1
					ESCALA:1:3	

**65605 Aavid Thermalloy**

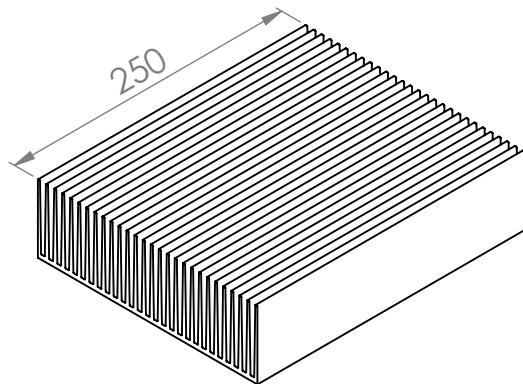
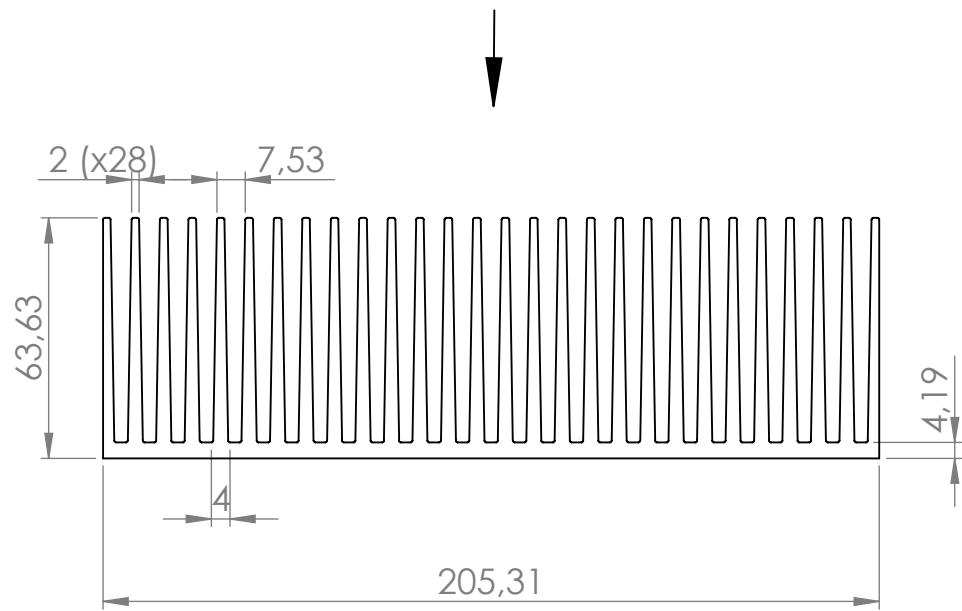
---



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
VERIF.					TÍTULO:	65605 Aavid Technology	
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.							
					PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

**82160 Aavid Thermalloy**

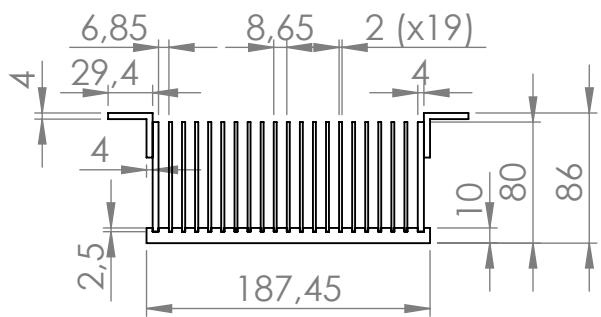
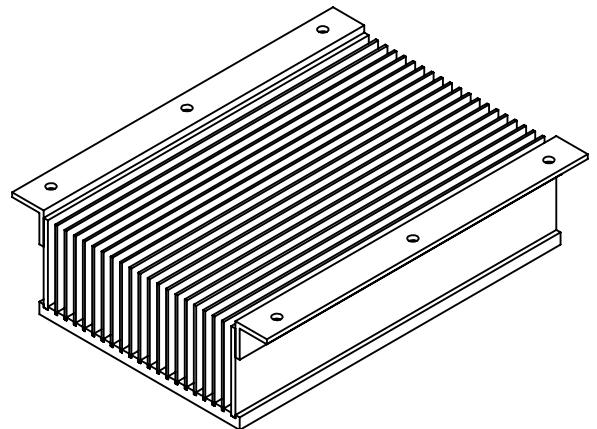
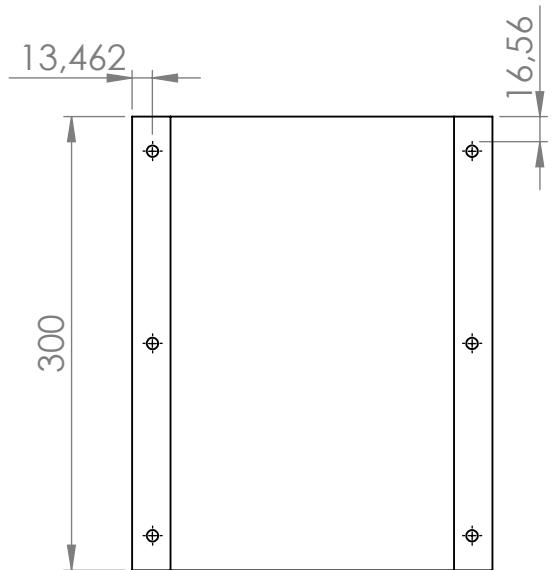
---



VISTA  
ESCALA 1 : 5

**CH5114 C&H Technology Inc.**

---

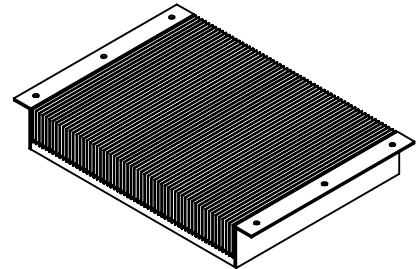
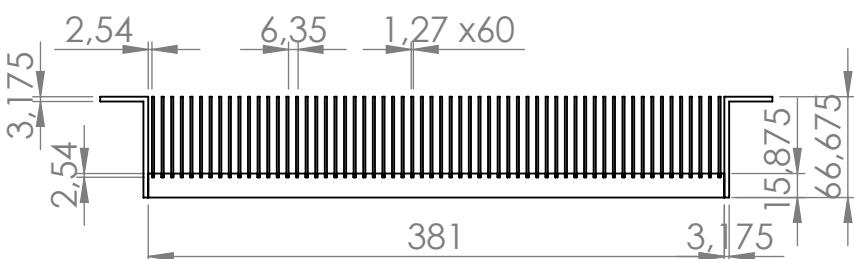
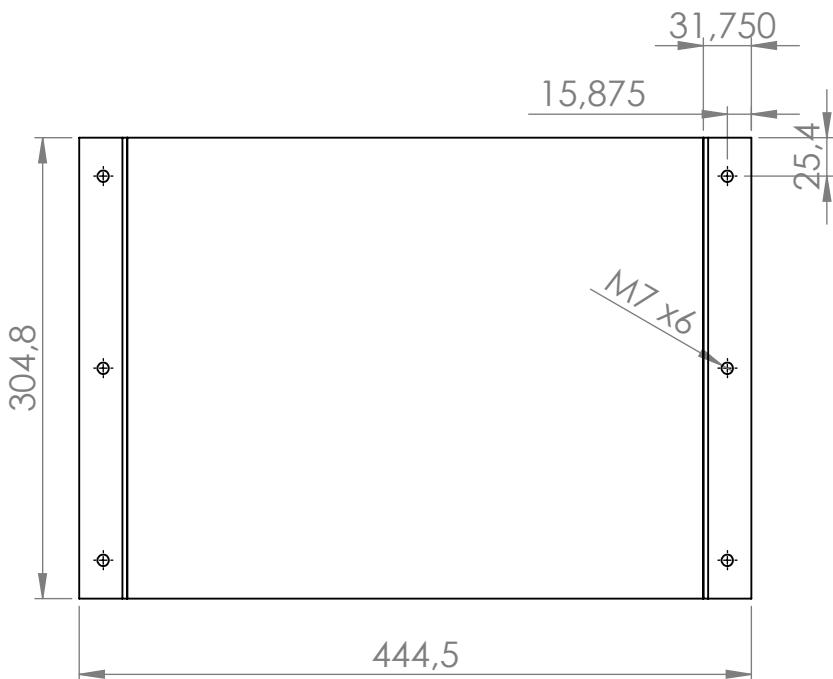


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.						
APROB.						
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.			ALUMINIO	N.º DE DIBUJO	A4
CALID.						
					ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1
			PESO:			

CH5114 C&H Technology

**8735 Wakefield Thermal Solutions**

---

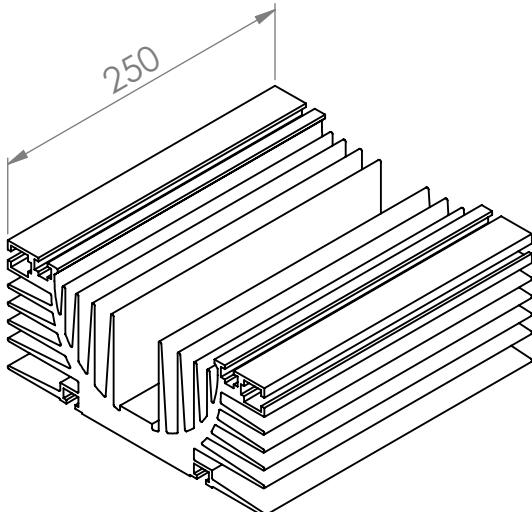
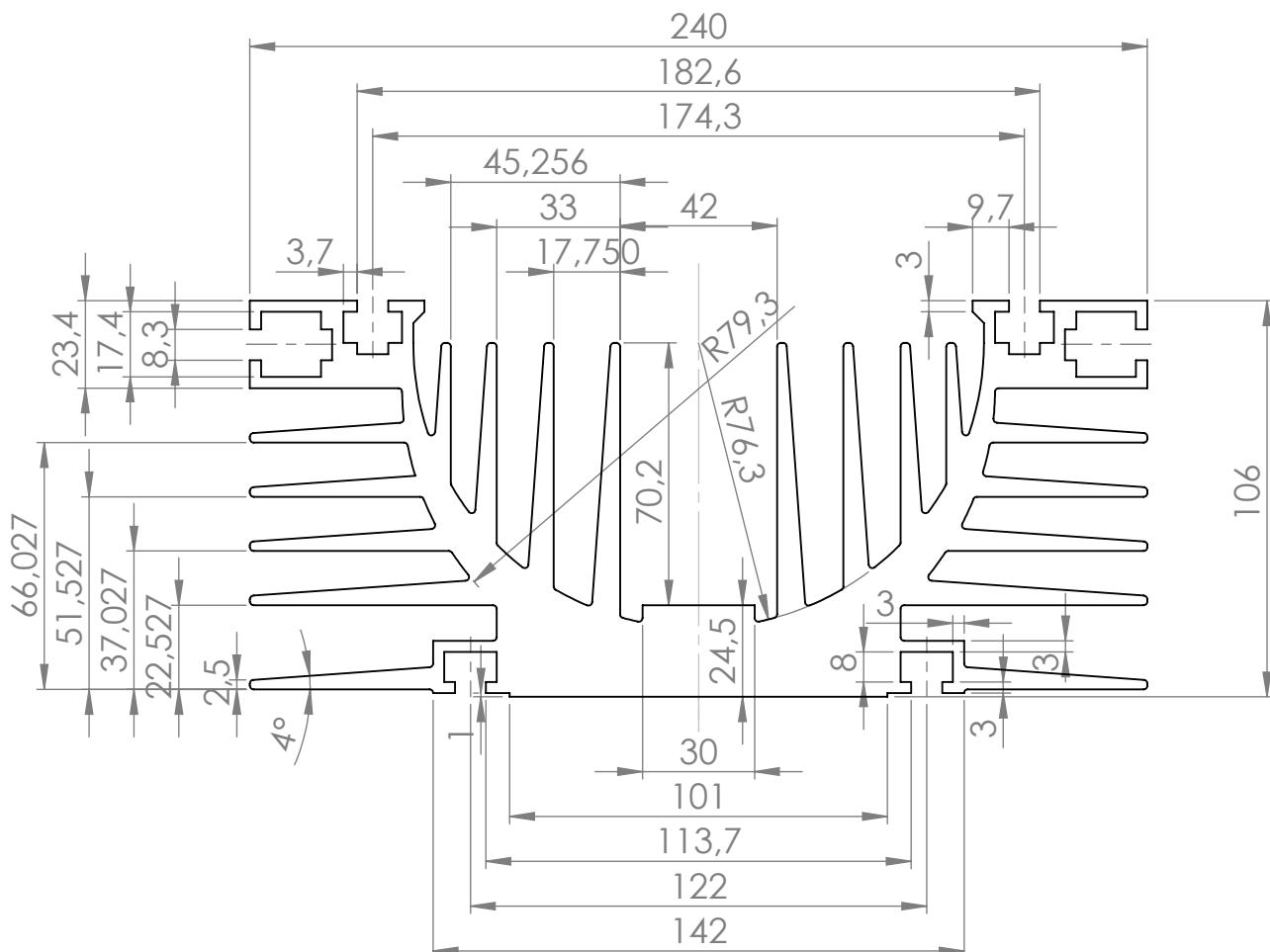


VISTA  
ESCALA 1 : 10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	8735 Wakefield Thermal Solutions
VERIF.							
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	
CALID.							A4
					PESO:	HOJA 1 DE 1	
					ESCALA:1:5		

**410DN HS Marston Aerospace**

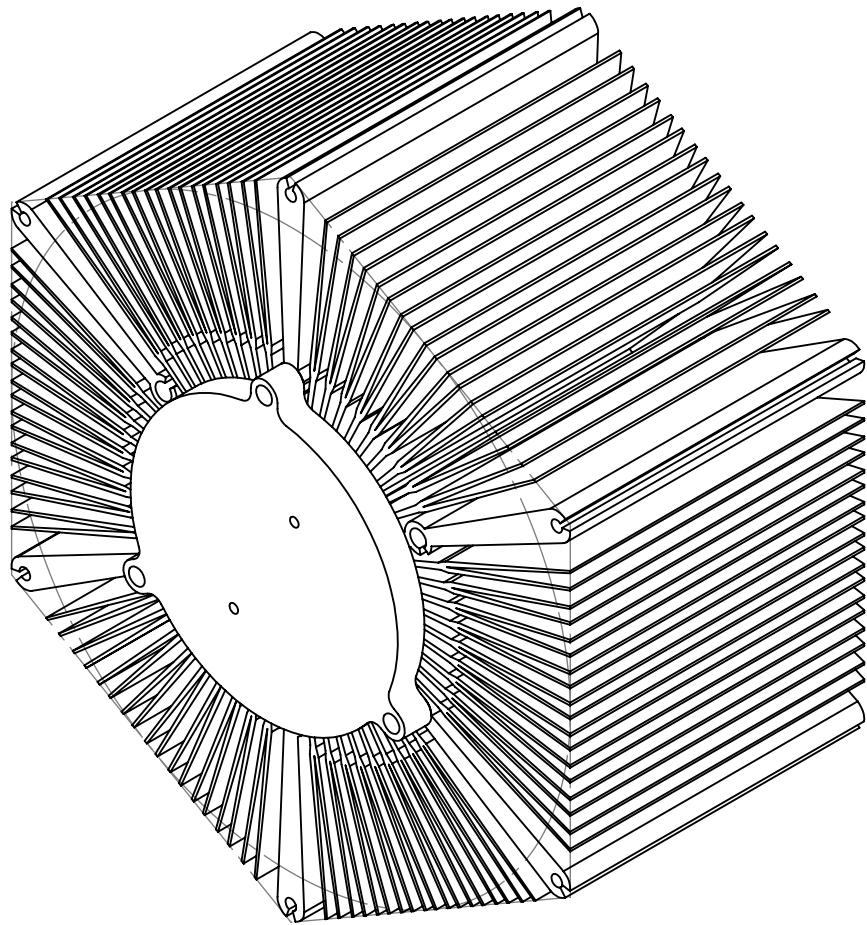
---



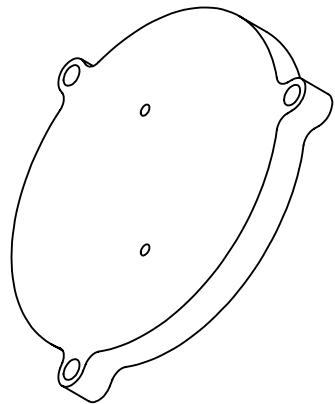
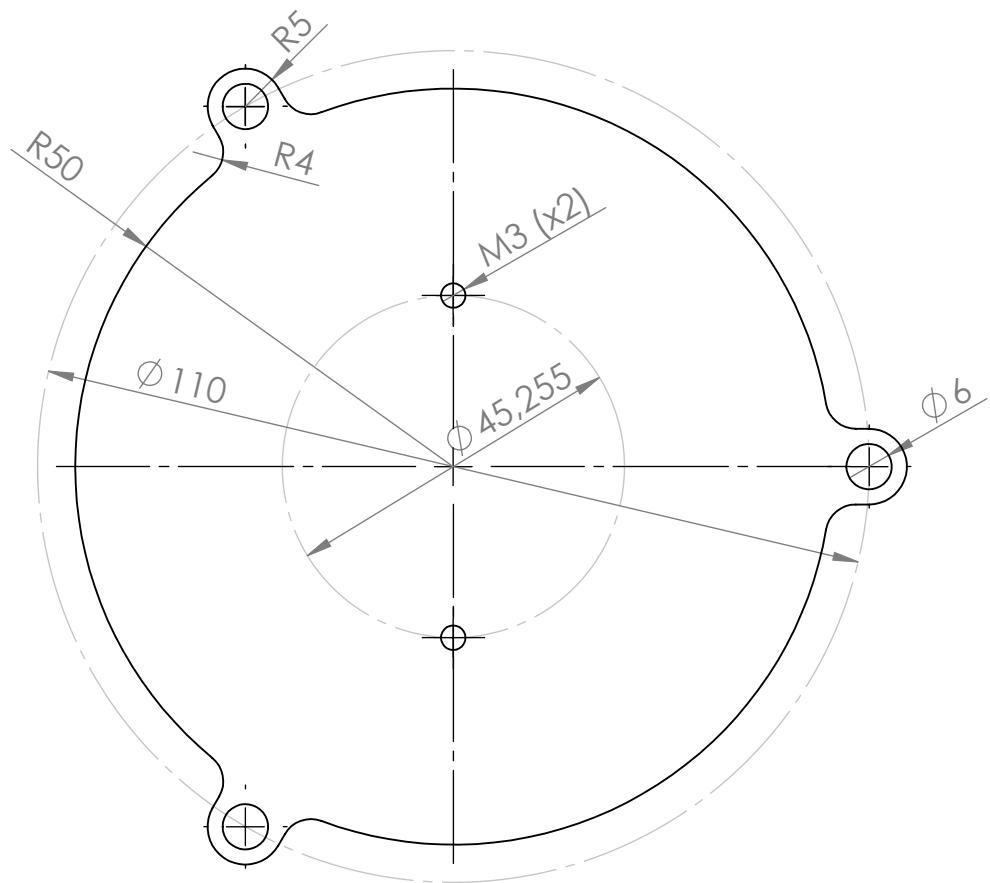
VISTA  
ESCALA 1 : 5

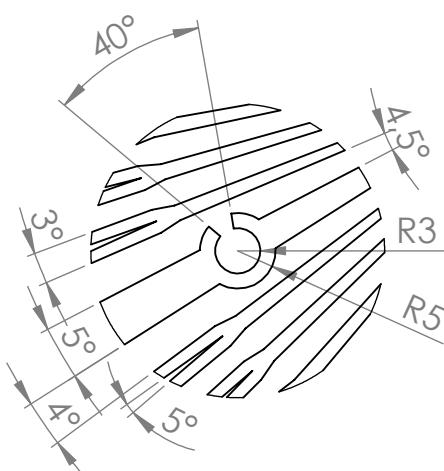
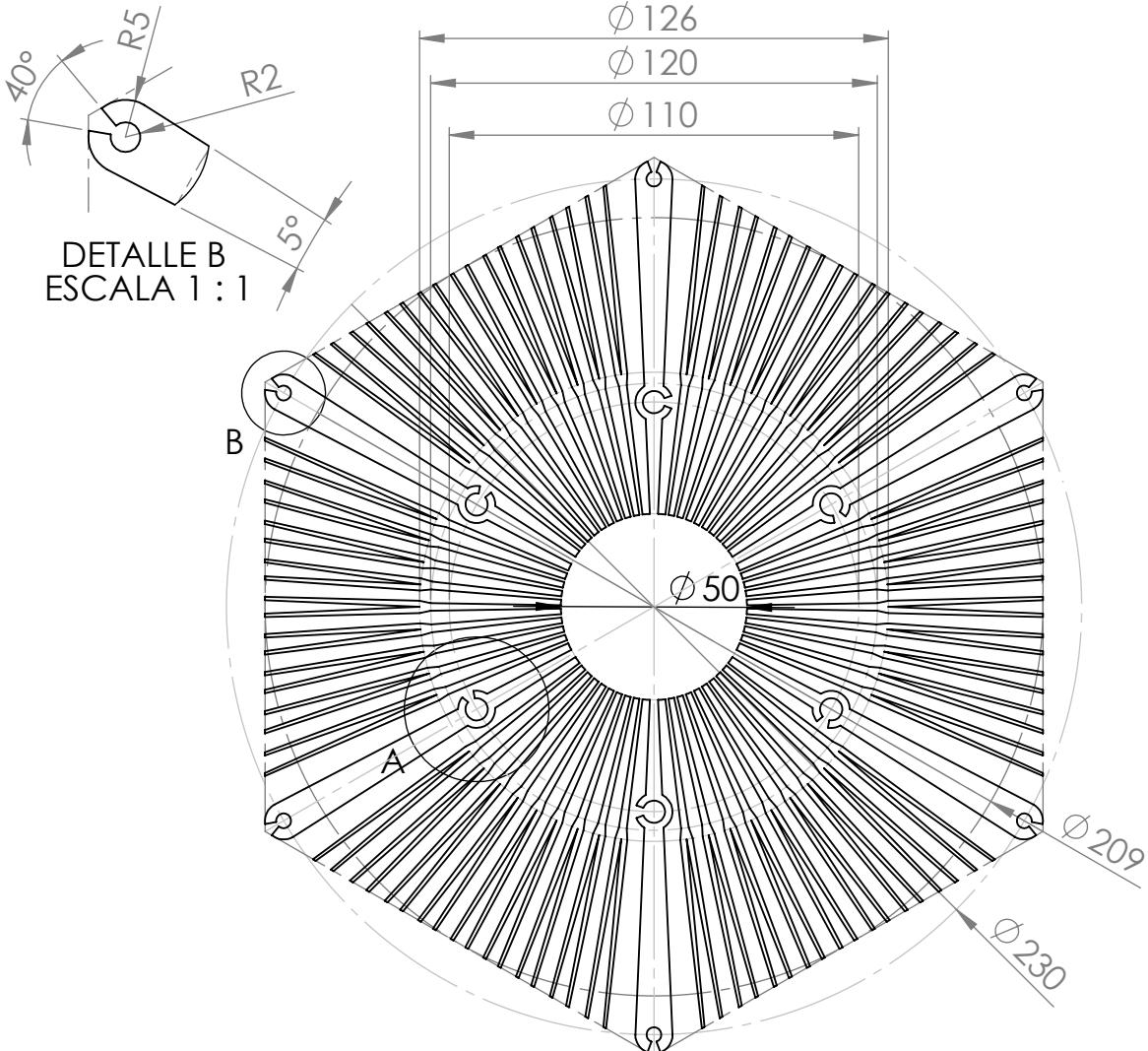
## **Diseño I**

---

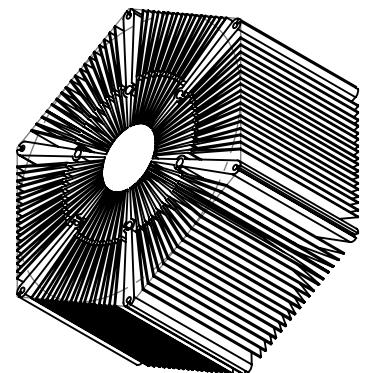


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
VERIF.					TÍTULO:	DISEÑO I	
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.							
					PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 3





DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

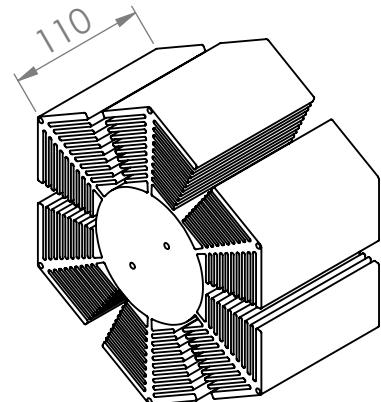
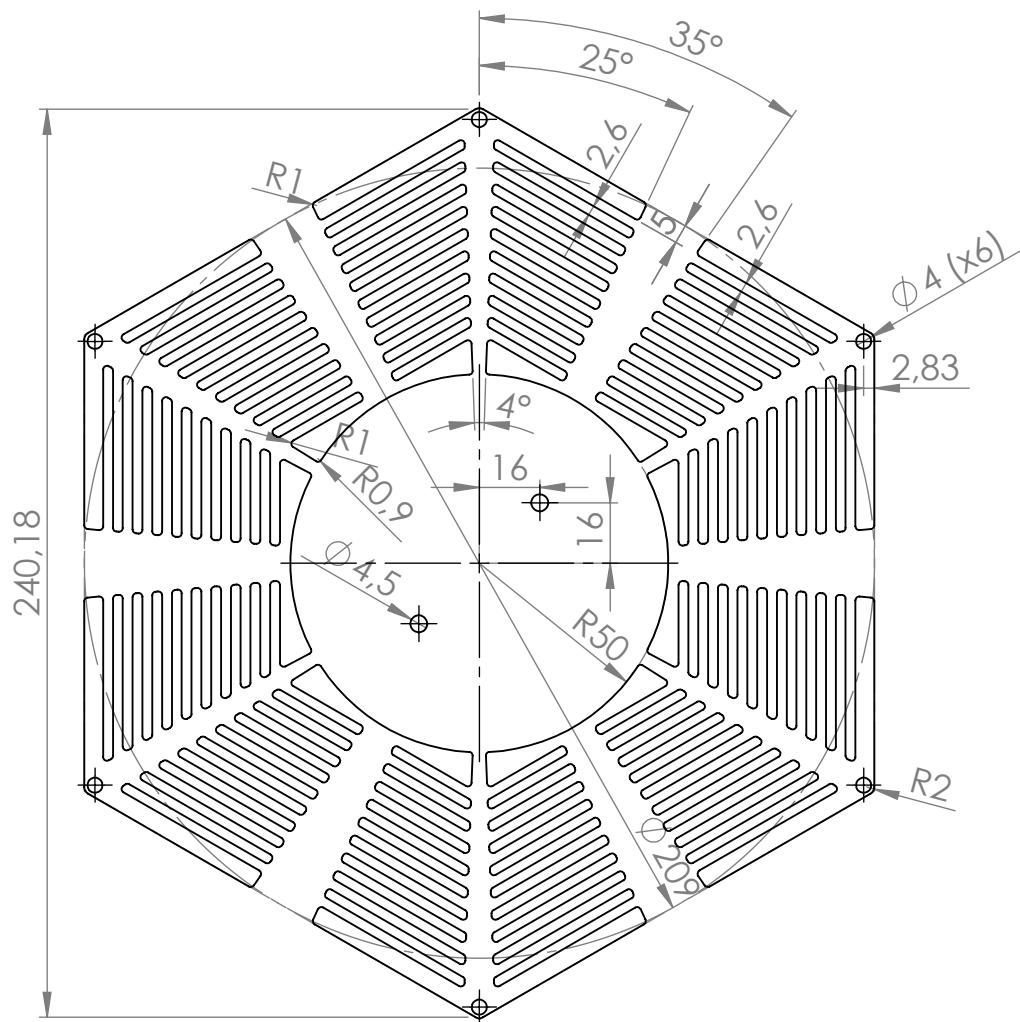


VISTA  
ESCALA 1 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
VERIF.					TÍTULO:	DISIPADOR	
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.	ALUMINIO						
	PESO:					ESCALA:1:2	HOJA 3 DE 3

## **Diseño II**

---

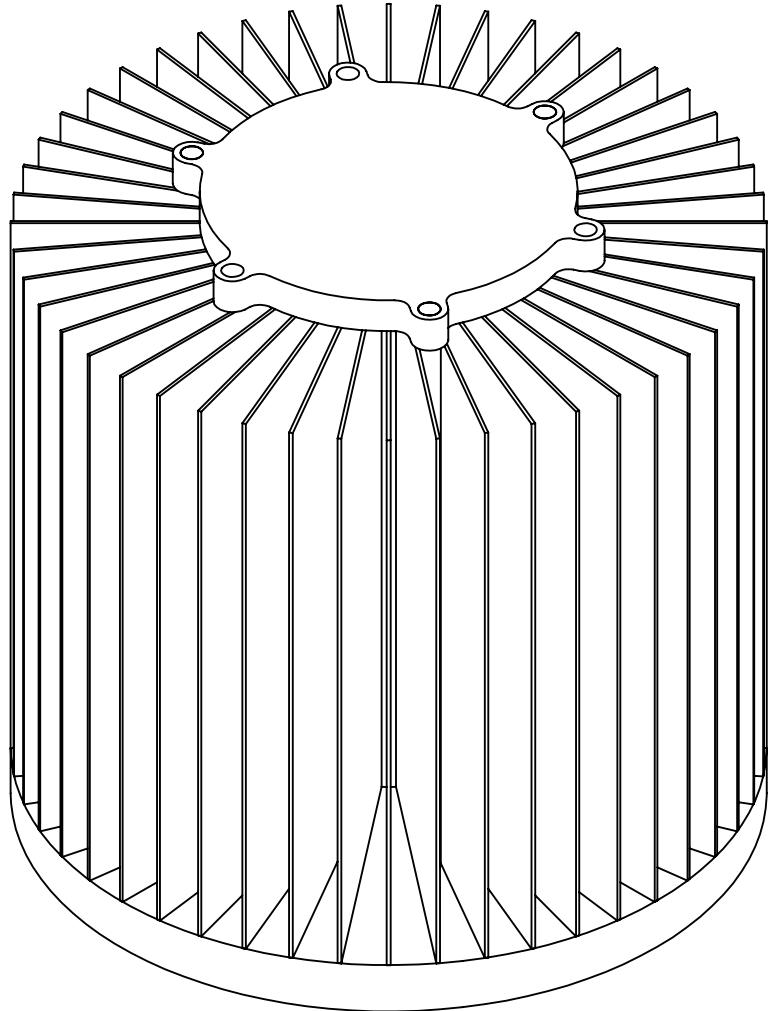
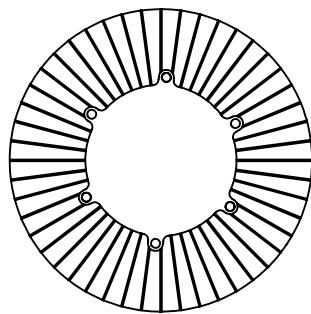
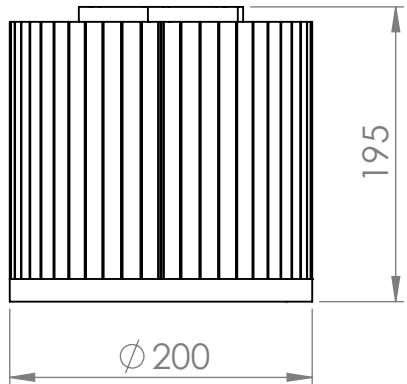
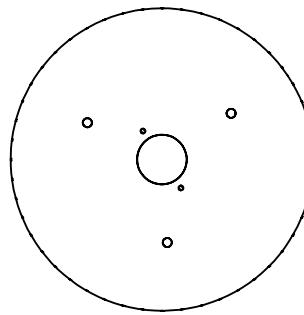


VISTA  
ESCALA 1 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
VERIF.					TÍTULO:	DISEÑO II	
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.							
					PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

## **Diseño III**

---



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.			
CALID.				

TÍTULO:

DISEÑO III

ALUMINIO Y COBRE

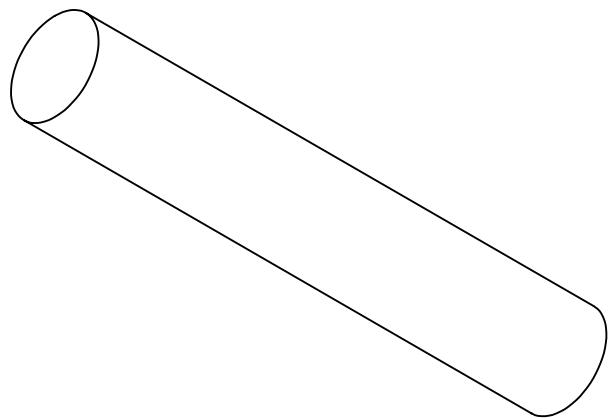
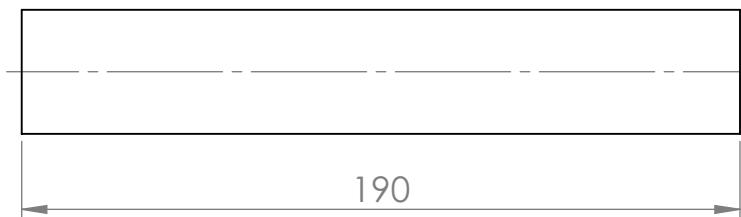
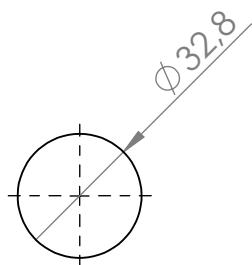
N.º DE DIBUJO

A4

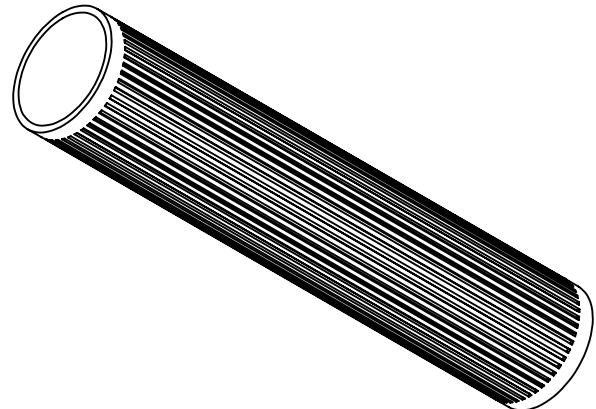
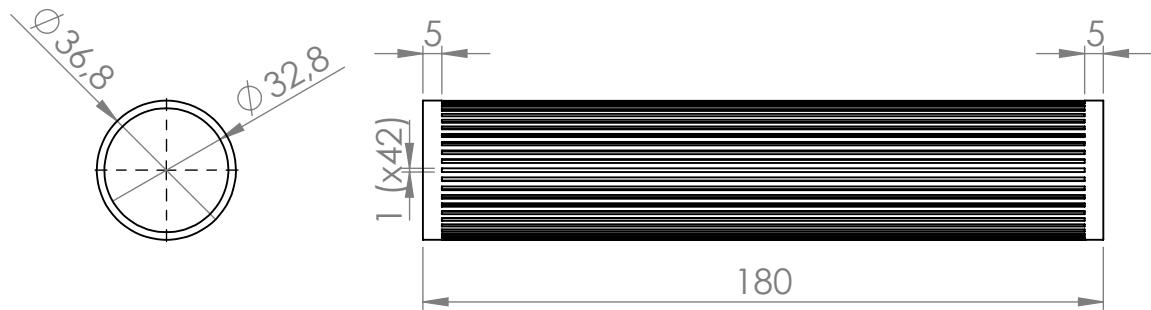
PESO: 4817,19 gr

ESCALA: 1:5

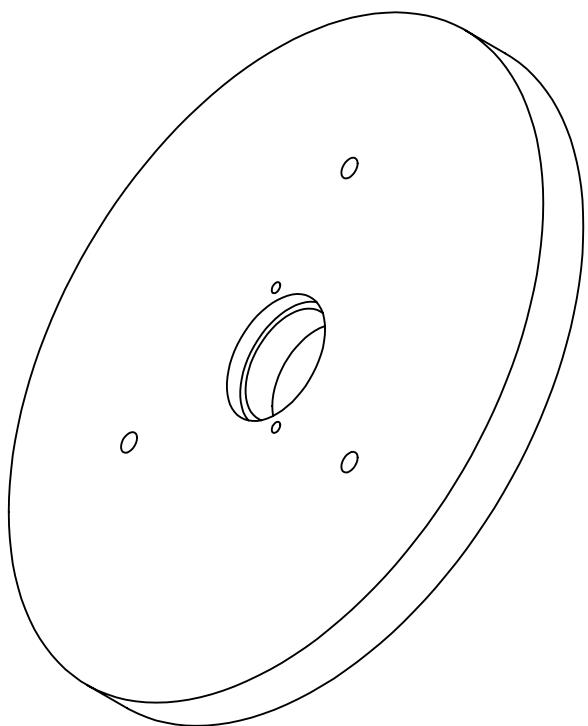
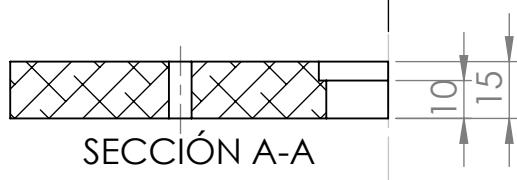
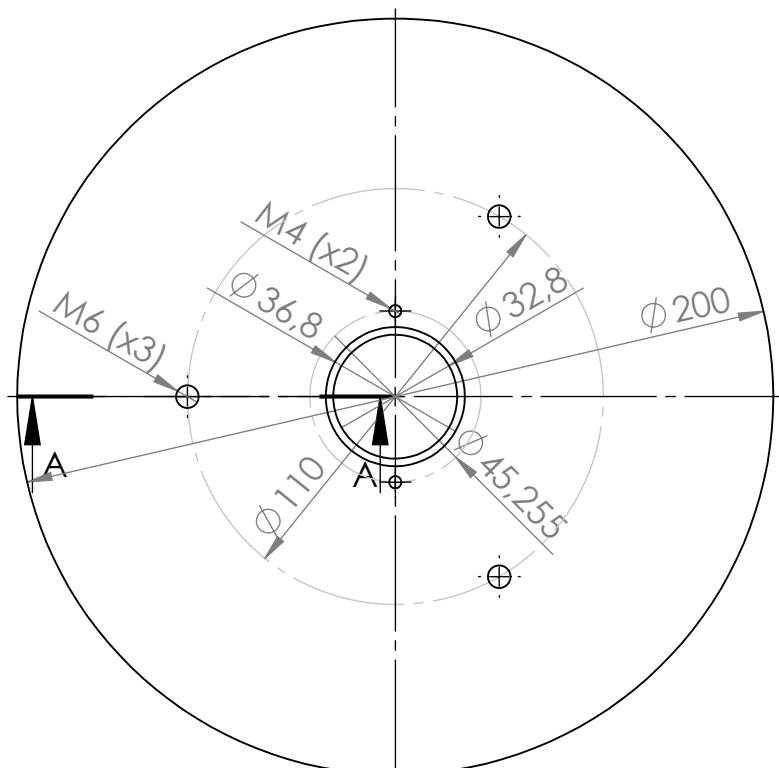
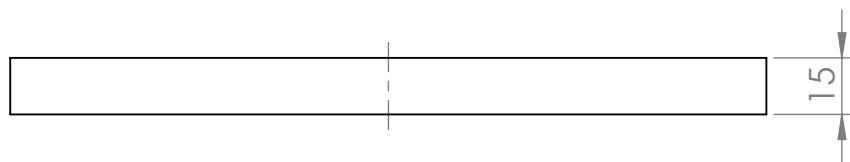
HOJA 1 DE 6



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	NUCLEO
VERIF.							
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.	COBRE						
			PESO:	ESCALA:1:2		HOJA 2 DE 6	

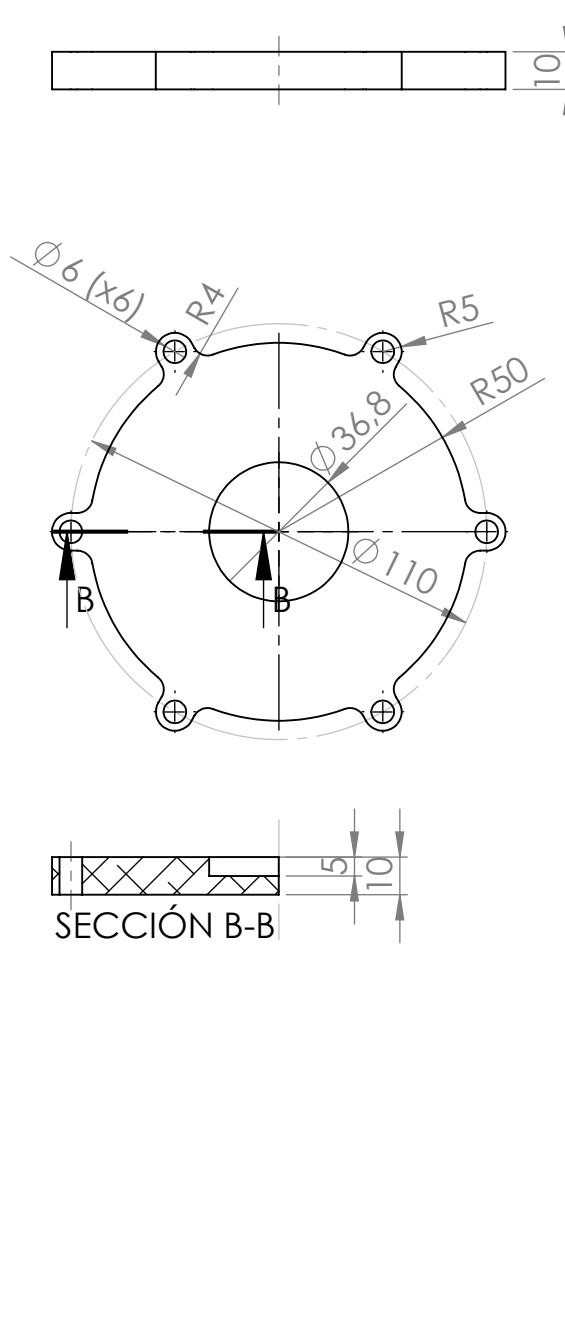


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	CAMISA
VERIF.							
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.					N.º DE DIBUJO	A4
CALID.	ALUMINIO						
	PESO:				ESCALA:1:2	HOJA 3 DE 6	

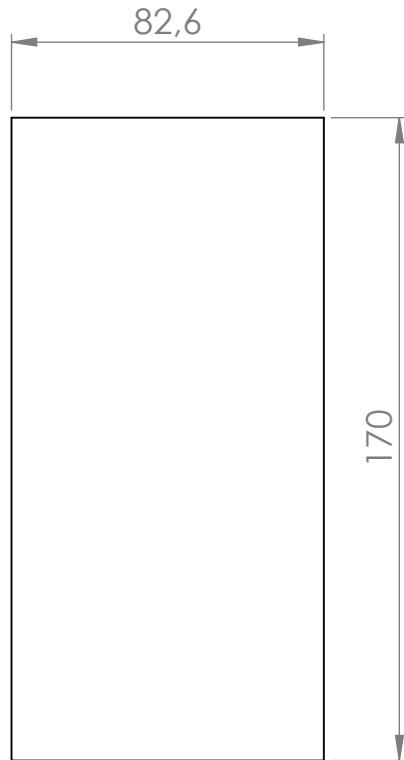


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.						
APROB.						
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.			MATERIAL ALUMINIO	N.º DE DIBUJO	
CALID.						A4
				PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 4 DE 6

# PORTALENTES



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:  <b>TAPA SUPERIOR</b>	
VERIF.							
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico.						
CALID.					ALUMINIO	N.º DE DIBUJO	A4
					PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 5 DE 6



ESPESOR 1mm

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:  <b>ALETA</b>	
VERIF.							
APROB.							
FABR.	Edición de estudiante de SolidWorks. Sólo para uso académico. ALUMINIO						
CALID.				N.º DE DIBUJO			A4
				ESCALA:1:2	HOJA 6 DE 6		
	PESO:						