



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

**DESARROLLO, DISEÑO Y
FABRICACIÓN DE UN SISTEMA
DINÁMICO DE ALETAS PARA LA
MEJORA DE LA TRANSFERENCIA
DE CALOR.**

Autor: Jesús Real Martín

Directores: Dr Sergio González Sánchez

Madrid
Junio 2016

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Jesús Real Martín DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DESARROLLO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DINÁMICO DE ALETAS PARA LA MEJORA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.

- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5°. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 03 de Junio de 2016

ACEPTA



Fdo. Jesús Real Martín

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
DESARROLLO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DINÁMICO DE
ALETAS PARA LA MEJORA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR en la ETS de
Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2015/2016 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jesús Real Martín

Fecha: 03/06/2016

Autorizada la entrega del proyecto

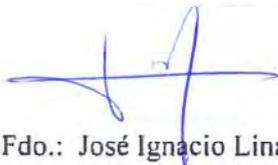
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Sergio González Sánchez

Fecha: 31 / 05 / 2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos



Fdo.: José Ignacio Linares

Fecha: 3 / 6 / 2016



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

**DESARROLLO, DISEÑO Y
FABRICACIÓN DE UN SISTEMA
DINÁMICO DE ALETAS PARA LA
MEJORA DE LA TRANSFERENCIA
DE CALOR.**

Autor: Jesús Real Martín

Directores: Dr Sergio González Sánchez

Madrid
Junio 2016

DESARROLLO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DINÁMICO DE ALETAS PARA LA MEJORA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

Autor: Real Martín, Jesús.

Directores: Dr Roger Penlington; Dr Ulugbek Azimov; Dr Sergio Gonzalz Sanchez;
Dr Terence Liu.

Resumen del Proyecto

Introducción.

El objeto del presente proyecto es el diseño y creación de un modelo que consiga mejorar la transferencia de calor. Este modelo tiene que usar elementos dinámicos para poder conseguir el aumento de eficiencia deseado.

Este documento comprende todos los pasos necesarios para el cumplimiento del objetivo. En el que se ha recopilado la información necesaria para la comprensión del problema, a su vez, se han analizado diversos prototipos e ideas que el actual mercado propone para solventar el problema. Posteriormente, se ha procedido a explicar las ventajas del modelo desarrollado, comentando el proceso de diseño, creación y los resultados obtenidos. Por último, se ha realizado una crítica del proyecto planteando unos posibles caminos para futuros trabajos.

El proyecto se ha centrado en solucionar el problema de la transferencia de calor de los disipadores de calor.

Planteamiento del problema.

El problema surge a causa de que los disipadores de calor necesitan un flujo de aire para poder funcionar adecuadamente, convección forzada. Para insuflar dicho flujo suele ser típico usar un ventilador y cuando se desea aumentar la transferencia de calor se hace girar el ventilador más rápido. Pero como demuestra la siguiente figura, el incremento en la eficiencia se ve reducido cuanto más rápido gire el ventilador.

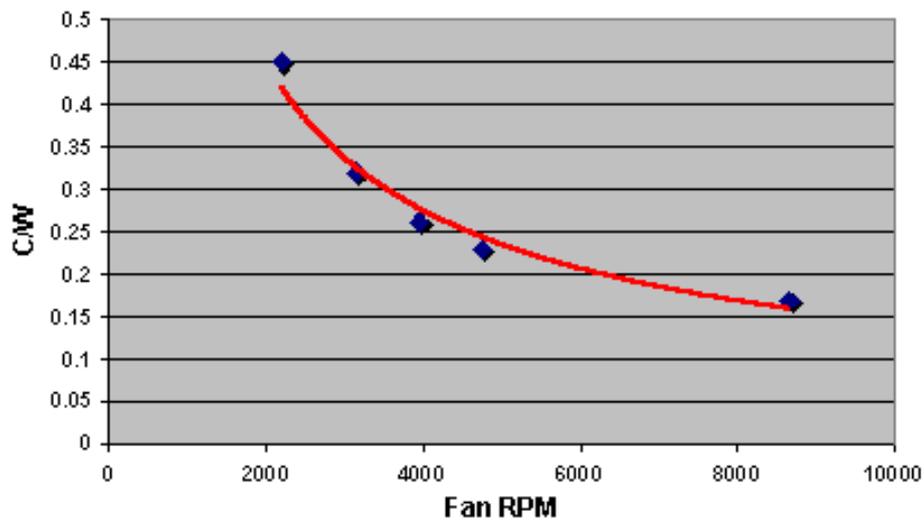


Figura 1. Resistencia térmica VS velocidad del ventilador. (Admin, 2001).

Esto es debido a que no importa lo que se haga, siempre existirá una capa que impida la mejora en la eficiencia de los disipadores de calor, esto es la capa límite. El proyecto intenta diseñar un prototipo que consiga romper la capa límite para poder mejorar la eficiencia de los disipadores de calor actual.

Estado de la técnica.

Actualmente existen varios modelos y opciones que intenten dar respuesta a cómo mejorar los disipadores de calor, dichos inventos se han investigado y se revisaran a lo largo del proyecto. Ya que han servido tanto de inspiración a la hora de crear el modelo y como para comprender la teoría que envuelve el conjunto de la transferencia de calor.

Objeto del proyecto.

El objetivo del proyecto es la creación de un prototipo que dé respuesta, usando aletas dinámicas, a una posible mejora considerable de la transferencia de calor. Para cumplir este objetivo se ha procedido a centrarse en el caso de los disipadores de calor y a crear un modelo que disponga de unas aletas que se muevan para poder romper la capa límite que impide que los disipadores de calor tengan un mejor ratio de transferencia de calor, es decir, una mayor eficiencia.

El prototipo se puede ver en la siguiente figura. Consta de dos sets de aletas, dos conjuntos, uno fijo, que es el encargado de la transferencia de calor. Y el otro móvil, siendo el encargado de romper la capa límite con su movimiento, en este caso giratorio.

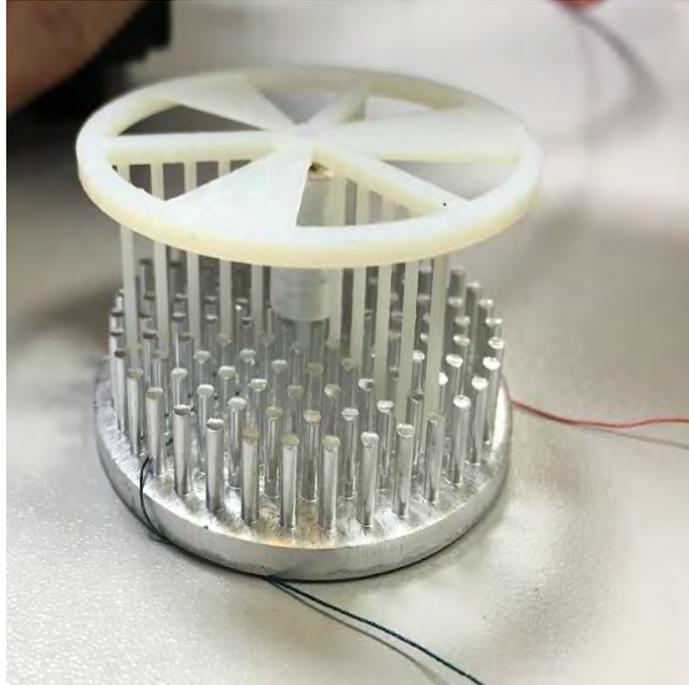


Figura 2. El modelo. (Real Martín et al., 2016).

Metodología

El proceso seguido para poder conseguir el modelo final ha sido el siguiente; Primero se ha investigado la teoría hasta comprenderla, posteriormente se ha realizado una búsqueda de inventos que puedan dar una solución al problema expuesto. Más adelante, se ha empezado a generar ideas propias, usando la técnica del ‘brainstorm’. Una vez obtenida la idea, se ha procedido a comprobar su viabilidad, posteriormente se ha empezado el diseño de la idea, para poder fabricar el modelo. Por último, se procedió a realizar pruebas para comprobar que efectivamente se ha construido un prototipo que mejore la transferencia de calor debido a las aletas móviles.

Resultados

Para la comprobación del modelo se ha creado un circuito eléctrico que alimenta con una corriente constante a un transistor, para que este produzca una potencia constante y caliente el disipador de calor.

Se ha comprobado varios ajustes dentro del disipador para comprobar cuál de todos disipa mejor el calor, en la siguiente tabla se puede observar los resultados a los tres ajustes establecidos.

	Temperatura final (°C)	R _{total} (°C/W)	R (°C/W)
Disipador de calor solo	64.0	9.188	11.020
Modelo	40.5	4.035	4.352
Modelo sin aletas móviles	56.0	7.430	8.583

Tabla 1. Comparación de prototipos

Los resultados indican que gracias al modelo se ha podido bajar la temperatura final en más de 20°C, pero también que no solo es gracias a las aletas, sino a toda la estructura. Pero hay que notar que la ventaja de romper la capa límite se nota en 16°C, que es la diferencia entre poner el modelo con aletas o no.

Conclusiones

Los resultados arrojados por los test son realmente esperanzadores y apoyan la teoría de que la capa límite es una gran barrera a la hora de mejorar la transferencia de calor. Pero que gracias al uso de las aletas móviles esta capa se rompe y la eficiencia del disipador de calor mejora con creces.

DEVELOPMENT, DESIGN AND FABRICATION OF DYNAMIC FIN SYSTEM FOR HEAT TRANSFER ENHANCEMENT.

Author: Real Martín, Jesús.

Directors: Penlington, Roger; Azimov, Ulugbek; González Sánchez, Sergio; Liu, Terence.

Collaborator entity: Northumbria university

Project summary

Introduction.

The objective of the project is the design and build of a prototype, which improves the heat transfer. In order to perform this task, it must use dynamic fins.

This investigation focuses on heat sinks. In the document, several ways of implementing moving fins into a heat sink design were explored and analysed, in order to understand the theory and inspire the team to have the best design as possible.

The focus of this project ended up investigating the concept of stirring the air in between the fins of a heat sink to destroy the boundary layer of dead air that forms around heat sinks and limits the cooling. A rapid prototype design found that stirring the air in between the fins is almost as effective as using an electric fan to improve cooling and can be run at a much lower power.

Problem.

The problem starts when the heat sinks need an airflow to work properly, due to they need a forced convection. To flow that fluid into the heat sink usually is used a fan, but when it is wanted to increase the efficiency of the heat sink, the fan moves faster. However, as the next figure shows, at high speeds the efficiency does not increase more.

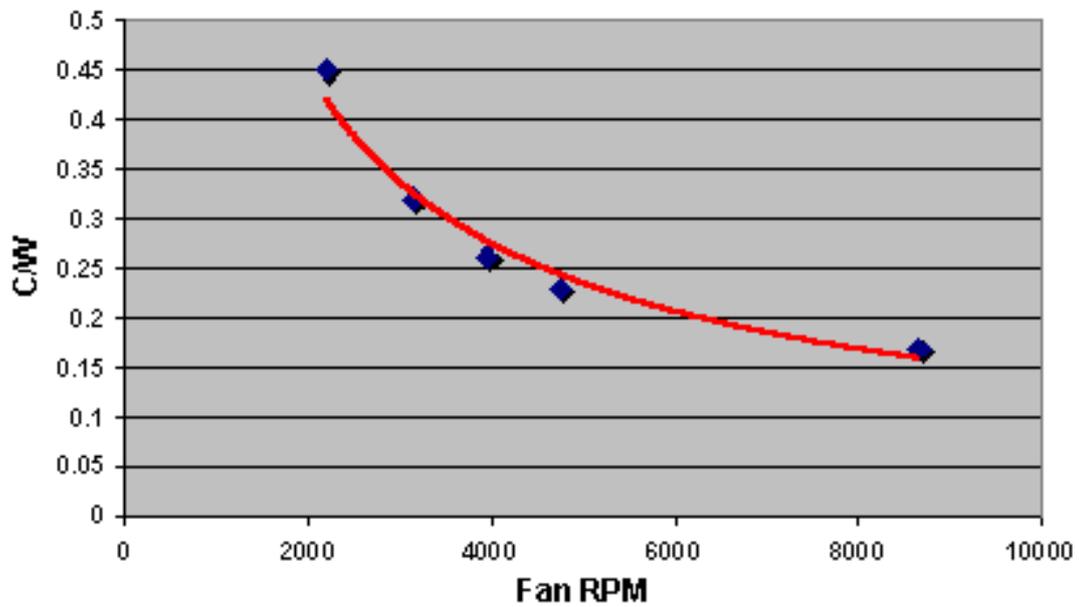


Figure 1. Thermal resistance VS fan speed. (Admin, 2001).

The problem is that is always a death air layer, the boundary layer, that makes impossible increase the efficiency of the heat sinks using and external airflow. The project tries to design a prototype that could break this boundary layer in order to improve the ratio of heat transfer of any heat sinks.

State of the art.

Nowadays there are many prototypes and inventions that try to solve the problem of the boundary layer. During the document, some of the most significant models will be studied, since there are important to understanding the theory and to inspire the team to build the best design as possible.

The aim of the project.

The aim of the project is the design and comprehension of all the steps that need to build and develop a prototype. That prototype must make a real improvement in the heat transfer and must use dynamic fins. In order to achieve this objective, the team focuses on heat sinks and a model with fins that could break the boundary layer.

The next figure shows the prototype. It has two set of fins, the static fins, that are part of the round heat sink, so that set must transfer the heat. And, the dynamic set of fins that try to break the boundary layer.

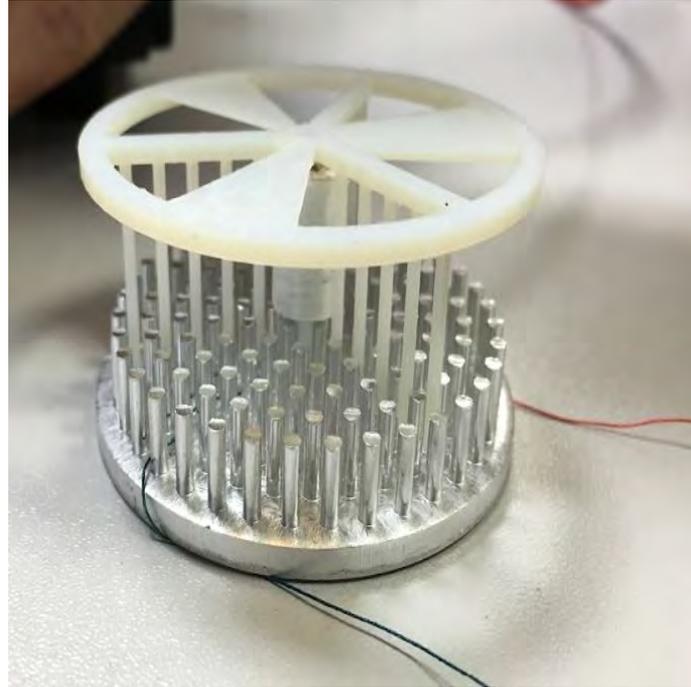


Figure 2. The model. (Real Martín et al., 2016).

Methodology

The team follows, the next steps to achieve the final prototype; First, a research was done to understand the theory and to have a look at the solutions that exist in the market. Next, with the technique of the brainstorm, the team have some ideas to perform. When the best idea was selected the some feasible and numeric studies were conducted in order to know if the idea was good enough and it was possible to build. Finally, some test was performed to know how big is the improvement in the heat sink. And if this improvement is due to the dynamic fins.

Results

To test the prototype, it was building an electric circuit, that feed with a constant current a transistor, so this transistor could have the same power and heat the heat sink.

To know what type of setting is the most efficient the heatsink was tested with different settings as the table show. In the next table, it could see the results of the different settings

	Final temperature (°C)	R_{total} (°C/W)	R (°C/W)
Naked heatsink	64.0	9.188	11.020
Prototype	40.5	4.035	4.352
Prototype without fins	56.0	7.430	8.583

Table 2. Comparison of prototypes.

The results show that the prototype could make the heat sink cooler than any other setting. In other words, the prototype achieves a lower thermal resistance, so the final temperature is more than 20°C less, that the naked heat sink (heat sink without anything). But also, as the prototype without fins show the big improvement is due to the fins.

Conclusions

DESARROLLO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DINÁMICO DE ALETAS PARA LA MEJORA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

The results of the test are really good because support the idea and theory of the need of breaking the boundary layer in order to have more efficiency in the heat sinks. But, due to the use of the dynamic fins break this boundary layer, the efficiency of the heat sink increases a lot.

From these conclusions, the reader can find recommendations for future work and the positive and negative aspects to arise from this investigation.

Índice

Capítulo 1.- Introducción y Planteamiento del proyecto.	7
1.1-Motivación	11
1.2-Descripción	13
1.3-Recursos	15
1.4-Metología	17
Capítulo 2.- Estado de la técnica.	19
2.1 Transmisión de calor	23
2.1.1 El calor	23
2.1.2 Transferencia de calor	24
2.2.1 Historia	25
2.2.2 Tipos de intercambiadores	25
2.2.2 Funcionamiento de los intercambiadores	26
2.2 Disipadores de calor	27
2.2.1 Historia	29
2.2.2 Descripción	29
2.2.2 Disipadores de calor en los ordenadores	30
2.2.3 Tecnología tubos de hielo (icepipe)	31
2.3 Soluciones dinámicas	35
2.3.1 Capa límite	35
2.3.2 Aplicaciones dinámicas	38
Capítulo 3.- Descripción del modelo desarrollado.	41
3.1 Propósito	45
3.2 Objetivos	47
3.3 Diseño	49
3.4 Construcción del modelo	53
3.5 Diseño del banco de pruebas	54
3.5.1 Elección del banco de pruebas.	55
3.5.2 Funcionamiento del circuito electrico.	57
3.6 Estudio económico	61
3.6.1 Valor del prototipo.	61
3.6.2 Coste final del diseño del invento.	61
3.7 Planos	63

3.7.1 Plano 1. Set de aletas móviles (Stiring fan)	65
3.7.2 Plano 2. Cajetín del motor (Motor casing)	67
3.7.3 Plano 3. Comparación de set de aletas móviles (Comparasion of stirrers).	69
3.7.4 Plano 4. Conjunto (Assembly)	71
Capítulo 4.- Resultados.	73
4.1 Resultados del modelo	77
4.1.1 Comparación de prototipos	77
4.1.2 Comparación de velocidades	79
4.1.3 Comparación de usar o no un ventilador	79
4.2 Resultados de los modelos económicos	81
4.2.1 Valor del prototipo.	81
4.2.2 Coste final del diseño del modelo.	81
Capítulo 5.- Conclusiones.	83
5.1 Conclusiones sobre la metodología	87
5.1.1 Organización	87
5.1.2 Crítica de la organización	90
5.2 Conclusión sobre los resultados	91
5.2.1 Discusión	91
5.2.2 Conclusión	92
5.3 Recomendaciones de futuros trabajos	93
5.3.1 Trabajo futuro	93
5.3.2 Otros diseños	94
5.4 Implementación del prototipo	97
Capítulo 6.- Referencias.	99
Capítulo 7.- Apéndices.	105
7.1 Especificaciones de los aparatos usados	107
7.1.1 Motores	108
7.1.2 Resistencia	110
7.1.3 Transistor	113
7.1.4 Panel de control	120
7.1.5 Amplificador operacional LM-311	123
7.1.6 Disipador de calor redondo	132
7.1.7 Disipador de calor cuadrado	134

7.1.8 Cinta térmica adhesiva	136
7.1.9 Ventilador	138
7.1.10 PolyJet VeroWhitePlus	140
7.1.11 Generador termoeléctrico.....	142
7.2 Organigrama	147

Índice de figuras

Figura 1. Resistencia térmica VS velocidad del ventilador. (Admin, 2001).....	11
Figura 2. Horario y fechas previstas para la realización de cada tarea.....	17
Figura 3. Técnica “Force-field”. (Guides, 2016).....	18
Figura 4. Representación de un sistema cerrado, para mostrar el primer principio.	23
Figura 5. Definición de la segunda ley de la termodinámica según Kelvin-Plank (Vega, 2016).....	24
Figura 6. Disipador de calor cuadrado. (Mijangos and perfil, 2015)	27
Figura 7. Disipador de calor redondo. (Booth et al., 2014).....	28
Figura 8. Tecnología de tubos de hielo. (Man, 2011).....	28
Figura 9. Disipador de calor con tecnología de aleta de aguja. (Pin fin heat sink - today (China Manufacturer) - cooling fan & Heatsinks - computer components products - DIYTrade china manufacturers, no date).	29
Figura 10. Disipador de calor junto a un procesador. (edgar and perfil, 2014).....	31
Figura 11. Funcionamiento de la tecnología tubos de hielo. (Stojic et al., 2014).	32
Figura 12. Tecnología tubos de hielo para 80W. (Stojic et al., 2014).....	32
Figura 13. Tecnología tubos de hielo para 95W. (Stojic et al., 2014).	33
Figura 14. Tecnología tubos de hielo para 95W. (Stojic et al., 2014).	33
Figura 15. Ecuaciones Navier-Stokes. (cueva,2004).....	35
Figura 16. Capa límite (Rivera García, 2015)	36
Figura 17. Capa límite térmica. (Corberán y Royo,2016).....	37
Figura 18. Tecnología sin ventilador. (Anthony, 2011).	38
Figura 19. Disipador de calor dinámico. (J. Williams,1991).	39
Figura 20. Conjunto en solidworks del modelo. (Real Martín et al., 2016).....	50
Figura 21. Motor dentro del cajetín para adjuntarlo al disipador de calor. (Real, 2016) 50	
Figura 22. Cajetín del motor. (Real,2016).....	51
Figura 23. El modelo. (Real Martín et al., 2016).....	54
Figura 24. Transistor unido al disipador de calor. (Real Martín et al., 2016).	56
Figura 25. Amplificador operacional Lm 311.	58
Figura 26. Transistor TIP 42C.....	58
Figura 27. Esquema del circuito.	60
Figura 28. Disipador de calor desnudo. (Real, 2016).....	78
Figura 29. Disipador de calor con ventilador, pero sin aletas. (Real, 2016)	78
Figura 30. Horario para definir las reuniones en el primer semestre. (Real Martín et al., 2016).....	88
Figura 31. Horario para definir las reuniones en el segundo semestre. (Real Martín et al., 2016).....	88
Figura 32. Primeras 10 semanas del horario. (Real Martín et al., 2016).....	89
Figura 33. Resto de semanas del horario. (Real Martín et al., 2016)	90
Figura 34. Idea del globo. (Real Martín et al., 2016)	94
Figura 35. Metales bimetálicos (Real Martín et al., 2016).....	95
Figura 36. Idea cinta lineal. (Real Martín et al., 2016).....	96
Figura 37. Vista lateral de la idea cinta lineal. (Real Martín et al., 2016).....	96

Figura 38. Disipador de calor usado. (Real Martín et al., 2016)	133
Figura 39. Dimensiones del disipador de calor redondo.	133
Figura 40. Disipador de calor cuadrado.....	135
Figura 41. Organigrama en detalle de las primeras 10 semanas.	148
Figura 42. Organigrama en detalle semanas 10 a 21.....	149
Figura 43. Organigrama en detalle semanas 22 a 33.....	150

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de prototipos	77
Tabla 2. Resultados con diferentes velocidades del motor.....	79
Tabla 3. Resultados con y sin ventilador.....	79
Tabla 4. Presupuesto.....	81
Tabla 5. Presupuesto del diseño del modelo.....	81
Tabla 6. Características del motor.	109
Tabla 7. Temperatura media de las pruebas llevadas a cabo con el disipador de calor cuadrado.....	135

Capítulo 1.- Introducción y Planteamiento del proyecto.

En el siguiente trabajo se incluirá el análisis del Proyecto Desarrollo, diseño y fabricación de un sistema dinámico de aletas para la mejora de la transferencia de calor. En el documento se estudiará y explicará el proceso seguido para poder llegar al resultado final. Esto ha sido posible gracias a tres pasos; un estudio del mercado, de la teoría y en definitiva un estudio en detalle del problema a tratar, el segundo punto fue el diseño y la creación del prototipo, y por último el estudio del prototipo, haciendo diferentes pruebas para comprobar su utilidad y que efectivamente cumpliera con los objetivos del proyecto.

El objetivo principal del proyecto es la creación y la mejora de un sistema capaz de transmitir calor de la forma más eficaz posible, usando elementos dinámicos, como por ejemplo las aletas del disipador térmico. Aparte de este objetivo, el objetivo de fondo, al ser un trabajo para una universidad, es el de comprender y aprender a realizar el diseño y la implementación de un bien industrial desde la etapa 0 hasta la construcción del utensilio.

Los problemas que se intentan solucionar y que se estudiarán en este proyecto son:

1. La baja eficiencia de la transferencia de calor.
2. El uso de tecnología dinámica para mejorar la eficiencia.
3. La creación o la mejora de tecnología capaz de superar la tecnología actual.

El documento cubrirá los temas explicados anteriormente en la siguiente estructura, la cual está dividida en diferentes capítulos;

1. Capítulo 1: Este capítulo es la introducción del proyecto, donde se explicará y se situará los motivos y las razones del porqué de este estudio, además de exponer la estructura y las diferentes fases que se han seguido para poder realizar este trabajo fin de máster.
2. Capítulo 2: será el lugar donde se almacenará toda información necesaria para poder comprender y conseguir los objetivos establecidos. Además, habrá un estudio de diferentes tecnologías actual que aporten una posible solución al problema que hay que solucionar.
3. Capítulo 3: Se estudiará las especificaciones del proyecto y del prototipo. En esta sección se analizarán con mayor detalle los objetivos, y las características que tienen que tener y tiene el prototipo construido en el trabajo.
4. Capítulo 4: los resultados se mostrarán en este capítulo, se harán en forma de tablas. Además, se comentará y se analizará el significado de estos resultados.
5. Capítulo 5: se incluirá las conclusiones que se han ido recogiendo a lo largo del documento y del proyecto. A parte, se incluirán diversas directrices para trabajos futuros, y posibles diseños que también se podrían estudiar y analizar en un futuro.

6. Capítulo 6: en esta sección se incluirá la bibliografía, lugar donde estará toda la información necesaria para poder acceder a la información usada para que este proyecto fuera llevado a cabo.
7. Capítulo 7: donde estarán los apéndices, además de diversa información que para poder apreciar correctamente todos los detalles necesitan ser mostrados en imágenes grandes.

1.1-Motivación

Actualmente, la mejora en los aparatos electrónicos no para y crece exponencialmente, además, estos aparatos cada día se diseñan con un tamaño menor. Provocando, problemas a la hora de disipar el calor al exterior, lo cual lleva a la necesidad de hacer y diseñar dispositivos más eficaces para que los aparatos electrónicos puedan seguir con su avance. (Trends in state-of-the-art Heatsinks and their patent technology, 2005).

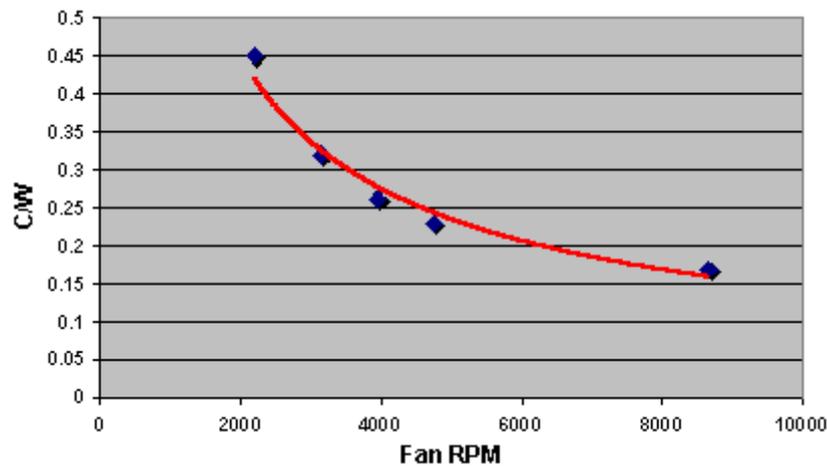


Figura 1. Resistencia térmica VS velocidad del ventilador. (Admin, 2001).

La figura 1, muestra el problema al usar un ventilador en un disipador de calor de 60 milímetros cuadrados de superficie. El ventilador al actuar más rápido provoca que se disipe más calor, pero a medida que las revoluciones por minuto del ventilador aumenta, el incremento del calor disipado disminuye. En otras palabras, el efecto que ejerce el ventilador en las primeras fases es realmente importante y notorio, pero a medida que es necesario más velocidad el efecto ya no es relevante. Este es uno de las posibles formas de mejorar la eficiencia de un disipador de calor, el uso de un ventilador. (Admin, 2001)

Sin embargo, hay un factor más importante ninguna posible mejora; la capa límite. No importa lo grande que sea la superficie para disipar el calor, o la velocidad con la que se inyecte aire, siempre existirá una capa de aire muerta alrededor del aparato. Esta capa aísla térmicamente el disipador de calor, previniendo la disipación de calor, haciendo que la eficiencia del aparato se vea considerablemente reducida. El espesor de esta capa límite determina el coeficiente térmico(h). (A. Soule, 2002)

Las aletas son extensiones del aparato que disipa calor, estas aletas provocan un aumento en la superficie de contacto y, por tanto, son el principal activo. (S. Spakovszk, 2002). Una de las formas de mejorar los disipadores de calor sería con el diseño y empleo de aletas dinámicas. La mejora que podría introducir estas aletas con movimiento sería que rompería la capa límite haciendo posible evitar el uso del ventilador, con lo que se ahorraría espacio al mejorar la eficacia de los disipadores de calor. (Real Martín et al., 2016)

El concepto de disponer aletas dinámicas o móviles, es recientemente nuevo, y aún no hay un consenso respecto a que forma es la más adecuada y las patentes existentes son muy distintas unas de otras y además la mayoría está lejos de estar completamente desarrolladas. Actualmente, la mayoría de los disipadores de calor son estáticos y es necesario usar el movimiento de un fluido, normalmente aire o agua, para poder transferir calor al sistema. Ligeros avances en diseños de disipadores de calor con aletas dinámicas se han llevado a cabo recientemente, pero sin concretar una idea, sin embargo, demostrando el gran potencial que se podría llegar a alcanzar con esta idea y la multitud de aplicaciones, al poder mejorar notoriamente la eficiencia de los disipadores de calor.

1.2-Descripción

Este documento es el resultado del Proyecto realizado en la Universidad de Northumbria, en Newcastle (Reino Unido). En dicho proyecto también se realizó un documento, este trabajo fue realizado por tres ingenieros mecánicos, uno de software y un ingeniero industrial (el autor de este documento)

El Proyecto tiene una orientación académica, como ya se mencionó previamente, el objetivo académico es la comprensión de todas las etapas necesarias para aprender a hacer un diseño y construir un bien, que pueda tener una aplicación en la industria actual. Por lo tanto, el enfoque está orientado a la investigación para poder crear y/o mejorar tecnologías que puedan solucionar el problema de la eficiencia en el mundo de la transferencia de calor. En este caso, se ha querido especializar en aplicaciones para ordenadores haciendo uso de disipadores de calor. (Estos disipadores de calor en aplicaciones para ordenador se explica en más detalle en la sección 2.2.2)

En el proyecto fue necesario conseguir una nueva solución que pudiera evitar los problemas explicados en los apartados anteriores, y para ello sería necesario usar aletas dinámicas. Para poder alcanzar este objetivo, se llevó a cabo diferentes estudios y análisis. Se empezó a realizar una búsqueda de información y posibles soluciones, posteriormente, se posterior a realizar el diseño y por último fue el momento de comprobar el funcionamiento del prototipo.

El primer paso fue la búsqueda de información y de posibles soluciones, la información que se consultó y fue relevante está el capítulo 2. Esta parte del proyecto no solo sirvió para poder tener la información adecuada para comprender los problemas y la teoría que engloba la transferencia de calor, también sirvió para inspirar a el equipo para poder llegar a diseñar el prototipo final. Para la búsqueda de las posibles soluciones se buscaron a través de patentes y de artículos. Estas búsquedas se llevaron a cabo por ordenador y se agrupó la información en Google Drive.

El siguiente paso fue el diseño de un prototipo capaz de conseguir mejorar los actuales disipadores de calor. Para ello se focalizó el esfuerzo en diseñar un dispositivo para solucionar los problemas de calor y ruido que hay hoy en día con los ordenadores. Debido a este plan, el dispositivo debía evitar el uso del ventilador (que es el origen del ruido), y tener un tamaño adecuado para estar en un ordenador. Debido a reuniones exclusivas para hacer “Lluvia de ideas” Para llegar a posibles diseños se usó la técnica de “tormenta de ideas” (brainstorm). Esto fue necesario debido a que el trabajo se realizó en un grupo de cinco personas. Para el diseño de planos y para comprobar la teoría y las ideas que surgieron en las reuniones se usó el programa Solid Edge y el Ansys. (esta etapa se explica en detalle en el capítulo 3)

La tercera y última etapa está muy ligada a la segunda. De hecho, no se puede hacer ningún proyecto sin tener una continua revisión de estas dos etapas, en la que se pasa de la etapa dos, cuando se ha diseñado un posible prototipo a la etapa 3, donde se comprueba la utilidad de ese prototipo, y la consiguiente vuelta a la etapa 2, bien para mejorar el prototipo o para hacer un nuevo diseño. Aparte, en esta etapa una vez para analizar y comprobar que el prototipo tenía una mejor eficiencia que otras soluciones que se puedan

encontrar en el mercado, se procedió a hacer un banco de pruebas para generar unas condiciones térmicas estables y así poder comprobar la disipación de calor de diferentes aparatos. (En el capítulo 3, se analiza el cómo se ha realizado las pruebas para sacar los resultados del proyecto, y en el capítulo 4 se pueden observar los resultados obtenidos).

1.3-Recursos

En el Proyecto se usó diferentes recursos a lo largo del curso. A continuación, se mostrará una lista de los recursos usados;

- Impresora 3D.
- Un lugar para poder reunirse el equipo.
- Programas de ordenadores.
 - Ansys.
 - Solid Works (Principalmente es el programa de diseño, pero debido a que cada miembro del equipo tenía una preferencia también se usaron los otros dos programas para diseños personales), Solid Edge y Catia V5.
 - Google drive fue el portal donde se guardó el progreso y se utilizó también para trabajar conjuntamente en diferentes ordenadores al mismo tiempo.
 - Herramientas de Microsoft office (Word y Excel)
- Laboratorio.
 - El de la impresora 3D.
 - El de madera y metal.
 - El laboratorio eléctrico para el banco de pruebas.
- Materiales.
 - Plástico para la impresora 3D
 - Un disipador de calor
 - Motores
 - Ventilador
 - Transistor
 - Resistencias eléctricas
 - Cables
 - Amplificador operacional
 - Fuentes de voltaje
 - Bloques de madera
 - Aluminio
 - Pegamento y diferentes utensilios para unir
 - Una placa de pruebas

1.4-Metología

Para poder cumplir todos los objetivos y conseguir construir un prototipo que pueda solucionar los problemas expuestos en los anteriores apartados se han seguido los siguientes pasos;

1. Buscar información en general.
2. Analizar y comprender toda la teoría y limitaciones que existen alrededor del problema.
3. Buscar ideas en patentes e investigaciones.
4. Se analizaron las ideas de las patentes.
5. Decidir una posible solución.
6. Hacer un estudio de viabilidad.
7. Si el estudio es positivo seguir al punto 8, si no volver al punto 5.
8. Diseñar el prototipo.
9. Probar y comprobar el funcionamiento del prototipo. En caso de que no funcione volver al punto 8.
10. Añadir mejoras al prototipo.
11. Comprobar las nuevas mejoras y lo que aportan.

Para organizar cada tarea se realizó un esquema del tiempo que debería ocupar cada tarea, este esquema se muestra en la figura 2. (esta figura se podrá ver con más detalle en los apéndices). Cada tipo de tarea tiene un color asignado, siendo del mismo color primario si las tareas están relacionadas entre si.

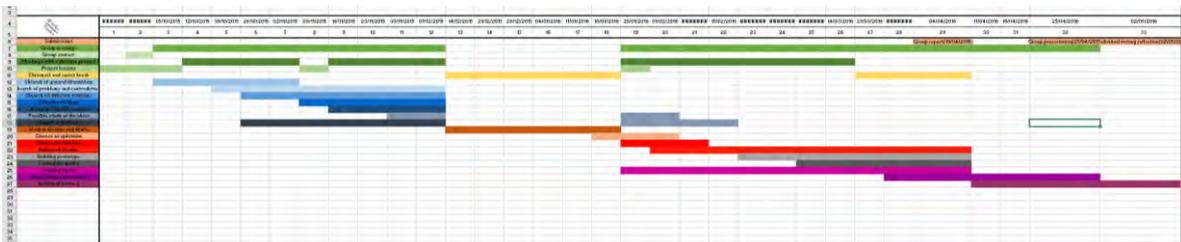


Figura 2. Horario y fechas previstas para la realización de cada tarea.

Como se expuso anteriormente la técnica usada para decidir la mejor idea fue la “tormentas de ideas”. Dicha técnica ayudo al grupo a poder exponer un gran abanico de posibles soluciones y prototipos que hacer, por ello fue necesario usar un método para crear la mejor idea, por ello se utilizó “Force-field”, técnica que valora en una tabla los aspectos positivos y los negativos, dicha tabla se puede ver en la figura 3. (Guides, 2016)

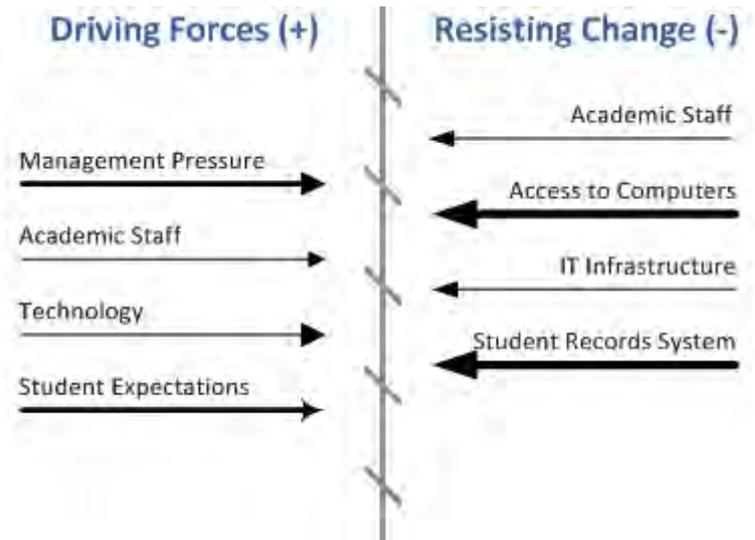


Figura 3. Técnica "Force-field". (Guides, 2016)

El prototipo se compraron ciertas piezas, como el disipador de calor, pero también se diseñaron y se construyeron otras piezas usando la tecnología de impresión en 3D, se eligió este método debido al tamaño de las piezas a construir (se explicará este aspecto en más detalle en el capítulo 3).

Capítulo 2.- Estado de la técnica.

En este capítulo se recopilará la información necesaria para la comprensión de la teoría que engloba el proyecto y además se revisarán tecnologías e inventos que den una posible solución al problema planteado en el proyecto.

2.1 Transmisión de calor

2.1.1 El calor

El calor se define como: “la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia” (Inzunza, 2006). El calor es originado a partir de diferentes formas de energía (primer principio). Es el flujo de energía provocado por la diferencia de temperatura. El calor se mueve de las zonas de mayor temperatura a las de menor temperatura (cómo indica el segundo principio). (Torrella, 2011)

Primer principio: establece la ley de la conservación de la energía, es decir que la energía no se destruye ni se crea si no que se transforma. Pero en este caso es aplicado al calor, por lo que el calor cedido será igual al trabajo a portado y viceversa. En la siguiente figura se puede ver un sistema cerrado donde se explica este principio. (Nuñez, no date)

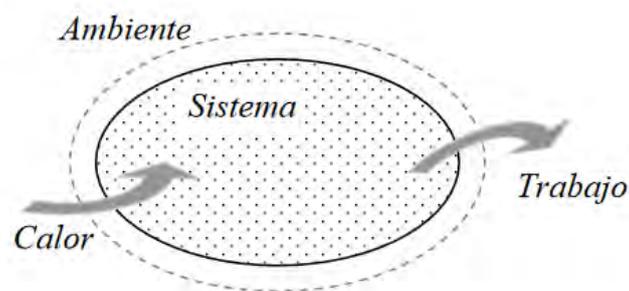


Figura 4. Representación de un sistema cerrado, para mostrar el primer principio.

Segundo principio: Según establece kelvin-Plank, la segunda ley de la termodinámica expresa lo siguiente: “Es imposible construir un aparato que opere cíclicamente, cuyo único efecto sea absorber calor de una fuente de temperatura y convertirlo en una cantidad equivalente de trabajo” (Vega, 2016).

En la siguiente figura se representa este principio, indicando el que el calor no se puede transformar íntegramente en trabajo, y viceversa. En otras palabras, siempre existe unas pérdidas que no se pueden evitar.

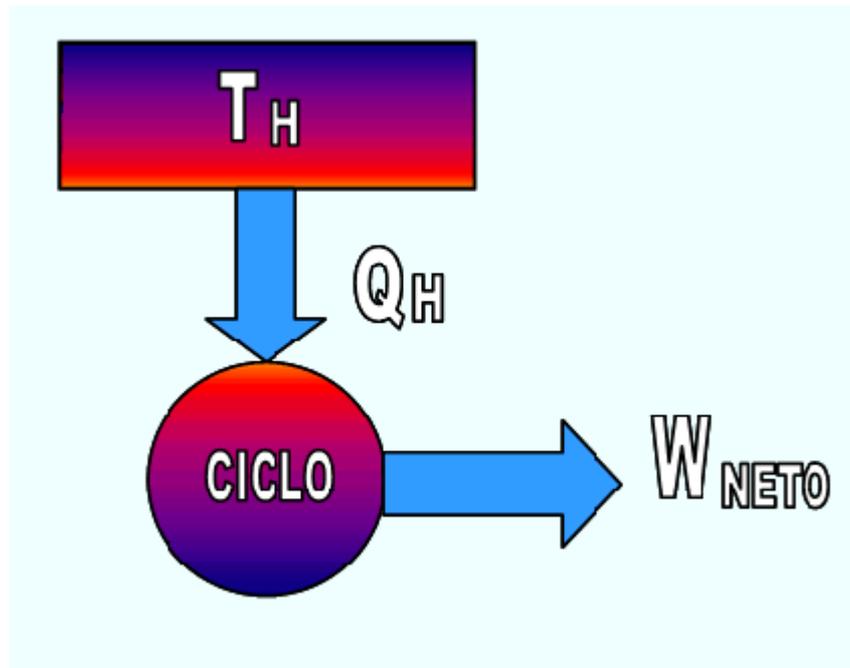


Figura 5. Definición de la segunda ley de la termodinámica según Kelvin-Planck (Vega, 2016)

2.1.2 Transferencia de calor

La transferencia de calor permite determinar, la potencia, la energía transferida con respecto al tiempo. Este flujo de energía provoca un desequilibrio en la temperatura. (Torrella, 2011)

La transferencia de calor se puede entender analizando los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la diferencia térmica necesaria para mover un flujo de calor determinado?
- ¿Cuánto tiempo es necesario para mover dicho flujo?
- ¿Cuánta potencia se ha transmitido a un sistema?
- ¿qué superficie se necesita para tener el intercambio térmico deseado?

(Torrella, 2011)

La transferencia de calor se puede dividir en tres tipos de transmisión, según el tipo material por el que se emita el calor.

- Conducción.
 - La transmisión de calor de un material a otro.
- Convección.
 - La transmisión del calor a través de un fluido.
- Radiación.
 - Ondas electromagnéticas emitidas por un objeto caliente.

2.2 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor transfieren el calor entre uno o más fluidos. Estos fluidos pueden ser de una o dos fases, además, dependiendo del tipo de intercambiador pueden ser que tengan contacto directo o indirecto. (Brogan, 2010)

2.2.1 Historia

La historia en el campo del enfriamiento de aparatos electrónicos no es muy larga. El primer documento que se tiene disponible data de 1950, procedentes de la armada naval del ejército de Estados Unidos. (Wilson, 2016). Sin embargo, los aparatos en general que intercambian calor tienen una historia mucho más larga, desde que se empezó a usar aparatos de cocina, pero para uso específicamente tecnológico desde el siglo 20 (Ivanov, no date)

2.2.2 Tipos de intercambiadores

En este momento, en la industria se está intentando conseguir una solución con respecto al peso y tamaño de los intercambiadores de calor, para que sean lo más ligeros y pequeños posibles, y tener una mayor eficiencia. (Trends in state-of-the-art Heatsinks and their patent technology, 2005).

Los intercambiadores de calor se pueden dividir en muchos grupos dependiendo de la clasificación que se quiera hacer;

- Tipo de contacto.
 - Directo.
 - Indirecto.
- Mecanismos de transferencia de calor.
 - Convección de una sola fase.
 - Convección con cambio de fase.
 - Combinación de convección y radiación.
- Número de fluidos involucrados.
- Disposición de los fluidos.
 - Paso único.
 - Paralelo.
 - Contracorriente.
 - Cruzado.
 - Pasos múltiples.
- Compactación de la superficie.
- Tipo de construcción.
 - Doble tubo.
 - Tubo y coraza.
 - Enfriados por aire y radiadores.
 - Placas empacas.
 - Espiral.
- Otros.
 - Raspadora.

- Bayoneta.
- Serpentin.
- Laminas.
- Contacto Directo.
- Vertical descendente.
- Cascada.
- Grafito impermeable.

(yumardiaz, 2011)

2.2.2 Funcionamiento de los intercambiadores

Como se ha visto hasta el momento la función de los intercambiadores es la de transferir calor de un fluido a otro, o de un fluido a un objeto.

Dentro del caso de la transferencia entre fluidos se puede entender el funcionamiento como un tubo por donde un flujo de fluido está atravesando mientras que otro fluido mana alrededor de dicho tubo. Y se pueden estudiar dicho funcionamiento distinguiendo tres categorías;

1. Convección entre el fluido interno y la pared interna del tubo.
2. Conducción a través de la pared.
3. Convección entre la pared externa y el fluido externo.

(Jaramillo, 2007).

Para el estudio de este Proyecto se ha usado un disipador de calor, el disipador de calor, es un intercambiador de calor en el que sólo se usa un fluido. Según las clasificaciones de intercambiadores de calor vista en la sección 2.2.1 se podría asemejar al caso de las placas empacas. Este tipo de intercambiador se va a explicar en detalle en la sección 2.3.

2.2 Disipadores de calor

Un disipador de calor es un dispositivo complementario que se usa para aumentar la evacuación de calor del objeto al cual se le coloque hacia el aire que lo rodea. (Trujillo, Pozo, and Triviño, 2009). Con respecto a la interpretación de intercambiador de calor, el aire sería el flujo y el objeto del que se intercambia calor es el disipador de calor.

La siguiente figura muestra un disipador de calor cuadrado.

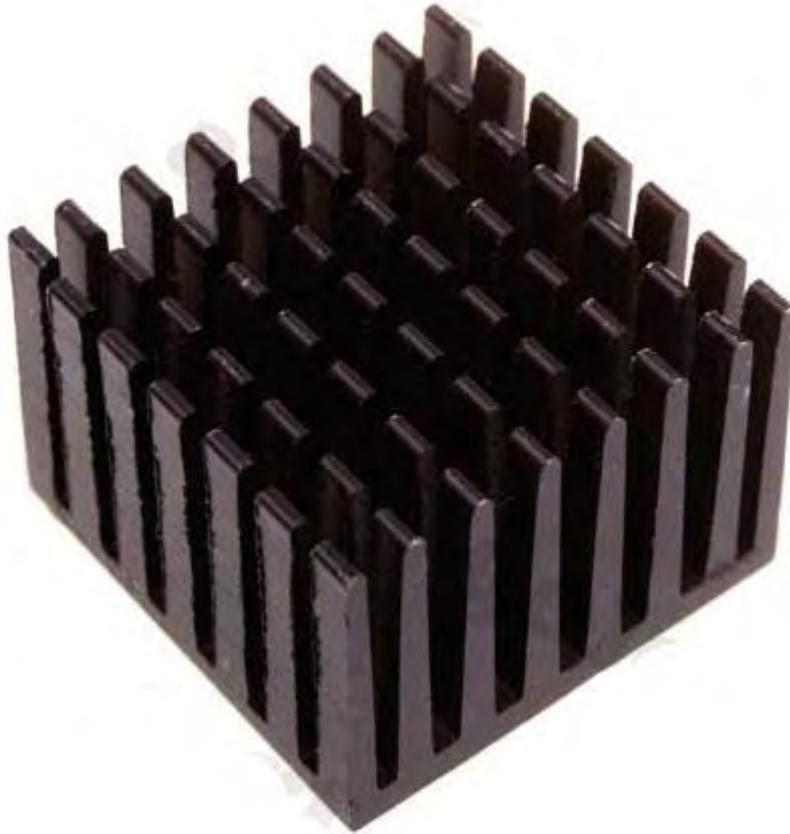


Figura 6. Disipador de calor cuadrado. (Mijangos and perfil, 2015)

Los disipadores de calor están hechos de diferentes formas (cuadrados, rectangulares, redondos...), con diferentes tecnologías de aletas (aletas de alfiler o tuberías de hielo), además, existe un disipador de calor que no necesita un ventilador, el “fanless spinning heat sink”. En todos estos casos las aletas son estáticas, no es utilizado un sistema dinámico, salvo en el último ejemplo, que sería como el paso intermedio (este disipador se verá en más detalle en las próximas secciones). En las siguientes figuras se pueden observar diferentes tipos de disipador de calor. (Real Martín et al., 2016)



Figura 7. Disipador de calor redondo. (Booth et al., 2014)



Figura 8. Tecnología de tubos de hielo. (Man, 2011)



Figura 9. Disipador de calor con tecnología de aleta de aguja. (Pin fin heat sink - today (China Manufacturer) - cooling fan & Heatsinks - computer components products - DIYTrade china manufacturers, no date).

2.2.1 Historia

El enfriamiento de la CPU se hizo necesario cuando debido al calor generado por la frecuencia de los relojes, que están presentes en los ordenadores, y que además este calor se incrementaba con el avance de los microprocesadores. En los primeros años se solía disipar el calor mediante un disipador que movía el calor desde el disipador hasta las puntas del ordenador. El aumento cada vez más rápido de los ordenadores y por tanto de la temperatura que generan, obligo a la incorporación de un ventilador al disipador, y así poder mejorar el sistema y tener un proceso que enfriarán más rápido el medio. (Jaramillo, 2016)

Actualmente existe el método de refrigeración líquida, en el que en lugar de usar aire como fluido refrigerante se usa un líquido (que posee mayor coeficiente térmico y por tanto mejora la efectividad del sistema). Este método hace fluir un líquido refrigerante por unos conductos, que están en contacto directo con los componentes a enfriar. Todo esto provoca una mayor eficiencia si se compara con los sistemas refrigerados por aire y se suele usar en procesadores donde se practica el overclock. (Jaramillo, 2016)

2.2.2 Descripción

Los disipadores de calor suelen estar contruidos con aluminio, un metal ligero y con una alta conductividad térmica, o en su defecto se usa el cobre (pero este material es más caro, por lo que su uso se suele aplicar en sistemas industriales). (Real Martín et al., 2016)

Los disipadores de calor son requeridos especialmente en aparatos mecánicos y eléctricos, para disipar el exceso de calor producido por estos aparatos. Avances en la tecnología de los disipadores de calor significa mejoras en los diseños estándar. Esto es debido a que los aparatos actuales tienen un diseño sencillo y eficaz, sin embargo, no tienen la suficiente eficiencia que los aparatos mecánicos y especialmente los eléctricos necesitan para no sobrecalentarse. (Real Martín et al., 2016)

La cualidad del disipador de calor es definida por su habilidad de transferir calor lo más rápido posible fuera del sistema. Por lo que usando la ecuación $Q=hA\Delta T$, (donde Q es el

calor, h es el coeficiente de transferencia de calor, A es la superficie de contacto entre el disipador de calor y el fluido y por último ΔT , es la diferencia de temperatura entre el disipador de calor y el fluido). Se puede observar que si se amplía tanto la superficie como la diferencia de temperatura se puede mejorar la eficiencia del disipador. Asimismo, aumentando la velocidad del fluido, se aumenta h y por lo tanto también se puede aumentar la eficiencia térmica. Pero no solo aumentando la velocidad del fluido se aumenta el coeficiente térmico, se puede mejorar los materiales, la calidad de la superficie, cambiar el diseño y añadir pegamentos o pastas térmicas para reducir la resistencia térmica. (Das, 2011).

Idealmente, un ordenador no tendría la necesidad de un aparato externo para disipar el calor que genera, o que con sólo el uso del disipador fuera suficiente. Pero en ocasiones, es necesario mover grandes flujos de aire sobre el disipador de calor cuando el ordenador está funcionando al máximo como en tareas de mantenimiento, copia de ficheros, transmisión de información en streaming o compartiendo ficheros. El hecho de soplar este flujo a través del disipador es para mejorar la convención, la h , pero este proceso genera una gran cantidad de ruido. Las dos causas principales del ruido son la fricción y las vibraciones provocadas por un diseño pobre. Crear un disipador de calor que pueda evitar el uso del ventilador, provocaría una gran reducción del ruido de los ordenadores y una reducción del peso en los portátiles que siempre se busca. (Real Martín et al., 2016)

2.2.2 Disipadores de calor en los ordenadores

Los disipadores de calor son normalmente usados en ordenadores, pero también se pueden encontrar en móviles, DVD, refrigeradores y consolas. En el ordenador, el disipador de calor esta unido al procesador, para poder evitar que este se sobrecaliente. En los ordenadores actuales el disipador de calor es tan importante como cualquier otra pieza que conforma una computadora. (Real Martín et al., 2016)

El disipador de calor tiene una superficie conductora de calor que gracias a las aletas es aumentada, esta superficie quita calor del CPU, haciendo que tanto el procesador como el disipador se caliente (el procesador se calienta por su funcionamiento interno, y el disipador se calienta al extraer el calor del procesador). Debido a que el disipador de calor se caliente es necesario el uso de un ventilador que induzca un flujo de aire para poder extraer todo el calor. (Real Martín et al., 2016)

La mayoría de ordenadores incluyen un ventilador circular adicional cerca del disipador de calor para reducir el calentamiento de los componentes cercanos al procesador. Y algunos poseen ventiladores más grandes para enfriar la carcasa del ordenador u sus alrededores. (Real Martín et al., 2016)

Diseñadores aparte de tener en cuenta los efectos del disipador de calor y el ventilador, tienen que tener en cuenta los materiales de la carcasa y su permeabilidad, ya que estos materiales pueden ayudar o no a disipar el calor generado internamente por el ordenador. (Real Martín et al., 2016)

La siguiente figura muestra la agrupación de un disipador de calor y un procesador en un ordenador.

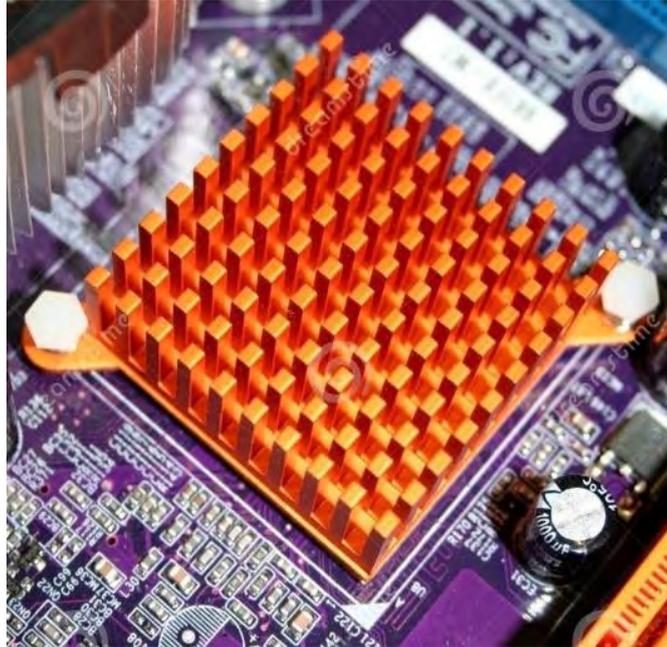


Figura 10. Disipador de calor junto a un procesador. (edgar and perfil, 2014)

2.2.3 Tecnología tubos de hielo (icepipe)

Esta tecnología Avanza hacia la tecnología dinámica. Es un disipador de calor que no necesita el uso de un ventilador para funcionar adecuadamente. Ya que combina la aplicación que genera el cambio de fase y la transmisión de calor.

Este nuevo sistema permite una mayor eficiencia a la hora de enfriar procesadores, ya que mueve el calor de una parte a otra, rápidamente y sin ningún ruido. Esto es posible a una evaporación cíclica y su posterior condensación del agua, que fluye por dentro de los tubos. (Stojic et al., 2014).



Figura 11. Funcionamiento de la tecnología tubos de hielo. (Stojic et al., 2014).

Existen varios modelos, dependiendo de la potencia que se desea disipar, y además actualmente se trabaja en reducir el tamaño de estos disipadores para que tengan menos limitaciones a la hora de instalarlos en los ordenadores. (Stojic et al., 2014).



Figura 12. Tecnología tubos de hielo para 80W. (Stojic et al., 2014).



Figura 13. Tecnología tubos de hielo para 95W. (Stojic et al., 2014).



Figura 14. Tecnología tubos de hielo para 95W. (Stojic et al., 2014).

2.3 Soluciones dinámicas

Todo lo visto hasta el momento son posibles soluciones para disipar o mover el calor de un lado a otro. Pero como respuesta a esta transferencia de calor se ha usado elementos estáticos, siendo los fluidos los únicos que tienen movimiento.

Como se vio en la sección de motivación estas soluciones tienen sus restricciones, la capa límite. En esta sección se van a analizar diversas soluciones que existen actualmente y que han servido de inspiración para el prototipo creado a lo largo del proyecto.

Antes de comentar y estudiar los inventos que intentan dar solución al problema del proyecto, se va a explicar detalladamente que es y por qué afecta tanto la capa límite a los intercambiadores de calor.

2.3.1 Capa límite

La capa límite en realidad es un invento que el ser humano ha hecho, para poder facilitar la compresión de fluidos en contacto con sólidos. Comportamiento que se entiende con las ecuaciones de Navier-Stokes (ecuaciones que se muestran en la figura 15), dichas ecuaciones no tienen solución matemática general. (Cueva, 2004)



Navier–Stokes Equations

3 – dimensional – unsteady



Coordinates: (x,y,z) Time: t Density: ρ Pressure: p Reynolds Number: Re
 Velocity Components: (u,v,w) Stress: τ Heat Flux: q Prandtl Number: Pr

Continuity:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

X – Momentum:
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right]$$

Y – Momentum:
$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right]$$

Z – Momentum:
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right]$$

Total Energy – Et:
$$\frac{\partial(E_T)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_T)}{\partial z} = -\frac{\partial(u p)}{\partial x} - \frac{\partial(v p)}{\partial y} - \frac{\partial(w p)}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u \tau_{xx} + v \tau_{xy} + w \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u \tau_{xy} + v \tau_{yy} + w \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u \tau_{xz} + v \tau_{yz} + w \tau_{zz}) \right] - \frac{1}{Re_r Pr_r} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$$

Figura 15. Ecuaciones Navier-Stokes. (cueva,2004)

Para comprender el concepto de capa límite supongan que un cuerpo viaja a través de un fluido a una velocidad cualquiera V . Si se viaja en dicho cuerpo, lo que se moverá será el fluido de alrededor y el cuerpo tendrá velocidad nula. Lejos del cuerpo el fluido no notará la presencia de este objeto así que no habrá perturbación alguna, con lo cual la velocidad se mantendrá igual, V . Sin embargo, el fluido que está en contacto con el cuerpo se quedará pegado a él (esto es debido a efectos de la viscosidad del fluido), haciendo que la velocidad del fluido sea nula, $V=0$. (Cueva, 2004)

Se ha analizado lo que pasa con el fluido en los dos extremos, a una distancia suficiente como para no notar perturbación y el otro extremo en el que la velocidad es cero debido al contacto con el cuerpo. Pero, no se ha comentado nada de los puntos intermedios, es aquí donde entra la idea de la capa límite. Como ya se ha comentado anteriormente el fluido pegado al cuerpo tiene velocidad cero debido a efectos de la viscosidad. De hecho, la fricción que genera esta viscosidad provoca una tensión de cizalladura provocando un gradiente de velocidades. Velocidades que van desde el 0% de V hasta el 99% de V , siendo este punto el límite de la capa. En otras palabras, la región comprendida entre los dos puntos (contacto con el cuerpo, y punto límite en el que la velocidad es 99% de V) es la capa límite. (Ramos, 2016)

En la siguiente figura se puede observar lo anteriormente descrito. Donde, se puede ver la evolución de la capa límite y de las velocidades.

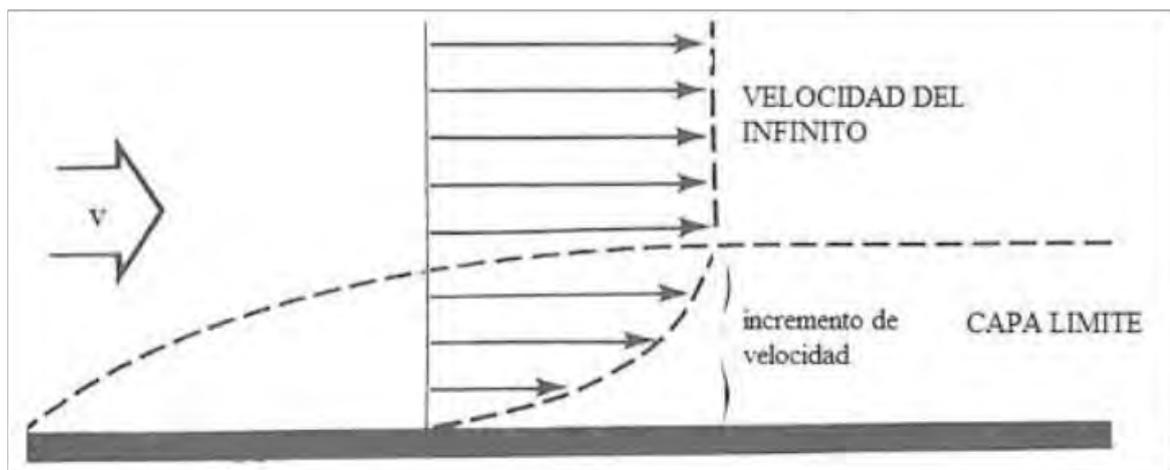


Figura 16. Capa límite (Rivera García, 2015)

Fuera de la capa límite, se puede desprestigiar la viscosidad, con lo que se puede tomar las ecuaciones de Navier-Stokes para resolver el problema. Pero dentro de la capa, el efecto de la viscosidad no se puede desprestigiar, pero se pueden hacer otro tipo de simplificaciones, que también facilitan la comprensión de las ecuaciones. La idea de la capa límite fue de Prandtl, que tuvo la idea de dividir las cosas de esta manera. (Cueva, 2004)

2.3.1.1 Importancia de la capa límite

Como se ha comentado en secciones previas la capa límite impide tener una mejora del rendimiento en los intercambiadores de calor. Y aunque se aumente la velocidad del fluido la eficiencia térmica no mejora todo lo que se quisiera. Esto es debido a la capa límite que en todo momento está presente en cualquier dispositivo, haciendo que exista una capa de aire muerta impidiendo una buena transmisión de calor.

En el apartado anterior se vio la definición de la capa límite y el porqué de su existencia, comprendiendo el efecto que tiene con respecto a la velocidad del fluido que esta alrededor del cuerpo. Al observar el cambio de velocidad, se puede extraer la primera idea de la importancia de la capa límite, si el fluido se ralentiza el coeficiente de transmisión térmica (h) se reduce y con ello la eficiencia térmica.

La capa límite anteriormente descrita es la capa límite cinemática, también existe la capa límite térmica, capa que se define como; la asociada a los gradientes térmicos que el fluido provoca en contacto con un cuerpo o superficie con distinta temperatura, dicha capa también va desde la temperatura del cuerpo al 99% de la temperatura ambiente o del fluido. En la siguiente figura se puede observar el concepto de capa límite térmica (Corberán y Royo, 2016)

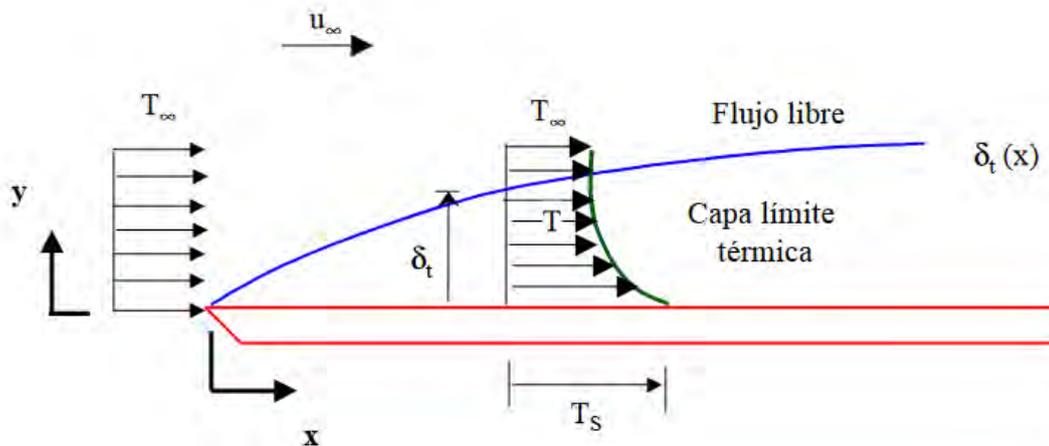


Figura 17. Capa límite térmica. (Corberán y Royo, 2016)

No solo se reduce debido a la velocidad el coeficiente de transmisión térmica (h), sino que, dentro de la capa límite el único mecanismo de transferencia térmica es el conductivo (Ramos, 2016), en lugar, de la convección. Dónde el método de transmisión por conducción es menos eficaz que el de convección.

2.3.2 Aplicaciones dinámicas

En esta sección se va a explicar diferentes tecnologías que intentan dar una solución al problema de la capa límite, o al uso de elementos dinámicos para tener una mayor eficiencia a la hora de transmitir el calor.

2.3.2.1 Tecnología de Jeff Koplow

Jeff Koplow del laboratorio nacional de Sandia ha considerado la destrucción de la capa límite diseñando intercambiador de calor direccionando el aire (Koplow, 2010). El intercambiador de calor evita el uso del ventilador al hacer que el disipador de calor actúe como propulsor, disipando el calor de la base metálica que está pegada al dispositivo del que se quiere extraer el calor. Las aletas en forma de espiral actúan rompiendo la capa límite. Haciendo posible que el giro de las aletas sea reducido provocando un menor consumo de energía y haciendo el menor ruido posible. (Real Martín et al., 2016)

En la siguiente figura se puede observar el invento y una vista térmica de este. Este equipo es uno de los disipadores de calor más eficaces, pero tiene un problema al adaptarse a ordenadores y a bombas de calor. (Anthony, 2011)

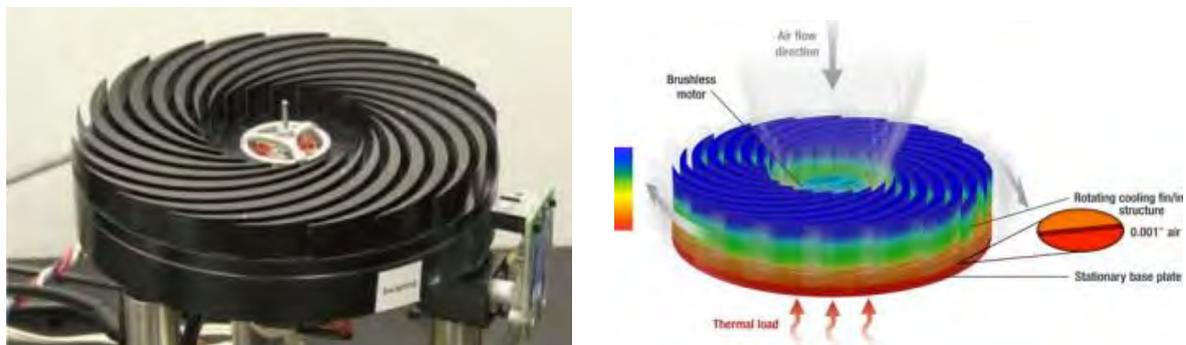


Figura 18. Tecnología sin ventilador. (Anthony, 2011).

2.3.2.2 Tecnología sin ventilador patente de William. J

La siguiente figura muestra otra solución dinámica, el funcionamiento de esta patente es similar al explicado anteriormente en la sección 2.3.2.1. Donde una hélice pasa a través de las aletas para remover la capa límite y hacer que el mecanismo sea más eficiente, al remover la capa límite. Dicho invento se puede ver en la figura 19. (J. Williams, 1991)

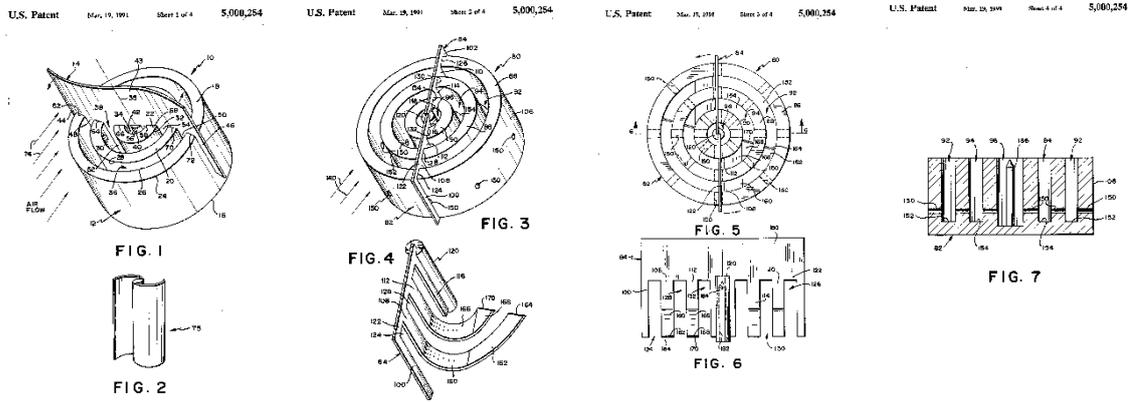


Figura 19. Disipador de calor dinámico. (J. Williams, 1991).

Capítulo 3.- Descripción del modelo desarrollado.

En este capítulo se describirá todo lo que acomete a la creación, diseño y funcionalidad del modelo desarrollado durante el trabajo. Además, se empezará con el listado de propósitos y objetivos que tienen que cumplirse una vez que el prototipo sea construido.

Posteriormente, se realizará un análisis del sistema usado para comprobar el funcionamiento del prototipo, explicando los detalles que llevarán a los resultados finales (resultados que se podrán ver en el capítulo 4).

Finalmente se llevará un estudio económico del proyecto, dónde se comentarán los gastos llevados por el equipo a la hora de la creación del prototipo.

3.1 Propósito

El propósito del proyecto se divide en dos partes, la primera lo que el proyecto pide en sí, y la segunda parte es lo que el trabajo aporta por ser estudiante de último año. Ya que, aunque el trabajo se ha realizado con la mayor profesionalidad posible, sigue siendo un trabajo universitario en el que han participado profesores, que han sido los directores de proyecto.

Por tanto, el primer propósito es la creación de un prototipo sin ninguna base, en el que hay que realizar una extensa búsqueda de información, para poder conseguir un diseño de un prototipo que consiga aportar una solución creativa y eficaz al problema de los actuales transformadores de calor usando elementos dinámicos.

El segundo propósito es aprender a realizar todas las etapas que se exigen en la creación de un bien industrial, desde las primeras etapas de diseño hasta la terminación del producto.

3.2 Objetivos

- Llevar a cabo una extensa búsqueda de información y su posterior comprensión, para poder aprender los conceptos que rodean la teoría de los intercambiadores de calor, y así poder tomar la decisión más adecuada a la hora de diseñar el prototipo.
- Diseñar un sistema dinámico.
- Producir un prototipo que funcione.
- Hacer diversas pruebas para comprobar el funcionamiento del prototipo.
- Crear un camino para diseños y trabajos futuros.

(Real Martín et al., 2016)

3.3 Diseño

Los requisitos del diseño se basan en que hay que usar elementos dinámicos (concretamente aletas) a la hora de mejorar un intercambiador de calor o un disipador de calor, en el caso del proyecto se decantó por el diseño de un disipador de calor.

El hecho de usar elementos dinámicos en el disipador de calor genera ciertas restricciones. La primera es que se debe crear una mejora notoria en el modelo desarrollado, debido a las aletas dinámicas. La segunda es que dicha mejora no debe comprometer la efectividad del disipador de calor. Sin embargo, también existen ventajas, ya que las aletas dinámicas rompen la capa límite, que como se ha visto anteriormente en el documento es el mayor lastre de los disipadores de calor. (Real Martín et al., 2016)

En cuanto a la construcción del prototipo también tiene ciertas restricciones, están viene provocada por la elección de la aplicación (disipar calor de los ordenadores). Esto define el prototipo en un tamaño realmente reducido típicamente alrededor de 2mm por lado. (El actual prototipo y sus medidas se pueden observar en la sección 3.7). Este tamaño provoca que la precisión con la que se tiene que fabricar aumente, a la vez que aumenta la precisión requerida a la hora de diseñar el prototipo. Debido a que crear un disipador de calor de esas dimensiones se sale del presupuesto para el proyecto se decidió comprar uno y modificarlo para conseguir el objetivo deseado. (Thick base, higher weight, directional sensitive high fin density medium-high many applications Skived low performance inexpensive low power Stamped*, 2011)

Un compromiso se debe realizar con respecto a las restricciones, y esto se realizará con el empleo de dos sets de aletas. El primero será las aletas que vienen en el disipador de calor (estáticas) y el segundo set será las aletas dinámicas, que se moverán entre las aletas estáticas perturbando el aire y por consiguiente rompiendo la capa límite. El grupo de aletas dinámicas será producido y diseñado a parte del disipador de calor, además habrá que tener en cuenta que la función de estas aletas no es la de la transmisión de calor, si no la de romper la capa límite. Esto significa, que no existirá una gran restricción a la hora de elegir un material y el tipo de producción de las aletas móviles, y se reducirá el problema al hecho de que la escala del prototipo es muy pequeña. (Real Martín et al., 2016)

Con estas restricciones en la cabeza, el siguiente paso es crear el concepto, empezar a diseñar el prototipo. Posteriormente, se tiene que decidir qué tipo de movimiento es el que mejor se adecua a las aletas. El segundo grupo de aletas idealmente se deberían de colocar paralelo al flujo del aire que atraviesa el disipador de calor, y así no bloquearía dicho flujo, pero podría provocando ciertas alteraciones la dirección del flujo. Para mover estas aletas se decidió usar un motor, y luego convertir el movimiento giratorio en el movimiento que se deseará, como por ejemplo un movimiento lineal en un disipador cuadrado. En el caso que ocupa este estudio, no se tuvo que transformar el movimiento por que se usó un disipador de calor circular, como se puede observar en la figura 20.

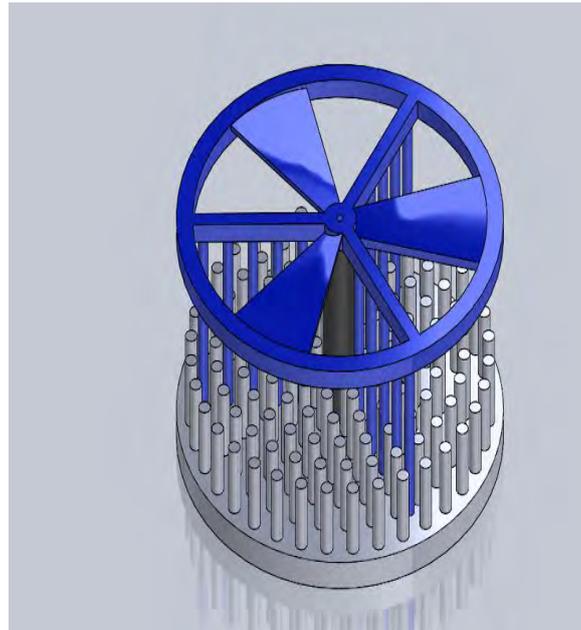


Figura 20. Conjunto en solidworks del modelo. (Real Martín et al., 2016)

Para este diseño, el motor se colocó en la parte central gracias a un cajetín (que se puede ver en la figura 21 y 22, y en los planos). Dicho cajetín alberga el motor, y a la vez se aloja en medio del disipador de calor. Al estar el motor adjunto al sistema de aletas móviles al encender el motor este hace que las aletas pasen a través de las aletas del disipador de calor. Además, se decidió por usar la estructura móvil como ventilador. Así, se puede mover un flujo de aire de arriba hacia abajo, paralelo a las aletas fijas. (Real Martín et al., 2016).

Se ha utilizado un disipador de calor redondo, debido a dos razones. La primera por el hecho de que se ajusta mucho mejor al diseño establecido por el equipo. Además, es una de las formas más eficaces que existen en cuanto a los disipadores de calor, lo que hace que se tenga una mayor eficiencia en general. (Junaidi, 2014)

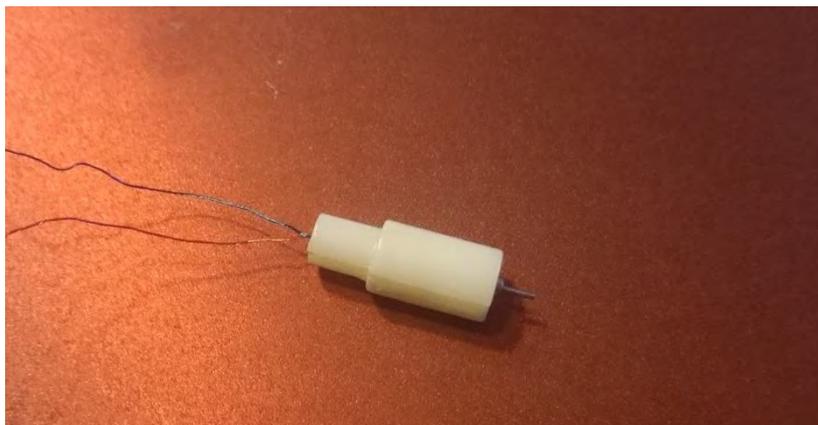


Figura 21. Motor dentro del cajetín para adjuntarlo al disipador de calor. (Real, 2016)



Figura 22. Cajetín del motor. (Real,2016)

En la página 108, dentro del capítulo de apéndices, se puede ver el tipo de motor que se ha usado en este proyecto.

El actual motor necesita una fuente conectada a los cables que se pueden observar en las anteriores fotos. En el capítulo 5, en la sección de trabajos futuros se comentará otra posibilidad de hacer que el motor se mueva.

3.4 Construcción del modelo

Diferentes métodos de producción fueron considerados para hacer el modelo de la mayor forma posible. Pero se vio de forma rápida que la opción más aconsejable, se decidió usar una técnica de prototipado rápido, impresión en 3D. Esto es debido a las limitaciones del modelo, una escala pequeña, hecho que complica la manufacturación del prototipo, haciendo imposible hacerlo a mano y muy costoso hacer un molde, para una sola unidad. Además, el material con el que se puede hacer el modelo, puede ser plástico, ya que como se vio anteriormente no es necesario que transfiera el calor. (Real Martín et al., 2016).

Usando una máquina de prototipado rápido, permite hacer cambio y mejoras en el modelo y tenerlo listo en cuestión de horas. La máquina usada fue la impresora OBJET30 3D. La impresora imprime con una precisión de 0.1 mm, permitiendo imprimir adecuadamente un diseño tan pequeño como el caso del modelo. Otra ventaja de esta máquina es el material usado para las partes donde es necesario quitar el material sobrante, ya que se hace de forma más rápida y cómoda. (Real Martín et al., 2016).

La OBJET 30, la máquina de prototipado rápido usada durante el proyecto, usa un método estereográfico de impresión 3D. esto involucra que la máquina hace capas uniformes de resina fotosensible, para construirlo en la base con un espesor, que normalmente es de 0,1 mm. Con una laser ultravioleta de baja potencia, se fija en las superficies en las que el material tiene que ser solidificado. Dejando, las demás superficies como un gel, el cual permite volver a construir sobre esa superficie otra capa, y que se pueda retirar fácilmente el material no deseado una vez acabada la pieza. Este proceso se repite capa tras capa hasta que la pieza se termina. (Real Martín et al., 2016).

La impresora OBJET30 necesita un documento STL como entrada, para producir ese documento es necesario usar el software SolidWorks que es un programa de 3D CAD. SolidWorks fue utilizado para diseñar los modelos en el ordenador del prototipo. Estos documentos de SolidWorks se pueden guardar en diferentes formatos y uno de ellos es el STL, con lo que la máquina OBJET30 puede leerlos y posteriormente imprimirlos. (Real Martín et al., 2016).

Uno de los puntos más importantes es tomar las dimensiones adecuadamente, ya que el set de aletas móviles tiene que pasar por un hueco de apenas unos milímetros de dimensión y no pueden chocar contra el otro grupo de aletas estáticas. Esto hace que sea necesario una alta precisión a la hora de imprimir el modelo en la impresora 3D, por lo que la máquina OBJET 30 es ideal para esta tarea, debido a su alta precisión. Asimismo, las aletas tienen que estar alineadas y ser aletas a las aletas que tienen el disipador de calor. Inicialmente, la impresión del prototipo no resulto la idónea, ya que chocaban las aletas unas con otras, esto fue debido a que se asumió que las aletas del disipador de calor tendrían una distancia entre ellas uniforme, pero no fue así, así que, se tuvo que cambiar las medidas del diseño, una vez medido los radios de los círculos que agrupaban los espacios entre las aletas del disipador de calor, las aletas fijas. Resultando un set de aletas móviles que encajaba con los espacios del set de aletas fijas del disipador de calor. (Real Martín et al., 2016).

En la siguiente imagen se puede ver el disipador de calor con el modelo imprimido en 3D, donde se puede apreciar las dimensiones que van de 1mm a 0,5 mm y donde las hélices puestas en el modelo pueden tener la dimensión deseada, gracias a la precisión que ofrece la máquina de prototipado rápido.

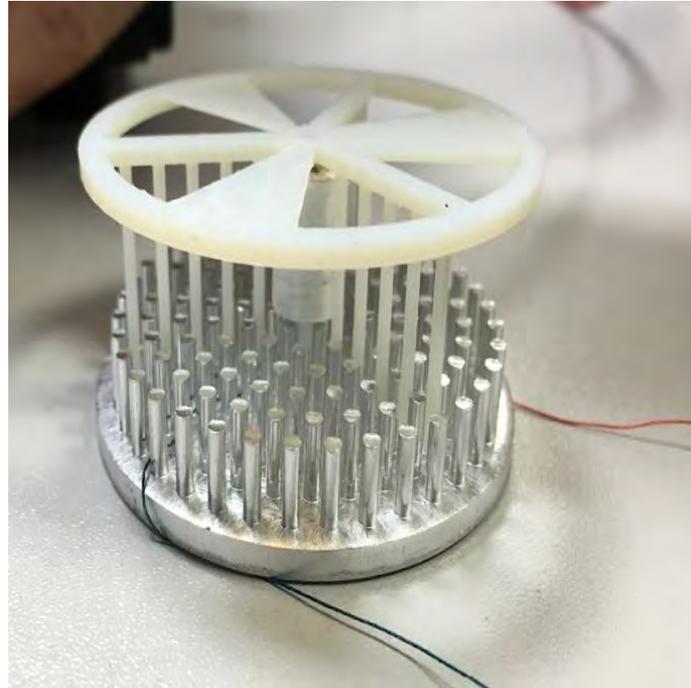


Figura 23. El modelo. (Real Martín et al., 2016).

3.5 Diseño del banco de pruebas

Una vez realizado la construcción del modelo, y realizado todos los ajuste para que el modelo funcionara como se quería que funcionara y se haya asegurado que cumplieran todos los requisitos especificados al principio del proyecto. El modelo tenía que ser puesto a prueba, para poder ver si realmente se había realizado algún tipo de mejora con respecto a los modelos estáticos.

En esta sección se va a analizar como se ha realizado un banco de pruebas y porque se ha elegido este tipo de circuito y no otro, aparte del funcionamiento del mismo. Para ello se va a dividir esta sección en dos subapartados, donde se explicará cada aspecto del circuito, que además de contar con una explicación contará con imagines y esquemas para que se pueda visualizar el proceso y todo el analisis descrito a continuación.

La importancia de tener un buen sistema de comprobación de si el sistema es el adecuado es fundamental, ya que se necesita estar seguro que lo que se ha construido implica una mejora con respecto a los sistemas usados. Y en este caso que se partia de un disipador convencional a la implantación de un set móvil de aletas, es necesario comprobar que efectivamente se mejora la efectividad del sistema inicial.

3.5.1 Elección del banco de pruebas.

El modelo es un Sistema diseñado para poder disipar la mayor cantidad de calor posible en el menor tiempo posible, esto se refiere a la potencia, energía entre tiempo. Por lo que el sistema de pruebas, tiene que medir este flujo de energía.

Para ello se ha creado un escenario en el que poner a prueba los diferentes aparatos, y que siempre estén en las mismas condiciones para luego poder comprobar el resultado final y saber que disipador es mejor. Para ello se han comparado diferentes aspectos, el disipador de calor sólo, con el ventilador, y finalmente con las aletas.

Los disipadores de calor están clasificados por su valor absoluto de la resistencia térmica, medida en °C/W. Para esta investigación, la resistencia térmica del disipador de calor esta comparada con y sin las diferentes mejoras construida a lo largo del proyecto, como ya se comentó anteriormente. Para empezar con las pruebas del sistema, se aplica un objeto a la base del disipador de calor, este objeto tiene que disipar un calor constante, una potencia constante. Una vez que este objeto disipe una potencia constante hay que dividir esta potencia por la temperatura en el estado final del sistema, cuando ya tiene una temperatura constante. Con esta operación se puede calcular la resistencia térmica final del disipador de calor. El objeto elegido es un transistor, ya que es ideal para este tipo de experimentos ya que hay unos especialmente diseñados para comprobar la eficiencia de los disipadores de calor, por lo que usando un circuito adecuado se puede hacer que este transistor suministre una potencia constante. La siguiente figura muestra como se ha unido el transistor al disipador de calor usado. Para el pegado entre el transistor y el disipador se ha usado una cinta térmica para que haya la menor perdida de calor entre el transistor y el disipador de calor. (Real Martín et al., 2016).

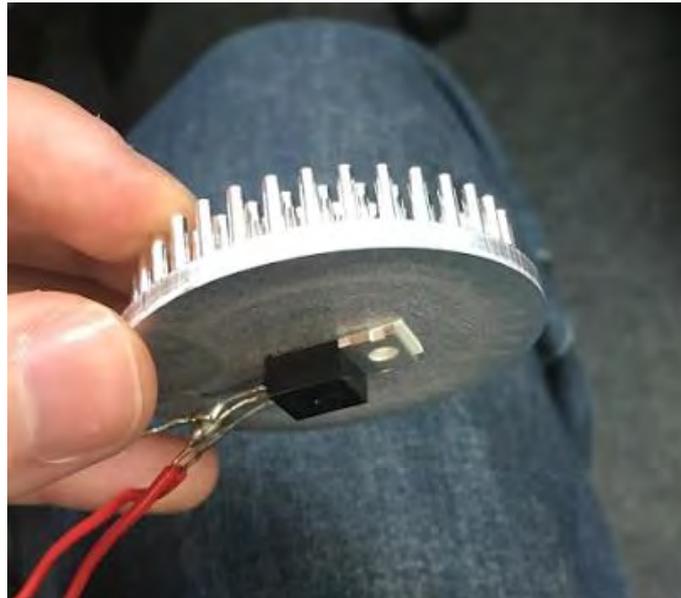


Figura 24. Transistor unido al disipador de calor. (Real Martín et al., 2016).

Como mejora del disipador de calor, el prototipo debe conseguir reducir la resistencia térmica del disipador de calor. En el circuito de pruebas construido (ver la siguiente sección 3.5.2) la corriente que pasa a través del transistor puede ser ajustada y con ello decidir que potencia se quiere tener en el transistor, con lo que se puede medir y ajustar esta potencia. La potencia disipada por el transistor puede ser comprobada con respecto a los valores dados de la resistencia térmica por el fabricante con una salida pequeña de potencia. (Real Martín et al., 2016).

Para el transistor TIP42 PNP TO-220 usado, la resistencia térmica para la carcasa-junta y el ambiente-junta es de 1.67 and 57 °C/W respectivamente (On Semiconductor, (n.d.)). Para encontrar la resistencia térmica del disipador de calor se puede sacar de la siguiente operación; $R_{(total)}$ es el valor que debe ser encontrado. $R_{(total)} = \frac{1}{R_1 + R_2}$ donde R_1 y R_2 son los dos valores de Resistencia térmica dados anteriormente. Esto da un valor para la resistencia térmica del transistor de 55.33 °C/W.

Para encontrar la resistencia térmica del aparato hay que usar la siguiente ecuación.

$$\theta = \frac{T - T_a}{P}$$

Donde:

θ = Resistencia térmica

T = Temperatura estática del aparato

T_a = Temperatura ambiente

P = Potencia disipada

(Real Martín et al., 2016).

Para validar el circuito, cuando se pruebe 1 W de potencia disipada el transistor debe alcanzar la temperatura estable de 77 °C cuando se hizo el experimento, ya que la temperatura ambiente era de 22°C. En el caso de que los resultados sean favorables (datos que se verán en el capítulo 4) se puede seguir adelante con el banco de pruebas. (Real Martín et al., 2016).

Por todo lo explicado hasta hora, donde se ha visto el funcionamiento teórico y el porqué del uso de un transistor para tener una fuente de potencia constante con el que calentar el disipador, hacen que este método sea el ideal para poder comprobar el funcionamiento adecuado del modelo.

A continuación, se explicará cómo se diseñó y las características del circuito eléctrico necesario para poder tener una potencia constante en el transistor y así hacer que el banco de pruebas sea el adecuado, y que arroje datos que se puedan usar para poder comparar la eficiencia de los aparatos usados y creados.

3.5.2 Funcionamiento del circuito electrico.

La figura 25 muestra un amplificador operacional, dicho amplificador es la clava para poder realizar el circuito diseñado. En la figura se puede observar las diferentes entradas y salidas. En la siguiente figura, la 26, se muestra l transistor usado, y donde se puede observar que pata es cada una, si es el emisor, el colector o la base. Por último, se ha usado una fuente de voltaje, y una resistencia de valor de 10 Ω .

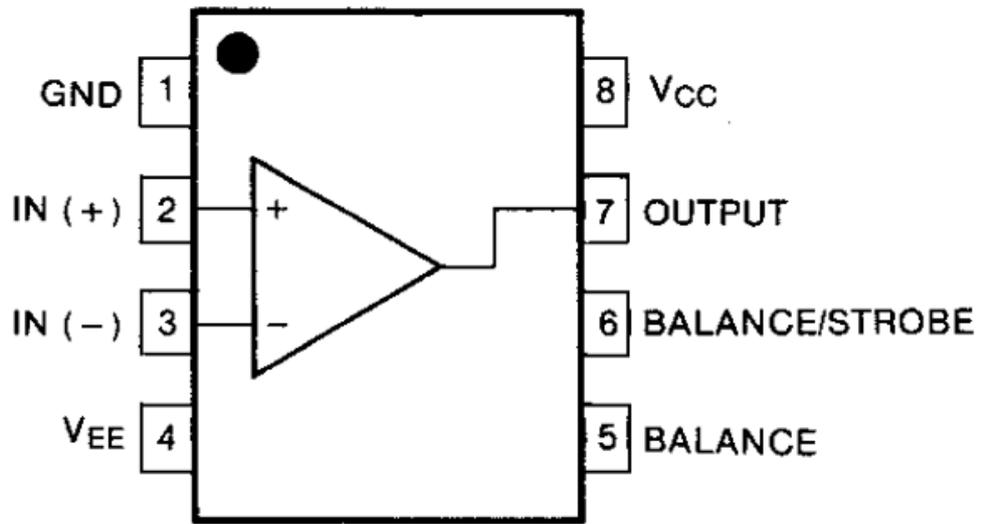
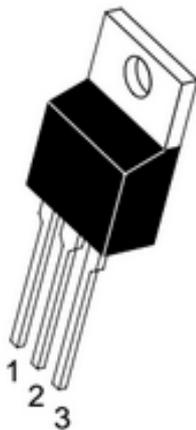


Figura 25. Amplificador operacional Lm 311.



1. Base.
2. Collector.
3. Emitter.

Figura 26. Transistor TIP 42C.

Antes de empezar a analizar el circuito, hay que entender el funcionamiento del amplificador operacional. El amplificador operacional funciona gracias a las dos leyes de oro. La primera es que el amplificador operacional tiene una resistencia muy alta en los puntos 2 y 3, de la figura 25, esto provoca que la intensidad por esos dos puntos sea prácticamente nula, de hecho, se considera 0. La segunda ley es que el amplificador operacional hace todo lo posible a través del punto 7, la salida, para que los puntos 2 y 3 tengan siempre el mismo voltaje, es decir que la diferencia de tensión entre los dos puntos es 0V.

Como se puede ver tanto en la figura 25 como en las hojas de datos que hay en los anexos (página 123) el amplificador operacional tiene 8 patas, pero sin embargo en el esquema del circuito (figura 26) sólo se puede observar 3, los puntos 2,3 y 7. Esto es debido a que los demás puntos o no son conectados o están conectados para alimentar externamente el

amplificador operacional. Así el punto 1 no está conectado, el 4 se conecta a una fuente de voltaje negativa, los puntos 5 y 6 tampoco se conectan y el punto 8 está conectado a una fuente de voltaje positiva.

En la figura 26 se muestra el esquema seguido para poder conseguir la potencia constante del transistor usado. Como se mencionó anteriormente dicha potencia es la potencia usada para calentar las diferentes configuraciones de los disipadores de calor. El transistor está conectado a una fuente de voltaje de 12 V, está siempre se mantiene constante, por lo que, siendo la potencia igual al voltaje por la intensidad, la función del circuito es conseguir una corriente constante y que se pueda variar dependiendo de las necesidades requeridas. La corriente que atraviesa el transistor, y, por tanto, es la que determina la potencia del transistor es I_b , para conseguir todo lo mencionado anteriormente es necesario usar el amplificador operacional previamente descrito, una resistencia y una fuente de voltaje. (Posted, 2011)

La potencia que disipa el transistor es $P_d = I_c * V_{ce}$, en otras palabras, la corriente que pasa por el colector es multiplicado por la diferencia de voltaje entre el colector y el emisor. La intensidad I_c del transistor es igual a 10 veces la intensidad de la base, I_b . Esto es debido al propio funcionamiento del transistor.

En la siguiente figura se ve el esquema del circuito, donde $v_1 = 12V$ y la corriente que pasa por el colector es $I_c = 0,4$, llegando a la conclusión de que la potencia que emite el transistor es igual a: $12 * 0,4 = 4,8W$.

Resumiendo lo que se ha comentado anteriormente. Se ha construido un circuito que hace que salga una corriente I_b , esta corriente pasa por el transistor pasando a ser I_c , pero para ello se multiplica por 10, por lo que hay que tener en cuenta este factor a la hora de diseñar el circuito y el valor de I_b . Por último, la corriente I_c es la que genera la potencia disipada por el transistor conjuntamente con el voltaje al que el transistor está conectado.

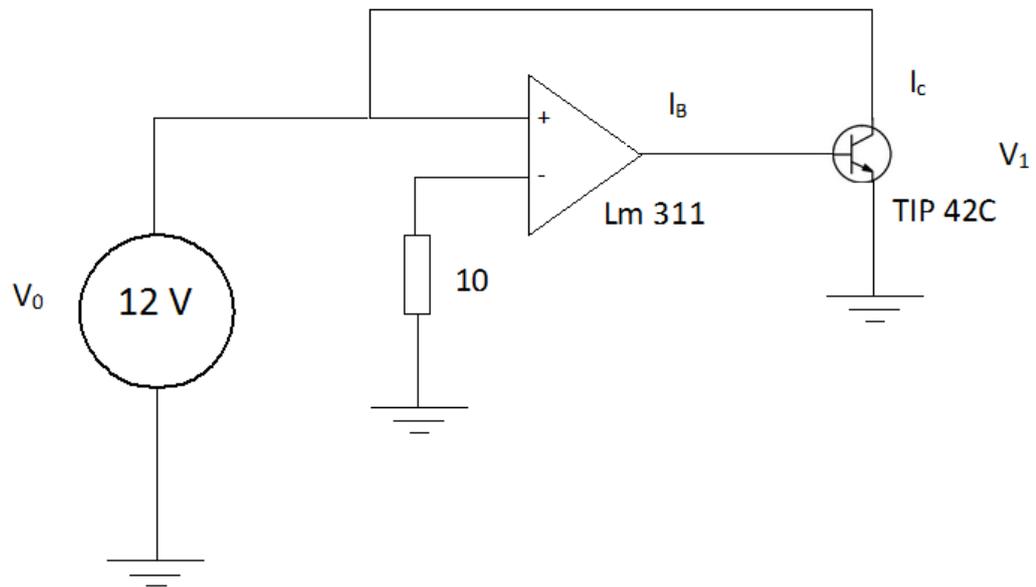


Figura 27. Esquema del circuito.

3.6 Estudio económico

Durante el proyecto se ha ido realizando diferentes gastos, pero todos los gastos han sido enfocados para un solo prototipo. El proyecto tenía un presupuesto máximo de 500 libras por lo que todos los gastos incurridos tienen que estar controlados.

Todos los gastos realizados durante el proyecto se pueden ver en la tabla del presupuesto alojada en el capítulo 4. En este apartado se van a analizar el porqué de los gastos y se va a introducir el estudio económico de la implementación del modelo a nivel industrial, que está explicado en más detalle dentro de la sección de trabajos futuros en el capítulo 5.

A parte de tener que hacer un seguimiento del coste alcanzado durante el proyecto, para no sobre pasar el límite puesto por la universidad, el hecho de hacer un estudio económico es relevante ya que es el cálculo de lo que costaría diseñar y crear un bien industrial.

Esta sección se dividirá en dos subapartados, en los que se contará las dos situaciones. En el primer subapartado se analizará el coste del prototipo y en el segundo se estudiará el coste que habría costado la etapa de diseño del modelo.

3.6.1 Valor del prototipo.

En este primer apartado, se va a tener en cuenta sólo los gastos específicos que se han llevado a cabo con respecto al prototipo construido. Es decir, todos los costes de materiales, compras de aparatos y utensilios usados.

Durante el proyecto se ha usado multitud de aparatos y programas, pero estos aparatos y programas estaban en las diversas instalaciones que la propia universidad facilita al alumno, por lo que el coste incurrido es nulo.

Sin embargo, a la hora de hacer el proyecto se tuvo que comprar diversas cosas, como los disipadores de calor, ciertos aparatos eléctricos para poder hacer adecuadamente el circuito de pruebas, con el que se ha comprobado el funcionamiento del modelo. Cinta, pegamentos térmicos para poder adherir el transistor al disipador.

Además, un gasto que se puede suponer evidente como lo que es los diferentes modelos imprimidos en la impresora 3D, no han sido tenidos en cuenta porque eso también lo ofrece a como servicio gratuito la propia universidad.

Los resultados de los costes realizados por el equipo durante todo el proyecto están en la tabla 4, dentro del capítulo 4.

3.6.2 Coste final del diseño del invento.

Como se puede observar los costes analizados en el apartado anterior son realmente escasos, pero son los costes exclusivos que se han realizado durante la ejecución del

proyecto. Pero hay más gastos secundarios e implícitos que hay que tener en cuenta si se quiere saber de verdad el coste final de la etapa de diseño.

Para empezar el uso de las instalaciones no es completamente gratis, tiene varios gastos indirectos como;

- El gasto eléctrico.
- El gasto de los empleados de limpieza.
- El gasto de los empleados de seguridad.
- El coste de oportunidad, al estar utilizando estas instalaciones para la actividad del proyecto, en lugar de otra actividad.

También hay costes directos que no se han tenido en cuenta los más importantes se citan a continuación;

- El coste del material usado en la impresión 3D.
- Los salarios de la gente implicada en el proyecto.

El coste más importante en este caso y que no se ha incluido en el apartado anterior es el salario del equipo que diseña el modelo. Para la mayoría del gasto lo importante es saber las horas de diseño que se han usado a lo largo del proyecto.

Hay que analizar el coste de un ingeniero recién titulado, cuantas horas han sido necesarias para el desarrollo del modelo, y con todo eso se podrá analizar todos los gastos incurridos enunciados anteriormente, salvo el material usado en la impresora 3D.

Todos los resultados se verán en el capítulo 4.

3.7 Planos

En esta sección se pondrán y explicaran cuatro planos, dichos planos son los planos que indican todas la medidas y especificaciones de los objetos y aparatos construido y diseñados. Estos planos son necesarios para poder replicar el prototipo y hacer más. Además, los planos generan una mayor comprensión de todo lo que está relacionado con el prototipo al poder verse claramente cada parte con la que el prototipo este hecho.

El primer plano representa el modelo impreso en 3D de las aletas móviles con el ventilador, lo que se ha comentado anteriormente como segundo set de aletas, o set de aletas móviles, que es así como se ha denominado el plano.

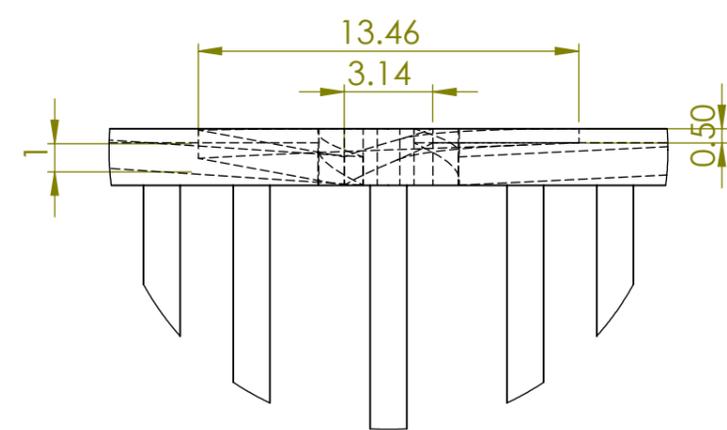
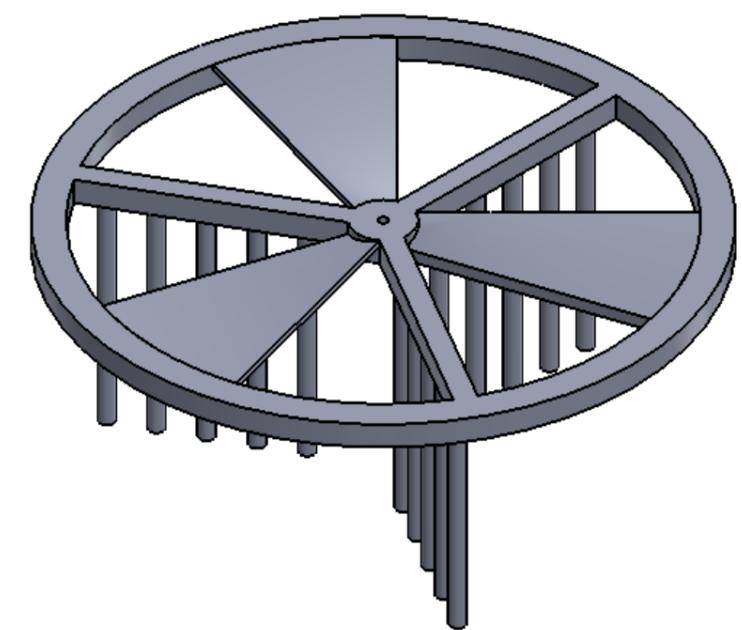
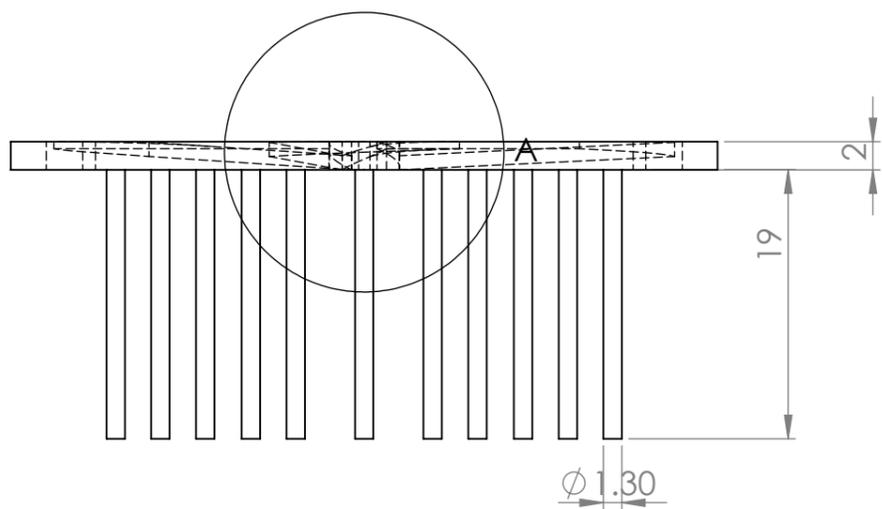
En el segundo plano está el cajetín donde va el motor que hace girar el set de aletas móviles. En el plano se puede observar la carcasa que tiene como función sujetar el motor y hacer que el motor se quede fijo en el centro del disipador de calor.

El tercer plano es la comparación entre las tres versiones que se han hecho hasta llegar al optimo, de los sets de aletas móviles. Cada uno ha sido mejorado por ser primero demasiado débil, segundo por no estar adecuadamente separadas las aletas unas de otras, y por tanto chocar con las aletas del disipador de calor. La última versión es la que se puede ver con mayor detalle en el plano 1.

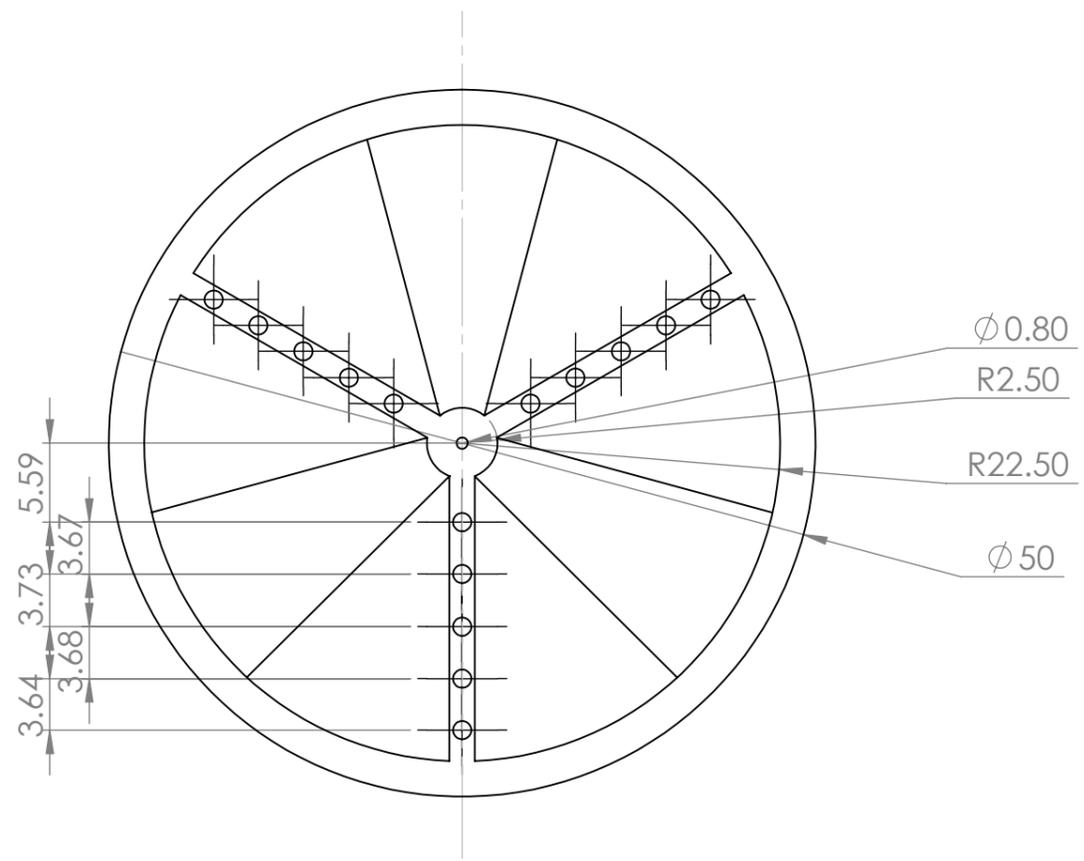
Por último, el plano 4 es el conjunto total, en el que se representa dónde va cada pieza en el conjunto total del modelo. Este plano es básico para la comprensión del funcionamiento del prototipo, y para poder hacer un desarrollo futuro del invento.

3.7.1 Plano 1. Set de aletas móviles (Stiring fan)

(Real Martín et al., 2016)



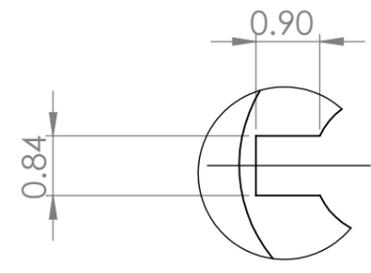
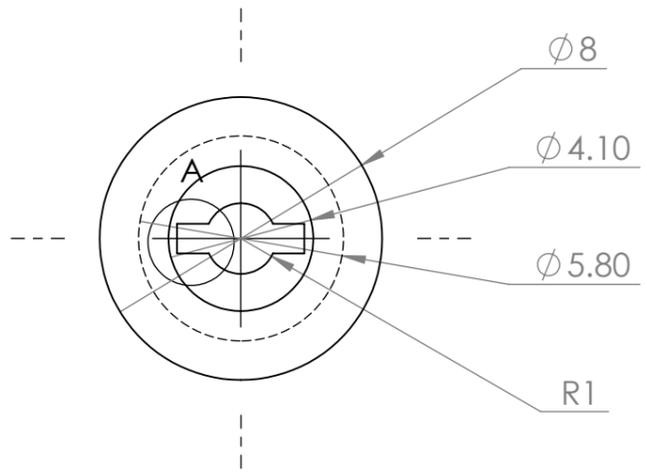
DETAIL A
SCALE 4 : 1



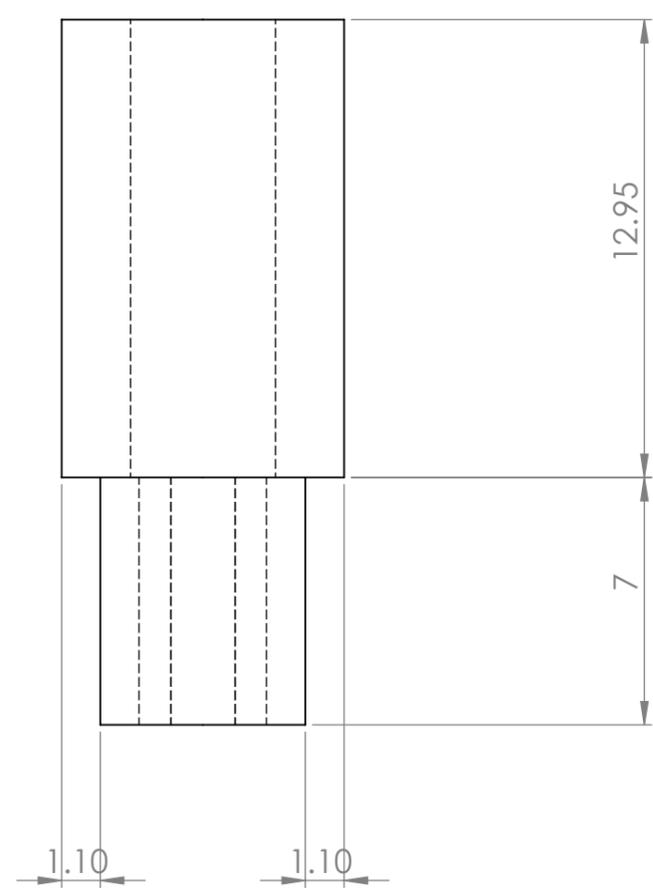
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A		
DRAWN J Stevens			SIGNATURE		DATE		TITLE: Stiring fan dimensions		THIRD ANGLE PROJECTION		
CHK'D I Roxburgh					10/04						
APPV'D							DWG NO. Stiring fan 4				
MFG							MATERIAL: VeroWhitePlus		SCALE:2:1		
Q.A							WEIGHT:		SHEET 1 OF 1		

3.7.2 Plano 2. Cajetín del motor (Motor casing)

(Real Martín et al., 2016)



DETAIL A
SCALE 10 : 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
DRAWN J Stevens				SIGNATURE		DATE		TITLE: Motor case dimensions		THIRD ANGLE PROJECTION	
CHK'D I Roxburgh						10/04				A3	
APPV'D								DWG NO.		Motor Casing 2	
MFG								SCALE:5:1		SHEET 1 OF 1	
Q.A								MATERIAL: VeroWhitePlus			
								WEIGHT:			

3.7.3 Plano 3. Comparación de set de aletas móviles (Comparasion of stirrers)

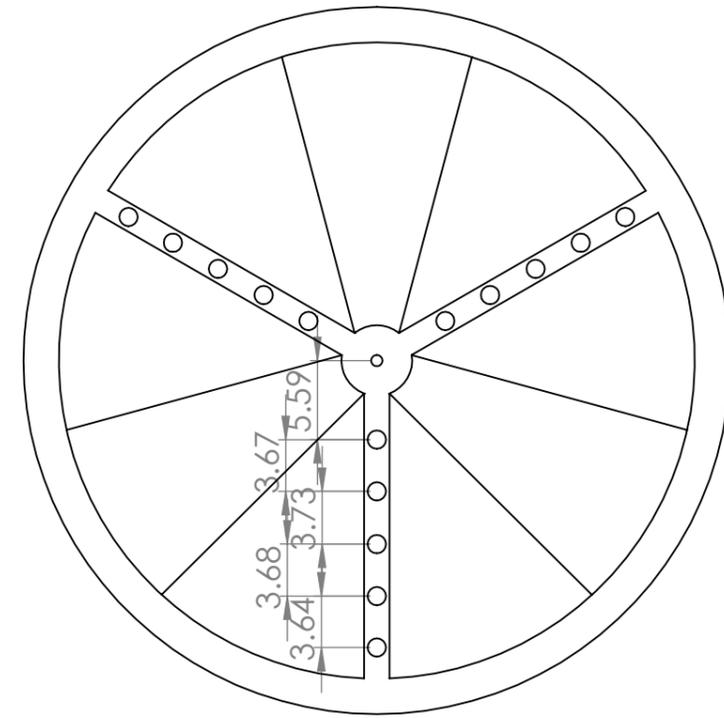
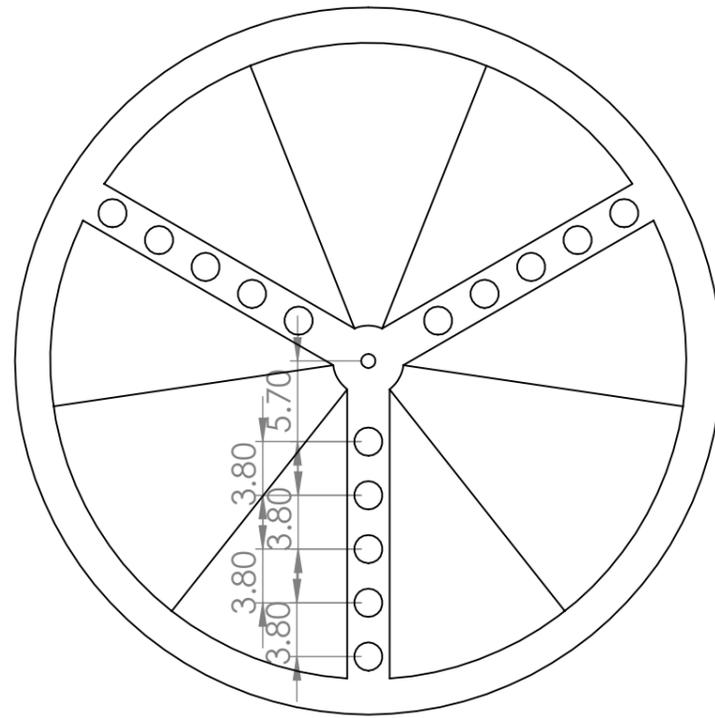
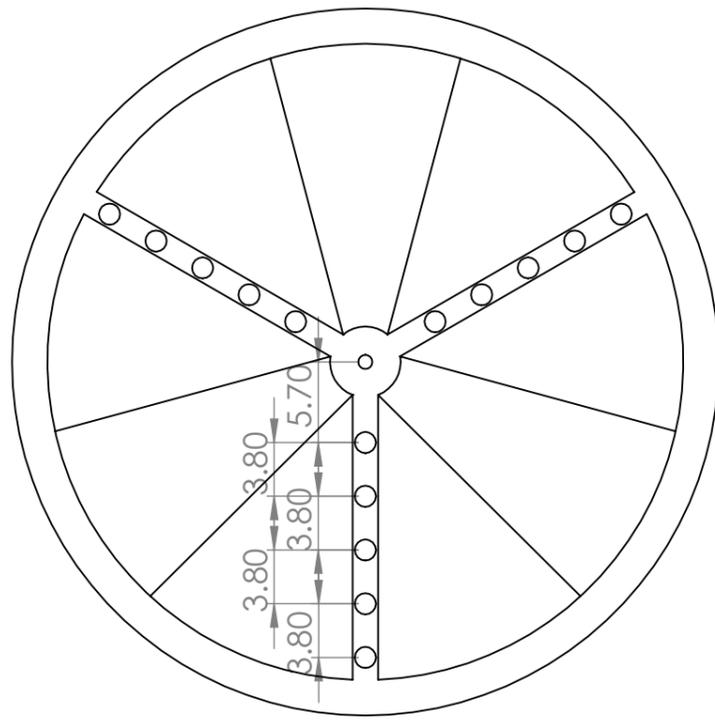
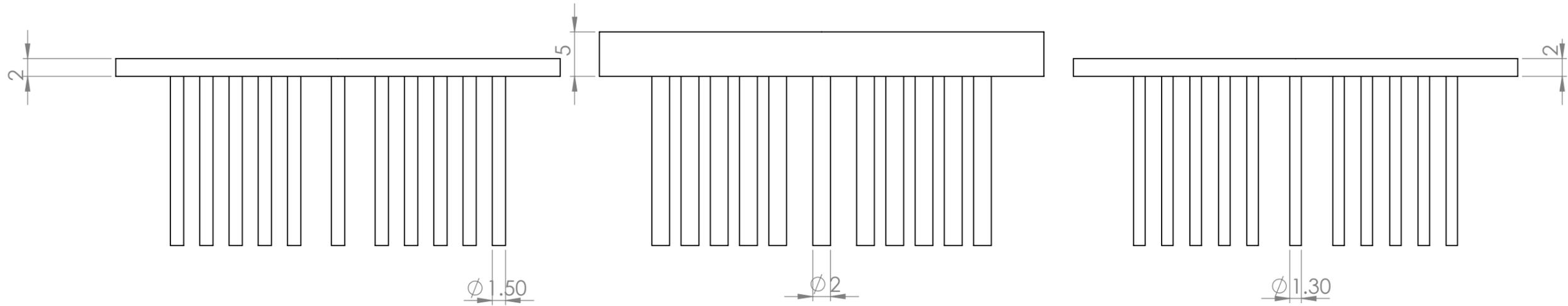
(Real Martín et al., 2016)

8 7 6 5 4 3 2 1

First generation

Second generation

Third generation



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		THIRD ANGLE PROJECTION			
DRAWN	J Stevens		10/04			Generations of stirrers					
CHK'D	I Roxburgh		10/04								
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A3	
								Comparison of stirrers			
						WEIGHT:		SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

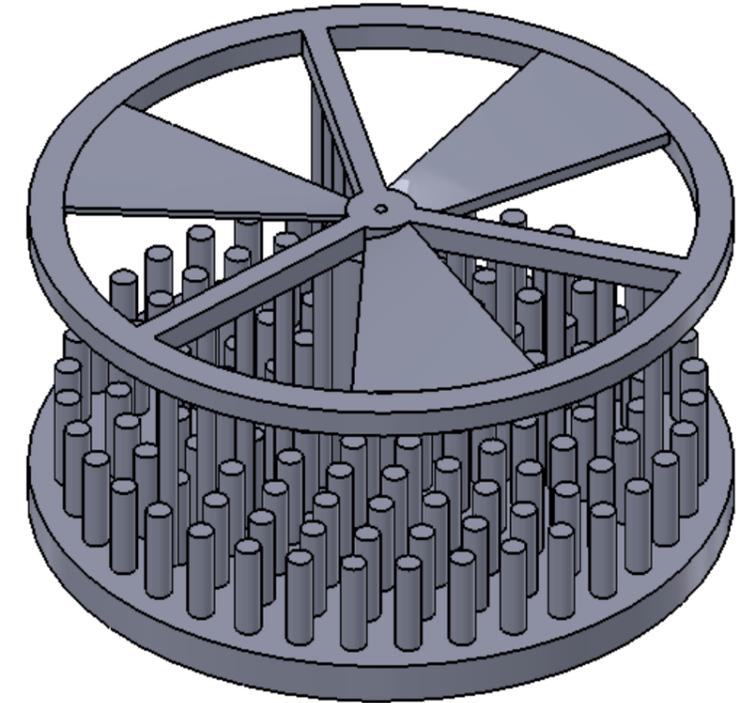
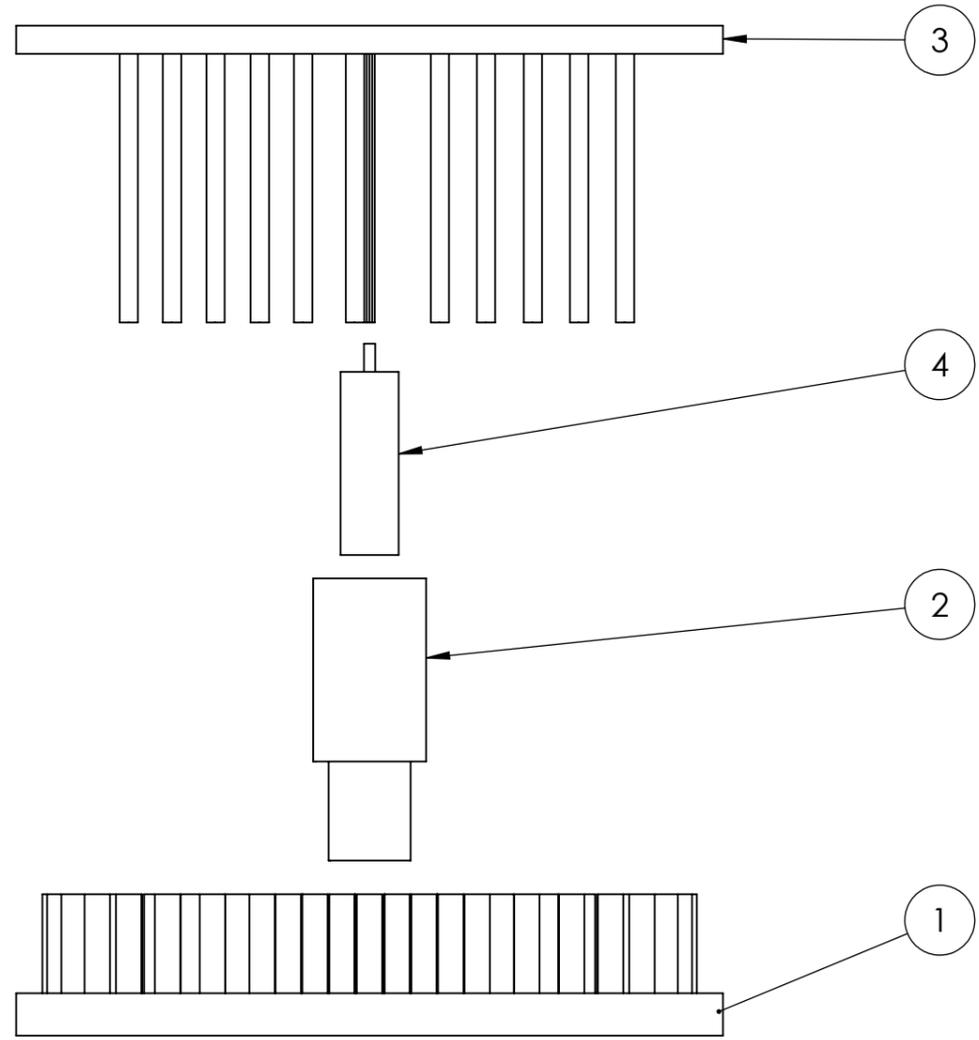
F
E
D
C
B
A

3.7.4 Plano 4. Conjunto (Assembly)

(Real Martín et al., 2016)

8 7 6 5 4 3 2 1

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Circular heat sink	Aluminium	1
2	Motor Casing 2	Vero White plus	1
3	Stiring fan 4	Vero White plus	1
4	motor		1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A		
DRAWN J Stevens			SIGNATURE		DATE 10/04		TITLE: Assembly		THIRD ANGLE PROJECTION		
CHK'D I Roxburgh					DATE 10/04				DWG NO. Assembly		
APPV'D									A3		
MFG									SCALE:2:1		
Q.A							MATERIAL:		SHEET 1 OF 1		
							WEIGHT:				

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

Capítulo 4.- Resultados.

En este capítulo se expondrá todos los resultados que se han calculado a lo largo del proyecto, primero se comentarán los resultados del banco de pruebas, donde se podrán ver la ganancia del modelo y posteriormente las tablas con los resultados de los estudios económicos que se analizaron previamente en el capítulo 3.

4.1 Resultados del modelo

Como ya se mencionó anteriormente, se creó un banco de pruebas con el objetivo de comprobar si el modelo creado a lo largo del proyecto podría mejorar la eficiencia de un disipador de calor sencillo. Además, se tenía que demostrar que si existe la mejora sea por el hecho de que se altera la capa límite y no por añadir un ventilador extra o por usar más área.

Por todo ello, se ha ido analizando diferentes modelos en un mismo escenario, buscando diferencias en la temperatura que se alcance en un estado estable, que para este caso se estableció que se alcanzaría a los 10 min.

Para empezar las pruebas es necesario hacer una primera calibración, por lo que se empezó poniendo sólo 1W de potencia en el transistor y ver que resistencia térmica se generaba, y así comprobar los datos del fabricante. Por lo que después de esperar los 10 minutos una vez conectado el transistor se obtuvo el siguiente resultado: que la resistencia térmica es $55\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, valor sólo distanciado por $0,33^{\circ}\text{C/W}$ del valor proporcionado por el fabricante, por lo que se puede decir que la metodología es correcta. (Real Martín et al., 2016)

Es importante a estas alturas recalcar cuál es el objetivo del diseño. Tener una resistencia térmica menor que un disipador de calor estándar, pero que esto sea debido a la alteración de la capa límite y no al ventilador construido en el conjunto del modelo. En las pruebas se ha comprobado el disipador de calor sin ningún dispositivo, sin ventilador ni aletas móviles. También es importante descubrir que velocidades del motor hacen que el prototipo sea más eficiente o menos. Por último, se ha comprobado las ganancias al usar un ventilador externo, que aportara un flujo de aire al disipador de calor. (Real Martín et al., 2016)

Todos estos resultados se pueden ver en las siguientes tablas.

4.1.1 Comparación de prototipos

Entrada: 12 Volts, 0.38 A = 4.56 W, temperatura de la habitación = 22.1°C , voltaje del motor = 1.8 Volts.

	Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)	R_{total} ($^{\circ}\text{C/W}$)	R ($^{\circ}\text{C/W}$)
Disipador de calor solo	64.0	9.188	11.020
Modelo	40.5	4.035	4.352
Modelo sin aletas móviles	56.0	7.430	8.583

Tabla 1. Comparación de prototipos

En esta tabla se pueden ver los resultados que se consiguieron a la hora de poner el disipador de calor desnudo, sin el ventilador ni las aletas, como se puede ver en la figura

28, en la figura 29 se puede ver el disipador de calor con el ventilador del modelo sin las aletas correspondientes, dicho conjunto se puede ver en la figura 23.

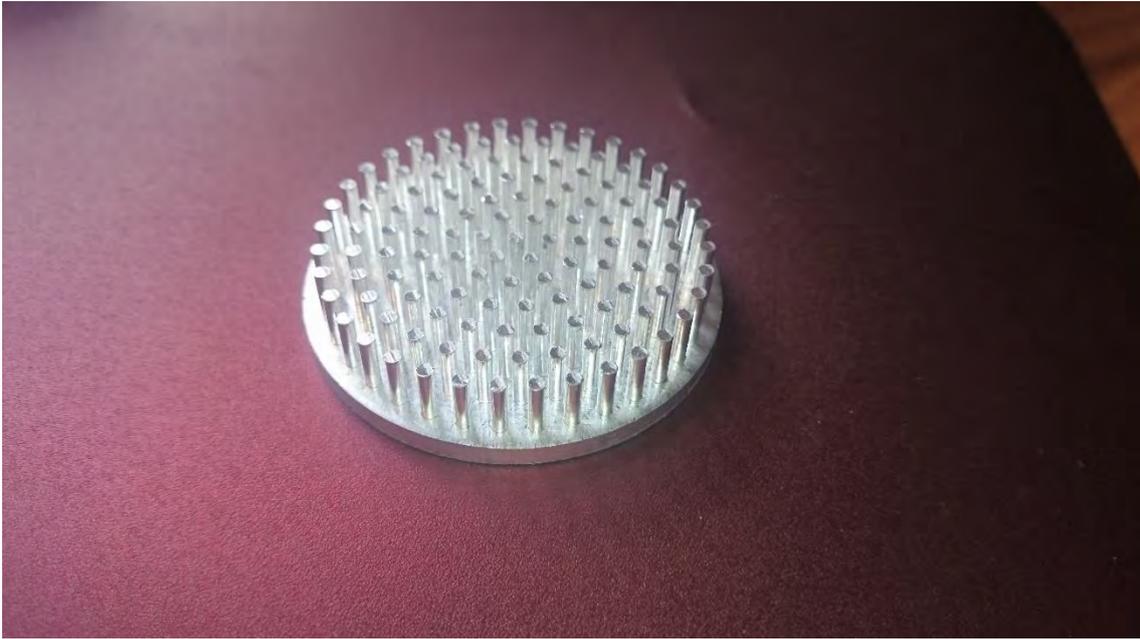


Figura 28. Disipador de calor desnudo. (Real, 2016)

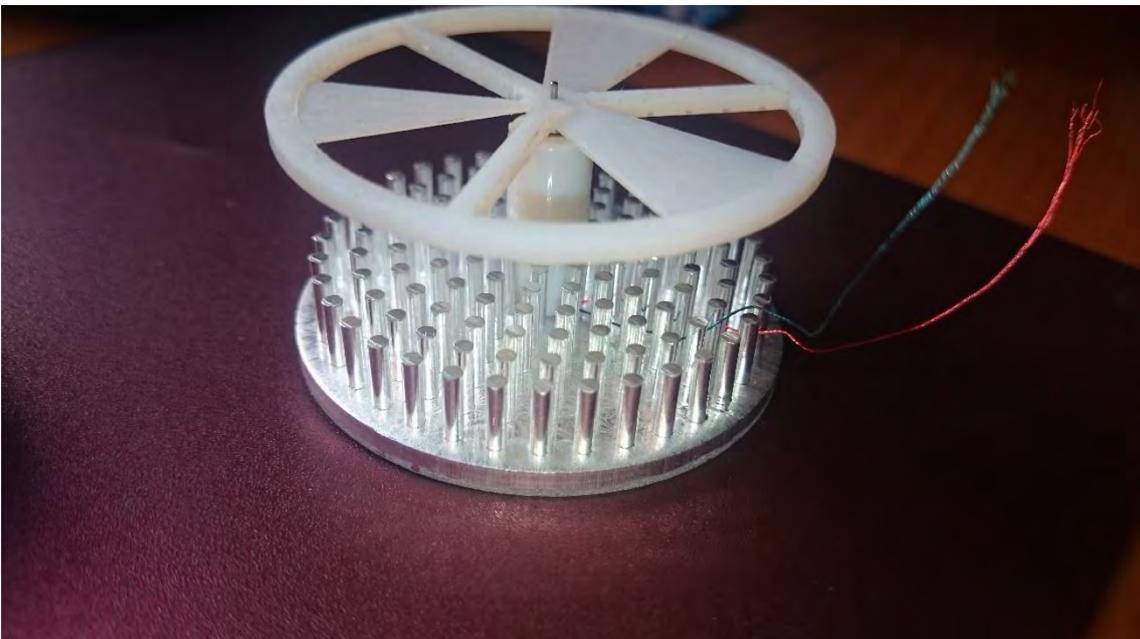


Figura 29. Disipador de calor con ventilador, pero sin aletas. (Real, 2016)

Estos resultados demuestran que se obtiene una ventaja considerable al añadir el set con aletas móviles que cada pasada hacen posible que la capa limite se altere y se rompa, mejorando la eficiencia del disipador de calor.

4.1.2 Comparación de velocidades

Entrada: 11.3 V, 0.40 A = 4.52 W, temperatura de la habitación = 22.8.

Voltaje del motor (V)	Temperatura final (°C)	R _{total} (°C/W)	R (°C/W)
0.9	39.5	3.695	3.959
1.8	39.8	3.761	4.035
3.2	40.3	3.872	4.163
0.5	40.3	3.872	4.163
0.7	41.7	4.181	4.523

Tabla 2. Resultados con diferentes velocidades del motor.

(En esta prueba el motor no funcionaba a voltajes inferiores de 0,4 V).

Esta tabla muestra la relación que tiene la velocidad con la que rota el motor y la eficiencia del modelo, encontrando el óptimo con una alimentación de 0,9 V.

4.1.3 Comparación de usar o no un ventilador

Entrada: 11.3 V, 0.40 A = 4.52 W, temperatura de la habitación = 22.8, 0.5 V para alimentar el motor y 5 V para alimentar el ventilador.

	Temperatura final (°C)	R _{total} (°C/W)	R (°C/W)
Sin ventilador	38.4	3.451	3.681
Con ventilador	37.6	3.274	3.480

Tabla 3. Resultados con y sin ventilador.

Por último, se comprueba el uso de un ventilador externo y cuanta mejora aporta, como se puede ver el efecto se nota ligeramente en el resultado final. Es decir que usar un ventilador puede aportar una cierta mejora, pero no lo suficiente como para compensar el costo de meter una alimentación más y ocupar más espacio.

R_{total} = Resistencia térmica total del disipador de calor con las mejoras correspondientes.
R = Resistencia térmica del disipador de calor (calculada con la fórmula de R_{total} vista en el capítulo 3 donde R₁ es 55.33°C/W y R₂ es R).

4.2 Resultados de los modelos económicos

4.2.1 Valor del prototipo.

En la siguiente tabla se muestra los datos de los costes que se han incurrido a lo largo del proyecto. Como ya se explicó en la sección 3.6.1, aquí se engloban los costes realizados por el equipo durante el proyecto, todo material y bien, que se tuvo que comprar.

Nombre	Descripción	Uso	Precio
Disipador de calor	Redondo	Usado en el modelo final	£4.77
Disipador de calor	Cuadrado	Probado	£2.17
Generador termo eléctrico		Podía mover el ventilador pero no el motor	£5.99
TIP42C (PNP) Transistor de potencia TO-220	5 unidades	Usado para el banco de pruebas	£10.08
Motores	5 unidades	Usado en el modelo final	£4.99
Ventilador pequeño		Usado para el banco de pruebas	£1.99
Fogón portátil		Usado para hacer funcionar el generador termo eléctrico	£13.70
		Coste total	£43.69

Tabla 4. Presupuesto.

4.2.2 Coste final del diseño del modelo.

En la siguiente tabla se va a mostrar todos los costes que se tendrían que incurrir para realizar una fase de desarrollo y diseño con el objetivo de hacer el modelo expuesto durante todo el documento. Para ello se ha tenido en cuenta los factores descritos en la sección 3.6.2 del proyecto.

Tipo de coste	Descripción del coste	Precio/unid	Unid	Resultado	Suma (€)
Indirectos	Iluminación	0,1741	74	12,8834	1641,62
	Empleados de limpieza	6,93	37	256,41	
	Empleados de seguridad	7,09	37	262,33	
	Coste de oportunidad	15	74	1110	
Directos	Material usado	1	15	15	7515
	Salarios	15	500	7500	
				Resultado total	9156,62

Tabla 5. Presupuesto del diseño del modelo.

Teniendo en cuenta que se ha trabajado durante 37 semanas que se han hecho semanalmente reuniones de grupo de 2 horas, y que el individualmente se le ha dedicado otras horas extras por semana se ha concluido que las horas de reunión han sido alrededor de 74 y que las puestas en total han sido de 500 por cada miembro del equipo.

Capítulo 5.- Conclusiones.

En este capítulo se expresará y analizará todo lo relacionado al proyecto, llegando a las conclusiones sacadas durante todo el proyecto. Se empezará hablando sobre la metodología seguida, para continuar por las conclusiones de los resultados obtenidos, dichos resultados se han visto en el capítulo anterior, y para acabar se analizará futuros consejos, trabajos y mejoras que se podrían llevar a cabo en futuros trabajos que se hagan, tanto relacionados con el tema tratado en el proyecto como en temas de estudio, creación y diseño de nuevos bienes industriales.

5.1 Conclusiones sobre la metodología

Este es el primer punto sobre las conclusiones, aquí se verá como se ha organizado el grupo para poder completar todos los objetivos planteados al principio del proyecto. Para ello, primero se va a comentar la organización seguida y se acabará con una conclusión y una crítica de la organización del trabajo.

5.1.1 Organización

Para llegar a cumplir todos los objetivos que tiene el proyecto, una de las cosas más importantes que hay que tener es una gran organización en todas las etapas que tiene el proyecto. Para ello es necesario conocer todos los pasos que el equipo debe hacer y seguir para completar todas las metas.

Lo primero que se tiene que hacer es organizar las reuniones, para que estas sean lo más efectivas posibles y se pierda el menor tiempo. Lo primero que se debe hacer es hacer la definición de los objetivos y etapas que se deben seguir. Ya que hay que tener claro que tareas y que etapas tiene el proceso que hay que seguir para llegar a diseñar un bien industrial.

Relacionado con las reuniones, para conseguir que sean lo más prolíferas, se organizó reuniones semanales, en las que se comentaba y analizaba el trabajo de la semana y se decidía el trabajo que se tenía que hacer durante la semana. Así, todos los componentes del grupo sabían que dirección se debía seguir.

El primer paso realizado en las reuniones, fue decidir el día de las reuniones, y fijar un tiempo fijo para ellas. A sí que, para ello se hizo la siguiente tabla (reflejada en las figuras 30 y 31) donde se indica el tiempo disponible de cada miembro y así se puede indicar en verde el tiempo libre que todos los miembros del equipo pueden hacer las reuniones.



Figura 30. Horario para definir las reuniones en el primer semestre. (Real Martín et al., 2016)

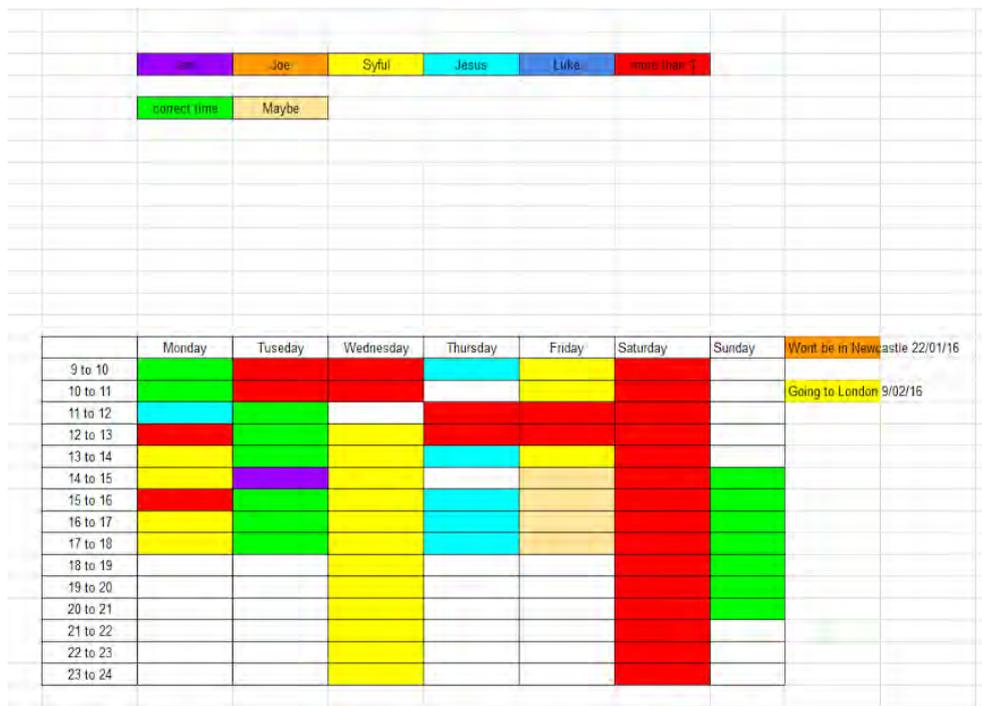


Figura 31. Horario para definir las reuniones en el segundo semestre. (Real Martín et al., 2016)

Para entender las figuras anteriores, hay que ver el código de colores que conforma las tablas. Cada miembro del grupo tiene un color, y luego hay dos colores más el rojo, que indica que hay más de uno ocupado a esa hora, y el verde que es cuando no hay nadie que tenga algo que hacer en ese momento, es decir el tiempo disponible para poder hacer las reuniones.

El segundo paso que se llevó a cabo fue la definición de los objetivos, dichos objetivos están expuestos en el capítulo 3. Dichos objetivos son muy importantes de definir para tener claro todos los pasos y etapas que se deben seguir a lo largo del proyecto.

Una vez que todos los objetivos principales están definidos, se tiene que analizar el orden a seguir y los pasos necesarios para cumplir todos los objetivos. Hay que saber que meta es la que se tiene que llegar antes o después, es decir, priorizar las tareas. Por lo que es necesario tener en mente todos los tiempos, fechas límites y el tiempo necesario para cumplimentar cada una de las tareas. (Real Martín et al., 2016)

En tercer lugar, se completa una tabla con todas las tareas que eran necesarias hacer para llegar al objetivo final, dicha tabla se puede ver en las figuras 32 y 33, dicha tabla muestra todas las tareas que hay que hacer agrupadas en colores, siendo los colores que pertenecen a la misma familia, tareas parecidas. Como el ejemplo del azul, color que define la etapa de búsqueda de información. (Real Martín et al., 2016)

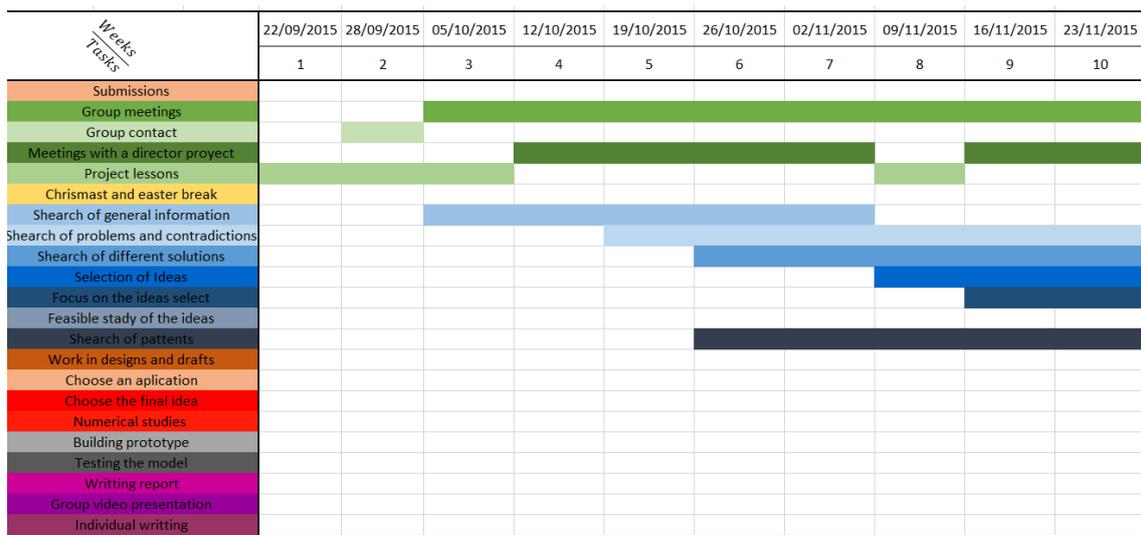


Figura 32. Primeras 10 semanas del horario. (Real Martín et al., 2016)

5.2 Conclusión sobre los resultados

5.2.1 Discusión

El primer test que se llevó a cabo era para comprobar la eficiencia de las aletas móviles, y observar la resistencia térmica, dicho test confirmo que se mejora notoriamente la resistencia térmica. Cuando se comparó el disipador de calor con o sin las partes diseñadas y construidas se vio que se incrementaba la eficiencia del disipador, primero con sólo el ventilador y posteriormente con el conjunto completo, donde se vio un incremento definitivamente notorio en la eficiencia, con lo que se puede concluir que el efecto de las aletas móviles alterando la capa límite es lo que provoca esta mejora en el disipador de calor. Este cambio en la resistencia térmica es de más del 50% pasando de 11.020 °C/W a 4.352 °C/W.

Con respecto a las pruebas relacionadas con la velocidad del motor, para ver cuál es la velocidad idónea, se comprobó que no hay un cambio realmente significativo, aunque se alcanzó el óptimo a un voltaje de 0,9 V. Sin embargo, se pudo notar que cuanto menor es la velocidad es la eficiencia cae, pero no se puede ver esto en los resultados, ya que con el voltaje de 0,5 V el motor seguía rotando muy rápido, pero con un poco menos de corriente el motor no podía mover el conjunto. (Real Martín et al., 2016)

Comparando el disipador de calor con el ventilador, es decir, con convección forzada se producía una mejora en el disipador de calor, pasando de 4.352 °C/W a 3.681 °C/W. Pero a poner todo conjunto se llega a un resultado final de 3.480 °C/W. (Real Martín et al., 2016)

Disponiendo de los dos, el ventilador y el conjunto de aletas es una opción clara. Sin embargo, es importante notar que se usa el conjunto de aletas móviles como alternativa al ventilador, y aunque el ventilador venza con respecto a la resistencia térmica al conjunto, sigue habiendo buenos argumentos a favor del conjunto. Para empezar el conjunto es mucho más pequeño y encaja mejor en un ordenador. Además, en la prueba comentada anteriormente, el ventilador tiene que usar 10 veces más voltaje que el conjunto de aletas. Volviendo al espacio, el ventilador no sólo es más grande si no que necesita un espacio extra a tener que ser colocado alrededor del procesador y del disipador de calor, en lugar de colocarlo encima, como se puede hacer con el conjunto creado. Con respecto al sonido, el conjunto produce mayor sonido, pero esto es debido a que el proceso de fabricación creado en este modelo no es el más preciso, y se produce cierto rozamiento entre los dos sets de aletas, pero cuando esto se mejore el sonido se reducirá considerablemente. Además de que se puede hacer girar el conjunto a velocidades inferiores haciendo también que el sonido se reduzca. (Real Martín et al., 2016)

Como se definió previamente el propósito principal era mover el conjunto de aletas con un electro termo generador. Pero esto no se pudo completar, ya que debía poder tener energía suficiente para mover el ventilador y el motor, pero sin embargo el motor nunca se pudo mover, además que necesita una gran diferencia de calor entre sus dos caras, cosa que no era muy factible, ya que al calentar una cara en seguida se calentaba la otra y ya no se producía esa diferencia que es la que se encarga de producir el voltaje. (Real Martín et al., 2016)

5.2.2 Conclusión

Esta investigación proporciona una buena evidencia que el hecho de romper la capa límite genera una mejora en la eficiencia de los disipadores de calor. Las pruebas realizadas a lo largo del proyecto no fueron en las mejores condiciones, pero, siempre se realizaron las pruebas en las mismas condiciones, lo que significa que se espera resultados similares para disipadores de calor con una misma eficiencia y capacidad de transmisión o disipación de calor. (Real Martín et al., 2016)

Lo más importante de las conclusiones se pueden reseñar en esta lista;

- El modelo genera una mejora de eficiencia significativa gracias al set de aletas móviles. Su ratio es casi el doble cuando el conjunto es quitado. Esto indica la importancia de romper la capa límite, hecho que respalda la hipótesis la cual la investigación se ha centrado.
- Con el prototipo, no hay necesidad de tener que generar un flujo externo de aire. De hecho, añadir un ventilador adicional, genera una mejora muy pequeña, que no sería muy recomendable ya que los inconvenientes de poner un ventilador más (coste y espacio), pesan más que la mínima ventaja a la hora de disipar el calor.
- El modelo es más eficaz con un voltaje bajo. La energía necesaria a la hora de mover el diseño (el motor) es realmente pequeña. De hecho, funciona mejor con voltajes pequeños que con un gran voltaje, ya que a altos voltajes empieza a generar su propio calor. Dicho calor generado, es debido en su mayoría por el rozamiento generado entre las aletas, proceso que puede ser mejorado con un sistema de producción más eficaz y preciso. En todo caso, el hecho de usar poca energía mejora los beneficios al medioambiente.
- El diseño es altamente reciclable, el disipador de calor esta hecho de aluminio, y el ventilador y conjunto (todo lo impreso en la impresora de 3D) utiliza Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). ABS está formado por aceite y diferentes químicos, pero es reciclable. (Peels, 2014)

(Real Martín et al., 2016)

Finalmente, se puede llegar a la conclusión que por todo lo comentado y visto a lo largo del proyecto que el hecho de romper la capa límite del disipador de calor genera una mejora en los disipadores de calor, realmente notoria. Por lo que no sólo el modelo construido en esta investigación funciona, si no que cualquier disipador de calor que pueda romper esa capa límite genera un mejor disipador de calor.

5.3 Recomendaciones de futuros trabajos

En esta sección se va a analizar que posibles trabajos se pueden investigar en un futuro, que cosas se pueden hacer mejor en trabajos similares al realizado en este documento. Y, además, el coste de implementar el proyecto, para poder ser comercializado.

5.3.1 Trabajo futuro

El modelo genera una considerable cantidad de ruido cuando arranca, no suena como si el set de aletas encajará a la perfección, de hecho, había una aleta en el disipador de calor ligeramente doblada, generando cierto rozamiento, de ahí el ruido. Si estuviera todo el conjunto fabricado con una mejor precisión evitando los rozamientos el ruido se vería reducido. (Real Martín et al., 2016)

Por encima de todo, las velocidades del motor con las que se probó generó unas diferencias muy pequeñas en la eficiencia del modelo. El motor solo podía tranajar por encima de 0,5 V. Pero aún así la velocidad con la que giraba el motor era muy alta, debido a que era un motor para helicópteros teledirigidos. Por lo que sería interesante saber que pasaría con el modelo si se pudiera hacer rotar el motor a velocidades más baja, para ver cuál es la velocidad mínima para romper la capa límite y cuando se empieza a notar la mejora que el modelo ofrece. Además, de poder reducir el sonido generado, siempre que sea eficiente hacer que el prototipo gire a velocidades reducidas.

El modelo se puede volver a probar en un ambiente más profesional, con barreras térmicas que aislen el prototipo, y con más medidas. Ya que estos dos pasos harían que las pruebas fueran más precisas.

El prototipo también debería ser testado en el procesador de un ordenador, ya que está diseñado e ideado para disipar el calor generado por los procesadores de los ordenadores. Esto es importante ya que es el escenario donde tiene que trabajar el conjunto y hay que comprobar que no hay efectos no deseados e inesperado.

Para mejorar el diseño y la fuente de potencia que genera el movimiento del segundo set de aletas, se puede usar un generador de calor termo eléctrico, el cual aprovecha el calor sobrante. Dicho generador, funciona convirtiendo la diferencia de calor entre sus dos caras en energía eléctrica. Cuando los metales termoeléctricos son calentados los electrones del metal se mueven fuera de la región caliente. Cuando esto pasa de forma controlada, como en el caso del generador termoeléctrico, se genera una corriente de electricidad. La cantidad de corriente producida es proporcional a la diferencia de temperatura. Los generadores termoeléctricos no disponen de una gran conductividad térmica, esto significa que las fuentes de temperatura irán creciendo ya que no se puede disipar el calor apropiadamente, haciendo que se produzca una buena cantidad de energía. (Practical, 2016) Está mejora significaría que el disipador de calor tendría una fuente de potencia adicional, que además podría mover un ventilador extra.

Por último, se podría analizar cómo implementar el modelo al mercado, si es rentable, el coste, y si las respuestas son afirmativas, como enfocar el marketing para poder vender el modelo a nivel industrial.

5.3.2 Otros diseños

En esta sección se van a comentar ciertas ideas que durante el Proyecto se han ido ocurriendo a los diferentes miembros del equipo para poder dar respuesta a cómo romper la capa límite.

Concepto globo- Esta idea posee una entera capa fina de un material flexible (Caucho, látex o similar) dicha capa se expande cuando el líquido del interior se expande con la temperatura. En principio el globo se puede abrir para poder acoger más fluido y poder tener un flujo constante. Los problemas en el diseño se basan principalmente en el material. Los materiales de caucho generalmente no se expanden bien con la temperatura, y la complejidad de diseñar una capa elástica es realmente compleja. Finalmente, por todo ello se rechazó la idea. La siguiente figura muestra un boceto de la idea. (Real Martín et al., 2016)

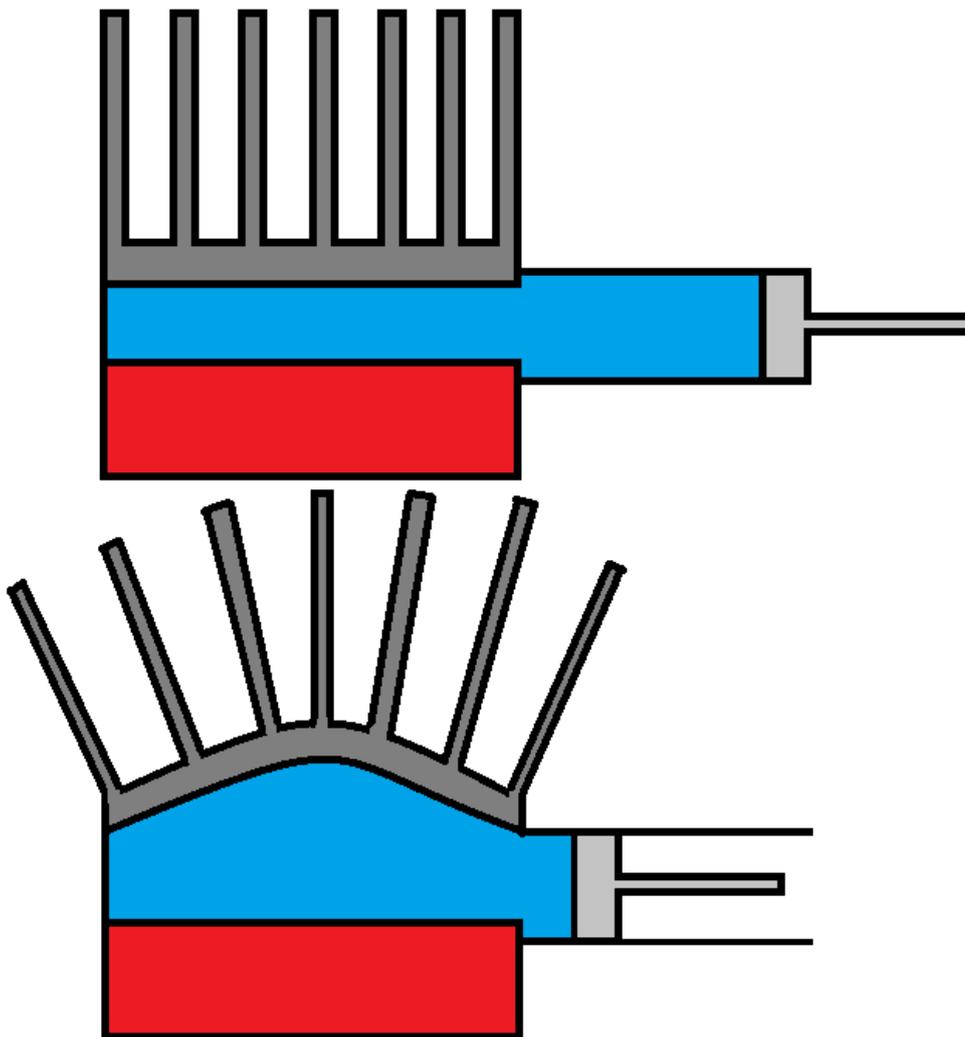


Figura 34. Idea del globo. (Real Martín et al., 2016)

Aletas fijadas a una base móvil- esta idea es simple, está basada en una base redonda y flexible, en la que las aletas de aguja están fijadas a esta base. Para que funcione la base se tiene que doblar de forma independiente y así alterar la forma inicial. Al hacer ese movimiento la convección natural se vería mejorada, lo que sería ideal para disipadores de calor que no pudieran disponer de un flujo de aire externo. Finalmente, el problema del material vuelve a presentarse, ya que hay que encontrar un material que se deforme suficiente para que se note el movimiento. Esta idea fue llevada al mismo tiempo que el concepto de metales bimetálicos (figura 35). Esto garantiza un buen desplazamiento en el conjunto de aletas, pero de nuevo no hay un material que se deforme lo suficiente (en la escala que se está manejando) con el calor para que sea algo notorio estas deformaciones. (Real Martín et al., 2016)

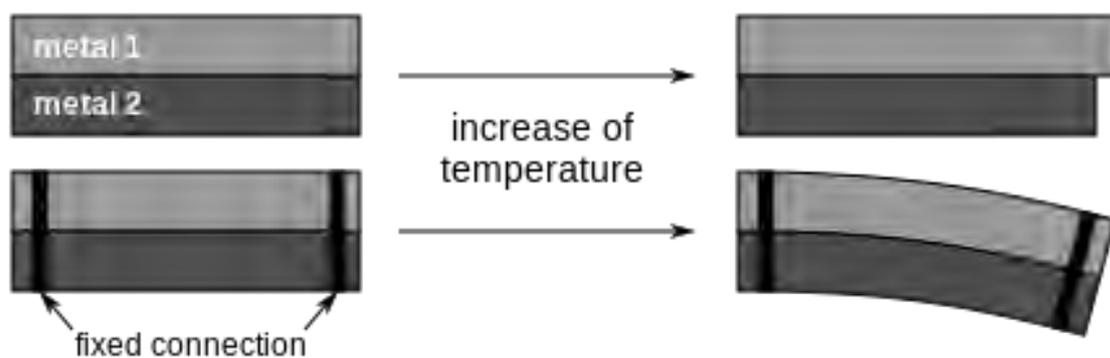


Figura 35. Metales bimetálicos (Real Martín et al., 2016)

Cinta lineal- Esta fue la última idea, y que llevo a hacer el diseño final, que se ha ido presentando en este proyecto. La idea estuvo a punto de ser el diseño final, pero por problemas con la producción de estructura tan pequeña no se pudo implementar. La idea consiste en tener dos sets de aletas, uno fijo y otro móvil. El conjunto fijo sería la parte del disipador de calor cuadrado. Y el conjunto móvil estarían las aletas fijadas a una cinta que se movería para mover estas aletas por los huecos de las aletas fijas. En efecto, este método habría roto la capa límite mejorando el disipador de calor. Además, se discutió la idea de cambiar las aletas móviles por cepillos, con lo que además se tendría un sistema que se limpiaría solo. El diseño y la fabricación fue llevada casi a cabo, pero como se ha mencionado anteriormente, problemas con la cinta, el cómo girar las aletas y los motores, debido todo a la pequeña escala que se manejaba, no se pudo fabricar. (Real Martín et al., 2016)

A pesar de esas dificultades la idea estaba muy avanzada ya que se disponía de un prototipo prácticamente acabado y desarrollado. Donde se había imprimido dos rulos como ejes en la impresora 3D, y en dichos rulos iría instalado un motor que haría girar los ejes para mover la cinta. Dicha cinta, al no poder comprarse una de caucho, ya que no se fabrican a esa escala, se hizo una con tela que fue cosida a mano para que ocupara toda la base. El disipador de calor estaba insertado en una estructura que sujetaba estos rulos. Una vez que se empezó a montar todo el conjunto es cuando empezaron los problemas. Los agujeros para el motor y los ejes del rulo eran demasiado difíciles para poder imprimirlos en la impresora en 3D, lo que provocaba que el motor tuviera que ser soldado

al interior del rulo, lo que excitaba cierta imprecisión en el movimiento, ya que era realmente difícil centrar correctamente el motor, y que el giro fuera perfectamente concéntrico, induciendo ciertas vibraciones. Las agujas, que se utilizaron como aletas, era imposible mantenerlas fijas para que estuvieran a 90° con respecto a la cinta, y con las vibraciones de la rotación habrían causado choques con las aletas fijas, generando un ruido no deseado. En conclusión, estos problemas llevaron a declinar al equipo por la idea del diseño final llevado a cabo. (Real Martín et al., 2016)

Las siguientes figuras se muestra el boceto en Solid Works de la idea descrita anteriormente, donde se podrá ver el conjunto y las piezas de toda la idea.

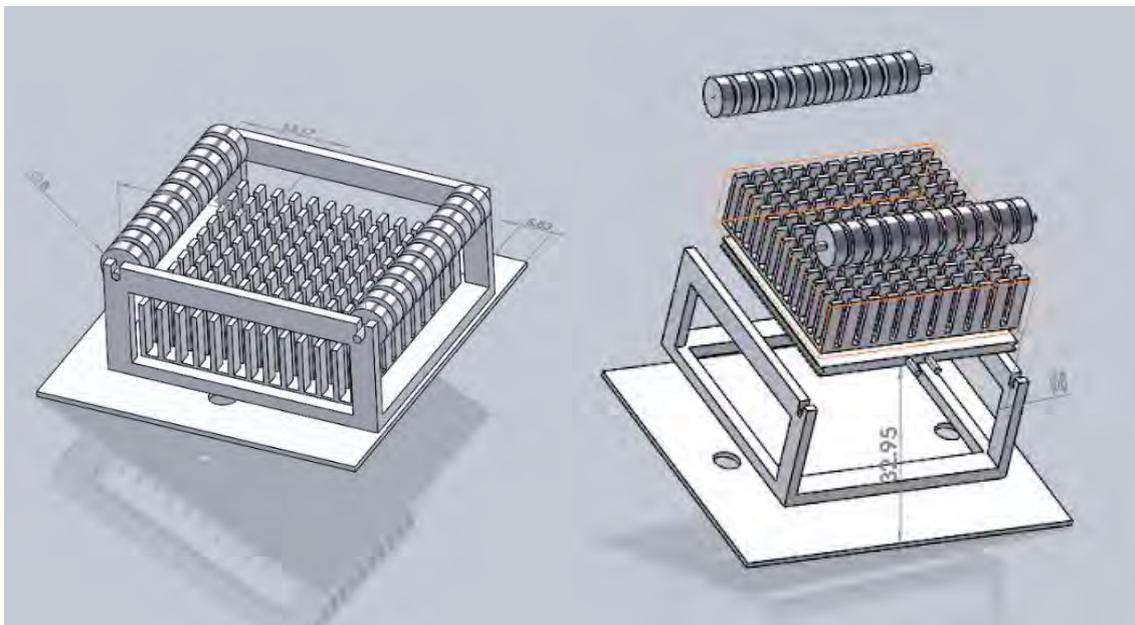


Figura 36. Idea cinta lineal. (Real Martín et al., 2016)

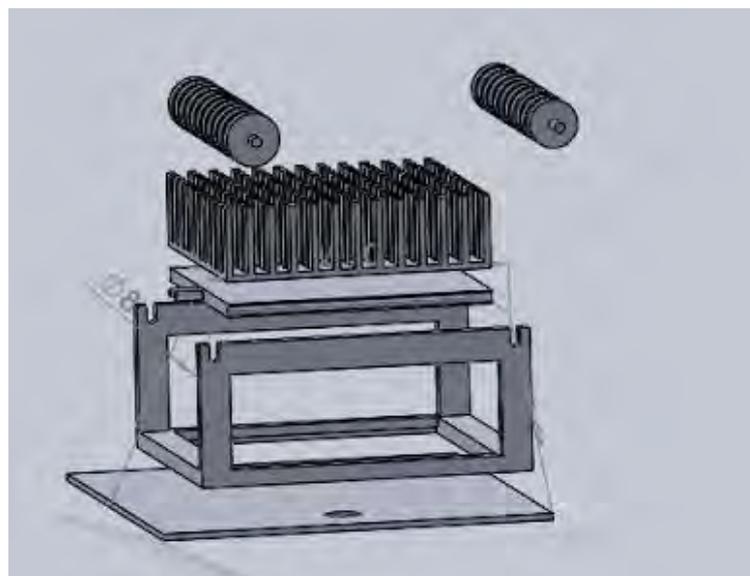


Figura 37. Vista lateral de la idea cinta lineal. (Real Martín et al., 2016)

5.4 Implementación del prototipo

Una vez visto el coste del diseño que se debería llegar a hacer para tener el modelo desarrollado, es hora de ver el coste que tendría el proyecto si se quisiera implantar el modelo para venderlo en el mercado.

En esta sección se va a iniciar el proceso, indicando que aspectos hay que estudiar y donde hay que indagar, para poder mejorar proyectos futuros. En especial cuando podría costar hacer este proceso en escala industrial y no sólo en una escala individual.

Lo primero que hay que analizar son los cambios en la producción. Es decir, a la hora de producir una unidad se hizo con un sistema de prototipado rápido, pero con un molde podría hacerse la producción más compleja y precisa. Pero para hacer un molde (cuyos precios son muy elevados) es necesario tener una gran cantidad de productos que hacer. Cosa que para el proyecto actual queda completamente descartado.

Con respecto a la producción mediante una matriz, se mejoraría la rapidez de producción y se podría reducir el coste de producción por unidad. Además, se mejoraría la precisión con lo que se reduciría el rozamiento entre los dos sets de alertas, reduciendo el ruido que genera la imprecisión llevada por máquinas menos precisas.

Teniendo en cuenta que el coste de la fabricación del modelo en una impresora 3D es sólo de un euro, y que los moldes tienen un precio próximo a los 60.000 €, por lo que para rentar este tipo de fabricación por inyección es necesario tener una producción próxima a las 100.00 unidades.

Teniendo en cuenta que el mercado donde se intenta implementar este prototipo es el de la informática, hay que saber cuántos ordenadores se pueden vender o producir en un año. En España en un semestre se venden alrededor de 60 millones de ordenadores (Gartner, 2016). Esto implica que hay un mercado abundante para poder vender nuestro disipador de calor.

Además, para hacer el prototipo se compró el propio disipador de calor por un precio cercano a los 6 euros, por lo que el precio ronda los 7 euros la unidad, al sólo hacer uno. Pero si se producen los disipadores de calor y también los conjuntos de aletas móviles en un proceso de inyección por molde (ya que tanto el aluminio como el plástico son materiales inyectables) este proceso puede ser llevado a cabo.

Una vez analizado el proceso de fabricación, es necesario analizar el mercado y ver cómo hacer las vetas, empezar a generar una estrategia de márketing para situar nuestro disipador de calor por encima de otro tipo de tecnología.

Con todo ello se puede pensar, que se puede empezar a sondear el mercado, que es realmente inmenso y hacerse un hueco en la venta de disipadores de calor para los ordenadores,

Capítulo 6.- Referencias.

- admin (2001) *Heatsink performance limits*. Available at: <http://www.overclockers.com/heatsink-performance-limits/> (Accessed: 16 March 2016).
- A. Soule, C. (2002) *Optimize fin spacing: How close is too close?*. Available at: <http://powerelectronics.com/content/optimize-fin-spacing-how-close-too-close> (Accessed: 10 February 2016).
- Anthony, S. (2011) The fanless spinning heatsink: More efficient and immune to dust. Available at: <http://www.extremetech.com/extreme/89710-the-fanless-spinning-heatsink-the-heatsink-is-the-fan> (Accessed: 12 February 2016).
- Booth, D.D., John, L., AltucherInfluencer, J., Kim, W., Rossi, J., WadhwaInfluencer, V., Abell, J.C., El-ErianInfluencer, M., Khanna, T., BradberryInfluencer, T., Prakash, S., O'DonnellInfluencer, J.T., ShawInfluencer, C., StibelInfluencer, J., D, D.C.M., Influencer, BettingerInfluencer, W. and Spencer, M. (2014) *3 reasons to use pin fin heat sink for LED lighting today*. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/20140424075535-306182495-3-reasons-to-use-pin-fin-heat-sink-for-led-lighting-today> (Accessed: 19 May 2016).
- Brogan, R.J. (2010) *HEAT EXCHANGERS*. Available at: <http://www.thermopedia.com/content/832/> (Accessed: 14 May 2016).
- Corberán, J. y Royo, R. (2016) *INTRODUCCIÓN A LA CONVECCIÓN*. Available at: <http://www.upv.es/upl/U0296621.pdf> (Accessed: 21 May 2016).
- Cueva, J. de la (2004) *Capa límite*. Available at: <http://juandelacuerva.blogspot.com.es/2008/03/capa-lmite.html> (Accessed: 20 May 2016).
- dynamic fin heat sinks (no date) Available at http://https://www.google.co.uk/?tbs=pts&gws_rd=cr,ssl&ei=1SGdVsnRJ4KbOLighMgG#safe=off&tbs=pts&q=dynamic+fin+heat+sink (Accessed: 16 March 2016).
- Das, S. (2009) *Heat sink - basics*. Available at: http://www.circuitstune.com/2012/11/heat-sink_20.html (Accessed: 16 March 2016).
- edgar and perfil, V. todo mi (2014) *Mantener la operatividad del sistema*. Available at: <http://mantoper.blogspot.com.es/2014/05/board.html> (Accessed: 19 May 2016).
- Guides* (2016) Available at: <http://www.jiscinfonet.ac.uk/tools/force-field-analysis/> (Accessed: 17 May 2016).
- Greitzer, E.M., Spakovszky, Z.S. and Waitz, I.A. (2006) 18.2 *heat transfer from a fin*. Available at: <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node128.html> (Accessed: 16 March 2016).
- Inzunza, J. (2006) *Cap. 13. Calor y la Primera Ley de la Termodinámica*. Available at: <http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/fisica/cap13.pdf> (Accessed: 18 May 2016).
- Ivanov, V.L. (no date) *HEAT EXCHANGERS*. Available at: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e3-11-04-10.pdf> (Accessed: 14 May 2016).

Jaramillo, O.A. (2007) *INTERCAMBIADORES DE CALOR*. Available at: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf> (Accessed: 18 May 2016).

Jaramillo, sergio (2016) *Historia*. Available at: <https://prezi.com/xzjg9492g0l4/historia/> (Accessed: 19 May 2016).

Junaidi, A.R. (2014) '*Thermal analysis of splayed pin fin heat sink*', 2(4), pp. 48–53.

J. Williams, E. (1991) *Dynamic heat sink*. patent no. US5000254 A

Koplow, J.P. (2010) *A fundamentally new approach to air-cooled heat exchangers*. Available at: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2010/100258.pdf> (Accessed: 16 March 2016).

Man, P. (2011) *Review: Nofan CR-95C IcePipe*. Available at: <http://hexus.net/tech/reviews/cooling/33008-nofan-cr-95c-icepipe/> (Accessed: 19 May 2016).

Núñez, otto (no date) *La primera ley de la termodinámica*. Available at: <http://www.batanga.com/curiosidades/4383/la-primera-ley-de-la-termodinamica> (Accessed: 18 May 2016).

Ramos (2016) *Capa Límite superficial*. Available at: http://www3.uah.es/gifa/documentos/FA/Transparencias_FA/tema6_fa.pdf (Accessed: 20 May 2016).

Real Martín, Jesus, Steven, J., Martin, L., Roxburgh, I. and Quashem, S. (2016) *Development, design and fabrication of Dynamic Fin System for Heat Transfer Enhancement*.

Rivera García, J. (2015) *Turbulencias y rebufo: Accidente de tráfico sin colisión*. Available at: <http://reconstruccionaccidentestrafico.com/tag/reconstruccion-de-accidentes/> (Accessed: 20 May 2016).

Torrella, E. (2011) *TRANSMISION DE CALOR CALOR*. Available at: <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0558523.pdf> (Accessed: 17 May 2016).

Trujillo, F.D., Pozo, A. and Triviño, A. (2009) *Cálculo de disipadores de calor*. Available at: http://ocw.uma.es/ingenierias/electronica-de-potencia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/calculo_de_disipadores.pdf (Accessed: 19 May 2016).

Peels, J. (2014) *Recycling 3D printing materials: 4 possible solutions*. Available at: <https://i.materialise.com/blog/recycling-3d-printing-materials-4-possible-solutions> (Accessed: 10 April 2016).

Practical, P. (2016) *How to do thermoelectrics work*. Available at: <https://powerpractical.com/pages/how-do-thermoelectrics-work> (Accessed: 16 March 2016).

Pin fin heat sink - towda (China Manufacturer) - cooling fan & Heatsinks - computer components products - DIYTrade china manufacturers (no date) Available at: http://www.diytrade.com/china/pd/4423655/pin_fin_heat_sink.html (Accessed: 12 February 2016).

Soule, C.A. and Thermshield (2002) *Optimize fin spacing: How close is too close?*. Available at: <http://powerelectronics.com/content/optimize-fin-spacing-how-close-too-close> (Accessed: 16 March 2016).

S. Spakovszk, Z. y (2002) *18.2 heat transfer from a fin*. Available at: <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node128.html> (Accessed: 10 February 2016).

Stojic, V., Balcanquall, A., Vaneev, A., Anonymous, Wright, S. and Baines, A. (2014) *Nofan IcePipe Fanless CPU coolers*. Available at: <http://www.quietpc.com/nof-icepipe> (Accessed: 12 February 2016).

Trends in state-of-the-art Heatsinks and their patent technology (2005) Available at: https://www.furukawa.co.jp/review/fr027/fr27_13.pdf (Accessed: 9 February 2016).

Thick base, higher weight, directional sensitive high fin density medium-high many applications Skived low performance inexpensive low power Stamped* (2011) Available at https://heatsinks.files.wordpress.com/2011/02/heat-sink-types_ats-cheat-sheet.pdf (Accessed: 24 March 2016).

Wilson, J. (2016) *Thermal facts and fairy tales: Heat sinks, heat exchangers and history « electronics cooling magazine – focused on thermal management, TIMs, fans, heat sinks, CFD software, LEDs/lighting*. Available at: <http://www.electronics-cooling.com/2011/12/thermal-facts-and-fairy-tales-heat-sinks-heat-exchangers-and-history/> (Accessed: 14 May 2016).

yumardiaz (2011) *Gral_scob*. Available at: <http://www.slideshare.net/yumardiaz/intercambiadores-decalortiposgeneralesyaplicaciones> (Accessed: 18 May 2016).

Capítulo 7.- Apéndices.

7.1 Especificaciones de los aparatos usados

7.1.1 Motores

Descripción:

Forma cilíndrica con 1 mm de diámetro. Permanente magnetizado, 2 conexiones, Coreless micro-motor para helicópteros de aeromodelismo, electronic toys

Voltaje (DC)	3.7V
Velocidad (rpm)	60000
Tamaño del eje	3x0.7mm
Tamaño del cuerpo	12x4mm
Peso (g)	1

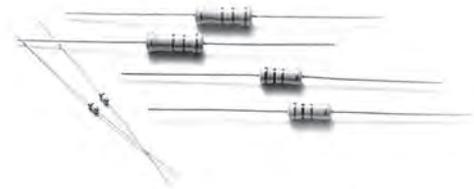
Tabla 6. Características del motor.

7.1.2 Resistencia

Carbon Film Resistors

CFR Type

Normal & Miniature Style [CFR Series]



INTRODUCTION

The CFR Series Carbon Film Resistors are manufactured by coating a homogeneous film of pure carbon on high grade ceramic rods. After a helical groove has been cut in the resistive layer, tinned connecting leads of electrolytic copper are welded to the end-caps. The resistors are coated with layers of tan color lacquer.

FEATURES

Power Rating	1/6W, 1/4W, 1/2W, 1W, 2W, 3W
Resistance Tolerance	±2%, ±5%
T.C.R.	see Table I

DERATING CURVE

For resistors operated in ambient temperatures above 70°C, power rating must be derated in accordance with the curve below.

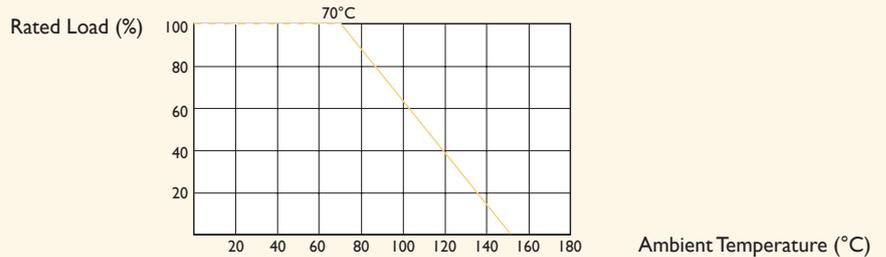
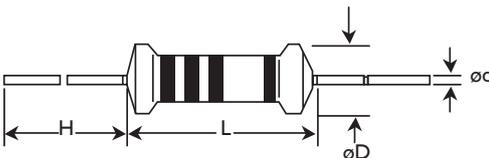


TABLE I TEMPERATURE COEFFICIENT

STYLE	Max. Value of Temp. Coefficient ppm/°C		
	under 100KΩ	100KΩ ~ 1MΩ	1MΩ ~ 10MΩ
CFR100, CFR200, CFR2WS, CFR3WS	±350	-500	-1500
CFR-12, CFR-25, CFR-50, CFR25S, CFR50S, CFR1WS	+350	-700	-1500
	-500		

DIMENSIONS

Unit : mm



STYLE		DIMENSION			
Normal	Miniature	L	øD	H	ød
CFR-12	CFR25S	3.4±0.3	1.9±0.2	28±2.0	0.45±0.05
CFR-25	CFR50S	6.3±0.5	2.4±0.2	28±2.0	0.55±0.05
CFR-50	CFR1WS	9.0±0.5	3.3±0.3	26±2.0	0.55±0.05
CFR100	CFR2WS	11.5±1.0	4.5±0.5	35±2.0	0.8±0.05
CFR200	CFR3WS	15.5±1.0	5.0±0.5	33±2.0	0.8±0.05



Note :

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STYLE	CFR-12	CFR25S	CFR-25	CFR50S	CFR-50	CFR1WS	CFR100	CFR2WS	CFR200	CFR3WS
Power Rating at 70 °C	1/6W	1/4W		1/2W		1W		2W		3W
Maximum Working Voltage	150V	200V	250V	300V	350V	400V	500V			
Maximum Overload Voltage	300V	400V	500V	600V	700V	800V	1000V			
Dielectric Withstanding Voltage	300V	400V	500V			700V	1000V			
Resistance Range	1 Ω ~ 10MΩ & 0 Ω for E24 series value									
Operating Temp. Range	-55°C to + 155°C									
Temperature Coefficient	see Table I									

* Below or over this resistance range on request.

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

PERFORMANCE TEST	TEST METHOD	APPRAISE
Short Time Overload	JIS-C-5202 5.5 2.5 Times RCWV for 5 Seconds	±(0.75%+0.05 Ω)
Dielectric Withstanding Voltage	JIS-C-5202 5.7 in V-Block for 60 Seconds	by Type
Temperature Coefficient	JIS-C-5202 5.2 55°C to +155°C	by Type
Insulation Resistance	JIS-C-5202 5.6 in V-Block	> 1000MΩ
Solderability	JIS-C-5202 6.5 260°C ±5°C for 5 ±0.5 Seconds	95% Min. Coverage
Resistance to Solvent	JIS-C-5202 6.9 IPA for 1 Min. with Ultrasonic	No deterioration of Coatings and Markings
Terminal Strength	JIS-C-5202 6.1 Direct load for 10 Sec. In the Direction of the Terminal Leads	≥2.5kg (24.5N)
Pulse Overload	JIS-C-5202 5.8 4 Times RCWV 10000 Cycles (1 Sec. On, 25 Sec. off)	±1.0%+0.05 Ω
Load Life in Humidity	JIS-C-5202 7.9 40±2°C , 90~95% RH at RCWV for 1,000 Hrs. (1.5 Hrs. on , 0.5 Hrs. off)	±3%+0.05 Ω
Load Life	JIS-C-5202 7.10 70°C at RCWV for 1,000 Hrs. (1.5 Hrs. on 0.5 Hrs. off)	±3%+0.05 Ω
Temperature Cycling	JIS-C-5202 7.4 -55°C→Room Temp.→+155°C→Room Temp. for 5 Cycles	±1%+0.05 Ω
Resistance to Soldering Heat	JIS-C-5202 6.4 350°C ±10°C for 3±0.5 Seconds	±1%+0.05 Ω

* Rated Continuous Working Voltage (RCWV) = $\sqrt{\text{Power Rating} \times \text{Resistance Value}}$

7.1.3 Transistor

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

Designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

Features

- ESD Ratings: Machine Model, C; > 400 V
Human Body Model, 3B; > 8000 V
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- Pb-Free Packages are Available*

**6 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
40–60–80–100 VOLTS,
65 WATTS**

MAXIMUM RATINGS

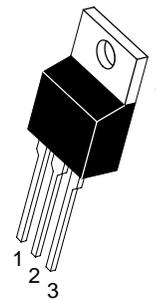
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CEO}	40 60 80 100	Vdc
Collector–Base Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CB}	40 60 80 100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current– Continuous Peak	I_C	6.0 10	Adc
Base Current	I_B	2.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52	W W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	W W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	62.5	mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	1.67	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	57	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

1. $I_C = 2.5 \text{ A}$, $L = 20 \text{ mH}$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_{BE} = 100 \Omega$.



TO-220AB
CASE 221A
STYLE 1

MARKING DIAGRAM



TIP4xx = Device Code
xx = 1, 1A, 1B, 1C
2, 2A, 2B, 2C
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector–Emitter Sustaining Voltage (Note 2) ($I_C = 30\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	$V_{CE(sus)}$	40 60 80 100	– – – –	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	TIP41, TIP41A, TIP42, TIP42A TIP41B, TIP41C, TIP42B, TIP42C	I_{CEO}	– –	0.7 0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$)	TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	I_{CES}	– – – –	400 400 400 400	μAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	–	1.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (Note 2)					
DC Current Gain ($I_C = 0.3\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)		h_{FE}	30 15	– 75	–
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 6.0\text{ Adc}$, $I_B = 600\text{ mAdc}$)		$V_{CE(sat)}$	–	1.5	Vdc
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 6.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)		$V_{BE(on)}$	–	2.0	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Current–Gain — Bandwidth Product ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f_{test} = 1.0\text{ MHz}$)		f_T	3.0	–	MHz
Small–Signal Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)		h_{fe}	20	–	–

2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP41	TO–220	50 Units / Rail
TIP41G	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP41A	TO–220	50 Units / Rail
TIP41AG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP41B	TO–220	50 Units / Rail
TIP41BG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP41C	TO–220	50 Units / Rail
TIP41CG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP42	TO–220	50 Units / Rail
TIP42G	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP42A	TO–220	50 Units / Rail
TIP42AG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP42B	TO–220	50 Units / Rail
TIP42BG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail
TIP42C	TO–220	50 Units / Rail
TIP42CG	TO–220 (Pb–Free)	50 Units / Rail

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)

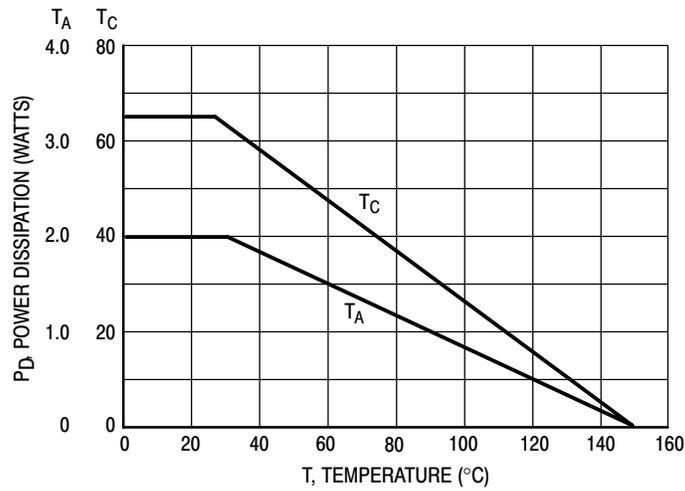


Figure 1. Power Derating

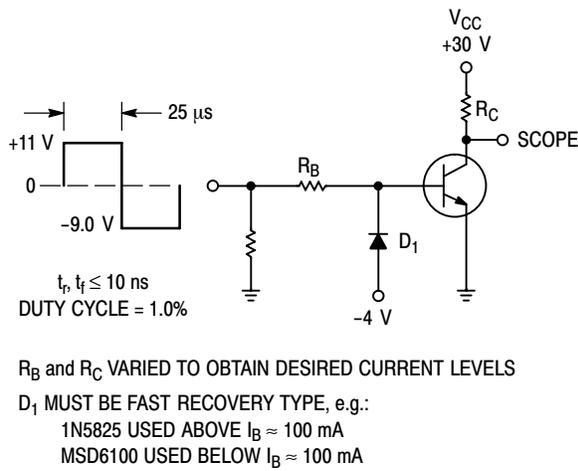


Figure 2. Switching Time Test Circuit

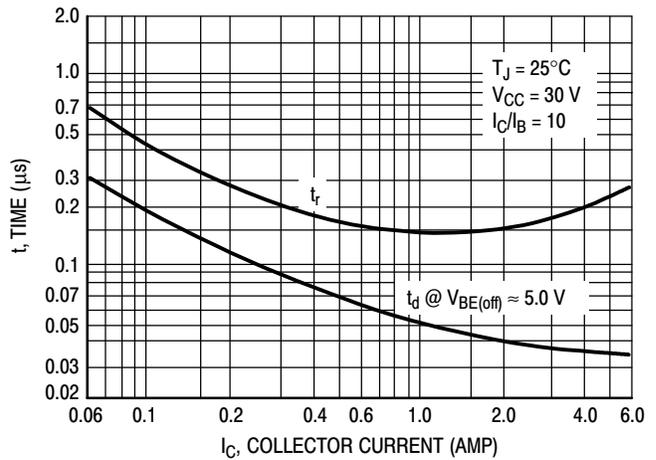


Figure 3. Turn-On Time

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)

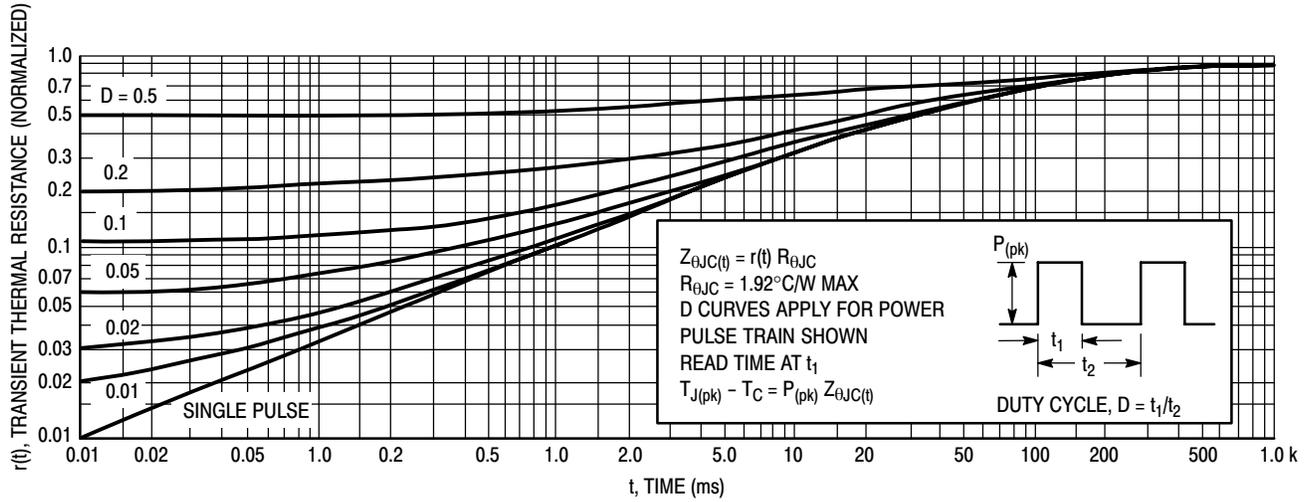


Figure 4. Thermal Response

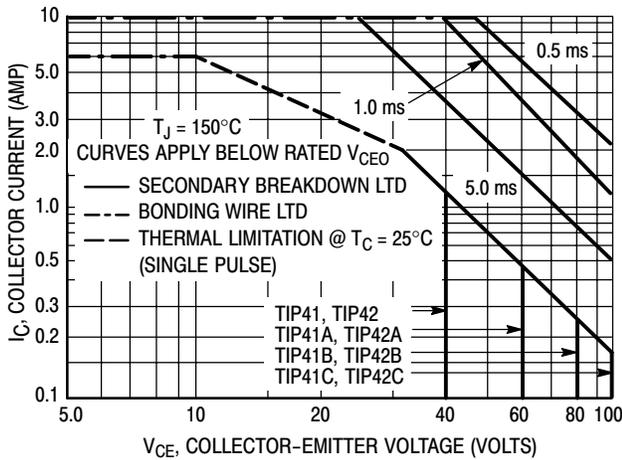


Figure 5. Active-Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 5 is based on $T_{J(pk)} = 150^{\circ}\text{C}$; T_C is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(pk)} \leq 150^{\circ}\text{C}$. $T_{J(pk)}$ may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

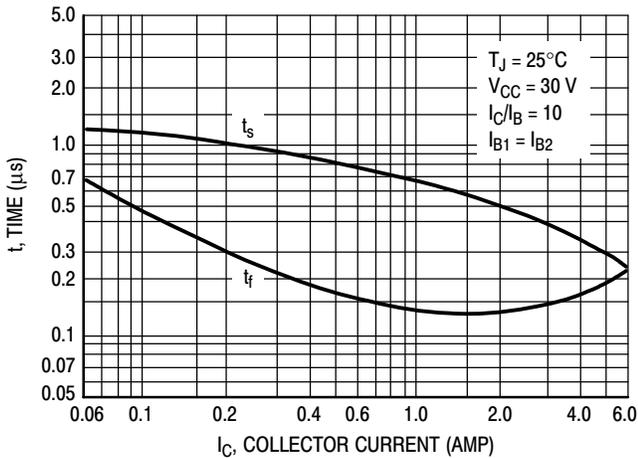


Figure 6. Turn-Off Time

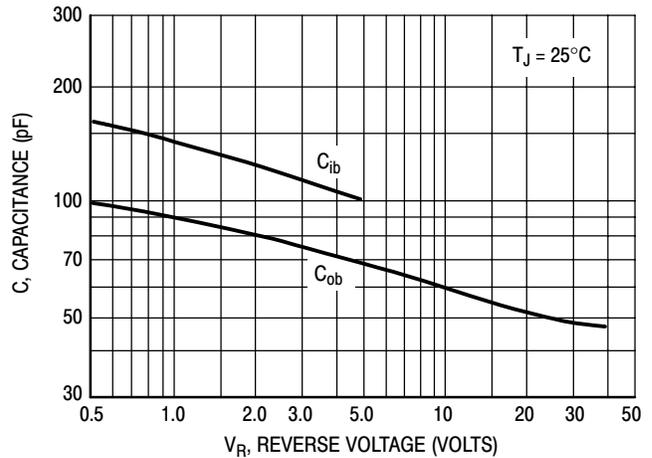


Figure 7. Capacitance

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)

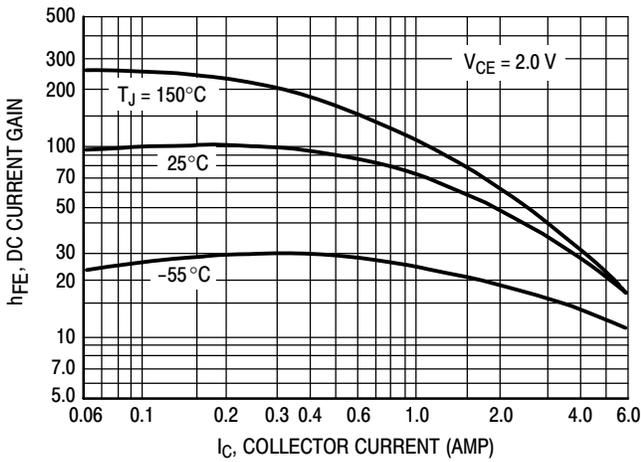


Figure 8. DC Current Gain

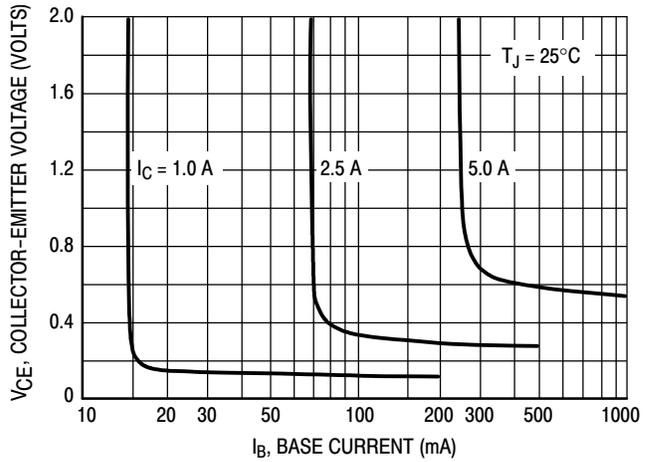


Figure 9. Collector Saturation Region

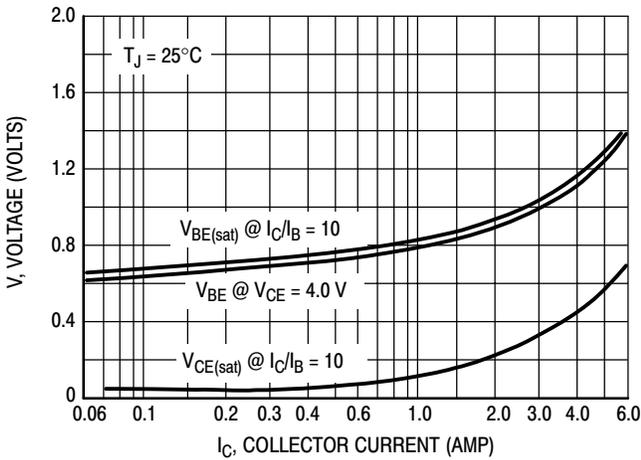


Figure 10. "On" Voltages

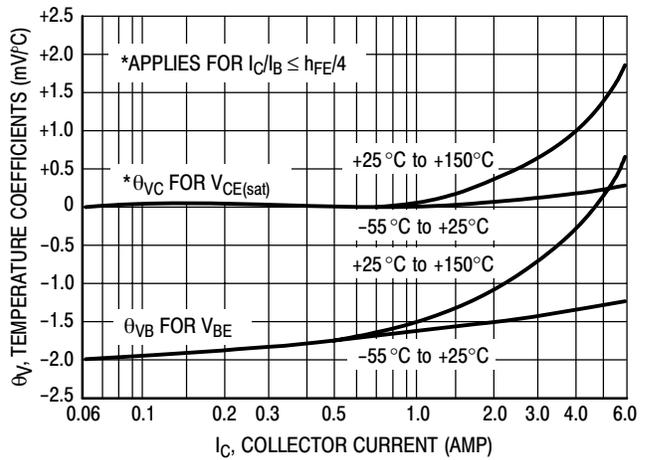


Figure 11. Temperature Coefficients

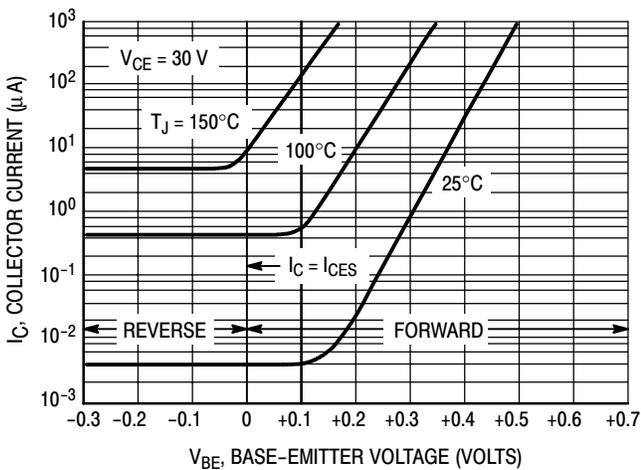


Figure 12. Collector Cut-Off Region

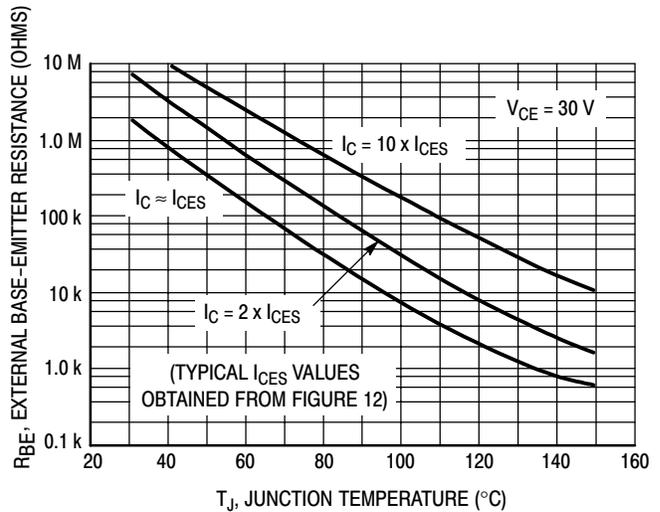
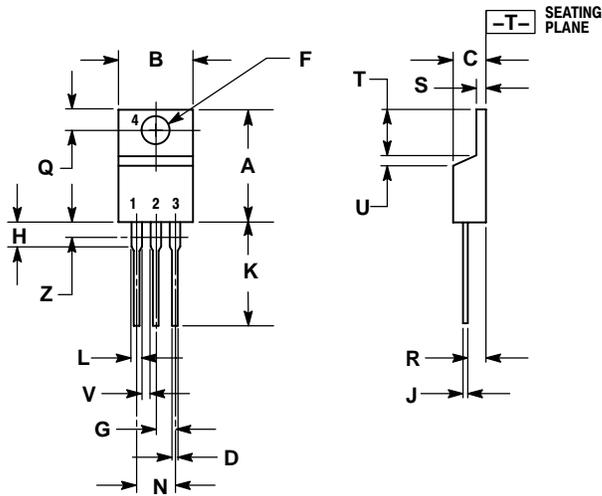


Figure 13. Effects of Base-Emitter Resistance

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220
CASE 221A-09
ISSUE AA



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.080	---	2.04

STYLE 1:

- PIN 1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85082-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7709 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

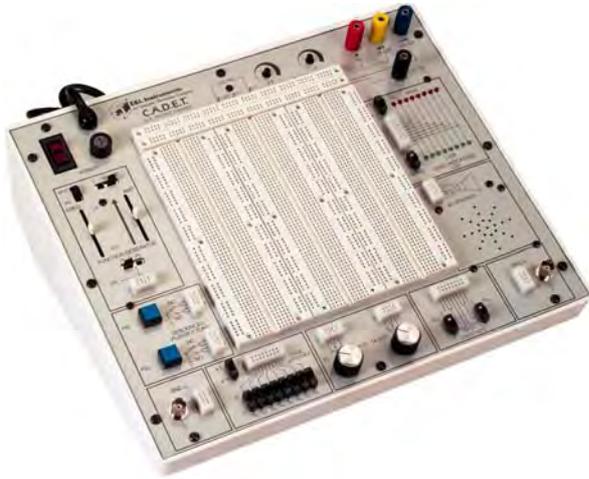
Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

7.1.4 Panel de control

C.A.D.E.T. SERIES ELECTRONIC CIRCUIT TRAINERS

COMBINED ANALOG / DIGITAL ELECTRONICS TRAINERS



C.A.D.E.T.

- Stationary or removable breadboard area
- Multi-waveform function generator
- Variable output AC/DC power supply
- 8 selectable logic switches
- 8 High and Low buffered logic indicators
- 2 SPDT logic switches
- 1K and 10K potentiometers
- 2 debounced push-button operated pulsers
- 2 BNC's and 8Ω speaker

C.A.D.E.T II

- Expanded removable breadboard area
- Built-in logic probe with pulse capture
- Two open collector output pulsers
- Built-in multi-waveform function generator
- Quad voltage power supply: Three DC & one low voltage AC
- Two potentiometers and two SPDT switches
- 8 selectable logic switches
- BCD to 7 segment decoder / display
- 8 channel logic indicators
- Option of using Experiments Trainer Boards



C.A.D.E.T. MASTERLAB

- Removable breadboard area
- 1MHz multi-waveform function generator
- Quad voltage power supply
- Logic probe with pulse capture
- Square wave pulse generator
- BCD to 7 segment decoder / display
- 8 channel logic indicators
- DC digital voltmeter with four ranges
- Two open collector output pulsers
- 8 selectable logic switches
- Detachable 25-way computer interface
- Option of using Experiments Trainer Boards

E & L Instruments

"TOTAL SOLUTIONS FOR ELECTRONICS EDUCATION"

Aerial Road, Llay, Wrexham, LL12 0TU. United Kingdom. Tel: (01978) 853920 Fax: (01978) 854564
www.eandl.com

C.A.D.E.T. SERIES - SPECIFICATIONS

C.A.D.E.T.

POWER:

3-wire AC line input (115V/230V 50-60Hz or 230V 50Hz, specify when ordering). Illuminated power switch.

POWER SUPPLIES:

Fixed 5VDC @ 1.0A, ripple <5mV
Variable $\pm 1.3V$ -15V 0.5A, ripple <5mV
Fixed AC O/P: 12.6VAC Centre tapped @ 100mA

FUNCTION GENERATOR:

Frequency Range: 0.1 Hz to 100KHz in six ranges
Output Voltage: 0 to $\pm 10V$ (20Vp-p)
Output impedance: 600 ohms (except TTL)
Output current: 10mA max., short circuit protected.
Output Waveforms: Sine, Square, Triangle, TTL
Sine wave: Distortion <3% (10Hz to 100kHz)
TTL Pulse: Rise and fall time <25ns
Drive 10 TTL loads
Square Wave: Rise and fall time <1.5 μ s

LOGIC INDICATORS:

16 LED's 8 red to indicate logic high, 8 green to indicate a logic low.

DEBOUNCED PUSHBUTTONS (PULSER):

Two push-button operated, open-collector output pulsers, each with one normally-open and one normally closed output. Each output can sink up to 250mA.

POTENTIOMETERS:

One 1k Ω , one 10k Ω , all leads available and uncommitted.

SPDT SWITCHES:

Two SPDT slide switches, all leads available and uncommitted.

BNC CONNECTOR:

Two BNC connectors, pin available and uncommitted, shell connected to ground.

LOGIC SWITCHES:

8 individual SPDT logic switches, one side of all eight switches connected to 0V, the other side of all eight switches is switchable between +5V and +V. Wipers are uncommitted and are taken to tie points

SPEAKER: 0.25W, 8 Ω

BREADBOARDING AREA:

A total of 2520 uncommitted tie-points. Two bus strips internally connected to power and ground. Fifty tie points for each +5V, +V, -V and ground.

ENCLOSURE: High impact plastic moulded case

DIMENSIONS: 16.5 (H) x 41 (W) x 29cm (D)
(6.5" x 16" x 11.5")

WEIGHT: 3.2kg (7lbs)

C.A.D.E.T. II

POWER:

3-wire AC line input (115V/230V 50-60Hz or 230V 50Hz, specify when ordering) with power indicator.

POWER SUPPLIES:

Fixed DC output: +5VDC @ 1.0A, ripple <5mV
Variable DC O/P: +1.3V to +15V @ 0.5A, ripple <5mV
Variable DC O/P: -1.3V to -15V @ 0.5A, ripple <5mV
Fixed AC O/P: 12.6VAC Centre tapped @ 100mA

FUNCTION GENERATOR: See C.A.D.E.T.

LOGIC INDICATORS: See C.A.D.E.T.

LOGIC PROBE:

Built-in TTL/CMOS compatible logic probe. Captures fast single shot events and pulse trains. Input impedance 300K Ω , overload protection +50VDC, min. detectable pulse width 100nsec. TTL Threshold low - 0.8V high +2.25V, CMOS Threshold low +30 %Vcc high +70 %Vcc. Memory Mode.
Tie Points: Vcc: 1 x 0.6mm socket
Probe Input: 1 x 0.6mm socket

DEBOUNCED PUSHBUTTONS (PULSER): See C.A.D.E.T.

POTENTIOMETERS: See C.A.D.E.T.
Tie points: 20 per wiper; 10 per remaining contact

SPDT SWITCHES: See C.A.D.E.T. Masterlab

LOGIC SWITCHES: See C.A.D.E.T.

BNC CONNECTOR: See C.A.D.E.T.

SPEAKER: 0.25W, 8 Ω

BCD TO 7 SEGMENT DISPLAY:

2 BCD to 7 Segment Display circuits are provided including decoder/driver circuitry.
Tie Points: 5 per BCD input signal.

BREADBOARDING AREA: A total of 3360 uncommitted tie-points, available on Velcro breadboard plate.
Two QT-59B bus strips. Fifty tie-points for each +5V, variable $\pm 15V$, and ground if desired.

ENCLOSURE: Steel case

DIMENSIONS: 11.4 (H) x 38.1 (W) x 27.3cm (D)
(4.5" x 15" x 10.75")

WEIGHT: 4.5kg (10lbs)

C.A.D.E.T. MASTERLAB

POWER:

3-wire AC line input (115V/230V 50-60Hz or 230V 50Hz, specify when ordering). Illuminated power switch.

POWER SUPPLIES:

Fixed DC output: +5VDC @ 1.0A, ripple <5mV
Variable DC O/P: +1.3V to +15V @ 0.5A, ripple <5mV
Variable DC O/P: -1.3V to -15V @ 0.5A, ripple <5mV
Fixed AC O/P: 12.6VAC Centre tapped @ 100mA

FUNCTION GENERATOR:

Frequency Range: 0.1 Hz to 1 MHz in seven ranges
Output Voltage: 0 to $\pm 10V$ (20Vp-p), short circuit protected.
Output Waveforms: Sine, Square, Triangle, TTL
Sine wave: Distortion <3 % (10Hz to 100kHz)
TTL Pulse: Rise and fall time <25ns
Drive 10 TTL loads
Square Wave: Rise and fall time <0.5 μ s
Tie Points: Sine, Square, Triangle, Wave: 10
TTL: 10

LOGIC INDICATORS: See C.A.D.E.T.

LOGIC PROBE:

See C.A.D.E.T. II
Tie Points: VCC: 1 x 0.6mm socket
Probe Input: 1 x 0.6mm socket

DEBOUNCED PUSHBUTTONS (PULSER): See C.A.D.E.T.

POTENTIOMETERS: See C.A.D.E.T. II

PULSE GENERATOR:

A nominal square wave source with 6 ranges covering from 1Hz to 1MHz. Two switch selectable output ranges, one (TTL) of 5Vp-p and one (CMOS) linked to the variable supply voltage and capable of giving any voltage from 0V to 15Vp-p. Ten tie points are provided to connect to external circuits.

DIGITAL VOLTMETER:

A switch selectable LCD DC digital voltmeter with four ranges: ± 000.0 -199.9mV, ± 0.200 -1.999V, ± 2.00 -19.99V and ± 20.0 -199.9V. The input is protected against excess voltages to $\pm 300V$.

BNC CONNECTOR:

One BNC Connector, shell connected to ground.
Tie Points: 1 x 0.6mm socket per input
1 x 0.6mm socket for 0V

SPDT SWITCHES:

2 SPDT slide switches, all leads available and uncommitted.
Tie Points: 10 per wiper, 5 per remaining contact

LOGIC SWITCHES: see C.A.D.E.T.

SPEAKER:

0.25W, 8 Ω , uncommitted
Tie Points: 1 x 0.6mm socket for + Input
1 x 0.6mm socket for - Input

BCD TO 7 SEG DISPLAY: See C.A.D.E.T. II

BREADBOARDING AREA: See C.A.D.E.T. II

COMPUTER INTERFACE:

A detachable passive interface between a 25 way "D" connector and a breadboarding socket. Each pin on the "D" connector is linked to two tie points on one of two IF16 connectors. In addition there are two commoned groups of 6 and 8 tie points.

ENCLOSURE: Steel case

DIMENSIONS: 11.4 (H) x 38.1 (W) x 27.3cm (D)
(4.5" x 15" x 10.75")

WEIGHT: 4.5kg (10lbs)

ORDERING INFORMATION	115V 50-60Hz	230V 50Hz
C.A.D.E.T.	325-1400	325-2400
C.A.D.E.T. with Velcro option	325-1401	325-2401
C.A.D.E.T. in carrying case	325-1404	325-2404
C.A.D.E.T. student socket plate (SSP3)	325-1402	-
C.A.D.E.T. II	325-1450	325-2450
C.A.D.E.T. II student socket plate (SSP4)	325-1448	-
C.A.D.E.T. Masterlab	325-1480	325-2480



E & L INSTRUMENTS LTD,
Aerial Road, Llay, Wrexham, LL12 0TU,
United Kingdom. Web: www.eandl.com
Tel: (01978) 853920 Fax: (01978) 854564

Distributore:

Cristiani SRL

Didattica per l'Electronica

Viale Altea 39 - 27049 STRADELLA (PV)

Tel 0385 42975 - Fax 0385 240077

E-mail cristiani@cristianisrl.it

Web <http://www.cristianisrl.it>

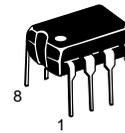
7.1.5 Amplificador operacional LM-311

Highly Flexible Voltage Comparators

The ability to operate from a single power supply of 5.0 V to 30 V or ± 15 V split supplies, as commonly used with operational amplifiers, makes the LM211/LM311 a truly versatile comparator. Moreover, the inputs of the device can be isolated from system ground while the output can drive loads referenced either to ground, the V_{CC} or the V_{EE} supply. This flexibility makes it possible to drive DTL, RTL, TTL, or MOS logic. The output can also switch voltages to 50 V at currents to 50 mA. Thus the LM211/LM311 can be used to drive relays, lamps or solenoids.

HIGH PERFORMANCE VOLTAGE COMPARATORS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



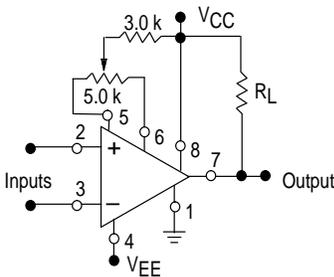
N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626



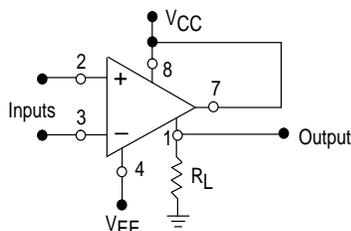
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

Typical Comparator Design Configurations

Split Power Supply with Offset Balance

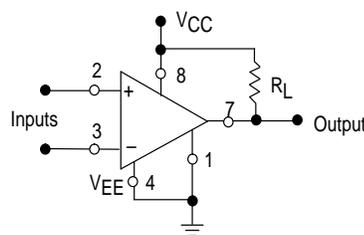


Ground-Referred Load

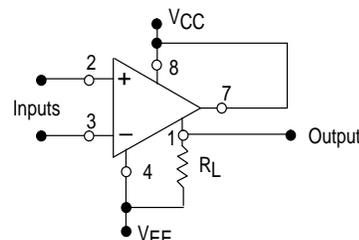


Input polarity is reversed when Gnd pin is used as an output.

Single Supply

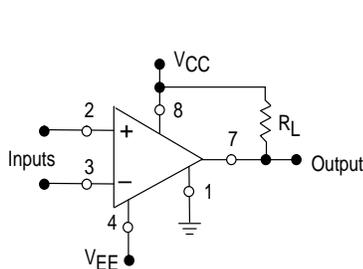


Load Referred to Negative Supply

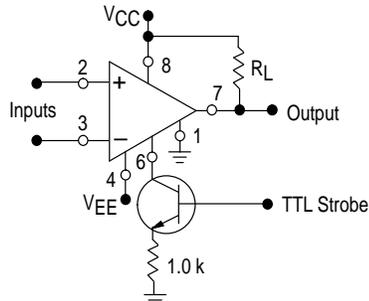


Input polarity is reversed when Gnd pin is used as an output.

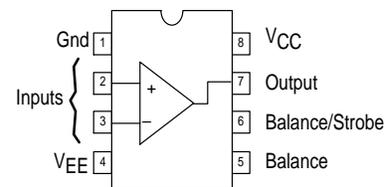
Load Referred to Positive Supply



Strobe Capability



PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM211D	$T_A = 25^\circ$ to $+85^\circ\text{C}$	SO-8
LM311D LM311N	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-8 Plastic DIP

LM311 LM211

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM211	LM311	Unit
Total Supply Voltage	$V_{CC} + V_{EE} $	36	36	Vdc
Output to Negative Supply Voltage	$V_O - V_{EE}$	50	40	Vdc
Ground to Negative Supply Voltage	V_{EE}	30	30	Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	±30	±30	Vdc
Input Voltage (Note 2)	V_{in}	±15	±15	Vdc
Voltage at Strobe Pin	–	V_{CC} to $V_{CC}-5$	V_{CC} to $V_{CC}-5$	Vdc
Power Dissipation and Thermal Characteristics Plastic DIP Derate Above T _A = +25°C	P_D $1/\theta_{JA}$	625 5.0		mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	–25 to +85	0 to +70	°C
Operating Junction Temperature	T _{J(max)}	+150	+150	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	–65 to +150	–65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, T_A = 25°C, unless otherwise noted [Note 1].)

Characteristic	Symbol	LM211			LM311			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 3) R _S ≤ 50 kΩ, T _A = +25°C R _S ≤ 50 kΩ, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	V _{IO}	–	0.7	3.0	–	2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 3) T _A = +25°C T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	I _{IO}	–	1.7	10	–	1.7	50	nA
Input Bias Current T _A = +25°C T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	I _{IB}	–	45	100	–	45	250	nA
Voltage Gain	A _V	40	200	–	40	200	–	V/mV
Response Time (Note 4)		–	200	–	–	200	–	ns
Saturation Voltage V _{ID} ≤ –5.0 mV, I _O = 50 mA, T _A = 25°C V _{ID} ≤ –10 mV, I _O = 50 mA, T _A = 25°C V _{CC} ≥ 4.5 V, V _{EE} = 0, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} * V _{ID} ≤ 6.0 mV, I _{sink} ≤ 8.0 mA V _{ID} ≤ 10 mV, I _{sink} ≤ 8.0 mA	V _{OL}	–	0.75	1.5	–	–	–	V
Strobe "On" Current (Note 5)	I _S	–	3.0	–	–	3.0	–	mA
Output Leakage Current V _{ID} ≥ 5.0 mV, V _O = 35 V, T _A = 25°C, I _{strobe} = 3.0 mA V _{ID} ≥ 10 mV, V _O = 35 V, T _A = 25°C, I _{strobe} = 3.0 mA V _{ID} ≥ 5.0 mV, V _O = 35 V, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *		–	0.2	10	–	–	–	nA nA μA
Input Voltage Range (T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *)	V _{ICR}	–14.5	–14.7 to 13.8	+13.0	–14.5	–14.7 to 13.8	+13.0	V
Positive Supply Current	I _{CC}	–	+2.4	+6.0	–	+2.4	+7.5	mA
Negative Supply Current	I _{EE}	–	–1.3	–5.0	–	–1.3	–5.0	mA

* T_{low} = –25°C for LM211
= 0°C for LM311

T_{high} = +85°C for LM211
= +70°C for LM311

- NOTES:**
- Offset voltage, offset current and bias current specifications apply for a supply voltage range from a single 5.0 V supply up to ±15 V supplies.
 - This rating applies for ±15 V supplies. The positive input voltage limit is 30 V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30 V below the positive supply, whichever is less.
 - The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1.0 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the "worst case" effects of voltage gain and input impedance.
 - The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive.
 - Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3.0 mA to 5.0 mA.

LM311 LM211

Figure 1. Circuit Schematic

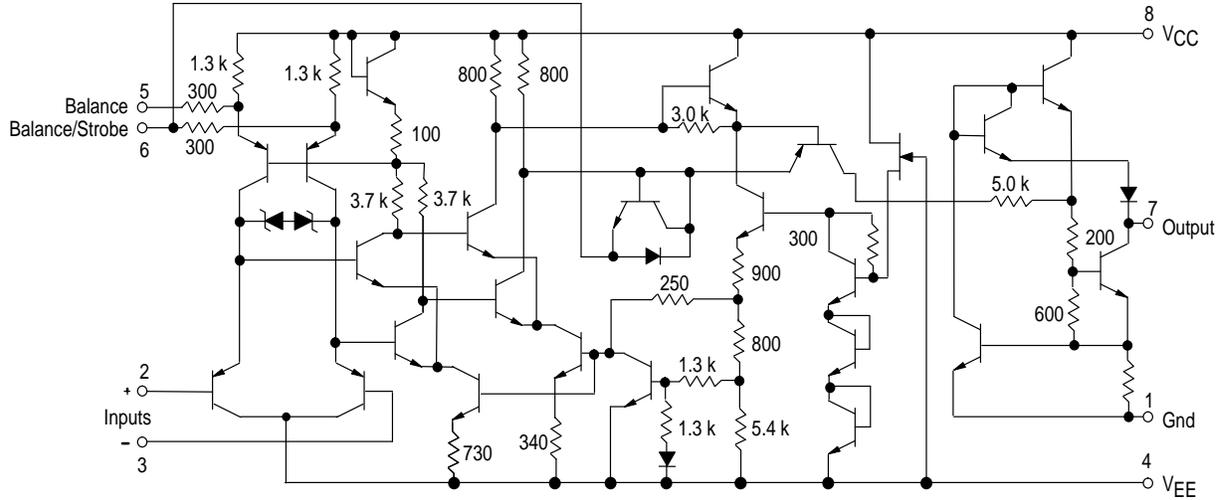


Figure 2. Input Bias Current versus Temperature

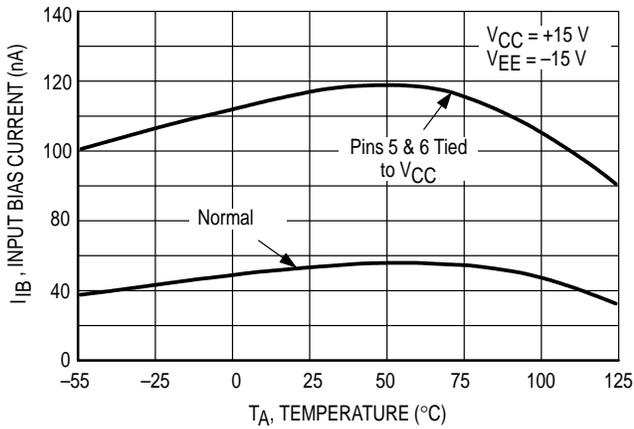


Figure 3. Input Offset Current versus Temperature

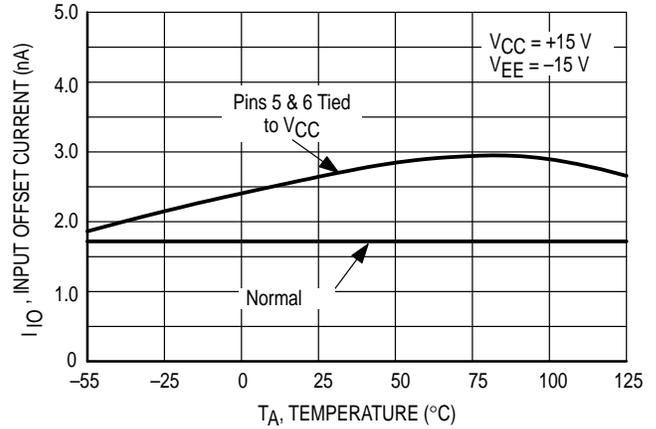


Figure 4. Input Bias Current versus Differential Input Voltage

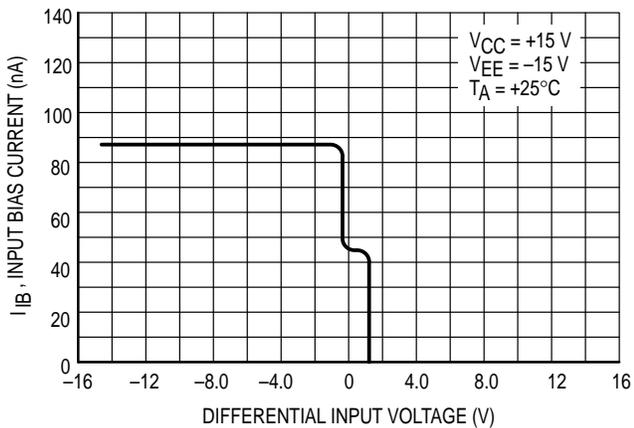


Figure 5. Common Mode Limits versus Temperature

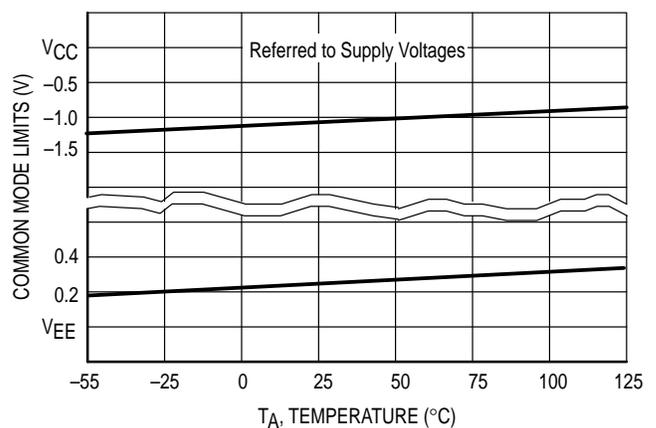


Figure 6. Response Time for Various Input Overdrives

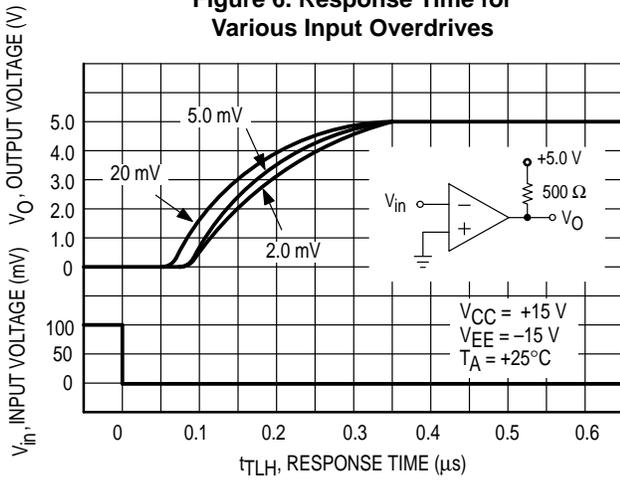


Figure 7. Response Time for Various Input Overdrives

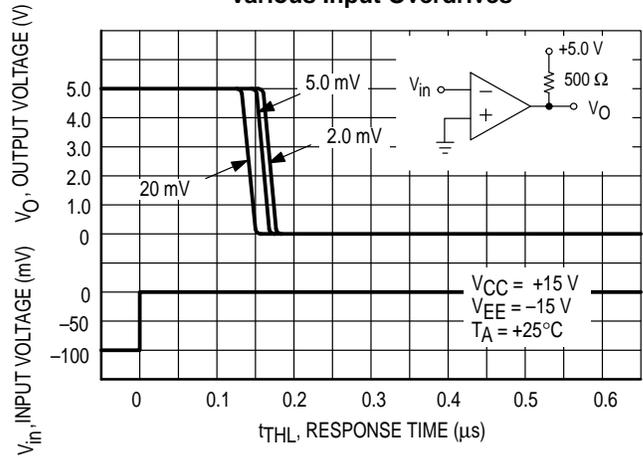


Figure 8. Response Time for Various Input Overdrives

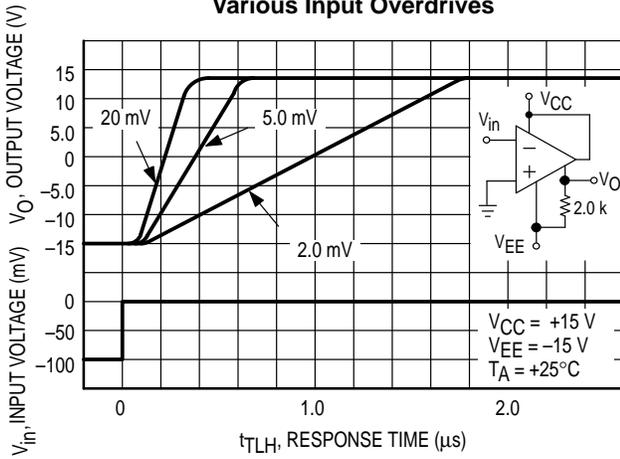


Figure 9. Response Time for Various Input Overdrives

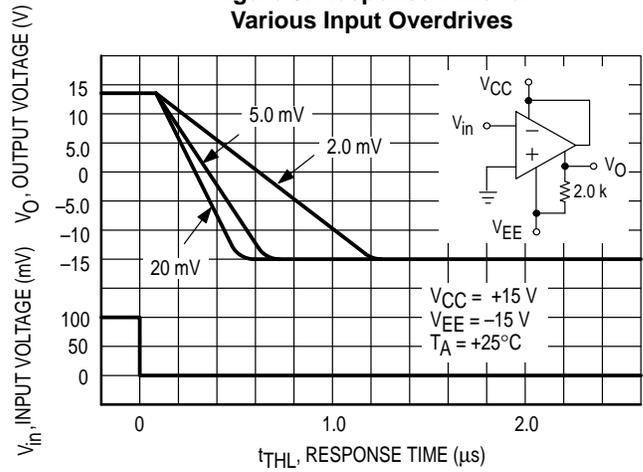


Figure 10. Output Short Circuit Current Characteristics and Power Dissipation

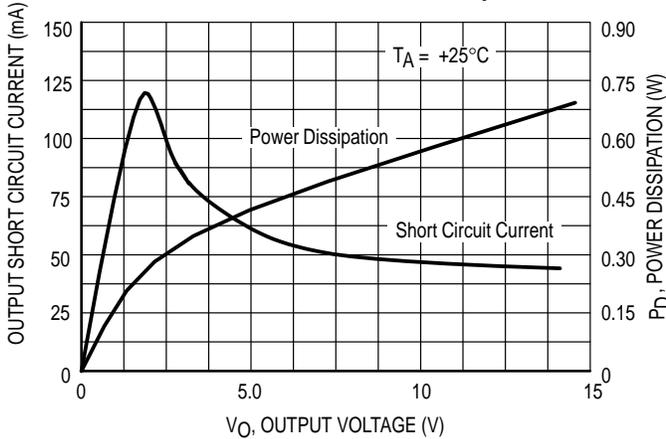
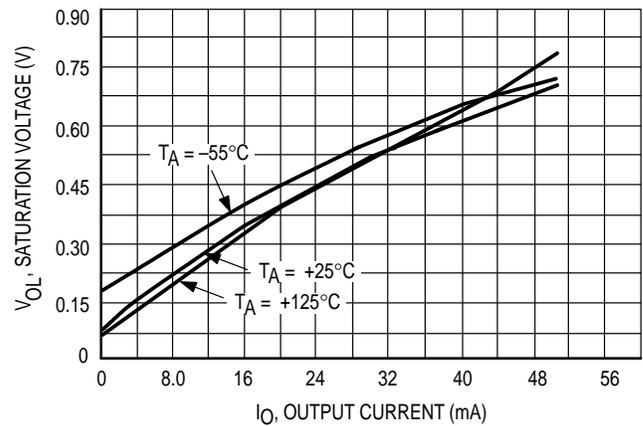


Figure 11. Output Saturation Voltage versus Output Current



LM311 LM211

Figure 12. Output Leakage Current versus Temperature

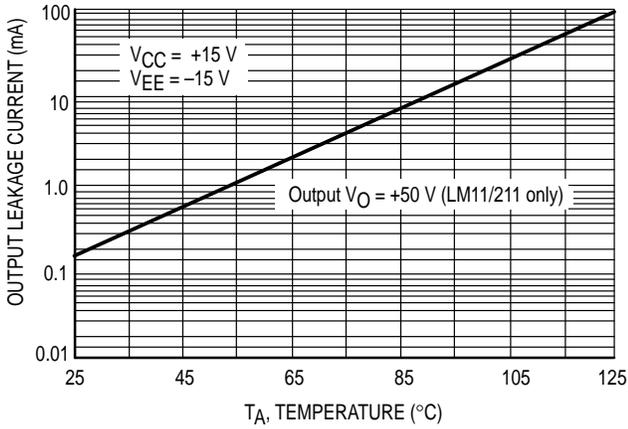


Figure 13. Power Supply Current versus Supply Voltage

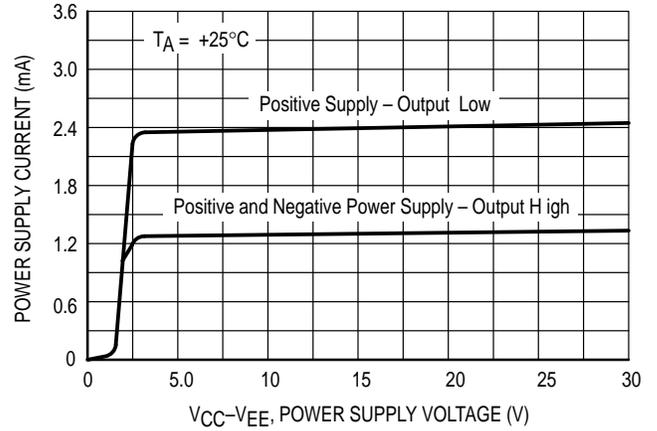
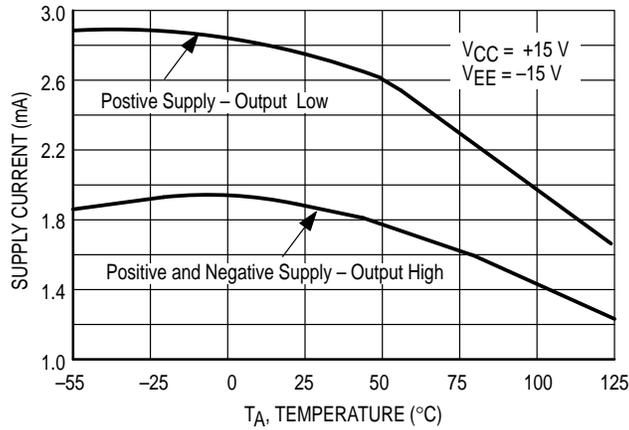


Figure 14. Power Supply Current versus Temperature



APPLICATIONS INFORMATION

Figure 15. Improved Method of Adding Hysteresis Without Applying Positive Feedback to the Inputs

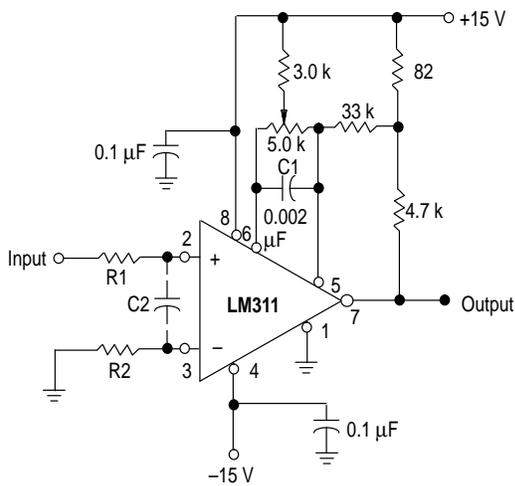
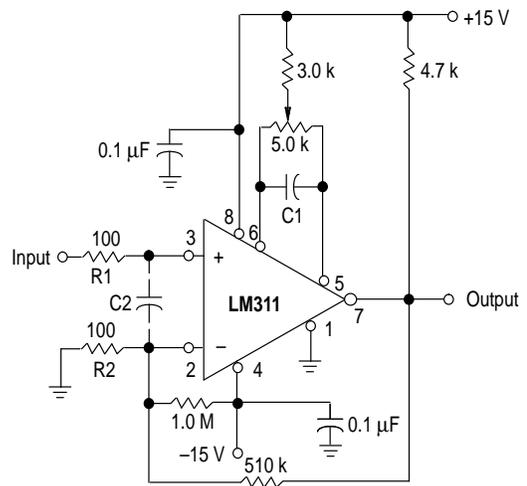


Figure 16. Conventional Technique for Adding Hysteresis



TECHNIQUES FOR AVOIDING OSCILLATIONS IN COMPARATOR APPLICATIONS

When a high speed comparator such as the LM211 is used with high speed input signals and low source impedances, the output response will normally be fast and stable, providing the power supplies have been bypassed (with 0.1 μF disc capacitors), and that the output signal is routed well away from the inputs (Pins 2 and 3) and also away from Pins 5 and 6.

However, when the input signal is a voltage ramp or a slow sine wave, or if the signal source impedance is high (1.0 k Ω to 100 k Ω), the comparator may burst into oscillation near the crossing-point. This is due to the high gain and wide bandwidth of comparators like the LM211 series. To avoid oscillation or instability in such a usage, several precautions are recommended, as shown in Figure 15.

The trim pins (Pins 5 and 6) act as unwanted auxiliary inputs. If these pins are not connected to a trim-pot, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, a 0.01 μF capacitor (C1) between Pins 5 and 6 will minimize the susceptibility to AC coupling. A smaller capacitor is used if Pin 5 is used for positive feedback as in Figure 15. For the fastest response time, tie both balance pins to V_{CC} .

Certain sources will produce a cleaner comparator output waveform if a 100 pF to 1000 pF capacitor (C2) is connected directly across the input pins. When the signal source is applied through a resistive network, R1, it is usually advantageous to choose R2 of the same value, both for DC and for dynamic (AC) considerations. Carbon, tin-oxide, and metal-film resistors have all been used with good results in comparator input circuitry, but inductive wirewound resistors should be avoided.

When comparator circuits use input resistors (e.g., summing resistors), their value and placement are particularly important. In all cases the body of the resistor should be close to the device or socket. In other words, there should be a very short lead length or printed-circuit foil run between comparator and resistor to radiate or pick up signals. The same applies to capacitors, pots, etc. For example, if R1 = 10 k Ω , as little as 5 inches of lead between the resistors and the input pins can result in oscillations that are very hard to dampen. Twisting these input leads tightly is the best alternative to placing resistors close to the comparator.

Since feedback to almost any pin of a comparator can result in oscillation, the printed-circuit layout should be engineered thoughtfully. Preferably there should be a groundplane under the LM211 circuitry (e.g., one side of a double layer printed circuit board). Ground, positive supply or negative supply foil should extend between the output and the inputs to act as a guard. The foil connections for the inputs should be as small and compact as possible, and should be essentially surrounded by ground foil on all sides to guard against capacitive coupling from any fast high-level signals (such as the output). If Pins 5 and 6 are not used, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, the trim-pot should be located no more than a few inches away from the LM211, and a 0.01 μF capacitor should be installed across Pins 5 and 6. If this capacitor cannot be used, a shielding printed-circuit foil may be advisable between Pins 6 and 7. The power supply bypass capacitors should be located within a couple inches of the LM211.

A standard procedure is to add hysteresis to a comparator to prevent oscillation, and to avoid excessive noise on the output. In the circuit of Figure 16, the feedback resistor of 510 k Ω from the output to the positive input will cause about 3.0 mV of hysteresis. However, if R2 is larger than 100 Ω , such as 50 k Ω , it would not be practical to simply increase the value of the positive feedback resistor proportionally above 510 k Ω to maintain the same amount of hysteresis.

When both inputs of the LM211 are connected to active signals, or if a high-impedance signal is driving the positive input of the LM211 so that positive feedback would be disruptive, the circuit of Figure 15 is ideal. The positive feedback is applied to Pin 5 (one of the offset adjustment pins). This will be sufficient to cause 1.0 mV to 2.0 mV hysteresis and sharp transitions with input triangle waves from a few Hz to hundreds of kHz. The positive-feedback signal across the 82 Ω resistor swings 240 mV below the positive supply. This signal is centered around the nominal voltage at Pin 5, so this feedback does not add to the offset voltage of the comparator. As much as 8.0 mV of offset voltage can be trimmed out, using the 5.0 k Ω pot and 3.0 k Ω resistor as shown.

Figure 17. Zero-Crossing Detector Driving CMOS Logic

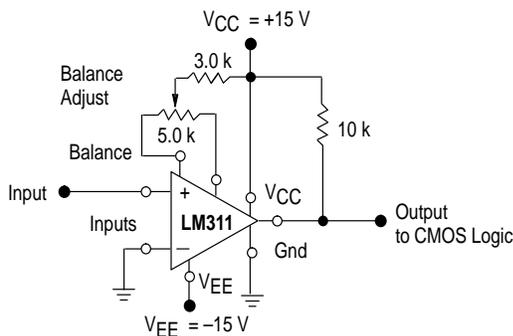
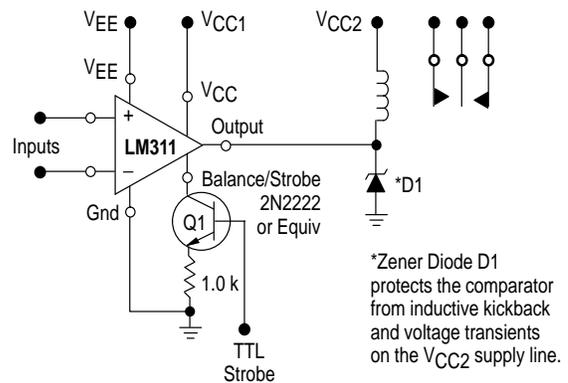


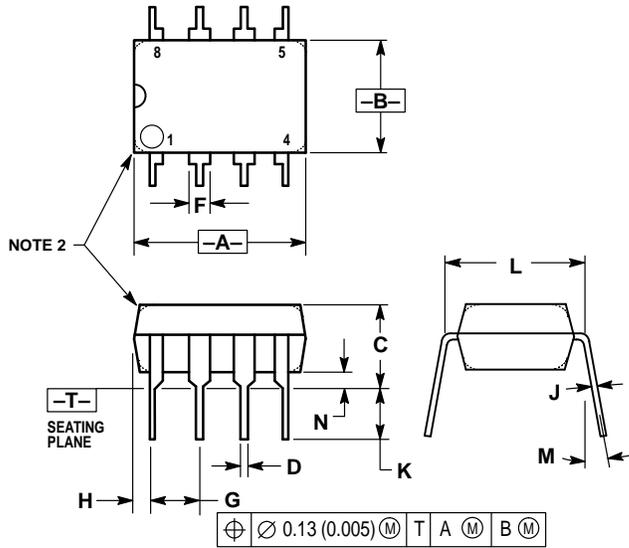
Figure 18. Relay Driver with Strobe Capability



LM311 LM211

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 626-05 ISSUE K

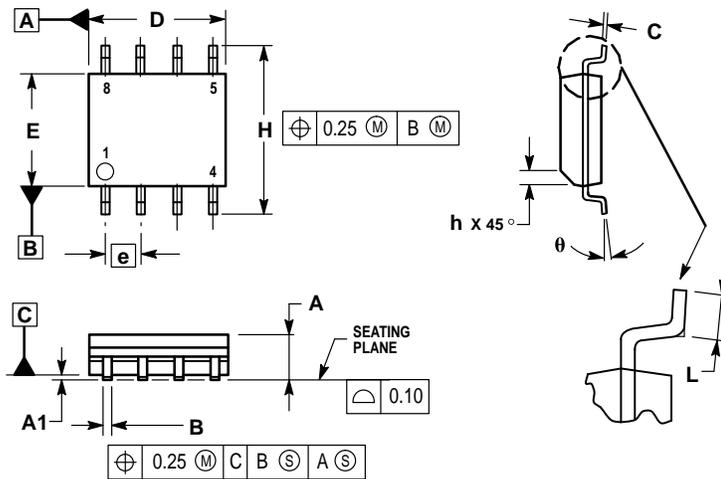


NOTES:

1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	—		10°	
N	0.76	1.01	0.030	0.040

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751-05 (SO-8) ISSUE R



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.49
C	0.18	0.25
D	4.80	5.00
E	3.80	4.00
e	1.27 BSC	
H	5.80	6.20
h	0.25	0.50
L	0.40	1.25
θ	0° 7°	

LM311 LM211

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



LM311/D



7.1.6 Disipador de calor redondo

Disipador de calor, PGA, 5.28K/W, 50 mm. x 10mm, Papel de aluminio adherente y conductor Mount.

RS Stock No. 674-4857

Manufacturer Fischer Elektronik

Mfr. Part No. ICK S R 50x10



Figura 38. Disipador de calor usado. (Real Martín et al., 2016)

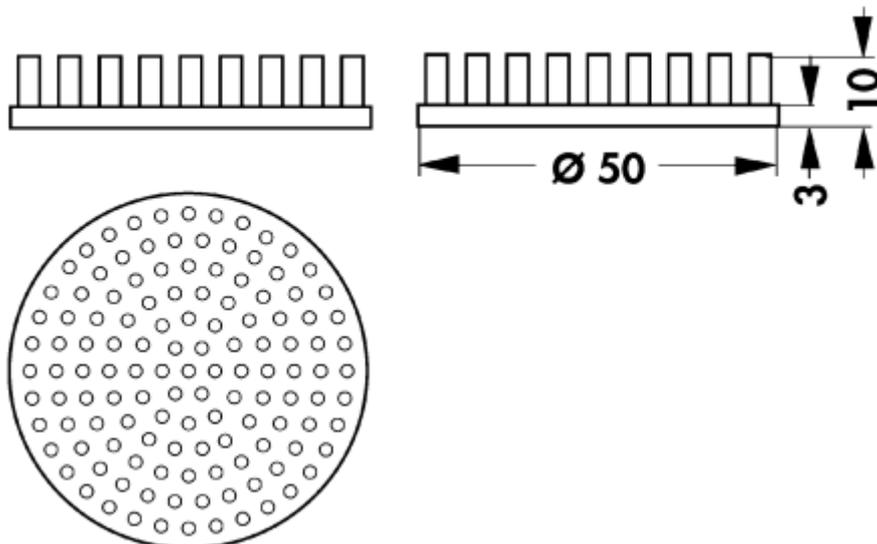


Figura 39. Dimensiones del disipador de calor redondo.

7.1.7 Disipador de calor cuadrado

40x40x11mm 1-10W Power LED aluminio disipador de calor enfriador radiador Module C44

Descripción:

- Color dorado anti oxido, de aluminio.
- Tamaño :40mm x 40mm x 11mm.
- La oxidación permite una mayor área de contacto en el disipador de calor.
- Disponible para 1W 2W 3W 5W- 10W LED.

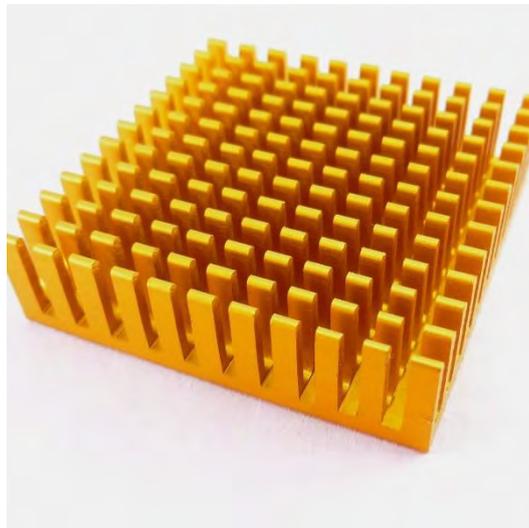


Figura 40. Disipador de calor cuadrado.

Como futura validación de los resultados, se decidió comprobar la resistencia térmica que ofrece el disipador de calor cuadrado. En la página de internet donde se compró la unidad, se decía que se llegaba a 65°C con 10 W. Asumiendo que la temperatura de la habitación es de 22°C, la resistencia térmica sería de 4,3°C/W. A continuación, se muestran los resultados obtenidos experimentalmente.

Entrada: 11.3 V, 0.40 A = 4.52 W, temperatura de la habitación = 22.8, 0.5 V voltaje del motor.

	Temperatura final (°C)	R _{total} (°C/W)	R (°C/W)
Disipador de calor cuadrado	42.8	4.425	4.810

Tabla 7. Temperatura media de las pruebas llevadas a cabo con el disipador de calor cuadrado.

Los resultados de los test son muy similares a los resultados que la página de venta ofrece. Sin conocer los detalles de las pruebas llevadas por el fabricante es difícil saber cuánto de fiable es, pero asumiendo una temperatura ambiente menor los datos del experimento serían más cercanos a los del fabricante.

7.1.8 Cinta térmica adhesiva

- Doble-lado de cinta adhesiva térmica.
- Diseño para unir componentes en ambientes calurosos.
- Tamaño: 80 x 80mm/ espesor 0.30mm.
- Conductividad térmica: 0.9 W/mk.

7.1.9 Ventilador

尺寸 Size: 80 × 80 × 15mm

马达 Motor : Brushless DC, auto restart
Impedance & polarity protected

风叶外壳 Impeller& Frame:Glassfiber reinforced thermoplastic
PBT UL94V-0

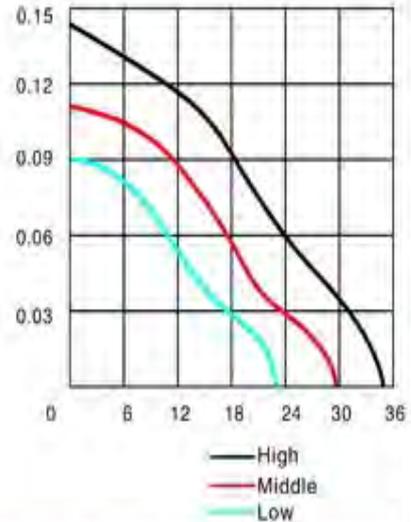
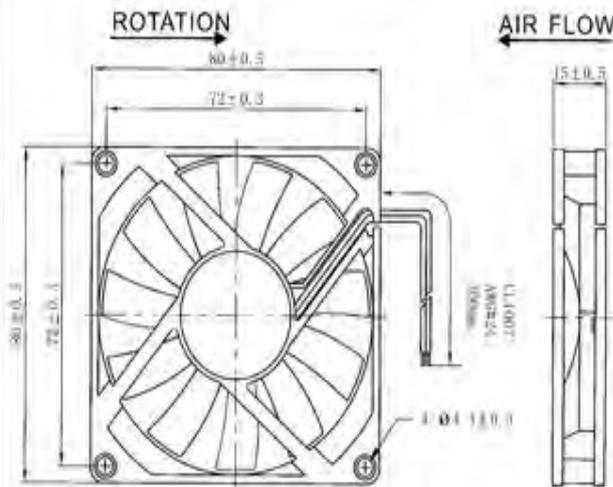
绝缘 Insulation Resistance:Min.10M at DC 500V

耐压 Dielectric Strength: 500VAC/1 sec. Max. Leakage
500 micro amp

温度范围 Permissible Temp. Range: Ball bearing -20°C~+75°C
Sleeve Bearing -10°C~+50°C

安规认证 Safety:UL>CUL>CE

寿命 Life Expectancy at 40°C: Ball Bearing 50000 hr.
Sleeve Bearing 30000 hr.



Model (型号)	Rated Voltage (VDC) (额定电压)	Startup Voltage (VDC) (启动电压)	Current Amp (A) (电流)	Speed (rpm) (转速)	Air Flow (CFM) (风量)	Static Pressure (Inch-H2o) (风压)	Noise Level (dB-A) (噪音)	Weight (g) (重量)
YM0508PHS(B)1	5.00	3.00	0.32	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM0508PHS(B)2	5.00	3.00	0.28	2200	26.15	0.10	26	54.00
YM0508PHS(B)3	5.00	3.00	0.16	2000	23.33	0.09	22	54.00
YM1208PHS(B)1	12.00	5.00	0.24	3000	35.00	0.14	33	54.00
YM1208PHS(B)2	12.00	5.00	0.16	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM1208PHS(B)3	12.00	5.00	0.08	2000	23.33	0.09	22	54.00
YM2408PHS(B)1	24.00	10.00	0.10	3000	35.00	0.14	33	54.00
YM2408PHS(B)2	24.00	10.00	0.08	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM2408PHS(B)3	24.00	10.00	0.06	2000	23.33	0.09	22	54.00

7.1.10 PolyJet VeroWhitePlus



VeroWhitePlus

POLYJET TECHNOLOGY MATERIAL SPECIFICATIONS

Highlights

- Opaque white
- Rigid and durable
- Produces excellent fine feature detail
- Quickly and economically produces parts
- Available in two Z resolutions
 - PolyJet: 30µm (0.00118")
 - PolyJet HD: 16µm (0.00063")

Applications

- Highly accurate presentation models
- Smaller parts with complex features
- Medical devices and components
- Electronic housings
- Suitable for a wide range of industries

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Color/Appearance	Visual	White	White
Tensile Strength	ASTM D638	8,350 psi	58 MPa
Elongation at Break	ASTM D638	10% - 25%	10% - 25%
Modulus of Elasticity	ASTM D638	362,500 psi	2,500 MPa
Flexural Strength	ASTM D790	13,500 psi	93 MPa
Flexural Modulus	ASTM D790	392,500 psi	2,700 MPa
Izod Notched Impact	ASTM D256	0.47 ft-lb/in	25 J/m
Shore D Hardness	-	85 D	85 D
Heat Deflection Temperature	ASTM D648 @ 264 psi	118°F	48°C
	@ 66 psi	118°F	48°C

The information presented represents typical values intended for reference and comparison purposes only. It should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, color etc. Actual values will vary with build conditions. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions, or end use. Each user is responsible for determining that the material is safe, lawful, and technically suitable for the intended application. Stratasys makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranties of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

7.1.11 Generador termoelectrico



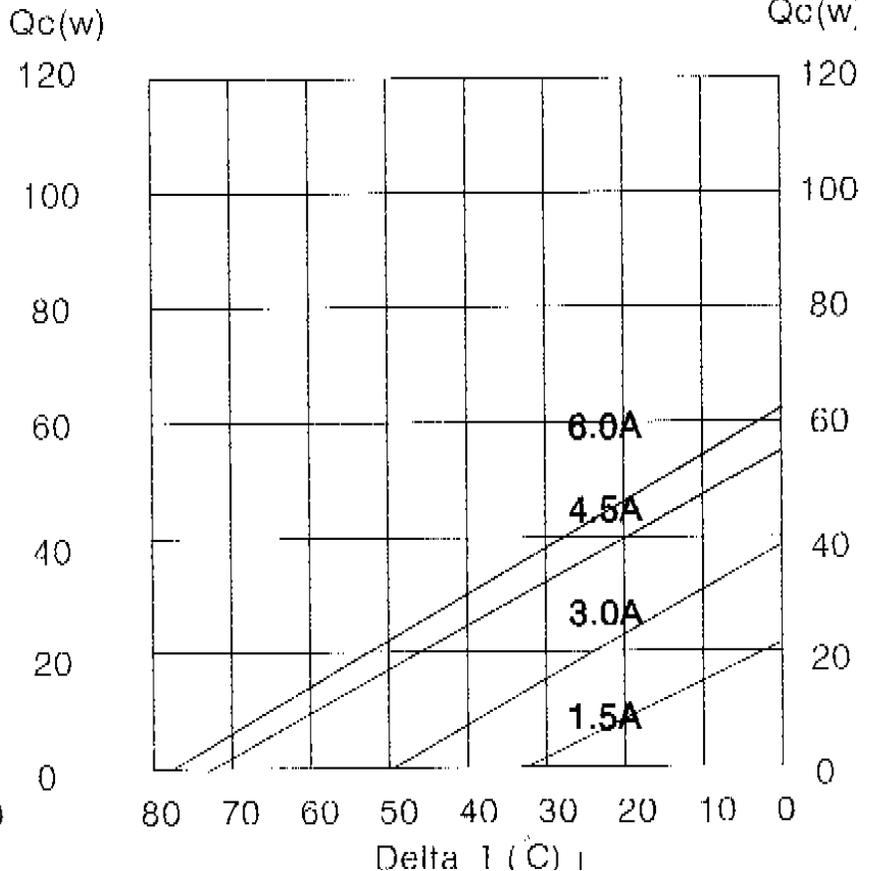
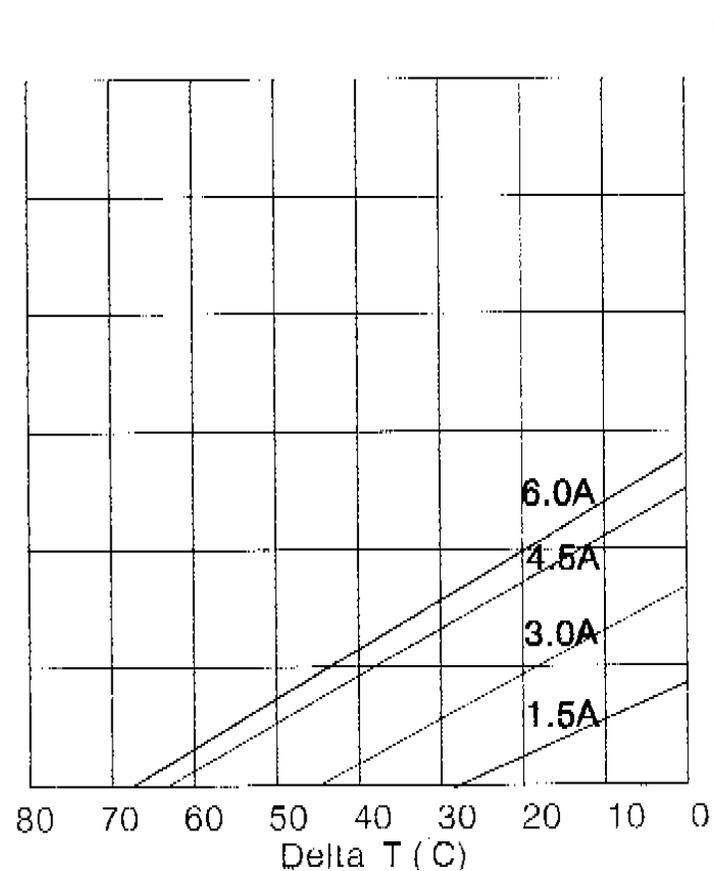
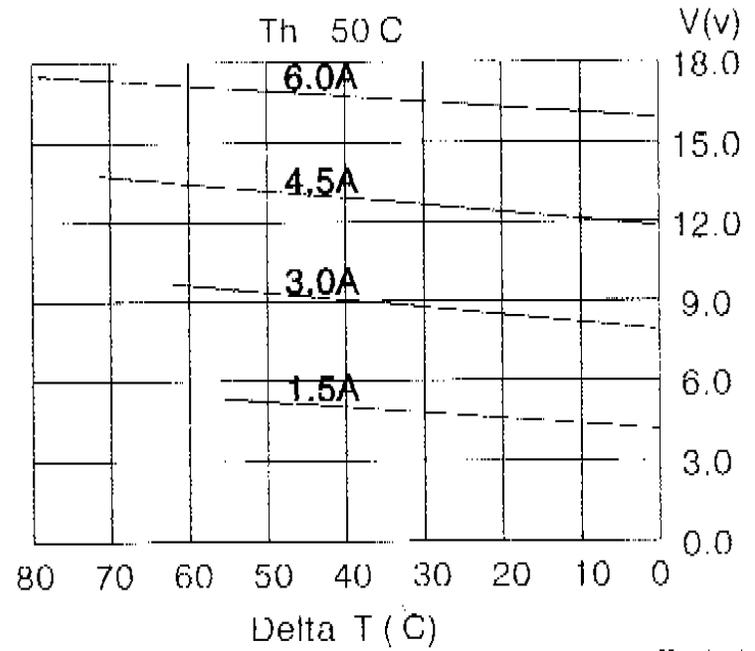
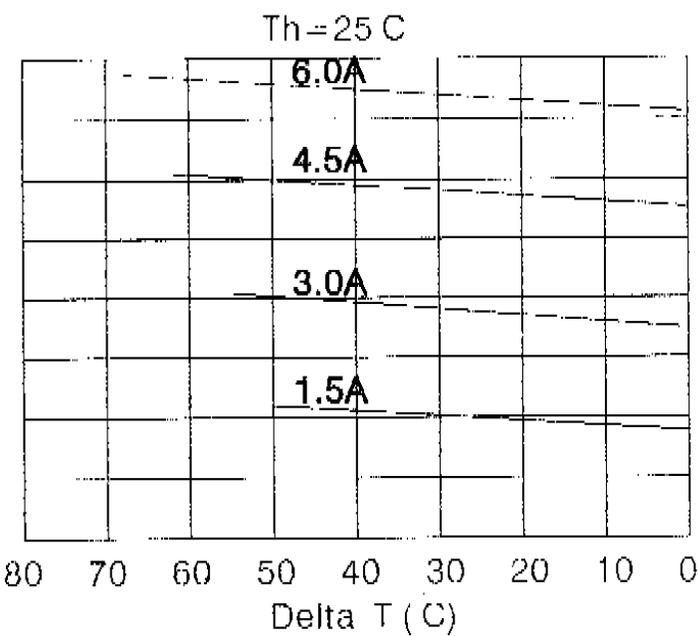
Performance Specifications

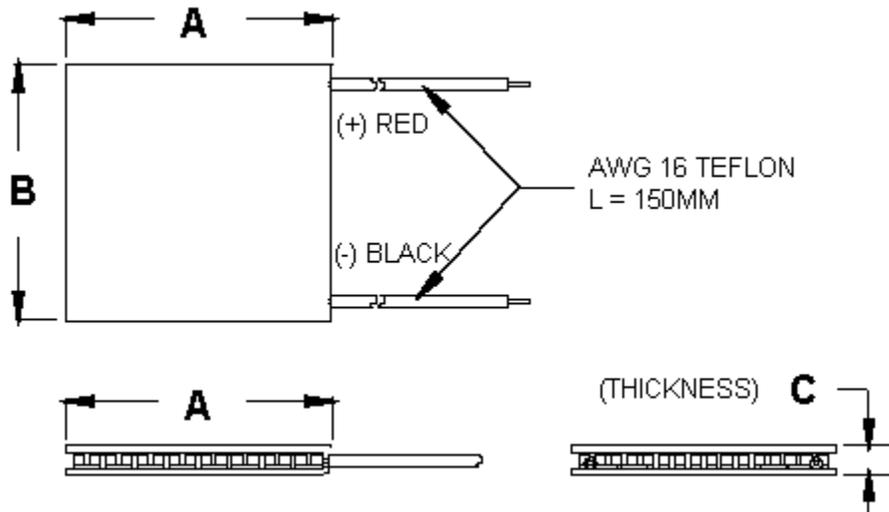
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30





Performance curves:





Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
 Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.9			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

7.2 Organigrama

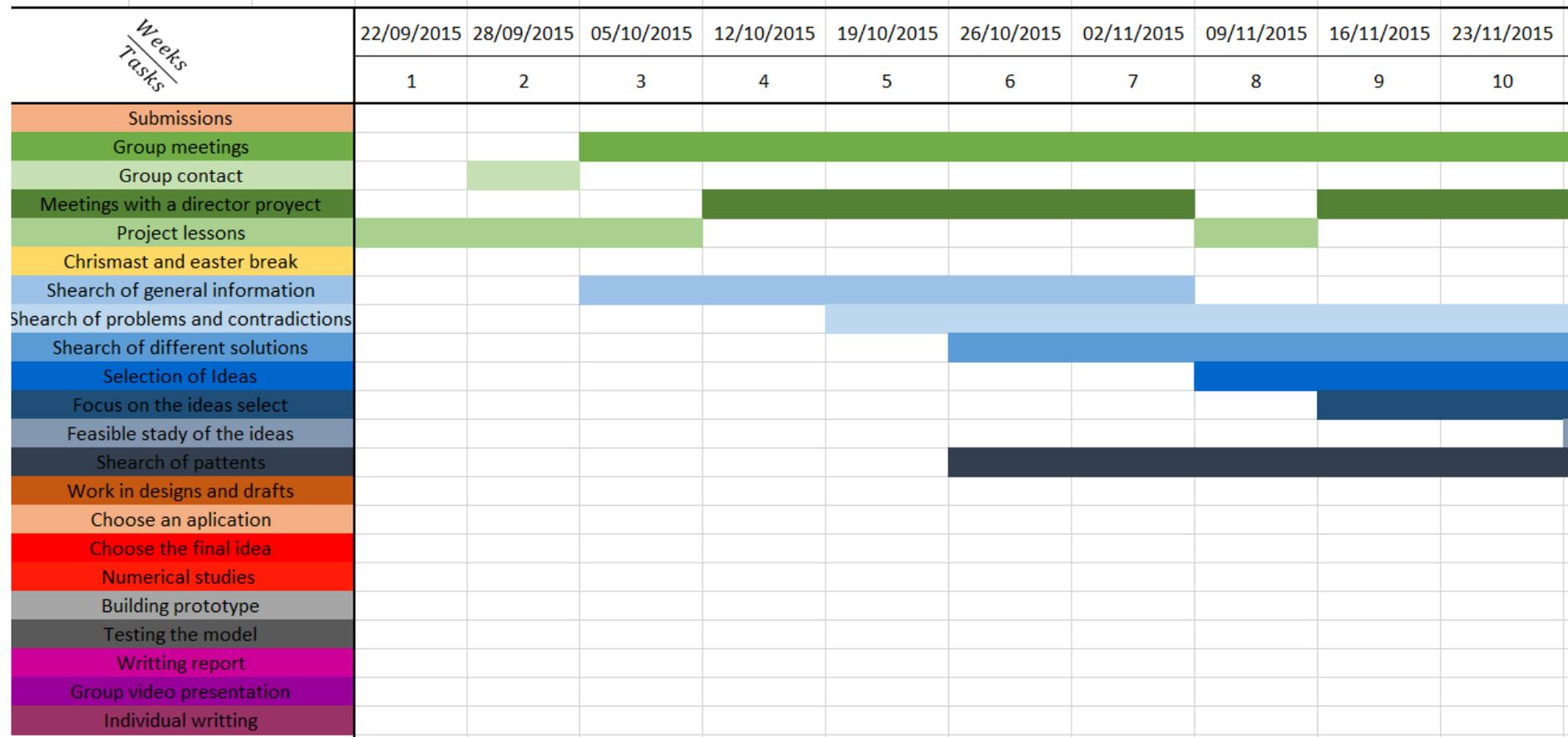


Figura 41. Organigrama en detalle de las primeras 10 semanas.

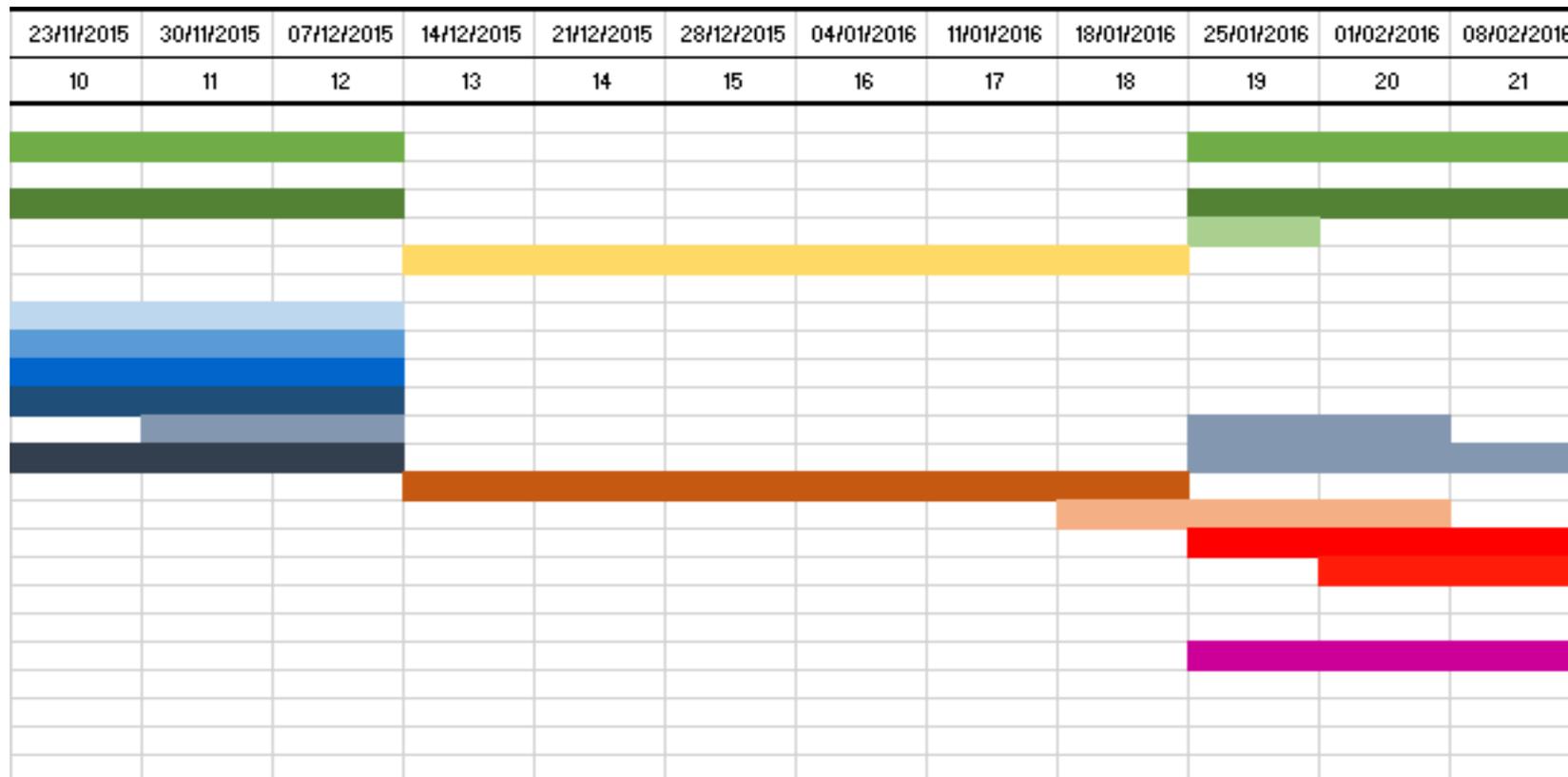


Figura 42. Organigrama en detalle semanas 10 a 21.

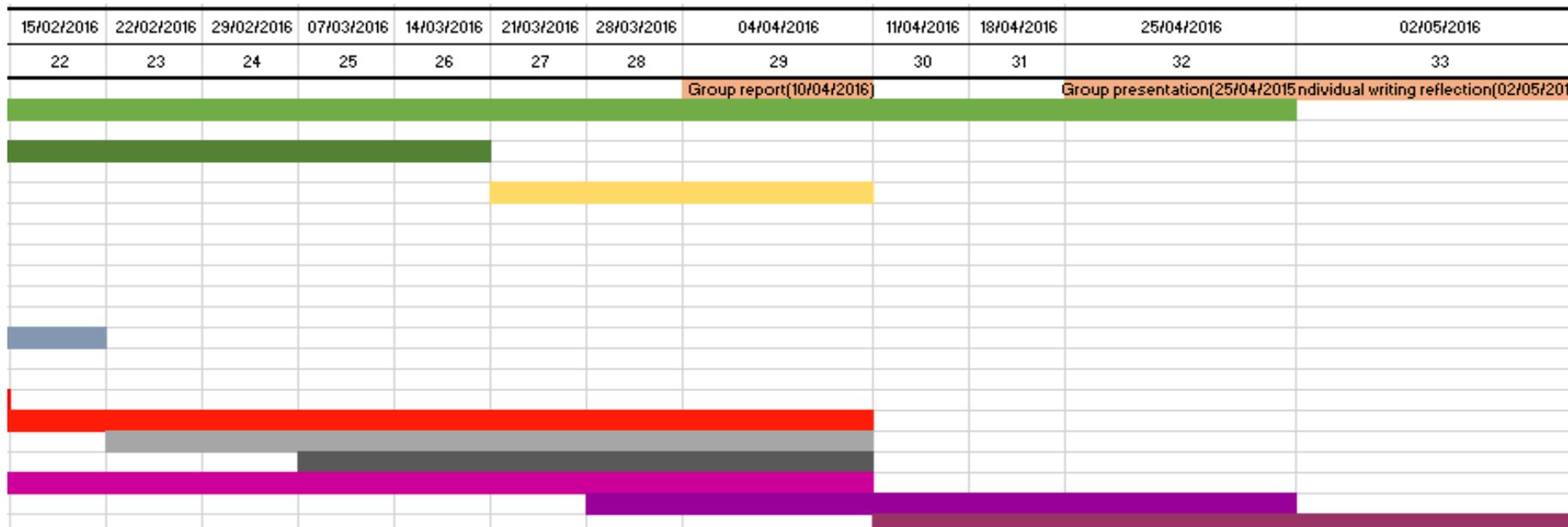


Figura 43. Organigrama en detalle semanas 22 a 33