



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis de sensibilidad de un modelo térmico de un panel
fotovoltaico-térmico (FV-T) utilizando simulación CFD*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO:	Álvaro Millán Ordoñez
DIRECTORES:	Carlos Ulloa Sande Miguel Ángel Gómez Rodríguez
CURSO ACADÉMICO:	2015-2016



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis de sensibilidad de un modelo térmico de un panel
fotovoltaico-térmico (FV-T) utilizando simulación CFD*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Con este proyecto se pretende hacer un análisis de sensibilidad de un panel fotovoltaico-térmico mediante simulación CFD, para ello se ha diseñado mediante SIEMENS NX una carcasa refrigeradora, de manera que no solo refrigere sino que además ese calor extraído pueda ser aprovechado para calentar módulos de campaña de fuerza terrestre o incluso como idea secundaria, habitáculos de barcos.

Debido a que su principal uso es para fuerzas desplegadas en tierra, el diseño de la carcasa debe ser lo más sencillo posible, fácil y barato de fabricar y de poco coste de mantenimiento. Se usan componentes sencillos de adquirir como son los ventiladores, que fuerza la circulación en el interior de la carcasa, estos ventiladores son lo que más han condicionado los parámetros establecidos en el software de simulación de fluido ANSYS FLUENT.

A lo largo del análisis se han llevado a cabo dos iteraciones, en la primera iteración se han diseñado tres carcasas usando en cada una un modelo de ventilador diferente y variando el flujo másico introducido en el conducto. Posteriormente se han comparado los resultados para determinar que configuración es la más óptima.

En la segunda iteración se ha partido de la configuración más óptima de la primera y se ha variado la geometría de la carcasa.

Finalmente, en esta segunda iteración se ha comprobado que variando la forma de la carcasa se pueden obtener mejores resultados en cuanto a eficiencia térmica, sin perder eficiencia eléctrica.

PALABRAS CLAVE

Panel Fotovoltaico-Térmico, CFD, energías renovables, SIEMENS NX, ANSYS FLUENT.

AGRADECIMIENTOS

Me veo en la necesidad de expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han influido a lo largo de todo este proceso de formación y en especial a la realización de este proyecto, y que sin su ayuda me hubiera resultado más difícil llegar hasta aquí.

A mi familia por todo su apoyo y confianza que han depositado en mí y en especial a mi abuela Amalia, la cual se habría sentido realmente orgullosa de verme donde estoy.

A Palma por estar a mi lado y darme todo su cariño. Además de buenos consejos para la redacción de esta memoria.

A mis amigos y compañeros de armas con los que tan buenos momentos he tenido y que siempre han sabido ayudarme en los momentos más difíciles de estos largos cinco años.

Y por último, pero no por ello menos importante, a los profesores del Centro Universitario de la Defensa de Marín y en especial a mis directores por su estrecha colaboración en este proyecto y por toda su ayuda prestada.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
Índice de Graficas.....	9
Índice de Ilustraciones	10
Índice de Ecuaciones	11
1 Introducción y objetivos	12
2 Estado del arte	16
2.1 Problema energético.....	16
2.2 Energía renovable en las FAS.	17
2.3 Energías renovables.	18
2.3.1 Eólica.	18
2.3.2 Biomasa.	19
2.3.3 Hidroeléctrica.	20
2.3.4 Geotérmica.....	20
2.3.5 Mareomotriz.	21
2.3.6 Solar.....	22
2.4 Energía solar.	22
2.4.1 PV y TS.....	22
2.4.2 PV-T.	24
2.5 Simulaciones CFD.	25
2.6 Formulación Física.....	27
2.6.1 Ecuación de Navier-Stokes.....	28
2.6.2 Ecuación de continuidad o de conservación de la masa	29
2.6.3 Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento.	29
2.6.4 Ecuación de conservación de la energía.	30
3 Metodología TFG	31
3.1 Proceso interactivo de diseño.....	31
3.1.1 Restricciones.....	31
3.1.2 Propuestas.	31
3.2 Análisis de sensibilidad.....	32
3.2.1 Parámetros a variar	32

3.2.2 Parámetros a analizar	33
3.3 1ª Iteración.	33
3.3.1 Configuraciones	33
3.3.2 Método	34
3.4 2º Iteración.	37
3.4.1 Configuraciones.	37
4 Resultados	40
4.1 1ª Iteración.	40
4.1.1 Temperaturas de los paneles.	40
4.1.2 Temperaturas de salida.	41
4.1.3 Energía térmica.	42
4.1.4 Desviación típica	43
4.1.5 Eficiencia Global.	44
4.1.6 Eficiencia Eléctrica.	46
4.2 Tablas de puntos de la primera iteración.	47
4.3 2ª Iteración.	49
4.3.1 Temperatura del panel.	49
4.3.2 Temperatura de salida.	50
4.3.3 Energía térmica.	51
4.3.4 Desviación típica.	52
4.3.5 Eficiencia Global.	53
4.3.6 Eficiencia Eléctrica.	55
4.4 Tabla de puntos de la segunda iteración.	56
5 Conclusiones y líneas futuras	58
5.1 Conclusiones.	58
5.2 Líneas futuras.	58
6 Bibliografía.....	60
Anexo I: Contenido del primer anexo	62
6.1 Resultados de simulaciones para variación geométrica de la carcasa con sección de 60mm.	62
6.1.1 Temperaturas de salida.	62
6.1.2 Temperaturas de salida.	63
6.1.3 Energía térmica.	64
6.1.4 Desviación típica.	65
6.1.5 Eficiencia Global.	66
6.1.6 Eficiencia Eléctrica	67

6.1.7 Tablas de puntos de la 3ª iteración.	68
Anexo II: Contenido del segundo anexo	70
6.2 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 1ª iteración.	70
6.2.1 Carcasa de 5 ventiladores de 60mm.	70
6.2.2 Carcasa de 3 ventiladores de 92mm.	71
6.2.3 Carcasa de 2 ventiladores de 140mm.	72
6.3 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 2ª iteración.	73
6.3.1 Carcasa de con cambio geométrico de 1°.	73
6.3.2 Carcasa de con cambio geométrico de 1,5°.	75
6.3.3 Carcasa de con cambio geométrico de 2°.	77
6.3.4 Carcasa de con cambio geométrico de 2,5°.	79
6.3.5 Carcasa de con cambio geométrico de 3°.	81
6.4 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 3ª iteración.	83
6.4.1 Carcasa de con cambio geométrico de 0,5°.	83
6.4.2 Carcasa de con cambio geométrico de 1°.	85
6.4.3 Carcasa de con cambio geométrico de 1,5°.	87
6.4.4 Carcasa de con cambio geométrico de 2°.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Carcasa 3 ventiladores 92mm.....	32
Figura 3-2 Croquis 3 ventiladores 92mm y solido	34
Figura 3-3 Outlet	34
Figura 3-4 Pipe	35
Figura 3-5 Carcasa 3 ventiladores con extrusiones	35
Figura 3-6 Componentes 3 ventiladores 92mm.....	36
Figura 3-7 Mallado 2D.	36
Figura 4-1 Distribución de temperatura en el panel de la carcasa con 3 ventiladores de 92mm, inclinación de 2.5° y flujo másico de 0.015kg/s.....	57
Figura 4-2 Distribución de la temperatura en el fluido de la carcasa de 3 ventiladores de 92mm, inclinación de 2.5° y flujo másico de 0.015kg/s.....	57
Figura0-1Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 60mm	70
Figura 0-2 Distribución de temperaturas del panel con 5 ventiladores de 60mm	70
Figura 0-3 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 92mm	71
Figura 0-4 Distribución de temperaturas del panel con 3 ventiladores de 92mm	71
Figura 0-5 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 140mm ...	72
Figura 0-6 Distribución de temperaturas del panel con 2 ventiladores de 140mm	72
Figura 0-7 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°.....	73
Figura 0-8 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°	73
Figura 0-9 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°	74
Figura 0-10 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°	74
Figura 0-11 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1°	74
Figura 0-12 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1°	75
Figura 0-13 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1.5°	75
Figura 0-14 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°	75
Figura 0-15 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1.5°	76
Figura 0-16 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°	76
Figura 0-17 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1.5°	76
Figura 0-18 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1,5°	77
Figura 0-19 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°	77

Figura 0-20 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°	77
Figura 0-21 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°	78
Figura 0-22 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°	78
Figura 0-23 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2°	78
Figura 0-24 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2°	79
Figura 0-25 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2,5°	79
Figura 0-26 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2,5°	79
Figura 0-27 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2,5°	80
Figura 0-28 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2,5°	80
Figura 0-29 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2,5°	80
Figura 0-30 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2,5°	81
Figura 0-31 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 3°	81
Figura 0-32 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 3°	81
Figura 0-33 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 3°	82
Figura 0-34 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 3°	82
Figura 0-35 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 3°	82
Figura 0-36 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 3°	83
Figura 0-37 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 0,5°	83
Figura 0-38 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 0,5°	84
Figura 0-39 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 0,5°	84
Figura 0-40 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 0,5°	84
Figura 0-41 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 0,5°	85
Figura 0-42 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 0,5°	85
Figura 0-43 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°	85
Figura 0-44 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°	86
Figura 0-45 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 1°	86

Figura 0-46 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 1°	86
Figura 0-47 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°	87
Figura 0-48 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°	87
Figura 0-49 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°	87
Figura 0-50 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°	88
Figura 0-51 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 1,5°	88
Figura 0-52 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 1,5°	88
Figura 0-53 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°	89
Figura 0-54 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°	89
Figura 0-55 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°	89
Figura 0-56 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°	90
Figura 0-57 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 2°	90
Figura 0-58 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 2°	90
Figura 0-59 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°	91
Figura 0-60 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Especificaciones de PowerFilm R21W.....	14
Tabla 1-2 Características de los ventiladores.	15
Tabla 3-1 Flujos máscicos unitarios.....	32
Tabla 3-2 Flujos máscicos variados por en porcentaje por el más restrictivo.....	33
Tabla 3-3 Flujos máscicos.....	36
Tabla 3-4 Propiedades de la fibra de vidrio.....	37
Tabla 3-5 Características de transmisión de calor del panel PV	37
Tabla 3-6 Flujos máscicos de la 2ª iteración.	38
Tabla 4-1 Temperaturas de los paneles.	40
Tabla 4-2 Temperaturas de salida (k).....	41
Tabla 4-3 Energía térmica (w).....	42
Tabla 4-4 Desviación típica (k)	43
Tabla 4-5 Potencia máxima consumida por los ventiladores (w).....	45
Tabla 4-6 Porcentaje de eficiencia global.	45
Tabla 4-7 Porcentaje de eficiencia eléctrica.	46
Tabla 4-8 Tabla de puntuaciones de las diferentes configuraciones para un mismo flujo máscico. ...	47
Tabla 4-9 Tabla de puntuación para los diferentes flujos máscicos de la configuración de 3 ventiladores de 92mm	48
Tabla 4-10 Temperatura del panel 2ª iteración.....	49
Tabla 4-11 Temperatura de salida 2ª iteración.	50
Tabla 4-12 Energía de salida 2ª iteración.	52
Tabla 4-13 Desviación típica 2ª iteración.....	52
Tabla 4-14 Potencia consumida por el uso de cada flujo.	53
Tabla 4-15 Eficiencia global 2ª iteración.	54
Tabla 4-16 Eficiencia electrica 2ª iteración.....	55
Tabla 4-17 Tabla de puntos para las diferentes geometrías con un flujo del 100%.....	56
Tabla 4-18 Tabla de puntos para diferentes flujos máscicos de la carcasa con variación de 2.5°	56
Tabla 4-19 Datos de carcasa de 3 ventiladores de 92mm con variación geométrica de 2.5° y un flujo máscico de 0.015kg/s.....	57
Tabla 0-1 Potencia eléctrica consumida en función del flujo máscico usado por los ventiladores de 60mm.....	62
Tabla 0-2 Temperaturas del panel 3ª iteración.	62
Tabla 0-3 Temperatura de salida 3ª iteración.	63
Tabla 0-4 Energía térmica 3ª iteración.	64

Tabla 0-5 Desviación típica 3ª iteración.....	65
Tabla 0-6 Eficiencia global 3ª iteración	66
Tabla 0-7 Eficiencia Eléctrica 3ª iteración.	67
Tabla 0-8 Tabla de puntos para las diferentes geometrías con un flujo del 100%.....	68
Tabla 0-9 Tabla de puntos para diferentes flujos máscos de la carcasa con variación de 1.5°	69
Tabla 6-0-10 Datos de la carcasa de 5 ventiladores de 60mm con variación de 1.5° y un flujo máscico de 0.022kg/s.	69
Tabla 0-11 Datos de carcasa de 3 ventiladores de 92mm con variación geométrica de 2.5° y un flujo máscico de 0.015kg/s.....	69

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 4-1 Temperaturas de los paneles (k).....	41
Grafica 4-2 Temperatura de salida (k).....	42
Grafica 4-3 Energía térmica (w).....	43
Grafica 4-4 Desviación típica (k).	44
Grafica 4-5 Porcentaje de eficiencia global.....	46
Grafica 4-6 Porcentajes de eficiencia eléctrica.	47
Grafica 4-7 Temperatura de panel 2ª iteración.....	50
Grafica 4-8 Temperatura de salida 2ª iteración.	51
Grafica 4-9 Energía térmica 2ª iteración.	52
Grafica 4-10 Desviación típica 2ª iteración.....	53
Grafica 4-11Eficiencia global 2ª iteración.	54
Grafica 4-12 Eficiencia electrica 2ª iteración.....	55
Grafica 0-1 Temperatura del panel 3ª iteración.....	63
Grafica 0-2 Temperatura de salida (k).....	64
Grafica 0-3 Energía térmica 3ª iteración.	65
Grafica 0-4 Desviación típica 3ª iteración.....	66
Grafica 0-5 Eficiencia global 3ª iteración.	67
Grafica 0-6 Eficiencia Eléctrica 3ª iteración.	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1 Panel fotovoltaico semirrígido de funda.	12
Ilustración 1-2 Panel fotovoltaico flexible PowerFilm R21W	13
Ilustración 1-3 Conducto de refrigeración.....	14
Ilustración 2-1 Modulo de campaña con sistema de generación de energía mediante paneles fotovoltaicos.	18
Ilustración 2-2 Generadores eólicos.	19
Ilustración 2-3 Presa de agua para generación de energía eléctrica.	20
Ilustración 2-4 Funcionamiento de una central geotérmica.	21
Ilustración 2-5 Ejemplo de central de energía mareomotriz.	22
Ilustración 2-6 Campo solar.	23
Ilustración 2-7 Funcionamiento de una celda fotovoltaica.	23
Ilustración 2-8 Generación de agua caliente con una instalación de circuito cerrado.....	24
Ilustración 2-9 Malla de discretización por volúmenes finitos.	28
Ilustración 3-1 Ángulo de la pieza de 92mm.	38
Ilustración 3-2 Carcasa de 3 ventiladores de 92mm con un ángulo de 2°	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	28
Ecuación 2	29
Ecuación 3	29
Ecuación 4	29
Ecuación 5	29
Ecuación 6	29
Ecuación 7	30
Ecuación 8	30

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Debido a la continua demanda energética de la que dependen las unidades desplegadas en bases permanentes o semipermanentes, se está empezando implementar el uso de energías renovables en las mismas, la forma de obtención de esta energía puede ser mediante el uso de molinos de viento de baja potencia o de paneles fotovoltaicos.

En este proyecto se va a analizar la sensibilidad de un modelo térmico de un panel fotovoltaico-térmico. Aunque son varias las empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de paneles, para este proyecto se ha decidido usar uno de los paneles fabricados por la empresa PowerFilm Solar. Esta empresa ha desarrollado para el ámbito militar y civil una serie de paneles fotovoltaicos de fácil implementación, estos paneles son fácilmente transportados por una persona, la cual es una de las características para la elección del panel y también son de bajo coste de adquisición. Son varios los modelos de paneles que fabrica la empresa PowerFilm, estos son: paneles rígidos, semirrígidos y flexibles.

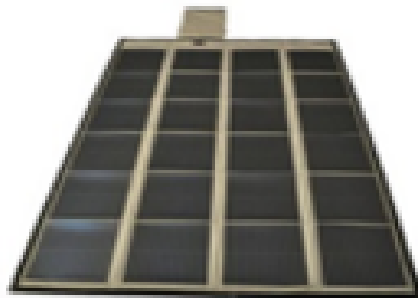


Ilustración 1-1 Panel fotovoltaico semirrígido de funda.



En este caso se ha escogido un panel flexible enrollable, esto es debido a que es más sencilla la implementación de una carcasa refrigeradora que en los modelos semirrígidos, los modelos rígidos se han descartado por completo, a consecuencia de que pierden la facilidad de ser transportados. El panel seleccionado cuando está extendido se mantiene como un panel rígido, lo que favorece a la fijación de la carcasa, además el material en el que está fabricado ayuda a la absorción del calor. La carcasa refrigeradora se va a diseñar para ser colocada en la parte posterior del mismo.

Gracias a esta carcasa no solo se podrá aprovechar la energía eléctrica producida por el panel, sino que además también se podrá aprovechar el calor superficial de la parte posterior del panel, por lo tanto se puede denominar como un sistema de panel fotovoltaico-térmico.

Con la implementación de la carcasa de la que se ha hablado anteriormente se pretende circular aire por el interior de la misa, de manera que se refrigere la parte posterior del panel y de esta manera aumentar el rendimiento eléctrico del panel fotovoltaico flexible y aprovechar también la energía térmica producida por la convección del calor a través del panel.



Ilustración 1-2 Panel fotovoltaico flexible PowerFilm R21W

El panel de la ilustración 1-2 PowerFilm a-Si enrollable R -21 de 21W es el que se ha elegido para el análisis, este panel es alargado y por lo tanto, es el más adecuado para análisis de sensibilidad, ya que la longitud del panel es la misma que la de la carcasa y esto favorece a que los efectos en los cambios geométricos del diseño del refrigerador sean más evidentes. Este panel está fabricado a base de una película delgada de fibra de vidrio y es adecuado para la investigación debido a su alta flexibilidad y la forma larga como ya se ha comentado. Es cierto que este tipo de paneles no tienen la mejor eficiencia entre las tecnologías de película delgada, pero su alta disponibilidad y bajo precio, equilibran esta falta de eficiencia.

Especificaciones*	Voltaje solar operático (V)	Corriente solar operativa (A)	Peso (kg)	Dimensiones enrollado (mm)	Dimensiones desenrollado (mm)
PowerFilm R21W	15.4	1.35	0.644	101.3 x 368.3	368.3 x 1543.05

*El voltaje operativo y la corriente operativa variaran +/- 10% en función de la temperatura, la variación espectral y efectos relativos.

Tabla 1-1 Especificaciones de PowerFilm R21W

La carcasa constara de una entrada constituida por unos ventiladores para forzar la circulación de fluido y de una salida en la que se instalará un caudalimetro para medir la velocidad de salida del fluido. Esta carcasa será de un material textil resistente al agua y a fugas de aire, y las paredes están rellenas de un polímero aislante. De manera que a la hora de la simulación se pueden considerar como paredes adiabáticas.

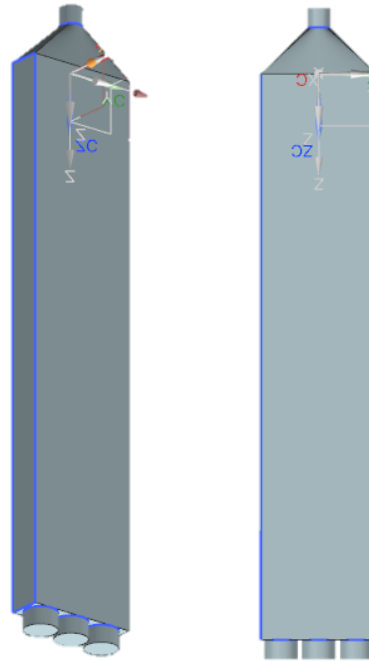


Ilustración 1-3 Conducto de refrigeración.

La carcasa es sustentada por una estructura de varillas y fija al panel por velcros.

Para la optimización del conducto de refrigeración se requiere un análisis de las alternativas de la geometría con el fin de alcanzar la máxima eficiencia del panel. Los conductos de sección cuadrada son, por su sencillez, la primera opción elegida. La sección es una de las primeras características de la carcasa que se va a variar para ser comparada. La profundidad del conducto es la de la misma longitud que la del panel fotovoltaico. Teniendo en cuenta la capacidad de calentamiento del aire, la velocidad de entrada del aire debe ser relativamente alta, a fin de aumentar el coeficiente de convección entre el flujo y la pared interior del panel solar.

Se han considerado ventiladores de ordenador de bajo consumo, que son de peso ligero, fácil de comprar, barato y poco ruidoso. Por otra parte, todos estos ventiladores necesitan 12V para trabajar, por lo que no sería necesaria ninguna conversión de energía. El tamaño del ventilador determinara la sección del conducto. Su bajo consumo es muy importante en esta decisión. Ya que el panel proporciona una potencia de 21W, los ventiladores no deben tener un consumo mayor del 20% de esta energía. Los ventiladores son PWM ("Pulse Width Modulation"), por lo que su velocidad puede ser regulada.

Como ya se ha comentado, la sección de entrada depende de los ventiladores que se usen. Estos ventiladores serán de 140mm, 92mm y 60mm.

Características de los ventiladores			
Marca y modelo	Silent Wings 2 PWM 140mm	Silent Wings 2 PWM 92mm	Noctua NF-A6x25 PWM
Imagen			
Dimensiones (mm)	140x140x25	92x92x25	60x60x25
Flujo másico (kg/s)	0.03	0.015	0.0062
Potencia unitaria (w)	2.4	2.04	0.96
Revoluciones (rpm)	1000	1800	3000

Tabla 1-2 Características de los ventiladores.

Enlace de los ventiladores:

<http://www.bequiet.com/en/casefans/321> (ventilador de 140mm)

<http://www.bequiet.com/en/casefans/323> (ventilador de 92mm)

<http://noctua.at/es/products/fan/nf-a6x25-pwm.html> (ventilador de 60mm)

Para el diseño de la carcasa se usará el software de modelado Siemens NX, después de diseñar la pieza para cada combinación de ventiladores se realizará un mallado 2D y posteriormente uno 3D para concluir con el análisis en un software CFD, en este caso el ANSYS FLUENT de simulación de fluidos. Para cada combinación carcasa-ventiladores se usaran un total de 4 flujos másico. Cuando se diseñe la carcasa se usaran, en la de sección de 60mm, 5 ventiladores de 60mm de diámetro, para la sección de 92mm se usaran 3 ventiladores de 92mm y para la sección de 140mm se usarán 2 ventiladores de 140mm. El flujo másico se verá restringido por el mínimo flujo másico de los máximos disponibles. Quiere decir, que para la primera simulación, en la que se comparan las diferentes configuraciones de carcasa-ventilador, se usara el mismo flujo másico, que en este caso será el correspondiente con la suma de los flujos másicos de los 5 ventiladores de 60mm, por lo tanto en la configuración de los 5 ventiladores de 60mm el flujo másico será el máximo y para las otras dos configuraciones, el flujo másico se regulara para igualarlo al máximo del de 5 ventiladores.

Con los resultados obtenidos se estimara que conjunto carcasa-ventiladores es el más eficiente eléctricamente (ya que es la finalidad para la que está fabricado el panel PV) y a posteriori se variará la geometría de la carcasa escogida, respetando el tipo y número de ventiladores, y se procederá a una nueva serie de simulaciones en las que se verán variados tanto la geometría de la carcasa como el flujo másico de los ventiladores.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Problema energético.

Hoy en día la energía esta presente en cada momento de la vida de cualquier persona. A medida que se han ido descubriendo nuevas fuentes de energía más eficientes estas se han ido remplazando.

Al principio se usaba la propia fuerza humana como principal fuente de energía, pero a raíz del descubrimiento del fuego esto cambió, más adelante se usó la fuerza animal para ayudar a las personas a trabajar. Con el comienzo de la navegación a vela se empezó a usar lo que hoy en día se conoce como energía renovable en el campo de la eólica, así mismo también se utilizaba la energía hidráulica para molinos, el problema de estas energías renovables era la eficiencia de las mismas, la cual era muy baja comparada con la máquina de vapor cuando fue desarrollada y la cual se dejó de lado con la aparición de los motores basados en el uso de petróleo y sus derivados. Por último una de las energías que aún tienen un gran desarrollo por la proa es la energía nuclear, el problema de las energías basadas en el petróleo y la nuclear, que son las más usadas hoy en día junto con la del gas natural, es la complicada obtención de la materia prima y su posterior tratado así como lo altamente contaminantes que son. Por esos en las últimas dos décadas se ha invertido mucho esfuerzo e investigación por la vuelta a las energías renovables.

Actualmente, la energía renovable es un campo altamente demandando por la baja contaminación del uso de las mismas y por qué además son energías ilimitadas. El problema de este tipo de energía sigue siendo el bajo rendimiento comparándolas con las convencionales, por ellos existen diversos programas a nivel mundial y nacional para el desarrollo de las diferentes tipos de energías renovables como son la eólica, energía de la biomasa, solar térmica o solar fotovoltaica. Uno de los objetivos de Europa a largo plazo es la reducir hasta en 80% las emisiones de 1990 para el año 2050 [1]. Otra de las ventajas de esta energía es la reducción del efecto invernadero, el cual es un tema de interés mundial, como viene recogido en el programa mundial de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, que afirma que este es el reto más importante al que se enfrenta como unidad el planeta Tierra y el cual pretende limitar el aumento de la temperatura global en menos de 2°C [2].

Numerosas empresas y gobiernos son los que invierten en I+D en el campo de las energías renovables, por ello se puede encontrar gran cantidad de información sobre los diferentes modos de desarrollar una fuente sostenible de energía. España son muchas las universidades que se vuelcan en el desarrollo y estudio de estos medios, como es la Universidad de Vigo entre una ellas.

En este trabajo se tratara la energía fotovoltaica-térmica, pero antes de comenzar a desarrollar el trabajo se debe exponer los antecedentes por los cuales se planteó el estudio de esta materia.

2.2 Energía renovable en las FAS.

Las Fuerzas Armadas participan en diferentes misiones internacionales y numerosas ocasiones se ven confrontadas las ideas de garantizar el aprovisionamiento de las fuerzas o el número de efectivos desplegados en el terreno. Estos despliegues se hacen a miles de kilómetros del propio país o de las bases permanentes, es por ello que aprovisionamiento y suministros se ven altamente dificultados. Estas dificultades se materializan en la carencia de suministros básicos como el agua, el combustible, el saneamiento o la electricidad.

Además las consecuencias e impacto del cambio climático en el planeta y la mayor conciencia medioambiental de la sociedad, obliga a cambiar a cambiar hacia formas y modelos de gestión más sostenibles en todos los ámbitos de la gestión pública y privada. Se hace necesaria la innovación en productos y procesos para reducir al máximo el impacto ambiental y la huella ecológica en los territorios donde se despliegan las misiones internacionales, ya sean de carácter militar o civil. No es suficiente con desplegar unidades para combatir una catástrofe humanitaria o natural, enviar tropas de interposición para contribuir al mantenimiento de la paz o la estabilización de un país o territorio. Urge además, la reducción al máximo de las externalidades negativas y el impacto ecológico sobre el territorio por la presencia de campamentos provisionales o permanentes.

Los despliegues precisan de fuentes de energías fiables y seguras para satisfacer la demanda de las necesidades operacionales. Necesidades que se desarrollan en entornos altamente complejos, debiendo garantizar en todo momento las capacidades militares, la proyección y el eventual empleo de la fuerza, así como la alimentación constante de todos los equipos del despliegue que no pueden acarrear disminución alguna en la operatividad de las misiones. Estas necesidades están muy por encima de las normalmente requeridas en el territorio nacional o de zonas residenciales. Esto hace especialmente complicado poder encontrar el equilibrio entre la eficiencia en sentido militar, con el ahorro y la eficiencia en sentido energético.

Las necesidades en los despliegues militare, tienen en cuenta una serie de requisitos y necesidades energéticas que podemos dividir en dos grupos fundamentalmente: por un lado los pequeños equipos remotos (como baterías, equipos de comunicaciones, etc.) y por otro, las necesidades de equipos de potencia media y grande (como generadores de hasta 300kva en instalaciones permanentes o semipermanentes). Este proyecto se va a centrar en los del primer grupo, pequeños equipos remotos.

Así pues a la hora de introducir cualquier innovación y mejora, ya sea en equipos de generación, como en sistemas de ahorro y eficiencia energética, se deben tener en cuenta además de la fiabilidad de los equipos y la sencillez en su manejo y gestión, las facilidades logísticas de los mismos. El peso y el volumen, deben estar alienados con los medios de transporte disponibles en la zona de operaciones, lo que supone un reto importante a la hora de pensar en el despliegue de medios de generación con medios no convencionales, esto es, la generación con energías renovables para alcanzar potencias importantes más allá de la micro-generación. En definitiva, el reto que se nos plantea es hacer posible la implantación de un modelo de generación energética distribuida con renovables que sea a la vez fiable, eficiente y sostenible [3]



Ilustración 2-1 Modulo de campaña con sistema de generación de energía mediante paneles fotovoltaicos.

2.3 Energías renovables.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar y la biomasa.

Las energías renovables presentan una serie de ventajas respecto a los combustibles fósiles. Pasamos a ver cuáles son: Las energías renovables, como su propio nombre indica, se pueden reutilizar, es decir, no son fuentes de energía perecederas, tal y como son el carbón, el petróleo o los materiales empleados para la energía nuclear. La energía que proviene del viento (eólica), del mar (hidráulica) o del sol (solar) es inagotable o, al menos, no se ven perspectivas de que se vaya a terminar. Por tanto, son fuentes de energía que siempre estarán presentes y que sobrevivirán a la explotación de otro tipo de combustibles. Las energías renovables ayudan a cuidar el medioambiente. La mayoría de estas energías no necesitan de una combustión, tal y como sucede en las refinerías o en plantas industriales que usan energías no renovables. Además, ayudan a preservar durante más tiempo los recursos de nuestro planeta.

Las energías renovables mantienen su progresión en la Unión Europea (UE), donde llegaron a producir el 16% de la energía consumida en 2014. El peso de las renovables sobre el consumo final de energía en los Estados miembros se sitúa en el 16%, mientras que en España este porcentaje se encuentra dos décimas por encima de la media europea. No obstante, el incremento del uso de renovables en España ha ido reduciéndose cada año en un 0,1%, entre 2012 y 2014 [4].

2.3.1 Eólica.

La energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, e incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales [5]. Pequeñas instalaciones eólicas pueden, por ejemplo, proporcionar electricidad en regiones remotas y aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica, al igual que la energía solar fotovoltaica. Las compañías eléctricas distribuidoras adquieren cada vez en mayor medida el excedente de electricidad producido por pequeñas instalaciones eólicas domésticas. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y

construcción de parques eólicos marinos, a menudo conocidos como parques eólicos offshore por su nombre en inglés, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques eólicos marinos tienen un impacto visual menor, pero sus costes de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores.



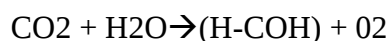
Ilustración 2-2 Generadores eólicos.

Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica.

Este problema podría solucionarse mediante dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, pero hasta el momento no existen sistemas lo suficientemente grandes como para almacenar cantidades considerables de energía de forma eficiente. Por lo tanto, para salvar los valles en la producción de energía eólica y evitar apagones generalizados, es indispensable un respaldo de las energías convencionales como centrales termoeléctricas de carbón, gas natural, petróleo o ciclo combinado o centrales hidroeléctricas reversibles, por ejemplo. Esto supone un inconveniente, puesto que cuando respaldan a la eólica, las centrales de carbón no pueden funcionar a su rendimiento óptimo, que se sitúa cerca del 90 % de su potencia. Tienen que quedarse muy por debajo de este porcentaje para poder subir sustancialmente su producción en el momento en que amaine el viento. Es por ello que, cuando funcionan en este modo, las centrales térmicas consumen más combustible.

2.3.2 Biomasa.

Le energía que se puede obtener de la biomasa proviene de la luz solar, la cual gracias al proceso de fotosíntesis, es aprovechable por las plantas verdes mediante reacciones químicas en las células, las que toman CO₂ de aire y lo transforman en sustancias orgánicas, según una reacción del tipo:



En estos procesos de conversión la energía solar se transforma energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas) y que es incorporada y transformada por el reino animal, incluyendo al ser humano, el cual invierte la transformación para obtener bienes de consumo

2.3.3 Hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable, como sabe cualquiera que haya hecho descenso de rápidos.

Esta energía es la que genera electricidad de forma más barata en la actualidad. Esto se debe a que, una vez que la presa se ha construido y se ha instalado el material técnico, la fuente de energía (agua en movimiento) es gratuita. Esta fuente de energía es limpia y se renueva cada año a través del deshielo y las precipitaciones.

Además, este tipo de energía es fácilmente accesible, ya que los ingenieros pueden controlar la cantidad de agua que pasa a través de las turbinas para producir electricidad según sea necesario. Lo que es más, los depósitos pueden ofrecer oportunidades recreativas, tales como zonas de baño y de paseo en barca.

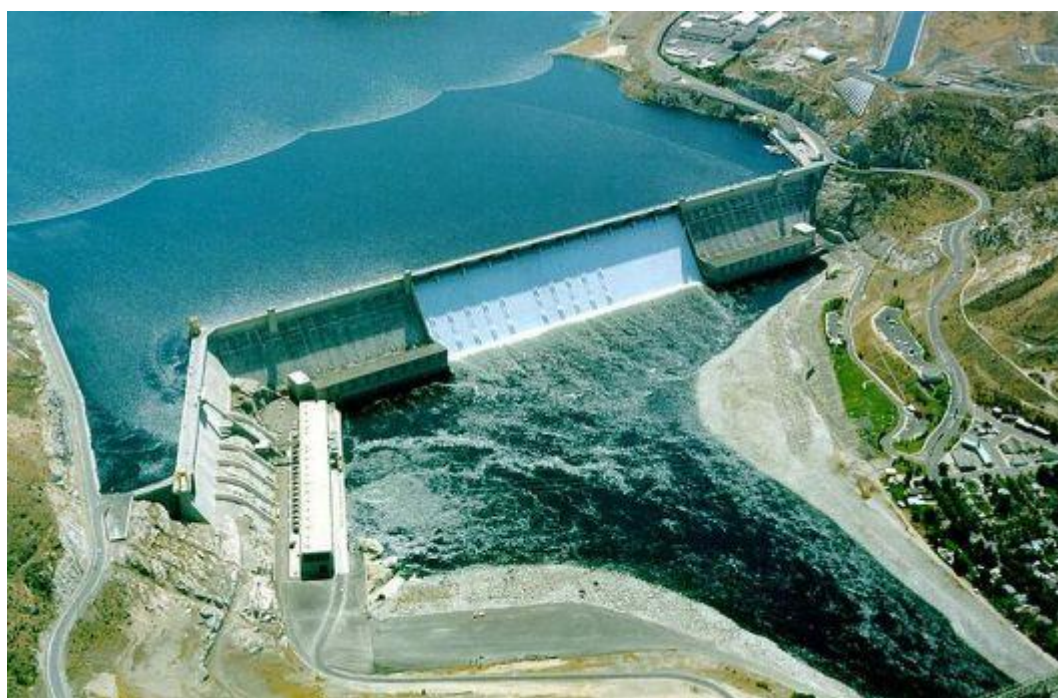


Ilustración 2-3 Presa de agua para generación de energía eléctrica.

Sin embargo, la construcción de presas en los ríos puede destruir o afectar a la flora y la fauna y otros recursos naturales. Algunos peces, como el salmón, podrían encontrarse con la imposibilidad de nadar río arriba para desovar. Las últimas tecnologías, como las escaleras de peces, ayudan a los salmones a pasar por encima de las presas y a entrar en zonas de desove a contracorriente, pero la presencia de las presas hidroeléctricas cambia sus patrones migratorios y perjudica a las poblaciones de peces. Las centrales hidroeléctricas también pueden provocar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que resulta dañino para los hábitats fluviales.

2.3.4 Geotérmica.

La energía geotérmica es la que produce el calor interno de la Tierra y que se ha concentrado en el subsuelo en lugares conocidos como reservorios geotermales, que si son bien manejados, pueden producir energía limpia de forma indefinida.

La corteza terrestre no es lisa, está dividida en ocho grandes placas y más de 20 placas más pequeñas que se mueven y empujan unas a otras lentamente, a unos 5 a 10 centímetros al año. [6]

Cuando las placas se juntan, una puede deslizarse bajo la otra, permitiendo la generación de magma que, en ocasiones, puede llegar a la superficie generando volcanes. En la mayoría de los casos, el magma no sale al exterior, pero es capaz de calentar grandes zonas subterráneas.

Esta fuente de calor, el magma, es uno de los principales elementos de un sistema geotermal, pero hacen falta dos más para generar un reservorio: un acuífero y un sello. El acuífero es una formación rocosa permeable, es decir, que permite que el agua u otros fluidos las traspasen. Y el sello, es otra capa de rocas, pero impermeable. Estos tres elementos deben ir montados uno sobre el otro, la fuente de calor, encima el acuífero y sobre ellos, la tapa.

Entonces, el agua de la lluvia se desliza por la superficie terrestre y penetra hacia el subsuelo a través de las fallas y rocas fracturadas. El agua queda atrapada en los acuíferos, por donde va circulando y calentándose, pero no puede salir al exterior en su totalidad, porque está cubierta por una capa de roca impermeable que le impide su paso. Cuando estas condiciones se dan, estamos frente a un reservorio geotermal.

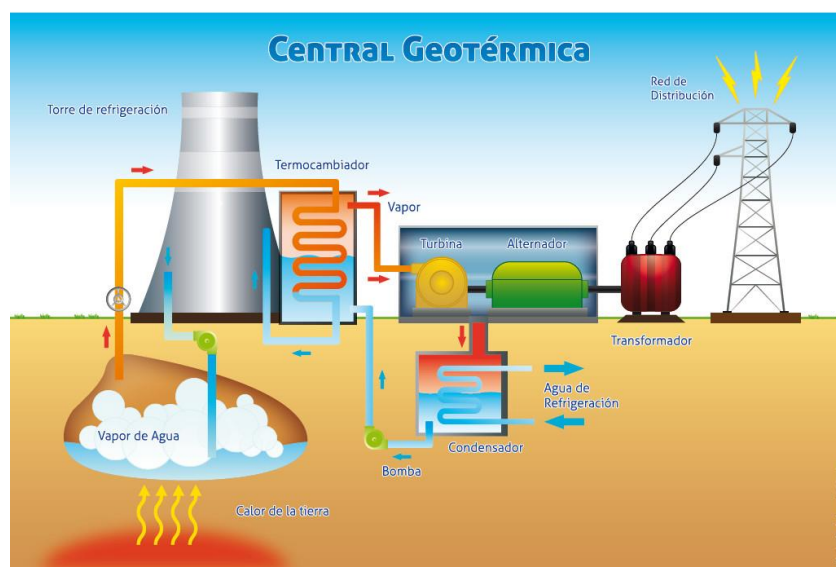


Ilustración 2-4 Funcionamiento de una central geotérmica.

Los geiseros y las aguas termales son algunos ejemplos de lo que sucede cuando parte de estas aguas calientes o vapor salen a la superficie.

En algunas ocasiones, no existen fuentes de agua natural (como lluvia o nieve) para generar este circuito. En ese caso, se puede inyectar el agua de forma artificial, y el fenómeno que se producirá es el mismo.

2.3.5 Mareomotriz.

La energía mareomotriz es aquella energía que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar producido por la acción gravitatoria del sol y la luna para generar electricidad de forma limpia. Se trata, por tanto, de una fuente de energía renovable e inagotable que utiliza la energía de las mareas producida en nuestros océanos.

Una central mareomotriz se basa en el almacenamiento de agua en un embalse formado al construir un dique con unas compuertas que permiten la entrada de agua o caudal para la generación eléctrica. El sistema es sencillo y sigue el mismo principio que los antiguos molinos de mareas: cuando la marea sube, se abren las compuertas y se deja pasar el agua hasta que llega a su máximo nivel. A

continuación, se cierra el dique para retenerla y se espera a que el mar vaya bajando al otro lado, lo que produce un gran desnivel. Esta altura es aprovechada para hacer pasar el agua por las turbinas y generar electricidad. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), sólo en aquellos puntos de la costa en los que la mar alta y la baja difieren más de cinco metros de altura es rentable instalar una central de estas características.

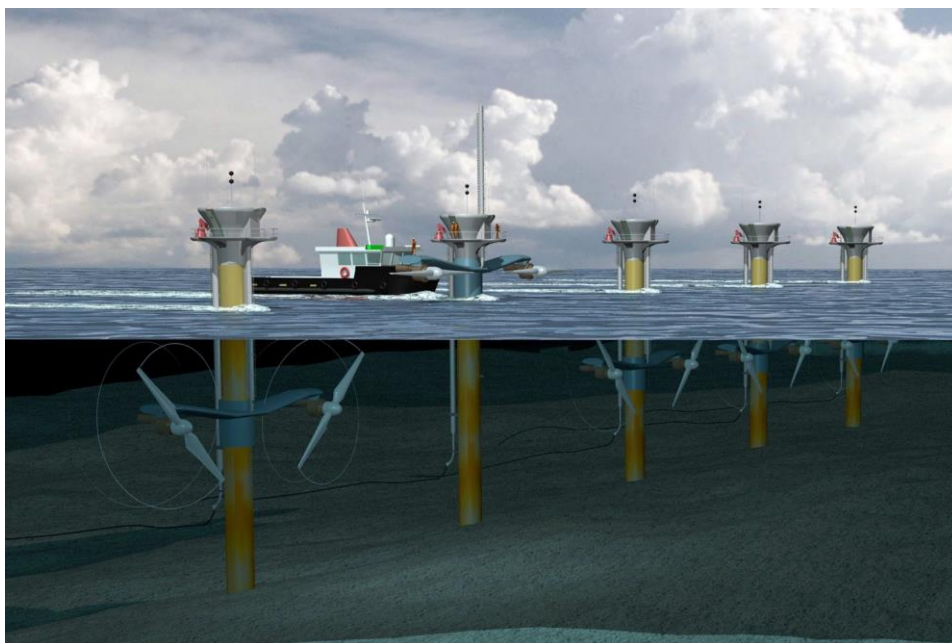


Ilustración 2-5 Ejemplo de central de energía mareomotriz.

2.3.6 Solar.

El Sol es la fuente de energía ilimitada más importante de la que disponemos, además de que es capaz de enviar más energía en una hora de la que es capaz de consumir la Tierra en un año, el problema que presenta esta fuente de energía es la forma en la que podemos sacarle partido, siendo menor de un 15% del rendimiento posible [7]. Esto es debido a que con las tecnologías y material disponible en la actualidad no se puede obtener un mayor rendimiento. Se encuentra bajo investigación la Perovskita, se trata de un mineral presente en el manto de la Tierra, el cual puede producir eficiencias de hasta un 20% mayor si se combina con Silicio cristalino usado normalmente en las celdas fotovoltaicas, este rendimiento se estima que podrá ser superado aunque no se sabe hasta qué punto se puede llegar, además de que no es un rendimiento costoso por lo tanto la relación eficiencia-costo es muy favorable [8]

2.4 Energía solar.

2.4.1 PV y TS

El presente interés por la obtención de energía fotovoltaica es a consecuencia de la preocupación en la obtención de energías en el futuro debido a que estas serán más caras y además por mantener respeto con el medio ambiente

Actualmente en Estados Unidos de toda la energía producida el 26% es usada para generar electricidad, el 35% proviene del petróleo y gas natural, el 14% de la energía nuclear, 5% de la energía hidráulica y el 50% del carbón. En esta área es donde puede tomar partido la conversión fotovoltaica de la energía solar. Hoy en día la energía solar es económica y aceptada socialmente, se prevé que sea la energía del futuro en el presente, por ello es necesario que se continúe con la investigación en este campo. En reconocimiento del potencial de la energía solar, el gobierno de USA apoya y desarrolla la energía solar a través del departamento de energía (DOE) que consigue mejoras año tras año [9].

La forma de funcionar estas células fotovoltaicas o también conocidas como fotoeléctricas es mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica, estas células o celdas absorben los fotones de luz y emiten electrones. Por lo tanto resulta una corriente eléctrica que puede ser aprovechada de los electrones capturados. Actualmente el record de eficiencia de estas células se encuentra en torno a un 45% [10].



Ilustración 2-6 Campo solar.

A la hora de trabajar con la energía fotovoltaica se tiene que tener en cuenta una serie de aspectos que son los que se pretenden mejorar con los programas de investigación, estos aspectos son: el coste, la eficiencia y la vida útil. Para este trabajo se usará un panel flexible de células fotovoltaicas, el cual tiene un menor coste que las convencionales ya que tienen menos material, así mismo se quiere diseñar una carcasa para circular el aire que se calienta por convección a través del panel y de esta manera disminuir la temperatura del panel y aumentar el rendimiento.

Los principios teóricos de forma simplificada del funcionamiento de las placas fotovoltaicas es el siguiente. De la radiación solar impactan una serie de fotones sobre la Tierra, estos fotones son absorbidos por materiales semiconductores como el silicio y por otro lado los electrones son golpeados por los fotones, liberándose de los átomos a los que pertenecían.

Esto les permite circular libremente por el material y producir electricidad. El conjunto de paneles solares transforman la energía solar en corriente eléctrica. Al menos dos delgadas capas del material semiconductor componen la célula fotovoltaica. Como ya se ha expuesto antes, la generación de corriente se consigue gracias a los electrones que pasa de una capa a otra [11].

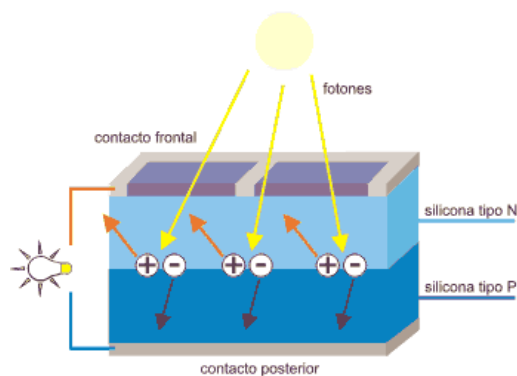


Ilustración 2-7 Funcionamiento de una celda fotovoltaica.

Por otro lado, la energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

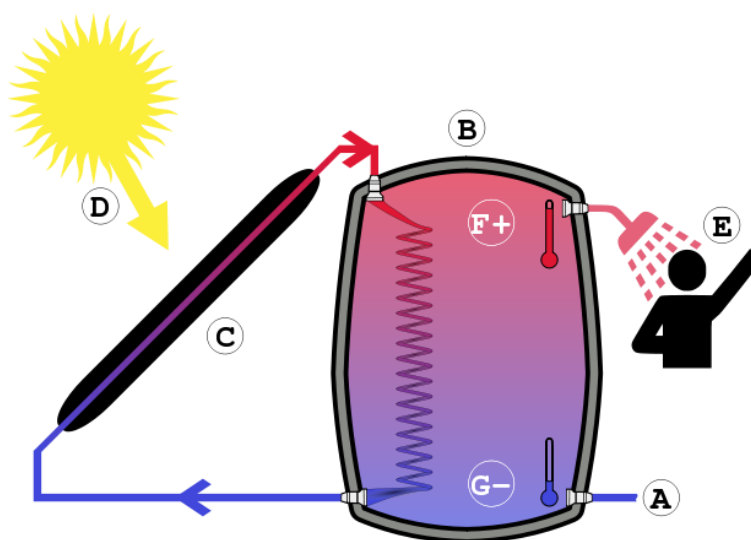


Ilustración 2-8 Generación de agua caliente con una instalación de circuito cerrado.

Los colectores de energía solar térmica están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica. La energía solar térmica es diferente y mucho más eficiente que la energía solar fotovoltaica.

2.4.2 PV-T.

Hasta este momento existía una barrera que separaba las dos grandes tecnologías de aprovechamiento solar, la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica. Ambas tecnologías eran dos mundos separados, podían convivir en un mismo tejado, pero la gran mayoría de las veces se hacía necesario elegir entre una de ellas.

Sin embargo existe una tecnología que permite borrar la hasta ahora insalvable frontera entre ambas tecnologías. Se trata del panel solar híbrido, capaz de proporcionar agua o aire caliente y energía eléctrica (esta además con un rendimiento mejorado) en una sola instalación y en un mismo espacio.

El panel solar híbrido, se basa en dos tecnologías ya existentes; la fotovoltaica y la solar térmica. Ambas tecnologías quedan fusionadas en una única unidad. De esta forma sobre un colector solar térmico se instalan las células fotovoltaicas con su cableado correspondiente. Con esta disposición de los elementos se logran 3 objetivos; obtener electricidad solar, obtener agua caliente sanitaria y mejorar el rendimiento del panel solar fotovoltaico.

La eficacia, expresada en el tanto por ciento con que un panel fotovoltaico transforma la energía solar en energía eléctrica, se determina en unas pruebas realizadas en una atmósfera controlada a 25 °C que es cuando mayor es el rendimiento que se puede obtener de una célula fotovoltaica. A partir de ese

punto, cuanto más elevada sea la temperatura del panel, más bajo será progresivamente su rendimiento.

En la exposición solar normal, un panel fotovoltaico suele alcanzar temperaturas bastante elevadas, muy por encima del valor óptimo y que pueden llegar a ser desde 20°C hasta 30°C o más por encima de la temperatura ambiente.

Es decir en un panel cuya eficiencia de conversión de luz solar a electricidad sea del 18%, cada grado por encima de 25°C disminuye esa eficiencia un tanto por ciento

En el panel solar híbrido la parte térmica se encarga de mantener refrigerado el panel solar a una temperatura sensiblemente por debajo de la que alcanzaría de tratarse de un panel fotovoltaico sencillo y aproximándose más a su temperatura ideal de trabajo. De esta forma se mejora el rendimiento del panel fotovoltaico en como mínimo un 15% [12].

La idea de este panel híbrido es la que ha empujado al autor a desarrollar el análisis de sensibilidad de un modelo térmico de un panel fotovoltaico-térmico (PV-T), de manera que con los resultados obtenido se pueda diseñar de forma sencilla un sistema PV-T portátil, del que se obtenga energía eléctrica principalmente, y en segundo plano energía térmica, la cual se aprovechara en forma de aire caliente para aclimatar módulos portátiles de las Fuerzas Armadas, además con este sistema se consigue mejorar el rendimiento del paneles fotoeléctrico de manera que se obtiene más potencia de los mismo.

2.5 Simulaciones CFD.

La Dinámica de Fluidos Computacional, también llamada CFD es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de sustancias. Según su acrónimo en inglés, compone un conjunto de técnicas de simulación por ordenador que generan unos resultados muy cercanos a la realidad con unos costes moderados. Sin embargo, la inversión necesaria para realizar los ensayos experimentales es más elevada. Las posibilidades que hacen este análisis viable son las siguientes.

- Reducción del tiempo de desarrollo y coste de nuevos diseños.

- Posibilidad de analizar sistemas o condiciones muy difíciles de simular experimentalmente: velocidades hipersónicas, temperaturas muy altas o bajas, movimientos relativos, entre otras.

- Capacidad para estudiar sistemas bajo condiciones peligrosas e incluso en condiciones superiores a los límites.

- Posibilidad de estudiar sistemas en los cuales sería muy complicado o incluso imposible llevar a cabo experimentos controlados.

- La precisión de los resultados es ilimitada.

Hasta el final de los 60, los ordenadores no alcanzaron velocidades de cálculo suficientes para resolver casos sencillos. La primera simulación numérica (aun sin ordenadores) del flujo alrededor de un cilindro fue realizada en 1933 en Inglaterra por A. Thom, y comunicada por el propio G.I. Taylor. Similares resultados fueron obtenidos por M. Kawaguti en Japón, resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes para el flujo alrededor de un cilindro para un número de Reynolds de 40.

A partir de finales de la década de 1950 y en toda la década de los sesenta, la división teórica de la NASA situada en Los Álamos (LANL) investigó la dinámica de fluidos computacional, aportando numerosos modelos numéricos que hoy en día siguen siendo utilizados, como el conocido modelo k-ε (k-épsilon) en 1967, que fue denominado luego como q-d por las limitaciones de los editores de texto de la época. En esta década la industria aeroespacial integró las técnicas CFD en el diseño, investigación, desarrollo y fabricación de motores. Estos métodos han sido aplicados más

recientemente a otros ámbitos como el diseño de motores de combustión interna o cámaras de combustión de turbinas de gas y calderas. Actualmente los fabricantes de automóviles utilizan continuamente estas técnicas para predecir fuerzas de arrastre, flujos de aire en el vano del motor o los sistemas de ventilación del habitáculo, haciendo que los vehículos actuales sean más seguros, confortables y eficientes.

El análisis CFD es ampliamente utilizado por ingenieros y científicos para un amplio espectro de aplicaciones, como por ejemplo:

- Industria automovilística, en la que prima el estudio de la aerodinámica de vehículos, pero que también potencia el análisis de la climatización del habitáculo interior, de la refrigeración de discos de freno y bloque motor o el flujo en conductos de descarga y válvulas de distribución.

- Industria aeroespacial, centrada en la aerodinámica de transbordadores, de aviones supersónicos y cazas militares y de cohetes. También se estudia el flujo en condiciones cercanas a la ingravidez, así como las condiciones de salida y reentrada de vehículos espaciales.

- Industria aeronáutica, volcada en el estudio de perfiles aerodinámicos para alas de aviones comerciales, en la caracterización del flujo alrededor del fuselaje así como en el diseño de trenes de aterrizaje.

- Industria naval, interesada en las características de las hélices de propulsión y en el diseño óptimo de carenas de barcos y submarinos. También se emplean estas técnicas para mejorar las prestaciones de barcos de competición.

- Industria de fabricación de motores, tanto alternativos de combustión interna como propulsores de aviones y helicópteros, centrados en el análisis del flujo interno, la eficiencia y la transmisión de potencia así como de las transferencias de calor y refrigeración asociadas.

- Industria de generación eléctrica, interesada en diseños eficientes de turbinas de vapor, en el caso de centrales térmicas y nucleares, y de turbinas hidráulicas de gran rendimiento y operatividad en el caso de centrales hidráulicas. También es habitual el estudio de flujos en la caldera, así como el análisis de los repartos y eficiencias térmicas. También el sector de las energías renovables, con el estudio de los perfiles aerodinámicos empleados en las palas de los aerogeneradores, trata de conseguir una óptima transferencia energética con mínimo impacto sonoro.

- Industrias pesadas y metalúrgicas, como el caso de acerías con procesos de fundición continua, plantas de fabricación de vidrio, fábricas de transformado de plásticos con el llenado de moldes, trefilerías y plantas transformadoras para fabricación de aluminio y zinc, todas ellas interesadas en el estudio de flujos de metales líquidos a altas temperaturas.

- Industria química, que estudia deposición de vapores químicos, flujos reactivos complejos en los que se producen intercambios de masa, calor y reacciones químicas.

- Industria electrónica, para analizar refrigeración (líquida o por aire) de los componentes de computadores, sistemas y redes, flujos de aires en las carcasas, entre otros.

- Industria nuclear, con el flujo en aquellos conductos con sustancias originadas en las reacciones nucleares, el enfriamiento del reactor y flujos en su interior, así como la eficiencia del intercambiador de calor.

- Industria biomédica y farmacéutica, para estudiar los distintos flujos vitales, flujos de aire en la caja torácica, flujos de sangre en arterias y venas y en el interior del corazón. Diseño de dispositivos para centrifugación e inyecciones intravenosas.

- Industria alimentaria, con procesos de pasteurización, ciclones, precipitadores, reactores, hornos de convección, procesos de extrusión de líquidos.

El Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica recomienda una aproximación para validar modelos CFD de sistemas complejos basada en dividir el caso en otros más simples: subsistemas, casos de referencia y problemas unitarios.

En la mayoría de los casos se sigue un procedimiento para resolver mediante el análisis CFD que consiste en tres etapas: pre-procesado, simulación y post-procesado.

Pre-procesado: está compuesta de los siguientes pasos:

- Generación de un modelo CAD que representa de manera física el problema.

- Generación de la malla que se ajusta al modelo CAD anterior. Según el enfoque definido para la aplicación requerida se define la malla utilizando los comandos específicos del programa seleccionado.

- Definición física, es la etapa final. Los modelos físicos, las propiedades del fluido, las condiciones de frontera y los parámetros de solución son definidos de tal manera que se obtenga una solución adecuada al fenómeno simulado.

Procesado: solución de las ecuaciones diferenciales parciales que son integradas de manera no interactiva, de tal modo que se aplican leyes de conservación de materia y momento a cada uno de los volúmenes de control que definen la región analizada. El cálculo, debido a la naturaleza no lineal de los sistemas, conlleva a la obtención de los resultados que definen las variables en cada uno de los nodos presentes en la malla.

Post-procesado: se considera la etapa de análisis e interpretación. Los resultados obtenidos son presentados de forma visual sobre el modelo, de manera que puedan analizarse para así obtener las recomendaciones de diseño.

La solución de un problema depende de las condiciones iniciales y de las condiciones de contorno a las que está sometido el fluido. Imponiendo estas condiciones, se puede simular el comportamiento de los contornos reales de un fluido, tales como paredes, entradas en tuberías, salidas al exterior entre otras.

Las paredes sólidas son condiciones de contorno especialmente críticas. Esto es debido al comportamiento del fluido en las proximidades de la misma. En las superficies sólidas se genera una capa límite de fluido en la que la velocidad varía rápidamente a medida que nos acercamos a la pared. La simulación directa de la capa límite es extremadamente difícil y requiere unos recursos desproporcionados, por lo que se suelen utilizar modelos específicos. [13]

2.6 Formulación Física.

La obtención de soluciones se realiza mediante la aplicación de las ecuaciones de Navier-Stokes. Estas ecuaciones se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica y termodinámica a un volumen fluido. A la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de la obtención de estas soluciones mediante métodos numéricos se la denomina dinámica de fluidos computacional (CFD).

El flujo del fluido queda definido por las leyes de conservación de la masa y conservación de la cantidad de movimiento como mínimo, junto con la de la conservación de la energía si en el estudio se incluye la resolución del campo de temperaturas.

Las ecuaciones se pueden particularizar mediante:

- Imponiendo unas condiciones de contorno que no varíen con el tiempo (estacionarios).

- La reducción de dimensiones (problemas estacionarios, bidimensionales o asimétricos).

- Aproximando el comportamiento del fluido (incompresible, no viscoso).

- Simplificando las fuerzas que actúan sobre el fluido (hidrostático, potencial).
- Aproximaciones basadas en valores medios.

Para mostrar la discretización, el cuerpo analizado es dividido en pequeñas regiones denominadas volúmenes de finitos (particiones del espacio) en la dirección x , y se fija la atención en el volumen n -ésimo por simplicidad. Las ecuaciones son evaluadas y discretizadas iterativamente en cada uno de estos volúmenes. El resultado de esta evaluación es la obtención de un valor aproximado de cada una de las variables en todos los puntos del dominio.

Para la discretización mostrada, se tiene el punto P de la malla, el cual tiene como vecinos los punto W (a la izquierda, es decir en la dirección de $-x$) y E (a la derecha, es decir, en la dirección de x). La distancia entre W y P es δx_w , la distancia entre P y E es δx_e . Entre los puntos W y P se encuentran el punto w que corresponde al límite izquierdo del volumen de control construido en torno a P . Entre los puntos P y E se encuentra el punto e que corresponde al límite derecho del volumen de control considerado. La distancia entre w y e es Δx . Como este es un problema unidimensional, el volumen de control tiene dimensiones: $\Delta x \times 1 \times 1$.

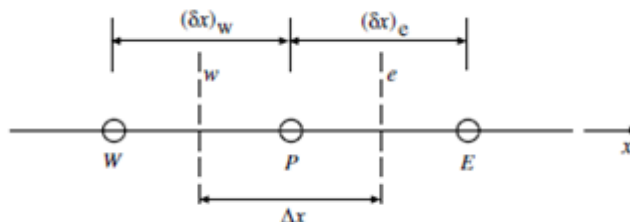


Ilustración 2-9 Malla de discretización por volúmenes finitos.

En método de los elementos finitos el cuerpo analizado se divide en elementos en cuyos extremos se están interconectados con otros elementos. Las ecuaciones son evaluadas iterativamente en cada uno de estos nodos, de tal modo que sus resultados son analizados en un conjunto global de ecuaciones algebraicas.

En el método de las diferencias finitas el cuerpo analizado se divide en un conjunto de puntos, para cada uno de los puntos se plantean las ecuaciones que han de ser solucionadas de manera global por medio de un sistema de ecuaciones algebraicas.

El más utilizado es el método de volúmenes finitos debido a las ventajas que presenta en relación con los otros métodos:

- Mayor precisión en los resultados que los otros métodos.
- La formulación discretizada tienen interpretaciones físicas directas.
- Para el análisis de flujo y transferencia de calor es un método más eficaz.

A continuación se explican de forma detallada las principales relaciones utilizadas para la formulación física del modelo.

2.6.1 Ecuación de Navier-Stokes.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \nabla) v = -\nabla p + \eta \nabla^2 v$$

Ecuación 1

2.6.2 Ecuación de continuidad o de conservación de la masa

En el principio de conservación de masa en fluidos monofásicos no existe la contribución del término difusivo en la ecuación de continuidad, lo que indica que para cualquier fluido en reposo, la variación de la masa implica un desplazamiento de las partículas fluidas. En cada celda se tiene que cumplir esta ecuación.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot \vec{v}) = 0$$

Ecuación 2

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Ecuación 3

t : Tiempo (s).

x, y, z : Sistema cartesiano.

ρ : La densidad (kg/m^3)

v_x, v_y, v_z : Componentes de la velocidad x, y, z respectivamente (m/s)

2.6.3 Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento.

En cada celda del mallado se debe cumplir la ecuación número 4.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla(p) + \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Ecuación 4

Componente X:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y v_x)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z v_x)}{\partial z} = \\ = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + R_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + T_x \end{aligned}$$

Ecuación 5

Componente Y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_y}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x v_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z v_y)}{\partial z} = \\ = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + R_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + T_y \end{aligned}$$

Ecuación 6

Componente Z:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho v_z}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x v_z)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y v_z)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z v_z)}{\partial z} = \\ & = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + R_z + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + T_z \end{aligned}$$

Ecuación 7

T_x, T_y, T_z : Perdida viscosa (J/kg).

R_x, R_y, R_z : Distribución de resistencias (kg/m²s²).

μ_e : Viscosidad efectiva. (Kg/ms)

ρ : La densidad (kg/m³)

g_x, g_y, g_z : Aceleración debido a la gravedad (m/s²).

Los términos de pérdidas viscosas son eliminados en los casos de fluido incompresible y propiedades constantes.

2.6.4 Ecuación de conservación de la energía.

La ecuación de conservación de la energía se basa en el primer principio de la termodinámica. Si se aplica este principio a un volumen de control, expresa que la variación temporal de la energía total en el volumen de control es igual al incremento de trabajo de las fuerzas que actúan sobre el volumen y el flujo neto de calor a través del contorno del dominio.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_x C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v_y C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z C_p T_o) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T_o}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial T_o}{\partial y} \right) + \left(K \frac{\partial T_o}{\partial z} \right) + W^v + E^k + Q_v + \Phi + \frac{\partial P}{\partial t} \end{aligned}$$

Ecuación 8

C_p : Calor específico (J/kgK)

T_o : Temperatura total. (K)

K : Conductividad térmica (W/mK)

W^v : Trabajo viscoso (J)

Q_v : Fuentes volumétricas de calor (J)

Φ : Disipación de calor por acción de las fuerzas viscosas (J)

E^k : Energía cinética (J)

3 METODOLOGÍA TFG

3.1 Proceso interactivo de diseño.

3.1.1 Restricciones.

Para el desarrollo de la carcasa se ha tenido que hacer un diseño inicial de la misma, este diseño se ha visto influenciado por una serie de factores como son la propia forma de panel, así mismo como el uso que le vamos a dar. La carcasa debe tener las siguientes características: ser flexible, ya que debe ser plegado con facilidad para un transporte más cómodo, debido a que su uso principal es en zonas en las que no se dispone de un sistema fijo de paneles fotovoltaicos, también tiene que ser ligero para poder ser transportado por una sola persona, por ello la carcasa que se diseñe debe tener el mínimo peso posible.

Por lo tanto las tres características principales que condicionan la forma de la carcasa son (flexibilidad, portabilidad y peso). Pero no solo estas restricciones afectan al diseño, además de toda estas restricciones fruto del panel y del uso, también hay restricciones en el número de ventiladores que hacen circular el aire en el interior de la carcasa.

3.1.2 Propuestas.

Para simplificar la forma de la carcasa y por tanto el coste de fabricación, se ha decidido usar conductos rectos y ventiladores de tipo PC que se pueden encontrar en cualquier departamento de electrónica. El conducto estará constituido por paneles de un polímero aislante cubiertos de tela impermeable y que evita pérdidas de aire y que constituyen una sola pieza, para darle forma a la estructura se usaran unas varillas metálicas y flexibles. Para determinar las medida de la carcasa no solo se ha tenido en cuenta el ancho y largo del panel fotovoltaico-térmico del que se dispone, sino que además está influenciado por los ventiladores a usar como se ha mencionado anteriormente, para ello se va a realizar las simulaciones con tres tipos diferentes de ventiladores. Estos ventiladores como características fundamentales para escogerlos son: el diámetro, el flujo másico de aire que introducen en la carcasa y la potencia que consumen.

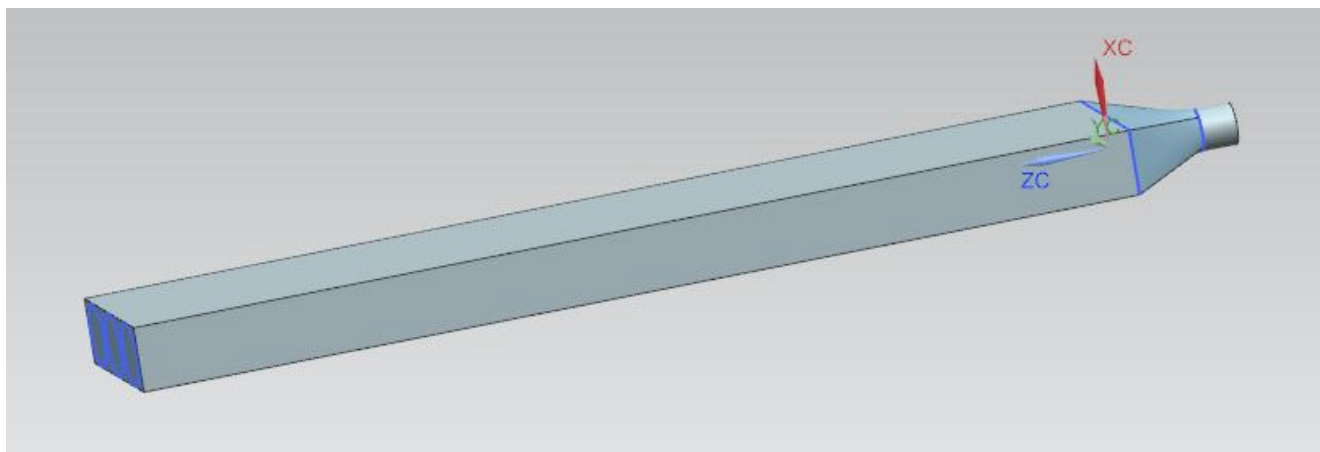


Figura 3-1 Carcasa 3 ventiladores 92mm.

El objetivo para la propuesta más óptima es buscar un equilibrio entre la configuración carcasa-ventiladores que reduzcan la desviación típica de la temperatura del panel así como de la temperatura del propio panel y la energía consumida por los ventiladores sin que esta sea excesiva, ya que el fin último del panel PV es el de producir energía y si esta energía fuera consumida en su totalidad para el funcionamiento de los ventiladores no tendría razón de ser.

Entre las tres propuestas diferentes que se tienen de ventiladores, se podrá usar en la carcasa de mayor sección dos ventiladores de 140mm, en la carcasa que tiene una sección media se usaran tres ventiladores de 92mm cada uno y para la configuración de sección más pequeña se usaran cinco ventiladores de 60mm.

3.2 Análisis de sensibilidad.

3.2.1 Parámetros a variar

Los parámetros que se van a variar para el correcto y eficiente análisis de sensibilidad de las diferentes propuestas son el flujo másico introducido por los ventiladores, y también la sección en la que irán dispuestos los ventiladores, así como los propios ventiladores, que serán los que determinen las dos variables expuestas anteriormente. El flujo másico a mayores se verá variado en capacidad gracias al sistema PWM del que disponen los ventiladores por el cual se podrá variar las revoluciones de los mismos.

Ventiladores	Flujo másico unitario
Ventilador 140mm	0.03kg/s
Ventilador 92mm	0.015kg/s
Ventilador 60mm	0.0062kg/s

Tabla 3-1 Flujos másicos unitarios.

Para este análisis de llevaran a cabo dos iteraciones. En la primera iteración se compararan los resultados obtenidos al introducir el mismo flujo másico en los diferentes tipos de carcasa, pero este flujo también se verá variado por las capacidades de los ventiladores de ser regulados para cada comparación. Por lo tanto se harán en la primera iteración doce simulaciones, con tres tipos de carcasas diferentes (que se explicaran más adelante) y para cuatro flujos másico.

Porcentaje	25%	50%	75%	100%
Flujo Másico	7.5g/s	15g/s	22g/s	31g/s

Tabla 3-2 Flujos másicos variados por en porcentaje por el más restrictivo.

En la segunda iteración se usara la carcasa más óptima de las tres comparadas en la primera iteración y se le harán variación en el diseño de la misma, la carcasa tendrá varias inclinaciones en la entrada de la tobera de salida de manera que este ángulo variara entre 0° (la forma original), 0.5°, 1°, 1.5°, 2° y 2.5°. El flujo de entrada será del 50%, 100% y 150% del usado para la primera iteración, correspondiendo el 100% de la primera con el 100% de la segunda.

3.2.2 Parámetros a analizar

Los valores que se analizaran posteriormente a las simulaciones serán: la temperatura de salida, con el que se podrá determinar la energía obtenida del panel para calentar el fluido, también se estudiara la temperatura media del panel, ya que cuanto más baja sea, un mayor rendimiento de la placa fotovoltaica-térmica se obtendrá, la desviación típica, que es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio, el cual va ligado a la temperatura de panel y que da una idea de la distribución del calor en la placa, la eficiencia eléctrica, con la que se podrá determinar cuál de las configuraciones es la más rentable eléctricamente y por último la energía global, para evaluar cuál de los conjuntos es el más interesante para realizar sobre él una segunda iteración .. Estos datos se compararan en función del conjunto de ventiladores que se ha usado para obtenerlo, y se tendrá que decidir que compensa más si tener un mayor rendimiento de la placa o poder disponer de una mayor potencia eléctrica de la placa para su posterior consumo.

La forma de valorar estos resultados será con una tabla de puntos, en el cual se le otorgaran puntos a los diferentes datos bajo estudio, la variación de los puntos se explica a continuación de cada tabla de puntos. La configuración que más puntos obtenga será la más óptima para su posterior desarrollo de posibles mejoras de su forma original. En un principio la implementación de las placas fotovoltaicas flexibles en unidades de las Fuerzas Armadas es para proporcionales energía de forma limpia. Es por ello que uno de los factores que mayor peso tendrá es la eficiencia eléctrica disponible para consumo. El resto de datos a puntuar son la eficiencia global, la desviación típica, la temperatura media de del panel, la temperatura media de salida del refrigerador y la energía térmica.

3.3 1ª Iteración.

3.3.1 Configuraciones

Para la primera comparación de datos se ha usado los ventiladores PWM de 140mm de diámetro de la marca Silentwings con un flujo másico máximo de 0.03kg/s y unas 1000rpm, del cual se disponen de dos unidades, las dimensiones de la carcasa para este ventilador son 1545x315x140 mm (Largoxanchoxseccin) , también de tres ventiladores PWM de 92mm de la marca Silentwings con un flujo máximo de 0.015kg/s y unas 1800rpm, solo varia la sección de 140mm a 92mm de las medidas de la carcasa. Y por último cinco ventiladores NF-A6x25 PWM de 60mm de diámetro con un flujo másico máximo de 0.0066kg/s de la marca Noctua, variando también la sección de la carcasa a 60mm. Debido a que se quiere comparar los valores para un mismo flujo másico de entrada, se usa el mínimo de los máximo flujos másicos de los diferentes ventiladores, en este caso se usa para las tres simulaciones un flujo másico de 0.031kg/s correspondiente a la multiplicación del flujo másico unitario del ventilador de 60mm por cinco ventiladores. Este flujo se ha elegido debido a que si se elegía un flujo mayor no podría usar el ventilador de 60mm ya que superaría su flujo másico máximo.

3.3.2 Método

3.3.2.1 Siemens NX

Para diseñar la pieza se ha usado el programa de CAD Siemens NX10.0, con este programa se puede hacer ingeniería avanzada, de manera que se puede diseñar piezas en 2D y en 3D, además también se pueden llevar a cabo simulaciones para resolver problemas complejos con más rapidez y también es un programa usado para manufactura ya que aumenta el rendimiento y la productividad de las máquinas-herramientas.

En este caso solo se ha usado para diseñar la pieza, ya que para el mallado 2D y 3D y posteriormente la simulación se ha usado otros programas que se describirán más adelante.

A la hora de diseñar la pieza se comienza por hacer el croquis del sólido sobre el que posteriormente se realizará una extrusión de 1545mm y después en una de las caras de base de la extrusión se realiza el croquis de la posición de los ventiladores, en este caso se muestra como ejemplo el croquis para tres ventiladores de 92mm y con la extrusión realizada.

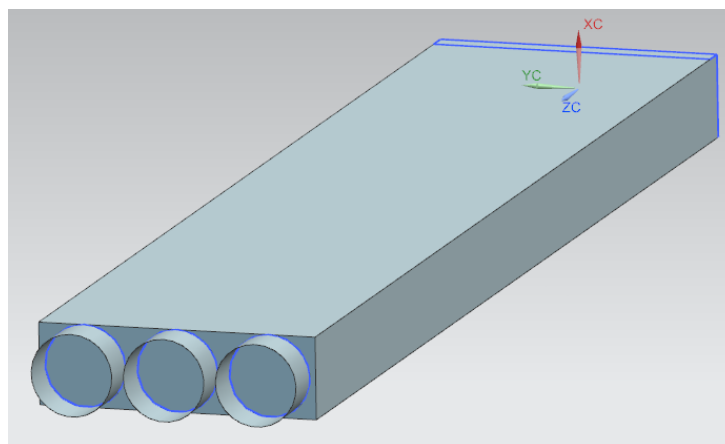


Figura 3-2 Croquis 3 ventiladores 92mm y sólido

Después se pasa a realizar el conducto de salida del fluido para el cual se realiza en una serie de pasos. En primer lugar en la cara opuesta de entrada se establece la salida de manera que se hace una línea guía centrada en la cara y perpendicular a la misma de unos 127.5mm de longitud y al final de ella se realiza un croquis de una circunferencia de 60mm de diámetro con su correspondiente extrusión, el diámetro se ha elegido de 60mm ya que es el tamaño del caudalímetro que se instalaría a la salida.

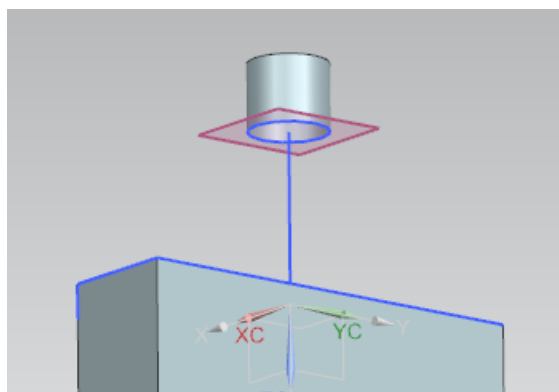


Figura 3-3 Outlet

A continuación se realiza un barrido desde el sólido al conducto de salida con línea guía la establecida anteriormente.

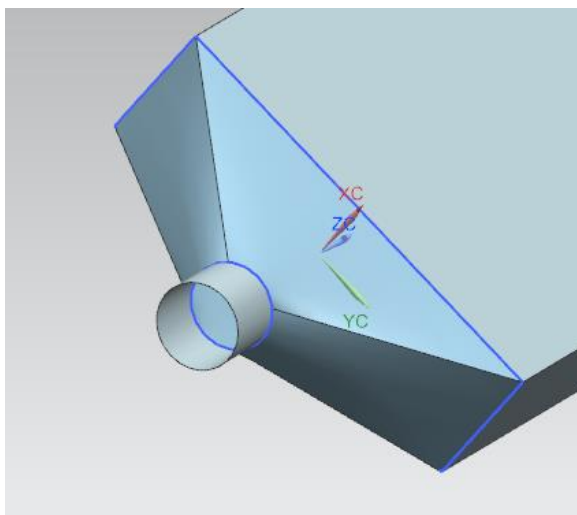


Figura 3-4 Pipe

Por ultimo hay una serie de complejidades para la compatibilidad con los otros programas, de manera que se ha tenido que hacer unas modificaciones en la forma inicial para de esta manera no tener problemas a la hora del mallado en 2D. Estas modificaciones son dos extrusiones de 80mm y de 25mm de largo sobre la cara donde se encuentra el panel fotovoltaico-térmico, correspondientes con una parte del panel donde no hay células fotovoltaicas y que a la hora de simularlo tendrán unas condiciones de contorno diferentes al resto de la placa la cuales serán que no presentara perdidas por calor transformado en potencia.

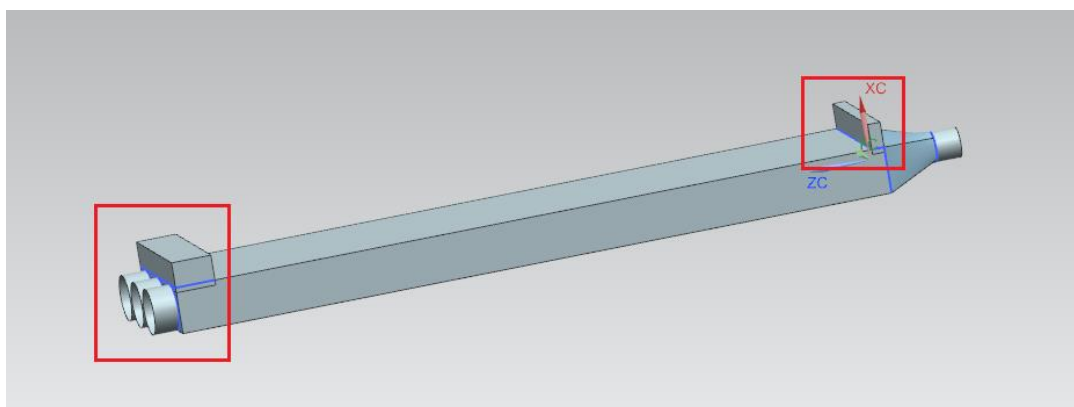


Figura 3-5 Carcasa 3 ventiladores con extrusiones

3.3.2.2 Mallado 2D

La longitud de las dos extrusiones se corresponde con la parte de panel que no tiene células fotovoltaicas pero que igualmente reciben radiación solar. Los tres cilindros corresponden con el lugar donde están situados los tres ventiladores de 92mm, una vez finalizada la pieza en Siemens NX se guardara en formato IGES para poder ser procesada en un programa de mallado 2D. Para comenzar con este programa de ANSYS lo primero que se hizo fue importar la superficie en formato IGES, una vez se tiene la pieza, se elimina las extrusiones sobrantes y el sólido, ya que lo único que interesa en este punto es la superficie de la pieza, después se crea los diferentes componentes de la pieza para diferenciar las pareces, entradas y salida de la pieza.

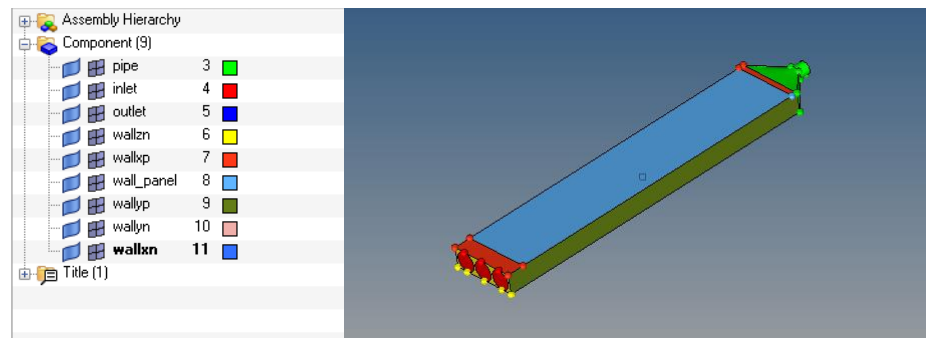


Figura 3-6 Componentes 3 ventiladores 92mm.

3.3.2.3 Mallado 3D

Una vez establecidos los componentes de la pieza, se revisa que todas las aristas de la figura están tangentes unas con otras de manera que a la hora de realizar el mallado 3D no de error, y el último paso a realizar en el mallado 2D es establecer una malla con elementos triangulares y de tamaño 10.

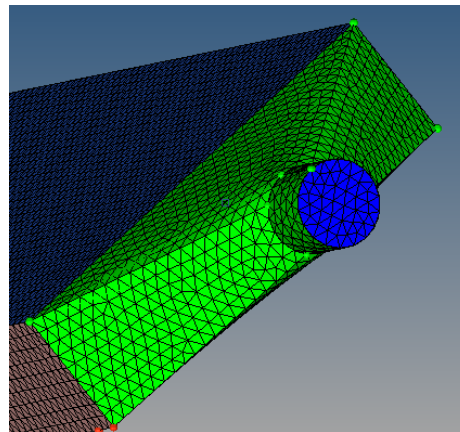


Figura 3-7 Mallado 2D.

Para la realización del mallado 3D importamos la pieza a un software de dimensionamiento y cuando el programa finaliza la operación se guarda la nueva malla.

Una vez realizado esto con las tres configuraciones de carcasa-ventiladores diferentes se pasa al programa de simulación de fluidos, en el que se lleva a cabo las diferentes simulaciones, estableciendo las condiciones de la pieza y del entorno y el flujo másico el cual varía de una simulación a otra hasta completar las 12 simulaciones que se tienen que hacer.

Simulaciones	100%	75%	50%	25%
2 fans (140mm)	0.031kg/s	0.022kg/s	0.015kg/s	0.0075kg/s
3 fans (92mm)	0.031kg/s	0.022kg/s	0.015kg/s	0.0075kg/s
5 fans (60mm)	0.031kg/s	0.022kg/s	0.015kg/s	0.0075kg/s

Tabla 3-3 Flujos másicos

3.3.2.4 Software de simulación de fluidos. ANSYS FLUENT

Lo primero es la lectura de la malla 3D, una vez cargada la misma en el programa de simulación de fluidos, se configuran la propiedades de contorno y de material.

Primero se comienza con la escala, la cual será en milímetros que es como se ha diseñado la pieza en SIEMENS NX y también se establece la condición de gravedad en el eje adecuado, en este caso la fuerza de la gravedad será en el eje X en sentido negativo.

El modelo de viscosidad determinado para la simulación es el de k-epsilon con tratamiento de calor a la entrada.

Se establecen las propiedades del material del cual está fabricado el panel PV, el resto de paredes se configuran como adiabáticas, ya que van a estar compuestas por un material aislante. Este material se ha nombrado como Fiberglass, del cual se establecerán las condiciones de conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica.

	Densidad (kg/m ³)	Calor Especifico (j/kg-k)	Conductividad Térmica (w/m-k)
FIBERGLASS	48	843	0.004

Tabla 3-4 Propiedades de la fibra de vidrio.

El siguiente paso es establecer las condiciones de contorno, en el cual se ha de tener especial cuidado al establecer la salida como mass-flow-inlet y también las condiciones del panel como material Fiberglass e introducir una serie de parámetros. Estos parámetros son relativos al panel PV y son el coeficiente de transferencia de calor, temperatura de incidencia, delgadez del panel y medida de generación del calor. Además se establecerá la transmisión de calor como convección.

Coeficiente de transferencia de calor (w/m ² -k)	Temperatura de incidencia (k)	Delgadez de panel (m)	Medida de generación de calor (w/m ³)
15	298	0.0008	942130

Tabla 3-5 Características de transmisión de calor del panel PV

Donde se variara el flujo másico y así poder realizar las doce simulaciones establecidas para la primera iteración es también en las condiciones de contorno para el flujo de entrada.

Una vez se hayan establecido todas estas condiciones de contorno para cada simulación, se procede a la realización de las mismas, cuando estas hayan concluido se recopilaran todos los datos que posteriormente serán estudiados para determinar que configuración es la que más interesa.

3.4 2º Iteración.

3.4.1 Configuraciones.

Para la segunda iteración se comenzará haciendo cambios en la forma de la carcasa, de manera que se variará el ángulo de la sección rectangular de la pared perpendicular al panel por un trapecioide como se puede apreciar en la siguiente imagen.

A la carcasa que varíe geométricamente, no se le variará el número y modelo de ventiladores.

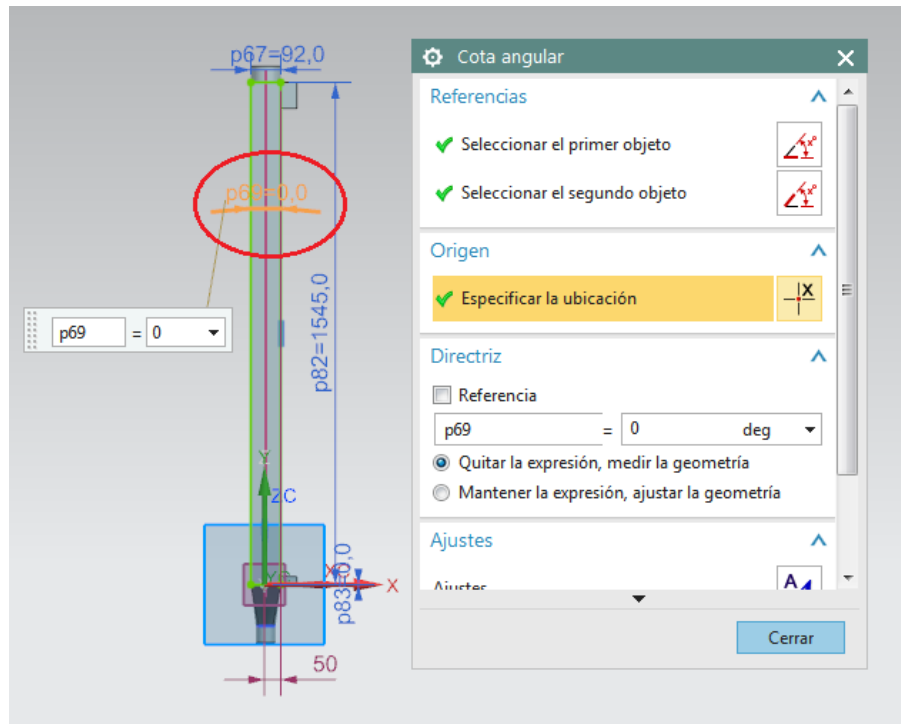


Ilustración 3-1 Ángulo de la pieza de 92mm.

A la carcasa que varíe geoméricamente, no se le variará el número y modelo de ventiladores. Por lo tanto, se compararán las diferentes simulaciones para diferentes flujos máscicos de la misma configuración de carcasa-ventiladores. De manera que la carcasa se rediseñara con diferentes ángulos para hacer más estrecha la salida en cada variación.

La forma de comenzar es igual que para la primera iteración. Primero se diseñan las diferentes carcasas en Siemens NX.

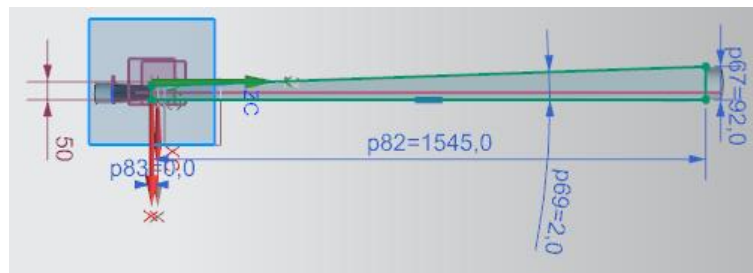


Ilustración 3-2 Carcasa de 3 ventiladores de 92mm con un ángulo de 2°

Después de diseñar las diferentes carcasas variando el ángulo, se procesan en un programa de mallado 2D, y a continuación en el de mallado 3D. Por último se configuran las condiciones de contorno en el software de simulación de fluidos ANSYS FLUENT, en este caso se realizara para cada carcasa variada geoméricamente tres simulaciones y cada simulación de estas tres, tendrá un flujo máscico diferente. Este flujo dependerá del modelo de ventilador del que se disponga en esta segunda iteración Por ejemplo, si el modelo de ventilador que se use para la segunda iteración es el 92mm de diámetro, el flujo máscico máximo disponible ya no será el de la primera iteración, será el máximo del conjunto de los tres ventiladores de 92mm, y las simulaciones se harían con los flujos máscico como los de la siguiente tabla.

2ª Iteración.	0.015kg/s	0.031kg/s	0.045kg/s
---------------	-----------	-----------	-----------

Tabla 3-6 Flujos máscicos de la 2ª iteración.

Una vez finalizadas las simulaciones de la segunda iteración, se procederá a realizar la recopilación de datos y su posterior estudio, y con una tabla de puntos como la de la primera iteración, se determinará que geometría es la más eficiente eléctricamente y para que flujo másico.

4 RESULTADOS

4.1 1ª Iteración.

Como se ha comentado en el apartado 3.2.2. Los resultados que interesan para obtener unas correctas conclusiones son la temperatura del panel, temperatura de salida, energía térmica, la desviación típica, la eficiencia global y la eficiencia eléctrica. Los datos de temperatura del panel, temperatura de salida y la desviación típica se obtendrán directamente de los resultados de las simulaciones del ANSYS FLUENT. La energía térmica, eficiencia global y eficiencia eléctrica serán resultado del análisis de los primeros.

4.1.1 Temperaturas de los paneles.

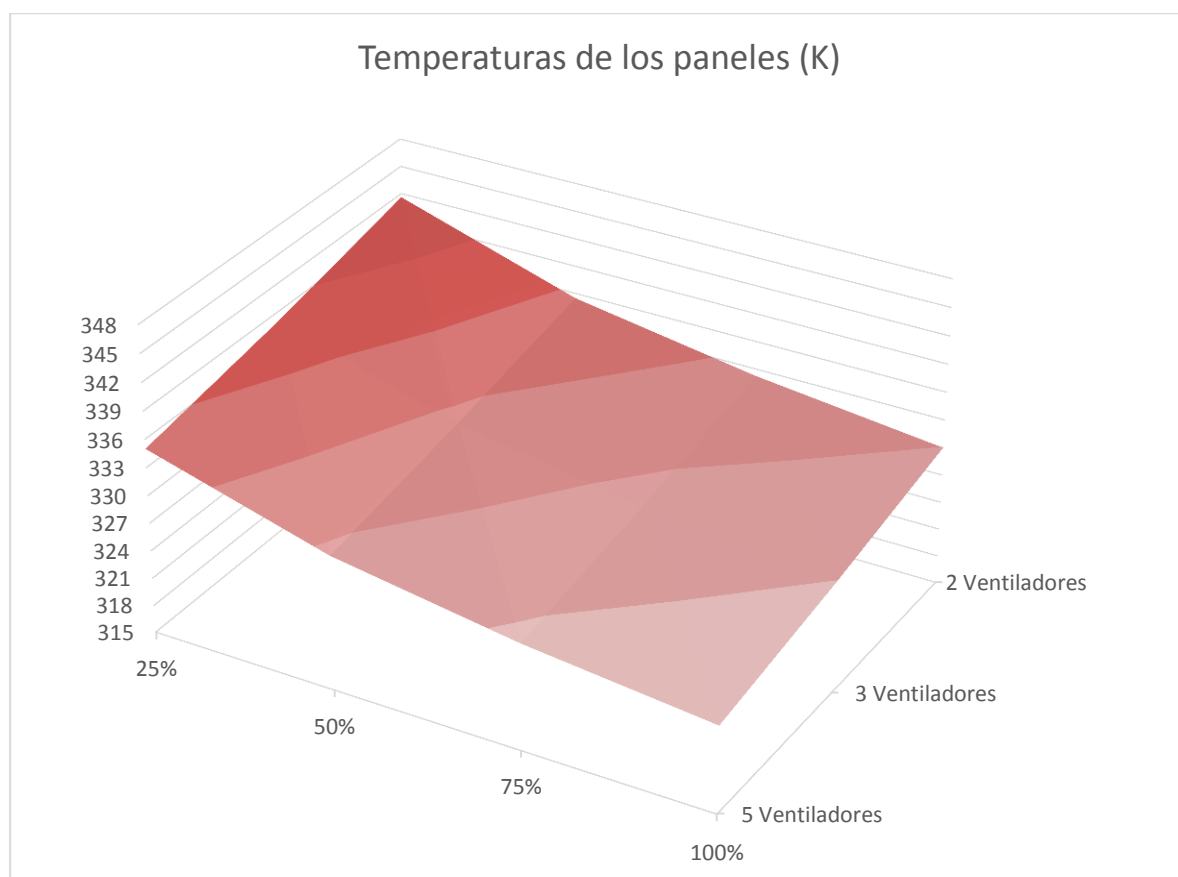
De las temperaturas de los panel se puede determinar que la mayor temperatura y por la tanto la de menos rendimiento es de 341.6 k correspondiente con la configuración de 2 ventiladores de 140mm y al 25% de flujo másico (0.0075kg/s) y la de menos temperatura y por lo tanto la de mayor rendimiento es la configuración de 5 ventiladores de 60mm y con un flujo másico de 0.031kg/s.

Temperaturas de los paneles (k)	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	341,6	338,0	335,0
50%	335,5	332,3	329,5
75%	332,2	329,1	326,5
100%	330,0	326,9	324,4

Tabla 4-1 Temperaturas de los paneles.

Se puede observar que el incremento de temperatura es de aproximadamente 17k , en realidad esta diferencia no es muy significativa para la diferencia de rendimiento del panel PV. Pero se tendrá en cuenta para la elección de la carcasa más rentable.

En la siguiente tabla se puede ver de forma gráfica la variación de la temperatura del panel en función del flujo másico empleado y del número de ventiladores.



Grafica 4-1 Temperaturas de los paneles (k).

4.1.2 Temperaturas de salida.

De la tabla de temperaturas de salida se observa que la menor temperatura de salida corresponde con la configuración de 2 ventiladores de 140mm y flujo másico de 0.031kg/s y la mayor temperatura de salida es de la configuración de 5 ventiladores de 60mm y flujo másico de 0.0075kg/s.

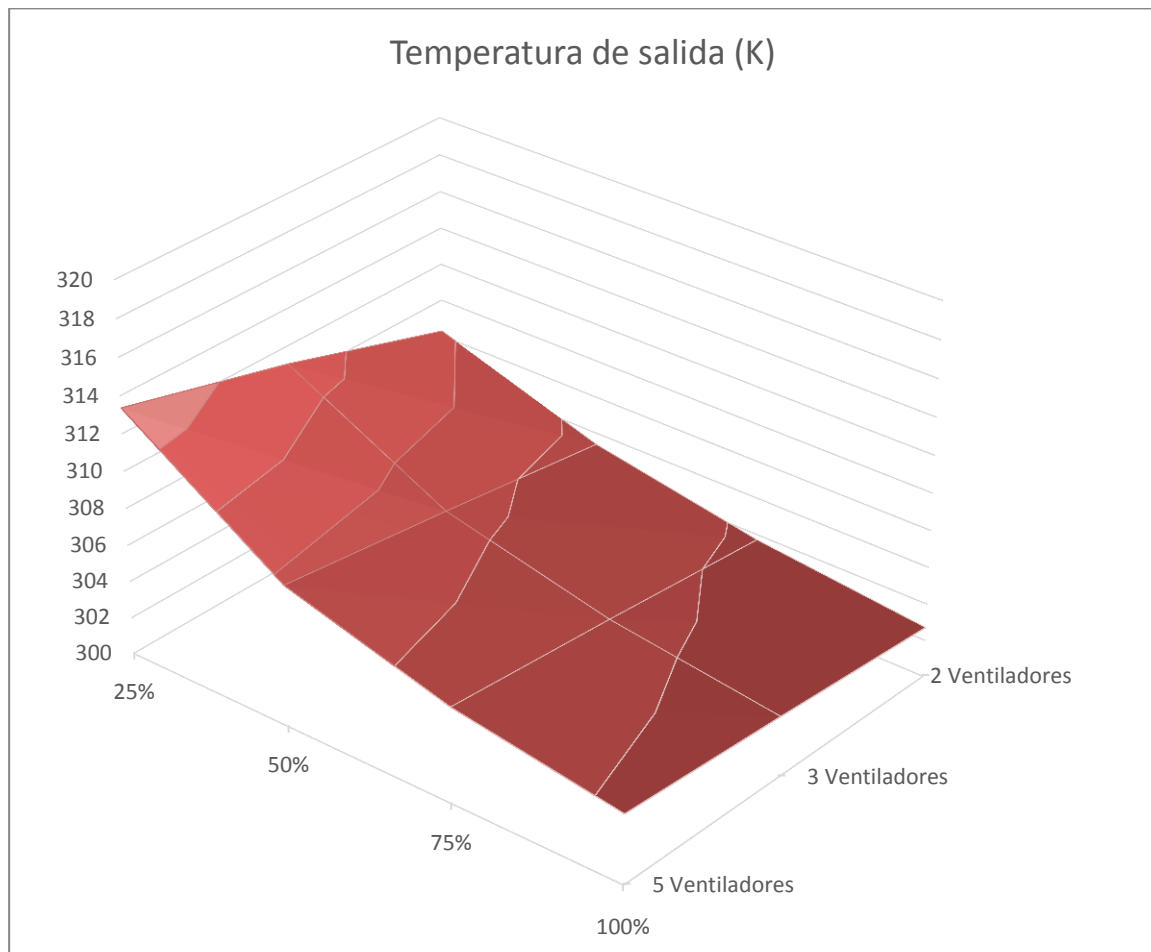
Temperatura de salida (k)	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	308,3	311,0	313,3
50%	305,4	306,6	307,7
75%	303,7	304,5	305,2
100%	302,7	303,3	303,8

Tabla 4-2 Temperaturas de salida (k).

Si se comparan los datos de la tabla 4-1 con los de la tabla 4-2 se puede afirmar que para un mismo número de ventiladores cuanto mayor sea el flujo másico menor será la temperatura del panel y menor será la temperatura de salida, esto es debido a que al introducir mayor cantidad de aire en un mismo intervalo de tiempo el panel se refrigera más rápidamente ya que el intercambio de calor con el aire se efectúa en menos tiempo, pero el fluido se renueva rápidamente e impide el calentamiento del mismo.

A continuación se muestra una gráfica de las temperaturas de salida, indicar que en este caso la diferencia de kelvin entre la mayor temperatura y la menor no es mayor de 5k.

Por lo tanto la temperatura de salida tampoco es relativamente importante, aunque de esta temperatura obtenemos la energía térmica de salida la cual indicara la eficiencia energética global.



Grafica 4-2 Temperatura de salida (k).

4.1.3 Energía térmica.

La energía térmica es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.

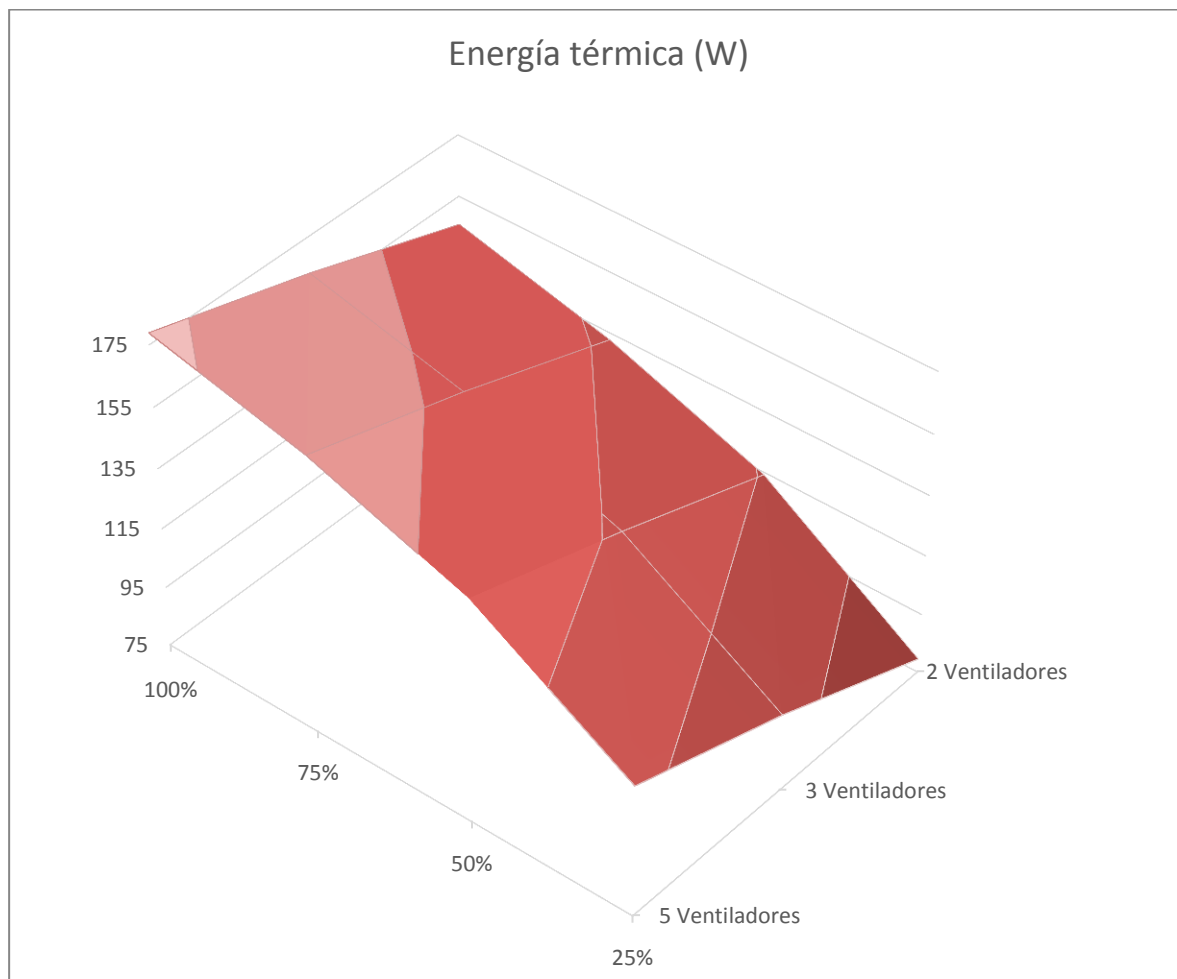
En este caso la energía térmica proporciona una idea de la eficiencia global del conjunto que se obtiene. En este caso podemos observar que la configuración con mayor energía térmica es la de los 5 ventiladores de 60 mm y flujo másico de 0.031 kg/s y la de menor energía es la configuración de 2 ventiladores de 60mm y flujo másico de 0.0075kg/s.

Energía térmica (w)	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	79,5	100,9	119,0
50%	114,1	132,7	149,7
75%	132,6	150,9	166,9
100%	145,7	163,3	178,7

Tabla 4-3 Energía térmica (w).

Si se comparan estos resultados con las temperaturas obtenidas a la salida se puede determinar que la mayor energía térmica para un flujo del 100% se corresponde con la menor temperatura de salida de para un mismo flujo y por lo tanto para la menor temperatura del panel.

Se observa que la energía térmica es inversa a la temperatura del panel.



Grafica 4-3 Energía térmica (w).

4.1.4 Desviación típica

La desviación típica, es la distribución homogénea del calor del panel, que está estrechamente relacionada con la temperatura del panel. Sin embargo no depende de esa temperatura si no que depende del flujo másico usado y del número de ventiladores.

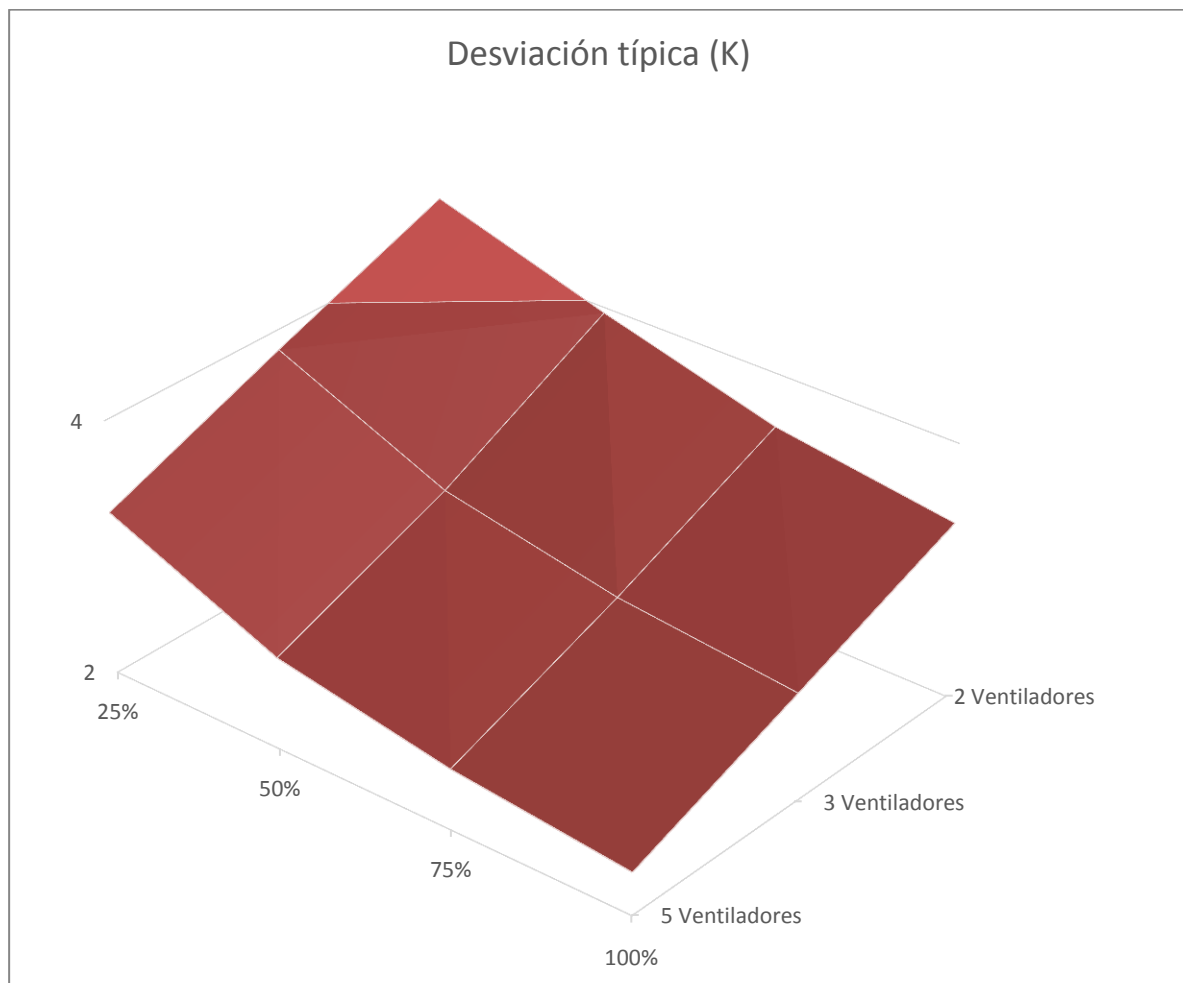
Desviación típica (k)	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	4,4	3,8	3,3
50%	4,0	3,3	2,7
75%	3,6	3,0	2,5
100%	3,4	2,9	2,3

Tabla 4-4 Desviación típica (k)

Se observa que, a mayor número de ventiladores con un mismo flujo másico la distribución es más uniforme y por lo tanto la desviación típica es menor, como es el caso de la configuración de 5 ventiladores de 60mm y flujo másico máximo. En la que la desviación típica es la menor que se obtiene en la primera iteración.

Una desviación típica de 4.4k como es el caso de la de 2 ventiladores de 140mm al 25% de flujo másico es demasiado elevada, así que recibirá la menor puntuación a la hora de elaborar la tabla de puntos.

En la siguiente gráfica se puede observar la variación de la desviación típica.



Grafica 4-4 Desviación típica (k).

4.1.5 Eficiencia Global.

Para explicar las conclusiones, hay que empezar exponiendo las potencias totales que consumen cada conjunto de ventiladores con un flujo másico de 0.031kg/s, esto es así ya que la finalidad del panel PV es la de generar energía para su posterior consumo, esta energía se verá menguada en función de los ventiladores que se elijan debido a que se perderá parte de la misa en el uso de los ventiladores, por lo tanto se tiene que dar prioridad al a la elección de los ventiladores.

En la tabla de puntuación que se realizara para cada iteración, la potencia consumida por los ventiladores que se verá reflejada en la eficiencia eléctrica, tendrá un peso muy importante. Por eso más adelante se verán los porcentajes de eficacia eléctrica en función de los ventiladores que se usen y el flujo másico con el que operan.

Los cinco ventiladores de 60mm son los que tienen un mayor consumo, es por ello que tienen el peor valor en la tabla de valores.

	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
Potencia (w)	2.48	4.16	4.8

Tabla 4-5 Potencia máxima consumida por los ventiladores (w).

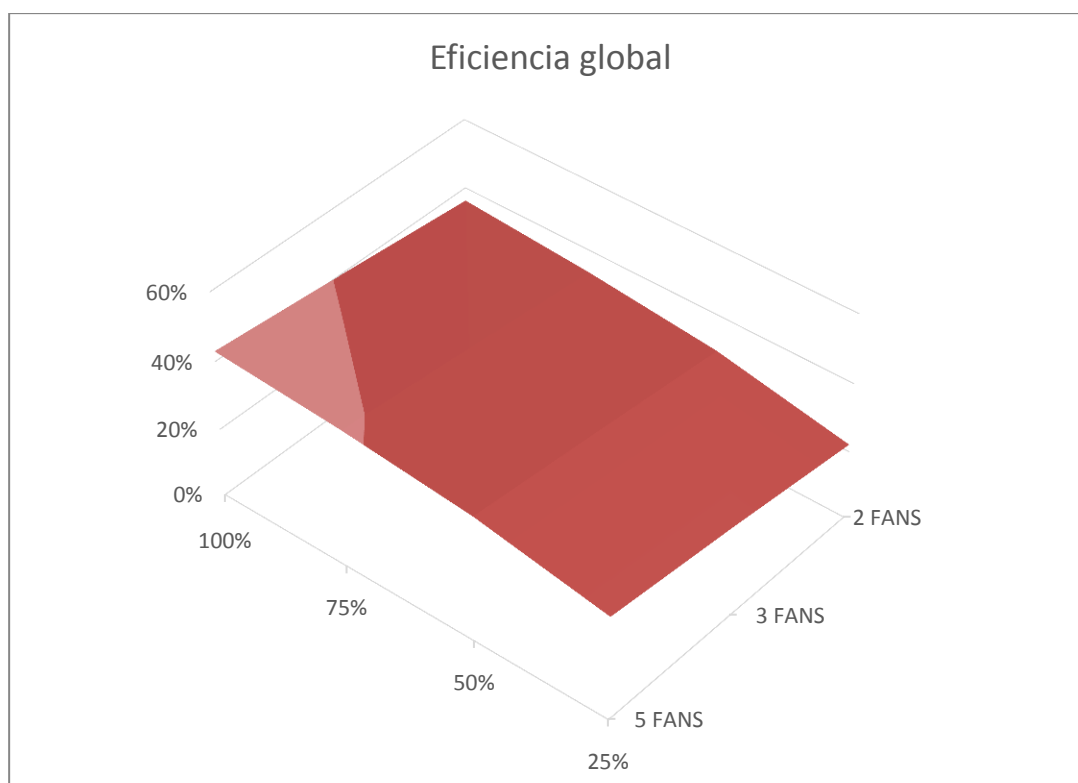
La eficiencia global proporciona una idea del aprovechamiento de la energía térmica de la salida, de manera que cuanto mayor es esta energía mayor es la eficiencia global. Por lo tanto la configuración de 5 ventiladores de 60mm y flujo másico máximo es la más eficiente energéticamente. Este valor de 43% de eficiencia global quiere decir que es la configuración que mayor temperatura del panel extrae y que es la de mayor temperatura a la salida para ese flujo másico, pero con el inconveniente de que es a su vez la que más potencia consume de la generada por la placa, por lo tanto es la que menos interesa.

Eficiencia global	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	22%	27%	31%
50%	30%	33%	37%
75%	33%	37%	41%
100%	36%	40%	43%

Tabla 4-6 Porcentaje de eficiencia global.

El valor más interesante y más eficiente para el fin de la placa PV es la de la configuración de 3 ventiladores de 92mm para un flujo del 100% con un valor de eficiencia global del 40%. Esto es debido a que la temperatura de la placa es la menor para esta configuración y por lo tanto es la que más energía térmica aporta al medio. Los valores de las configuración de ventiladores de 140mm son los peores bajo el punto de vista de la eficiencia global, ya que mantienen la temperatura del panel más elevada que el resto y por lo tanto aportando una energía térmica menor al resto de las configuraciones.

Pero como ya se ha comentado este no es el valor más importante de los resultados que se obtienen aunque van a influir en la decisión final. Para determinar con total certeza cuál es la configuración de ventiladores y flujo másico más óptimo, hay que fijarse en la eficiencia eléctrica.



Grafica 4-5 Porcentaje de eficiencia global.

4.1.6 Eficiencia Eléctrica.

El valor de la eficiencia eléctrica tiene como finalidad aportar información de que configuración es la que menos consume eléctricamente y esto se corresponde con el porcentaje más alto de la eficiencia eléctrica.

Con los datos que se tienen hasta el momento, sin tener en cuenta el consumo de energía eléctrica de los ventiladores se puede estimar que la mejor configuración es la de 3 ventiladores de 92mm y flujo másico de 0.031kg/s.

Sin embargo como ya se ha comentado anteriormente, el dato con más importancia es la eficiencia eléctrica, es por ello que en la siguiente tabla se han expuesto las eficiencias eléctricas para las diferentes configuraciones.

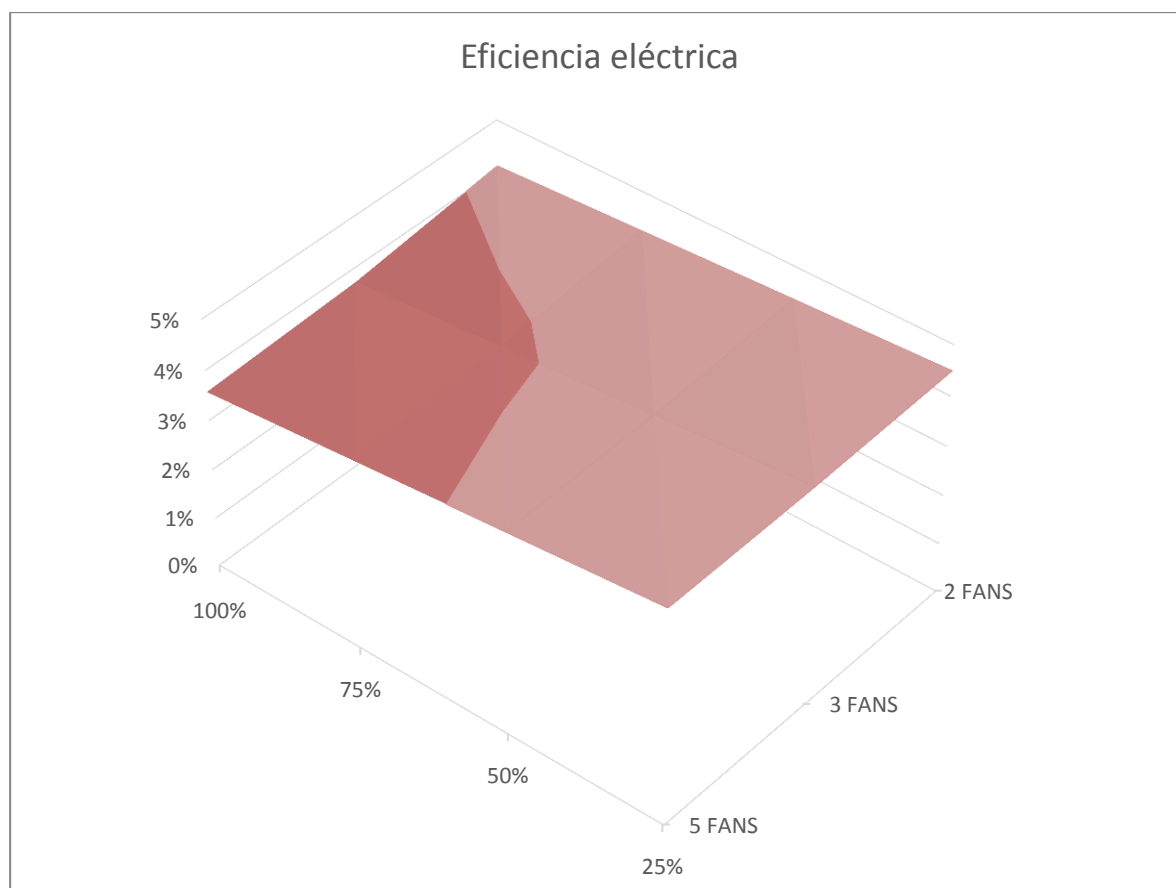
Eficiencia eléctrica	2 Ventiladores	3 Ventiladores	5 Ventiladores
25%	4,5%	4,4%	4,4%
50%	4,4%	4,2%	4,1%
75%	4,2%	3,9%	3,8%
100%	4,1%	3,7%	3,6%

Tabla 4-7 Porcentaje de eficiencia eléctrica.

Se puede observar que la configuración más eficiente eléctricamente es la de 2 ventiladores de 140mm al 25% del flujo másico, esto es debido a que es la configuración que menos energía de la producida por la placa consume, sin embargo teniendo en cuenta el resto de datos no se puede valorar como la opción más óptima.

Por el contrario, la menos eficiente eléctricamente es la configuración de 5 ventiladores de 60mm y flujo másico al 100%, es por ello que esta configuración, a pesar de haber sido bien valorada en el resto de datos, tampoco se puede clasificar como la opción más favorable.

Así que, analizando los datos de la eficiencia eléctrica se estima que las configuraciones más favorables para este proyecto son las que se corresponde con las de 3 ventiladores de 92mm.



Grafica 4-6 Porcentajes de eficiencia eléctrica.

4.2 Tablas de puntos de la primera iteración.

A continuación se van a proceder a valorar los diferentes datos tanto de las simulaciones como los que se han obtenido en el posterior tratamiento.

Puntuación	Eficiencia eléctrica x2	Eficiencia global	Desviación típica	T. Panel	T. Salida	Energía térmica	Total
140mm	6	1	3	1	1	1	13
92mm	4	2	2	2	2	2	14
60mm	2	3	1	3	3	3	15

Tabla 4-8 Tabla de puntuaciones de las diferentes configuraciones para un mismo flujo másico.

En la anterior tabla se han valorados los resultados que se han obtenido anteriormente, la forma de hacerlo ha sido comparando las diferentes configuraciones en función de los ventiladores para un mismo flujo másico, se han otorgado puntos del 1 al 3, siendo 1 la peor puntuación y 3 la mejor y

además en el caso de la eficiencia eléctrica, estos puntos se han multiplicado por dos, ya que es el dato más importante de los obtenidos.

De esta tabla se puede concluir que la mejor configuración de ventiladores es la de los ventiladores de 92mm, ya que aun teniendo más puntos la configuración con los ventiladores de 60mm, su eficiencia eléctrica es la de puntuación más baja.

A continuación se va a hacer otra tabla de puntuación para la configuración de 3 ventiladores de 92mm comparando los diferentes flujos másicos usados.

Puntos	Eficiencia eléctrica x2	Eficiencia global	Desviación típica	T. Panel	T. Salida	Energía térmica	Total
25%	8	1	4	1	4	1	19
50%	6	2	3	2	3	2	18
75%	4	3	2	3	2	3	17
100%	2	4	1	4	1	4	16

Tabla 4-9 Tabla de puntuación para los diferentes flujos másicos de la configuración de 3 ventiladores de 92mm

En esta tabla la puntuación varía en 1 y 4 siendo 1 lo peor y 4 lo mejor, y se le vuelve a otorgar el doble de puntos a la eficiencia eléctrica.

En este caso el flujo másico que recibe más puntos es el de 25% que además corresponde con el de mayor eficiencia eléctrica, sin embargo en este caso la temperatura del panel que también es un dato importante es la peor de todas, y la finalidad de incorporar una carcasa a modo de refrigerador es para disminuir la temperatura del panel. Por ello, el flujo másico más óptimo para ser usado en la carcasa de 3 ventiladores de 92mm es el que se corresponde con el 50%.

4.3 2ª Iteración.

Para la segunda iteración como ya se explicado los valores que se variaran son los flujos máscos y la geometría de la carcasa, de la primera iteración se ha llegado a la conclusión de que la carcasa más eficiente ha sido la de 3 ventiladores de 92mm, es por ello que los flujos máscos que se van a usar no serán los mismo que para la primera iteración. En este caso el flujo máscico base es el de 0.031kg/s y se variará al 50% y al 150%, coincidiendo el 150% con el máximo que se puede obtener de los ventiladores de 92mm (0.0465kg/s).

4.3.1 Temperatura del panel.

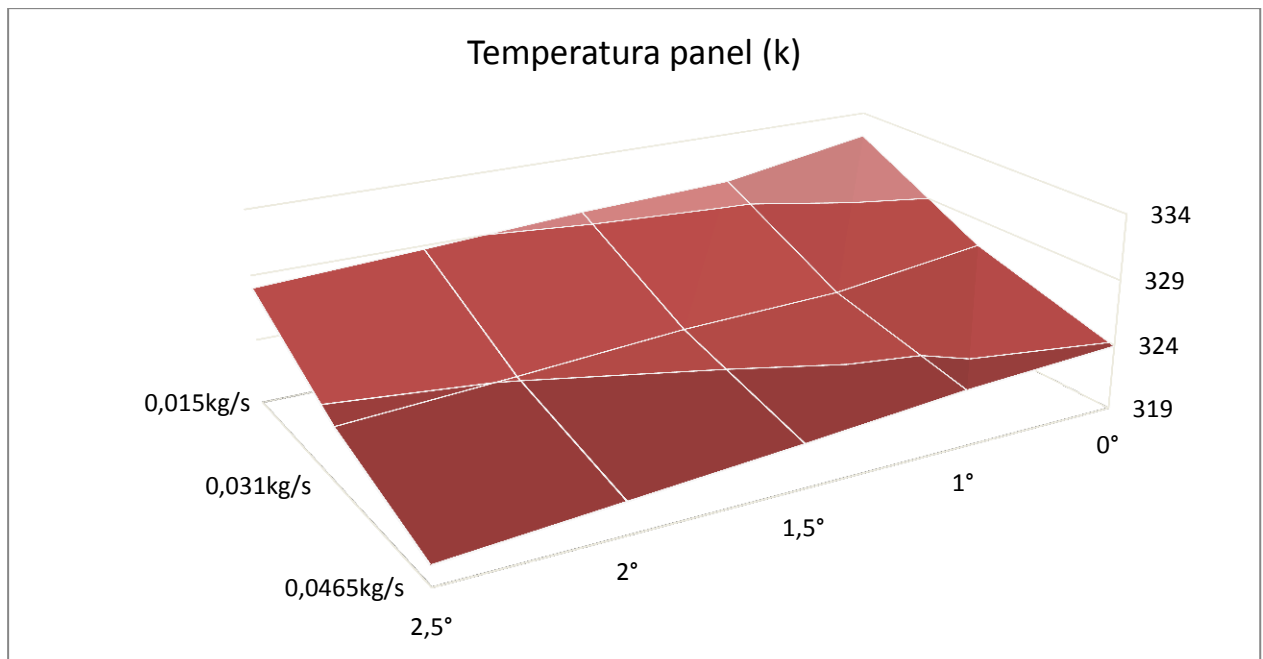
Temperatura del panel (k)	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
0,015kg/s	332	330	329,5	328,7	328
0,031kg/s	326,9	325,4	325	324,1	323,3
0,0465kg/s	323,9	323,3	322,3	321,4	320,5

Tabla 4-10 Temperatura del panel 2ª iteración

Los resultados obtenidos en la segunda iteración de la temperatura del panel destacan que a mayor ángulo de inclinación de la geometría y mayor flujo, menor es la temperatura del panel, por lo tanto para la forma inicial en la que el ángulo es 0° y el flujo el correspondiente con el 50% la temperatura del panel es la mayor, que en este caso es 332k.

Destacar que la diferencia de temperatura entre el más frio y el más caliente no son más de 12k por lo tanto la capacidad de refrigeración efecto del cambio de ángulo es menor que la propia de cambiar el número de ventiladores y su flujo en la que la diferencia eran 17k. Aun así se observa que al estrechar la salida del aire y de esta manera aumenta su velocidad se consigue una mayor capacidad de refrigeración.

En la siguiente tabla se puede observar de forma más visual que el gradiente de temperatura no es muy grande. Además para un mismo flujo máscico la diferencia no es mayor de 4k.



Grafica 4-7 Temperatura de panel 2ª iteración.

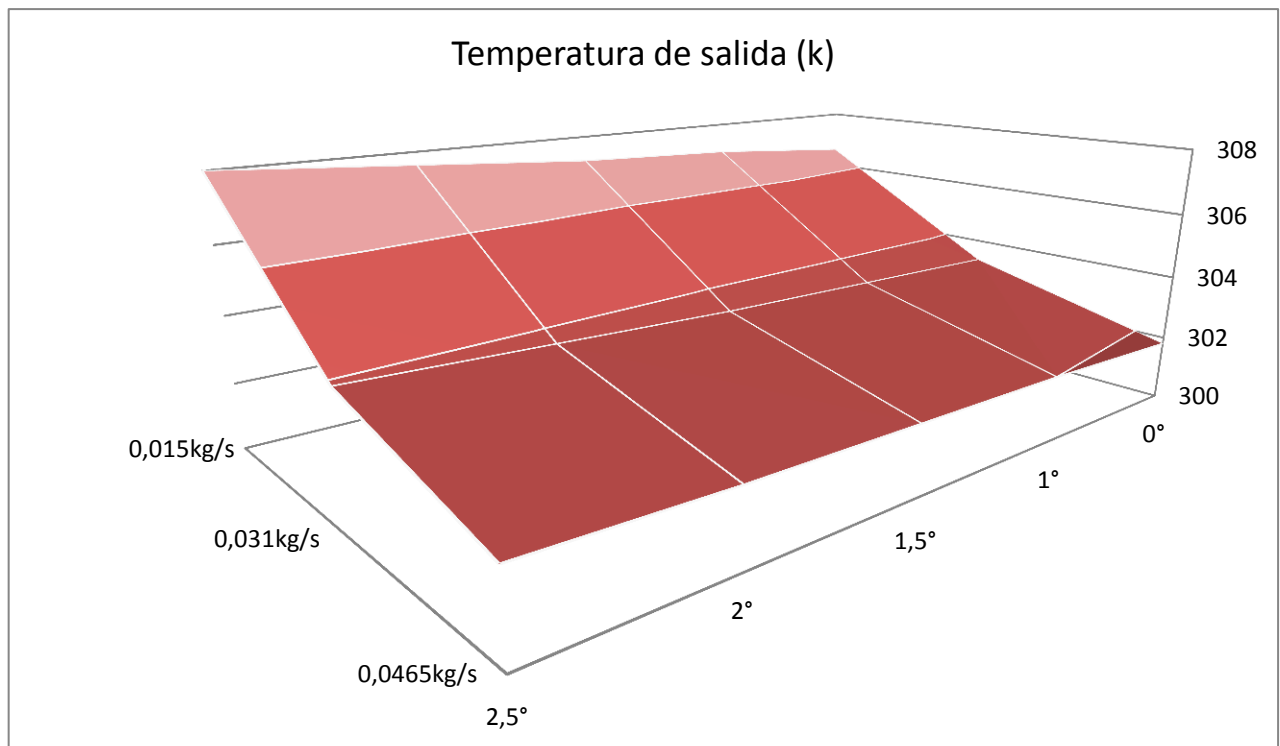
4.3.2 Temperatura de salida.

Para la temperatura de salida en la primera iteración se tiene una diferencia entre la máxima y la mínima de casi 5 kelvin, en la segunda iteración apenas supera los 4kelvin quedándose en unos 4.2kelvin, sin embargo se puede afirmar que la variación de ángulo no favorece el aumento de temperatura de forma significativa. Para un mismo flujo másico la diferencia de ángulo entre el máximo ángulo 2.5° y el mínimo 0° no supera los 2kelvin.

Temperatura de salida (k)	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
0,015kg/s	306,6	307	307,2	307,6	308
0,031kg/s	303,3	303,4	303,5	303,7	303,9
0,0465kg/s	301,8	302	302,1	302,2	302,4

Tabla 4-11 Temperatura de salida 2ª iteración.

A la hora de realizar la tabla de puntuación para las conclusiones de la segunda iteración la temperatura de salida tiene un peso poco importante.



Grafica 4-8 Temperatura de salida 2ª iteración.

4.3.3 Energía térmica.

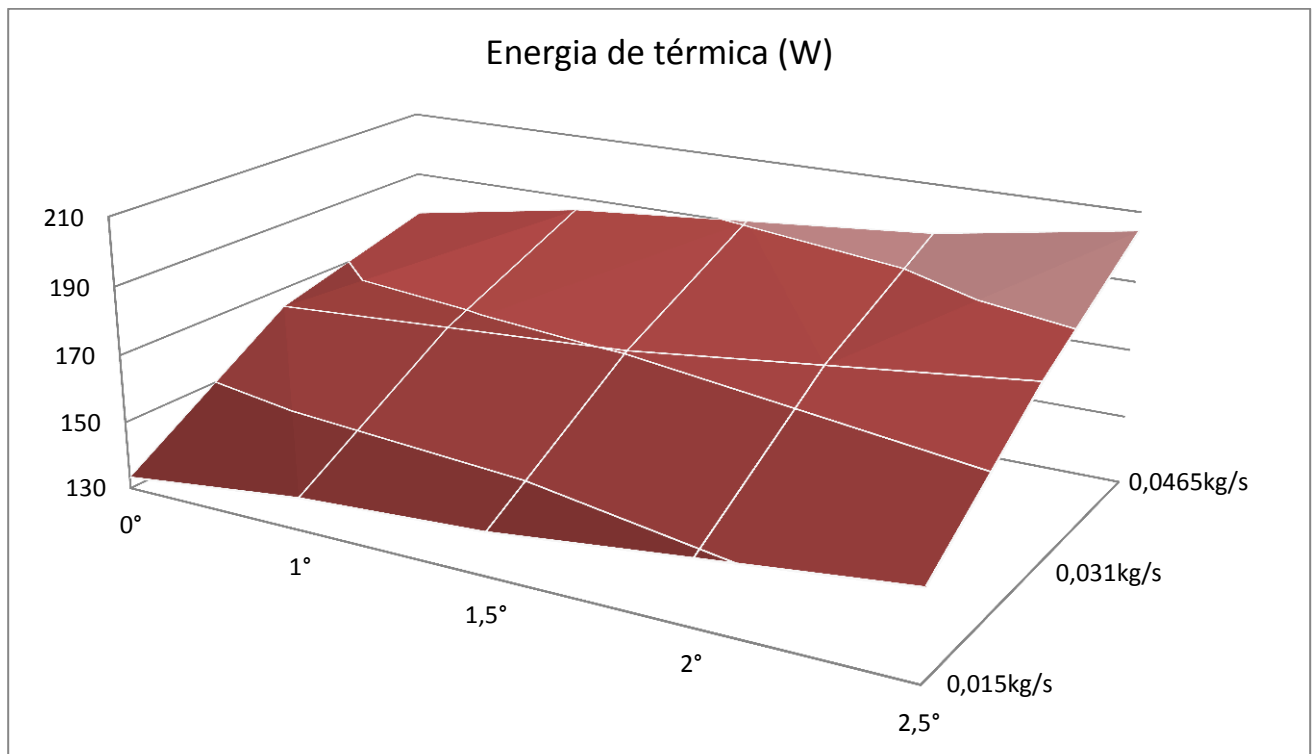
Para la energía térmica sucede como en la primera iteración que la mayor energía corresponde con la menor temperatura del panel y la menor energía con la mayor de las temperaturas.

En la segunda iteración esta energía térmica sigue teniendo un peso importante ya que gracias a ella se podrá determinar la eficacia global que se explicara más adelante.

Energía térmica (W)	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
0,015kg/s	133,3	139,5	142,6	148,8	155
0,031kg/s	164,3	167,4	170,5	176,7	182,9
0,0465kg/s	176,7	186	190,65	195,3	204,6

Tabla 4-12 Energía de salida 2ª iteración.

En la primera iteración se observa una variación de energía térmica de casi unos 100W sin embargo en este caso apenas supera los 71W. A pesar de ello, estos 71W que se ganan al variar el ángulo de la carcasa a 2.5° son bastantes vatios a tener en cuenta.



Grafica 4-9 Energía térmica 2ª iteración.

4.3.4 Desviación típica.

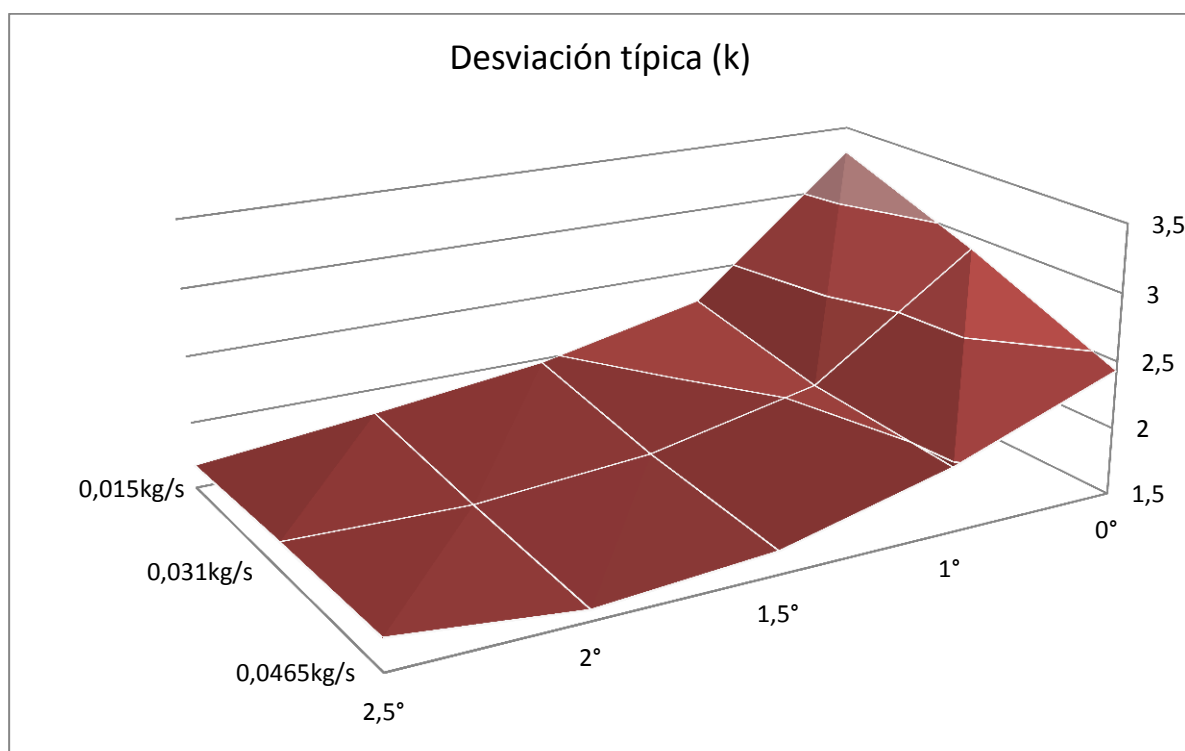
Los resultados de la desviación típica de la segunda iteración demuestran que la variación de ángulo favorece la homogeneidad de la temperatura en el panel, excepto para el ángulo máximo en que se puede observar que la desviación típica vuelve a aumentar, esto es debido a que se producen turbulencias en el fluido fruto del estrechamiento de la salida y el alto flujo másico.

Desviación típica (k)	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
0,015kg/s	3,3	2,25	1,97	1,81	1,67
0,031kg/s	2,9	2,05	1,78	1,68	1,71
0,0465kg/s	2,43	1,98	1,67	1,58	1,73

Tabla 4-13 Desviación típica 2ª iteración.

En este caso para un mismo flujo másico no tiene que coincidir que uno de los extremos sea el valor más alto o más bajo de la desviación típica. Es por ello que el valor más pequeño de la desviación típica en la segunda iteración se corresponde para un ángulo de 2° y un flujo másico de 0.0465kg/s y el valor más grande con la carcasa inicial de 0° y flujo másico menor.

En la siguiente gráfica se puede observar que el mayor gradiente de la desviación típica corresponde con el flujo másico menor, y la razón de esto es porque con este flujo se presentan menos turbulencias en el interior del refrigerador y además para el flujo másico menor y ángulo 0° , el conducto es demasiado grande y no se distribuye bien el aire.



Gráfica 4-10 Desviación típica 2ª iteración.

4.3.5 Eficiencia Global.

De la segunda iteración se tiene que explicar que la potencia consumida por los 3 ventiladores de 92mm para cada flujo es la mostrada en la siguiente tabla.

	50%	100%	150%
Potencia (w)	1.48	3.06	4.6

Tabla 4-14 Potencia consumida por el uso de cada flujo.

De estos datos y de los resultados obtenidos anteriormente para la segunda iteración se van a elaborar unas tablas de puntuaciones como las de la primera iteración, en la que también se dará el doble de puntos a la eficiencia eléctrica.

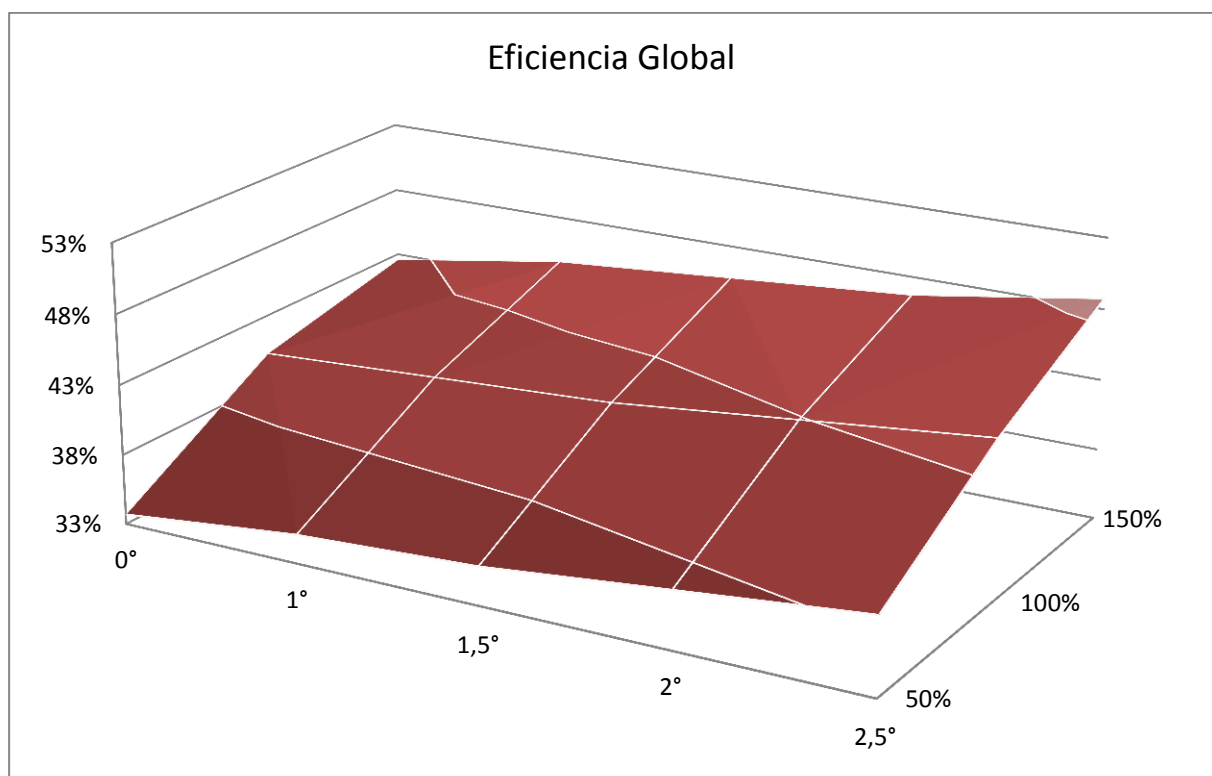
En primer lugar estudiando los datos de la eficiencia global, se puede determinar que cuanto mayor es la energía de salida mayor es la eficiencia global, la mayor eficiencia global que se obtiene en la segunda iteración, corresponde con la configuración de 2.5° de variación y flujo másico del 150% que además es la configuración que más disminuye la temperatura del panel.

La diferencia máxima de energía global es de un 15% por lo tanto es menor que la obtenida en la primera iteración, pero la eficiencia global máxima es mayor, ya que la eficiencia global correspondiente con la configuración seleccionada en la primera iteración es la menor de la segunda.

Eficiencia global	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
50%	34%	35%	36%	37%	38%
100%	40%	41%	42%	43%	44%
150%	43%	45%	46%	47%	49%

Tabla 4-15 Eficiencia global 2ª iteración.

Se puede observar de forma gráfica la diferencia de eficiencia global de las diferentes configuraciones de la segunda iteración.



Grafica 4-11Eficiencia global 2ª iteración.

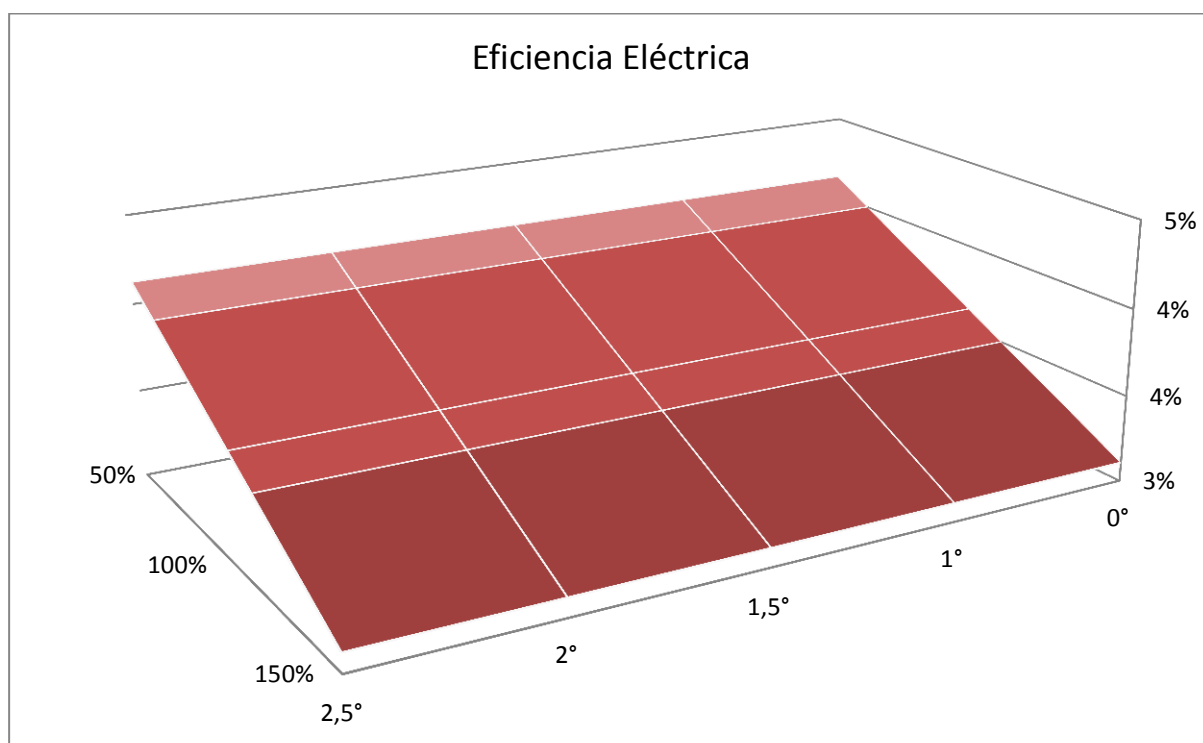
4.3.6 Eficiencia Eléctrica.

La mayor eficiencia eléctrica de la segunda iteración corresponde con el flujo másico del 50%, en esta iteración la eficiencia eléctrica para un mismo flujo másico es siempre la misma, ya que no varía la potencia requerida por los ventiladores al variar el ángulo.

Eficiencia eléctrica	0°	1°	1,5°	2°	2,5°
50%	4,12%	4,12%	4,12%	4,12%	4,12%
100%	3,62%	3,62%	3,62%	3,62%	3,62%
150%	3,11%	3,11%	3,11%	3,11%	3,11%

Tabla 4-16 Eficiencia electrica 2ª iteración.

La diferencia de eficiencia eléctrica es de 1%, por lo tanto a pesar de que es un dato importante se puede ver que la diferencia no es muy significativa.



Grafica 4-12 Eficiencia electrica 2ª iteración.

4.4 Tabla de puntos de la segunda iteración.

Puntos	Eficiencia eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica	T. Panel	T. Salida	Energía térmica	Total
0°	-	1	1	1	1	1	5
1°	-	2	2	2	2	2	10
1.5°	-	3	3	3	3	3	15
2°	-	4	5	4	4	4	17
2.5°	-	5	4	5	5	5	24

Tabla 4-17 Tabla de puntos para las diferentes geometrías con un flujo del 100%.

En esta tabla se han otorgado puntos del 1 al 5 siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta.

Se puede observar que según esta tabla el ángulo que más favorece a la carcasa es el de 2.5°, en este caso la eficiencia eléctrica no influye ya que como se ha dicho antes, para un mismo flujo esta no varía.

A continuación se va a realizar la tabla de puntos para una misma geometría, que es la de 2.5°, con diferentes flujos máscos. En este caso, sí que habrá una variación de la eficiencia eléctrica, por lo tanto en esta tabla como en las de la primera iteración se le dará el doble de puntos.

Puntos	Eficiencia eléctrica x2	Eficiencia global	Desviación típica	T. Panel	T. Salida	Energía térmica	Total
50%	6	1	3	1	3	1	15
100%	4	2	2	2	2	2	14
150%	2	3	1	3	1	3	13

Tabla 4-18 Tabla de puntos para diferentes flujos máscos de la carcasa con variación de 2.5°

En esta tabla la puntuación es entre 1 y 3 siendo 1 la peor y 3 la mejor. Se puede observar que la configuración que más puntos tiene es la de menor flujo máscico que corresponde con la de mayor eficiencia eléctrica.

En la segunda iteración se estima como configuración más óptima la de 3 ventiladores de 92mm con una variación en la geometría de 2.5° y con un flujo máscico del 50%, esto es así ya que si se escoge otra configuración con un flujo máscico mayor, se pierde la eficiencia eléctrica que se ha ganado en la primera iteración. Además ha sido la configuración mejor valorada de en la tabla de puntuaciones. Debido principalmente a que es la de mejor eficiencia eléctrica y también porque la diferencia de temperatura del panel no son más de 8 kelvin.

Los datos de la configuración valorada como la más óptima:

Carcasa de 3 ventiladores de 92mm	Eficiencia eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica (k)	T. Panel (k)	T. Salida (k)	Energía calorífica (w)	Grados de variación de la geometría	Flujo másico óptimo (kg/s)
Datos	4.12%	38%	1.67	328	308	155	2.5°	0.015

Tabla 4-19 Datos de carcasa de 3 ventiladores de 92mm con variación geométrica de 2.5° y un flujo másico de 0.015kg/s

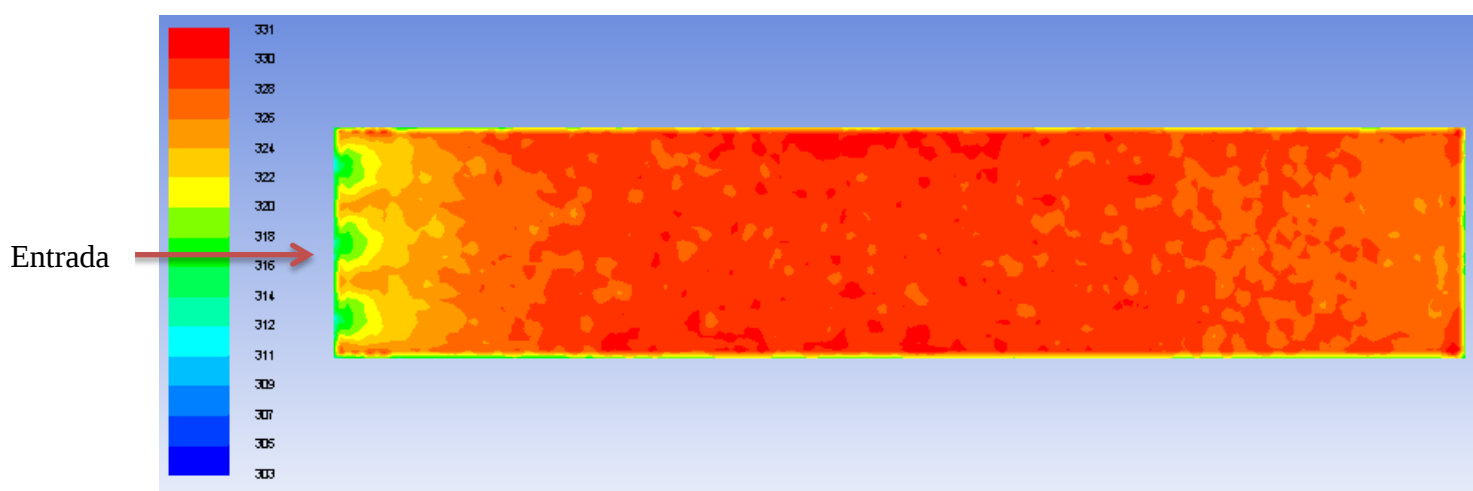


Figura 4-1 Distribución de temperatura en el panel de la carcasa con 3 ventiladores de 92mm, inclinación de 2.5° y flujo másico de 0.015kg/s

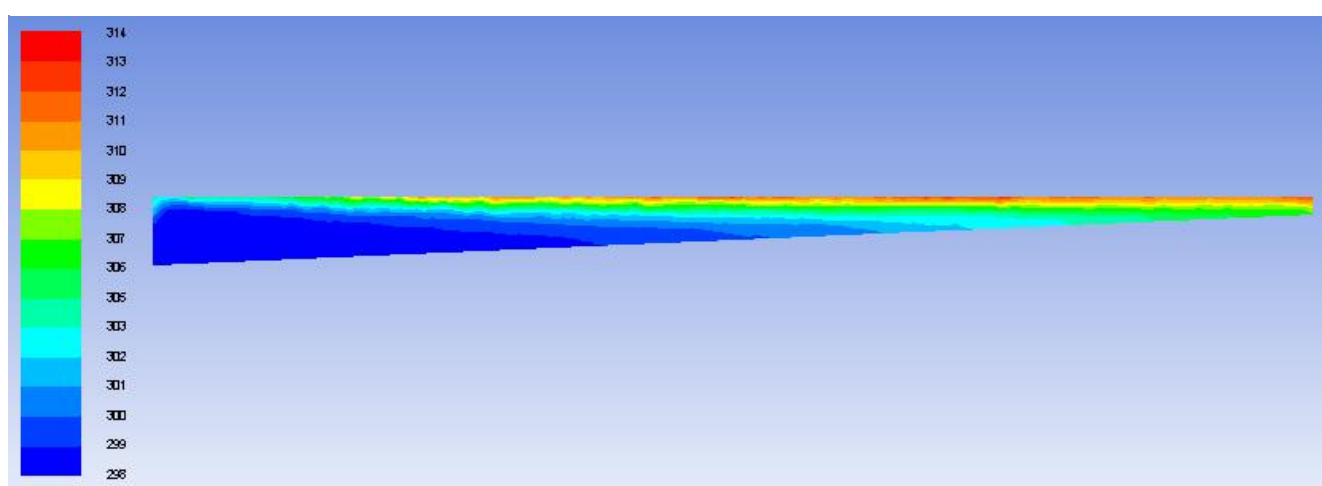


Figura 4-2 Distribución de la temperatura en el fluido de la carcasa de 3 ventiladores de 92mm, inclinación de 2.5° y flujo másico de 0.015kg/s

Si este estudio se transforma de idea a realidad, se conseguirá por un lado aumentar el rendimiento del panel PV y por otro lado, con el aprovechamiento de la energía térmica, se transformara lo que inicialmente es un panel fotovoltaico en un panel fotovoltaico-térmico.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones.

El objetivo de este proyecto era el determinar cuál es el diseño más adecuada para un refrigerador de un panel fotovoltaico y para ello se han realizado diferentes simulaciones variando la geometría del refrigerador y las características de entrada del fluido, se ha podido observar el comportamiento del fluido en el interior del mismo, esto no hubiera sido posible sin el uso del programa ANSYS FLUENT el cual ha ahorrado tiempo y dinero.

De los cambios realizados en la geometría se ha podido concluir que el estrechamiento del conducto de refrigeración favorece la disminución de la temperatura del panel.

Con la realización de este proyecto el autor ha podido ampliar más su conocimiento en el uso de los programas de diseño CAD y en programas de simulación de fluido como el ANSYS FLUENT.

Además, con la realización de las simulaciones se ha podido comprobar de forma simulada la teoría de las ecuaciones de Navier-Stokes.

Por último, también se ha ampliado el conocimiento de las energías renovables y en especial sobre los paneles híbridos fotovoltaicos-térmicos y sus posibles aplicaciones en el ámbito militar.

5.2 Líneas futuras.

Los resultados de la simulación CFD de este proyecto son favorables para el desarrollo de la carcasa. Como ya se ha indicado, esta carcasa se ha ideado para ser fabricada con un material textil, resistente al agua y que no proporcione fugas al fluido interno.

Actualmente existen materiales textiles con estas características como son el gore-tex, el nylon o el vinilo. El más barato y comercializado por el momento de los tres es el nylon. El nylon es una fibra textil elástica y resistente, no la ataca la polilla, no precisa planchado y se utiliza en la confección de pochos resistentes al agua, sedales y prendas deportivas.

Sin embargo, un área en la que se podría investigar para un futuro proyecto es la desarrollar un material flexible, resistente y aislante de fluido mediante impresión 3D, para ello habría que analizar los diferentes materiales de los que se dispone con las tecnologías del momento. Además, se tendría que hacer un estudio de viabilidad ya que una de las finalidades de este proyecto es el bajo coste de fabricación y mantenimiento.

Después habría que diseñar la carcasa en un programa de impresiones 3D y por último realizar el propio montaje de la carcasa con el panel PV.

6 BIBLIOGRAFÍA

- 1] C. y. P. J. d. D. d. P. E. y. D. S. d. U. Jose Maria Marcos Fano<<Ingeniero de Caminos, «El papel de las energías renovables y la eficiencia energética en la lucha contra el cambio climático,» *Revista de Obras Públicas*, vol. 160, nº 3545, pp. 77-82, 2013.
- 2] B. K.-m. <. g. d. l. N. Unidas>>, «Naciones Unidas,» Naciones Unidas, 9 Octubre 2015. [En línea]. Available: www.un.org/es/index/html. [Último acceso: 15 Febrero 2015].
- 3] P. S. F. y. Á. P. Plaza, «Energías renovables desplegadas: hacia las misiones sostenibles,» Instituto Español de Estudios Estrategicos, 10 Octubre 2011. [En línea]. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- 4] E. e. Pais, «La energía verde ya representa el 16% del consumo europeo,» *El País*, 10 Febrero 2015.
- 5] Onshore wind to reach grid parity, «businessgreen.com,» 5 Enero 2016. [En línea]. [Último acceso: 20 Febrero 2016].
- 6] K. Wellington, «Que es la energía geotermica,» Montevideo, 2014.
- 7] F. S. M. Carolina T. Machado, «Energia Solar Fotovoltaica,» *Revista Virtual de Química*, vol. 7, nº 1, 2015.
- 8] c. c. l. U. d. O. y. e. I. F. d. l. T. d. L. Lev Perovski << Mineralogista Ruso, «Perovskita: Mineral para la mejora de celdas fotovoltaicas,» *Proware*, 2014.
- 9] R. Bube, *Fundamentals Of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Elsevier, 2012.
- 10] D. F. Dimroth, *New world record for solar cell efficiency at 46%*, Francia-Alemania: Instituto Fraunhofer, 2014.
- 11] R. M. Swanson, «Sciencemag,» 19 Septiembre 2009. [En línea]. Available: www.sciencemag.org. [Último acceso: 2 Febrero 2015].
- 12] «Sitiosolar.com,» i+d+i, [En línea]. Available: <http://www.sitiosolar.com/panel-solar-hibrido-termico-y-fotovoltaico/>.

- | J. M. F. Oro, Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos. Introducción a la dinámica de
13] fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos., Editorial Reverté, 2012.

ANEXO I: CONTENIDO DEL PRIMER ANEXO

6.1 Resultados de simulaciones para variación geométrica de la carcasa con sección de 60mm

En los resultados de la primera iteración se vio que en la tabla de puntuaciones el conjunto carcasa ventiladores que más puntuación recibió fue la los cinco ventiladores de 60mm.

Debido a esto se ha realizado una tercera iteración en la que se ha variado la geometría de la carcasa con cinco ventiladores de 60mm.

Para esta iteración se ha decidido que la variación del ángulo se de 0.5°, 1°, 1.5° y 2°, no se puede variar más ya que entonces se cerraría la salida del conducto de refrigeración.

Lo primero de todo es que en la siguiente tabla se indica los flujos máscos que se van ha usado, los cuales coinciden con los de la primera iteración, siendo el 100% (0.031kg/s), el 75% (0.022kg/s) y el 50% (0.015kg/s). Se ha decidido usar estos valores ya que el flujo máscico del 25% a pesar de ser el más eficiente eléctricamente y el que mayor temperatura de salida tiene, es el que menos reduce la temperatura del panel y el que mayor desviación típica tiene. También se incluye en esta tabla el consumo energético del conjunto de ventiladores en función del flujo máscico con el que funcionen.

Potencia	4,8	3,6	2,4
Flujo Máscico	100%	75%	50%

Tabla 0-1 Potencia eléctrica consumida en función del flujo máscico usado por los ventiladores de 60mm

6.1.1 Temperaturas de salida.

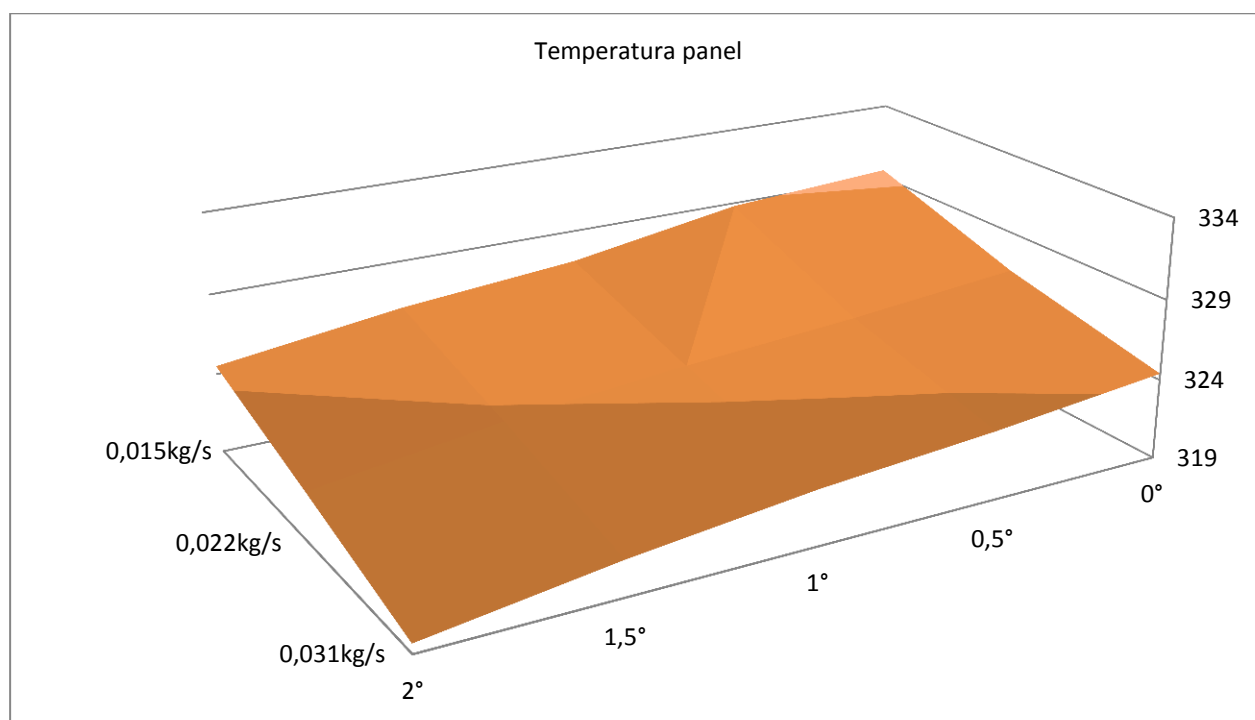
En esta iteración se puede comprobar que la diferencia entre la máxima temperatura del panel y la mínima es más de 10 kelvin. Si se compara la mínima temperatura del panel de esta iteración con la mínima de la segunda iteración se puede observar que apenas es menos de un kelvin en este caso. Sin embargo la temperatura máxima de esta iteración es 3 kelvin menor que la mayor de la segunda iteración.

Temperatura del panel (k)	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
0,015kg/s	329,5	328,8	327	326	324,5
0,022kg/s	326,5	325,5	324,7	323,7	322,1
0,031kg/s	324,4	323,3	322,45	321,2	319,6

Tabla 0-2 Temperaturas del panel 3ª iteración.

El máxima incremento de temperatura de esta iteración es de 10 kelvin, siendo la menor temperatura 319.6 kelvin y la mayor 329.5, al final de estos resultados como en las otras iteraciones se hará una tabla de puntuaciones y también se dará el doble de puntos a la eficiencia eléctrica.

En la siguiente grafica se puede ver una superficie que representa el gradiente de temperaturas del panel de la 3ª iteración.



Grafica 0-1 Temperatura del panel 3ª iteración

6.1.2 Temperaturas de salida.

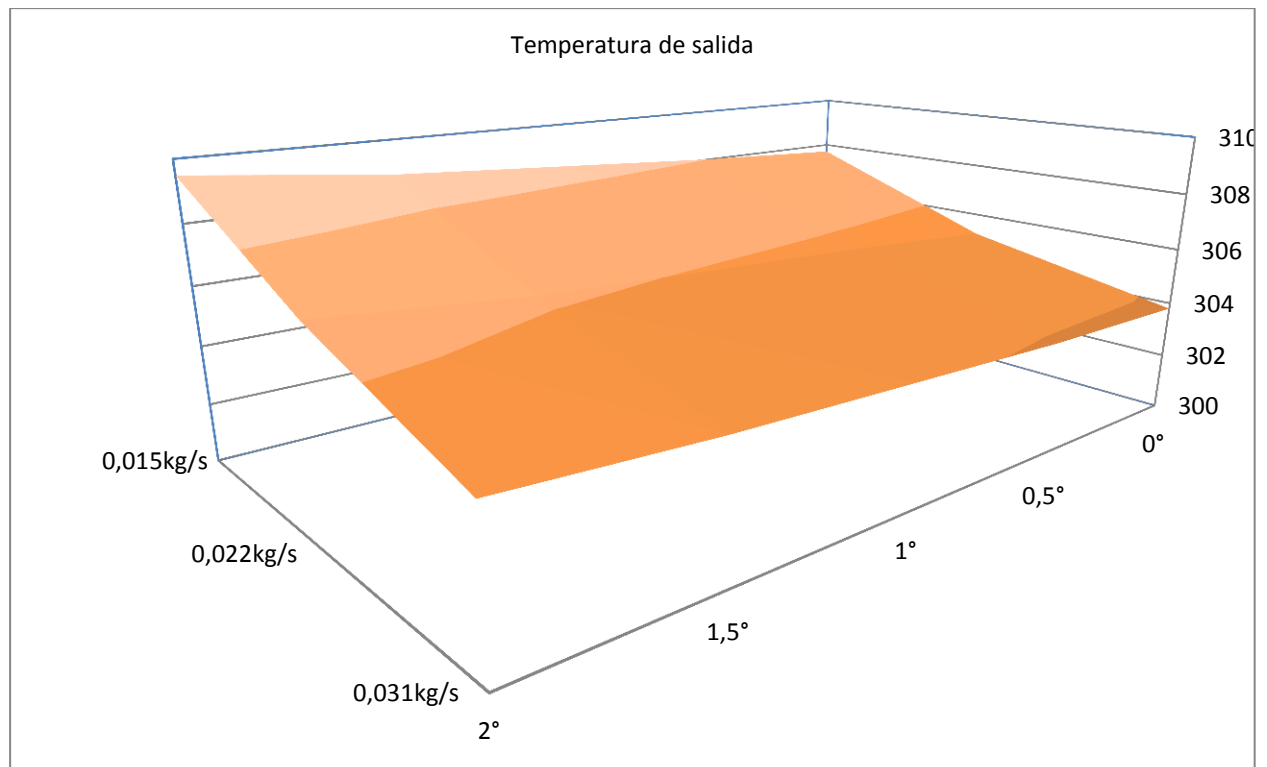
En la siguiente tabla se pueden ver las temperaturas de salida resultado de la 3ª iteración, se puede observar que el máximo gradiente de temperaturas es de 3 kelvin, así mismo la temperatura más baja coincide con la temperatura más baja del panel, como también ha sucedido en las otras dos iteraciones, estos es debido a que como el fluido circula más rápido de manera que hay un mayor intercambio de calor entre el fluido y el panel, pero a la vez el fluido se enfría más rápido por la propia circulación.

Temperatura de salida (k)	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
0,015kg/s	307,7	308	308,4	308,8	309,5
0,022kg/s	305,2	305,6	305,9	306,2	306,8
0,031kg/s	303,8	303,9	304,15	304,4	304,8

Tabla 0-3 Temperatura de salida 3ª iteración.

Si se compara esta iteración con la anterior se puede ver que la temperatura máxima de salida coincide con la geometría con variación de 0° y para el mejor flujo másico, como también sucede en la 2ª iteración, y que en este caso es 1 kelvin superior a la anterior. La mínima temperatura de salida también es muy similar a la de la 2ª iteración, siendo en este caso solo 2 kelvin superior.

En la siguiente grafica se puede ver de forma visual el gradiente de temperaturas de las diferentes variaciones de ángulo y flujo másico.



Grafica 0-2 Temperatura de salida (k)

6.1.3 Energía térmica.

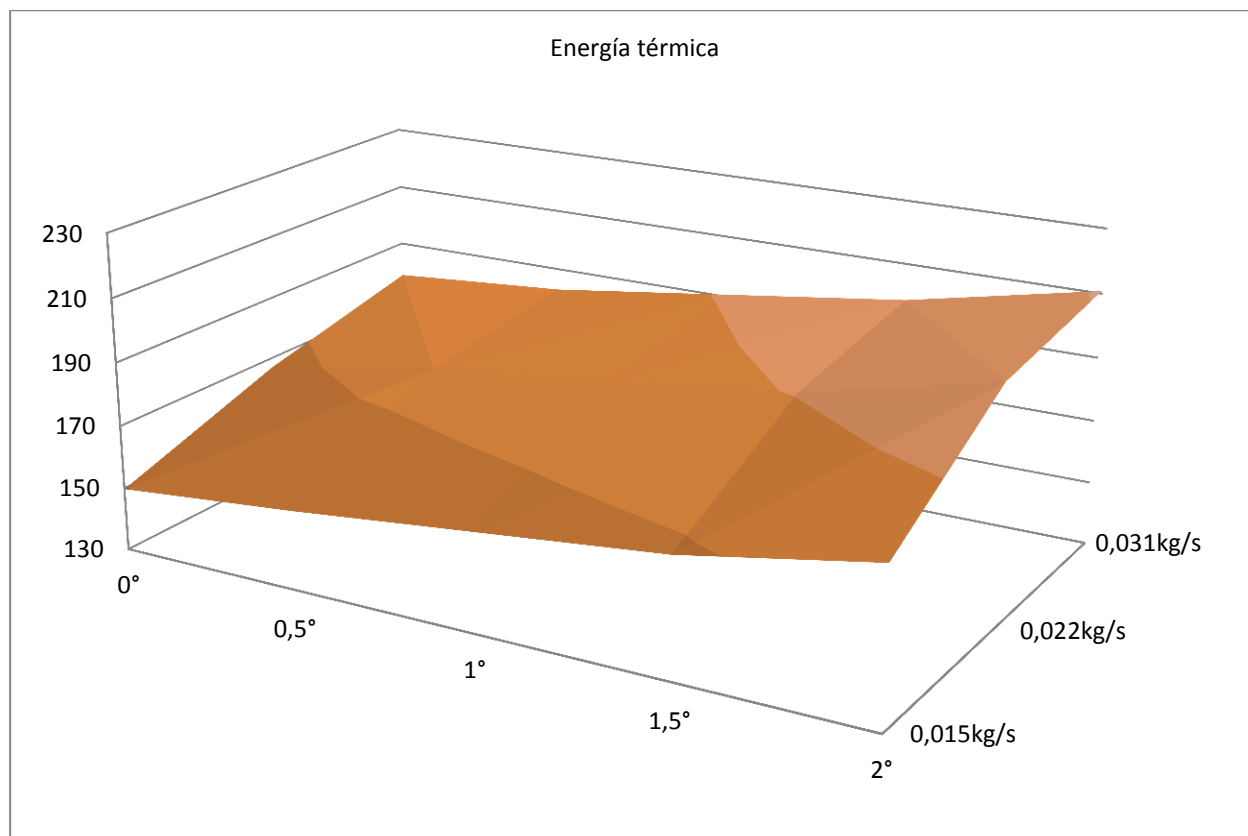
Para el caso de la energía térmica, al ser comparada con la de la segunda iteración si hay variaciones en cuanto a la cantidad, aunque tampoco es algo muy significativo, en este caso el mayor energía térmica se corresponde con la menor temperatura del panel, es decir para una variación de 2° y flujo másico máximo.

Energía térmica (w)	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
0,015kg/s	149,7	155	161,2	167,4	178,25
0,022kg/s	166,9	176,7	183,675	190,65	204,6
0,031kg/s	178,7	182,9	190,65	198,4	210,8

Tabla 0-4 Energía térmica 3ª iteración.

Destaca que la máxima diferencia de energía para esta iteración es de 60 W, mientras que para la 2ª iteración la diferencia máxima de energía térmica es de casi 70 W, a pesar de que en las otras dos variables que hemos visto hasta el momento el gradiente es mayor para la 3ª iteración que para la segunda en este caso no ocurre lo mismo.

En la siguiente grafica se puede ver de forma visual la diferencia de energías térmicas.



Grafica 0-3 Energía térmica 3ª iteración.

6.1.4 Desviación típica.

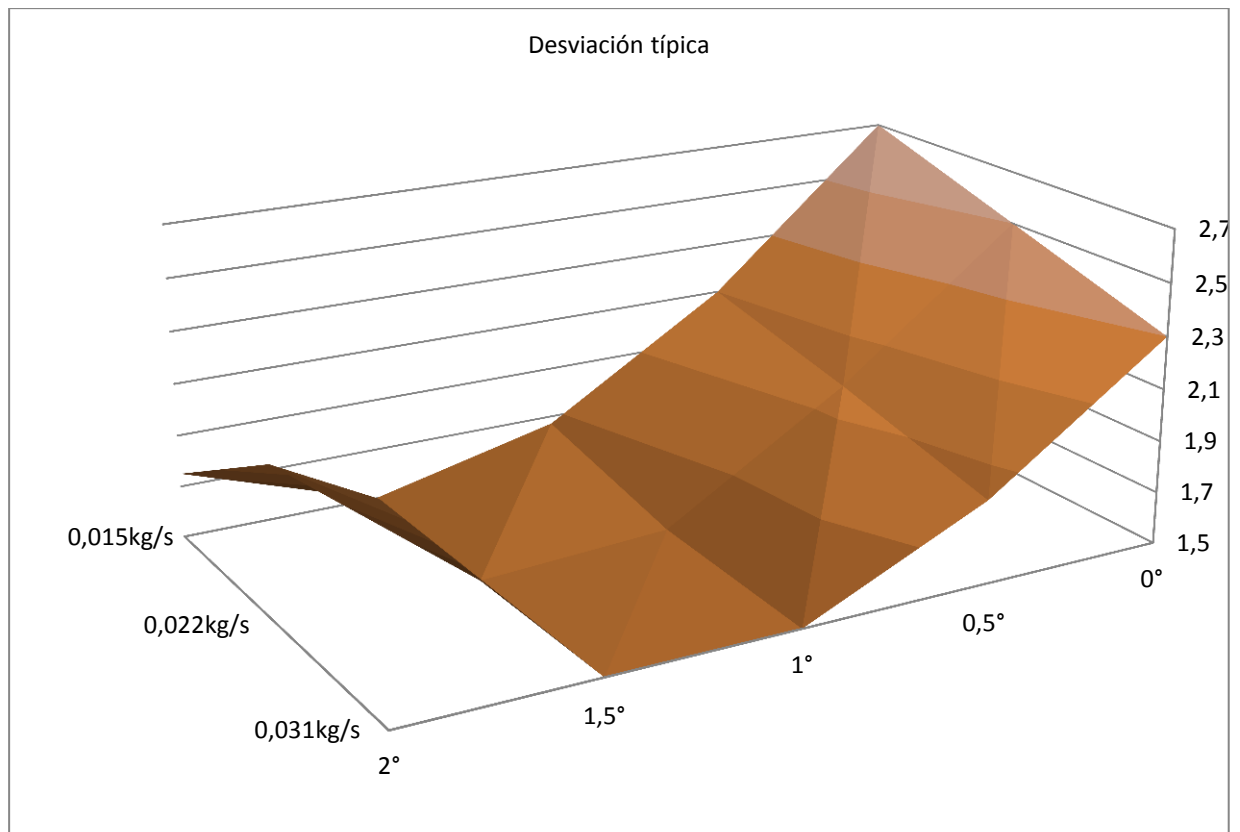
Una de las cosas que se ha podido observar a lo largo de todas las iteraciones es que cuanto más estrecho sea el conducto menor será su desviación típica hasta que llega un punto en el cual el conducto es tan estrecho que se forma turbulencias lo que provoca que la menor de las desviaciones típicas no coincida con la máxima de las variaciones de ángulo, a pesar de ser lo que se supone en pasaría.

Desviación típica (k)	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
0,015kg/s	2,7	2,1	1,67	1,45	1,75
0,022kg/s	2,5	1,97	1,54	1,4	2,09
0,031kg/s	2,3	1,82	1,4	1,39	2,28

Tabla 0-5 Desviación típica 3ª iteración.

Si se compara la mayor de las desviaciones típicas de esta iteración con la mayor de la 2ª se puede observar que existe una gran diferencia, hasta 1 kelvin de diferencia, esto quiere decir lo que ya se ha explicado anteriormente, que cuanto más estrecho es el conducto mejor se distribuye el calor, menos cuando el conducto es tan estrecho que en vez de favorecer a la homogeneidad del calor del panel, este crea turbulencia y hace que la desviación típica se dispare.

Este es un factor que hará que se descarte el conducto de 2° como la opción más óptima.



Grafica 0-4 Desviación típica 3ª iteración.

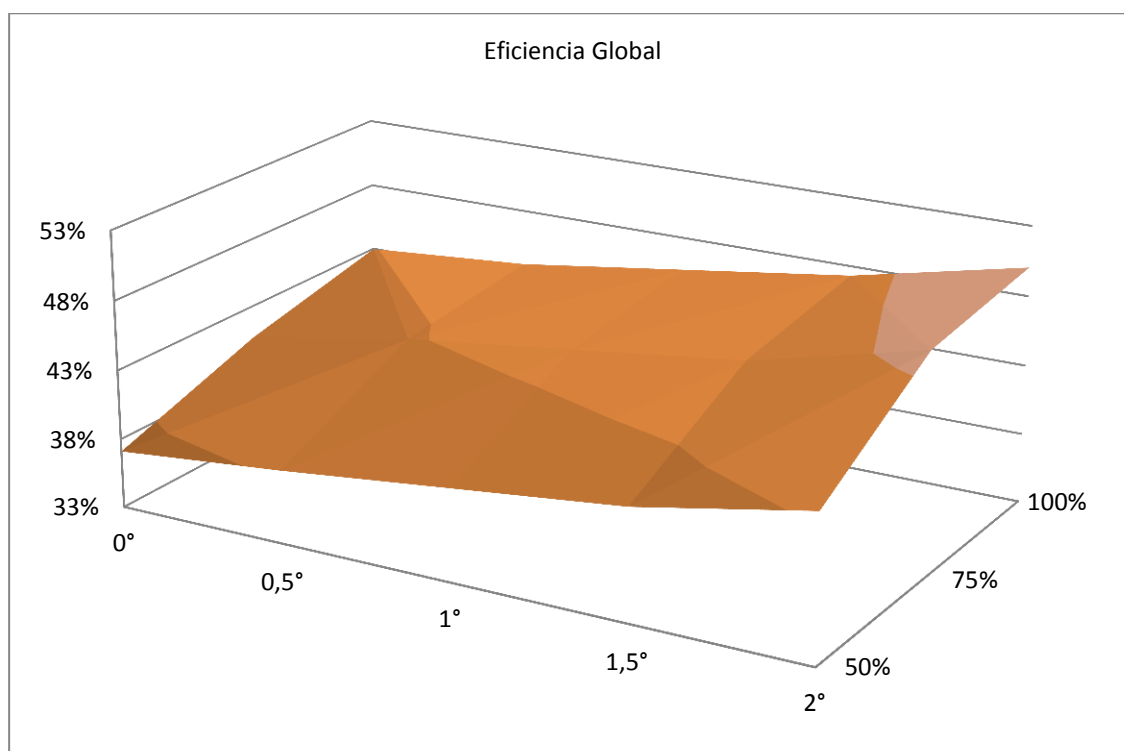
6.1.5 Eficiencia Global.

Al comparar la eficiencia global de a 2ª iteración y de la 3ª tercera se puede comprobar que son prácticamente idénticas.

La mayor eficiencia global coincide con la de mayor energía térmica, que es para la variación de ángulo máxima y flujo másico máximo.

Eficiencia Global	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
50%	37%	38%	40%	41%	43%
75%	41%	43%	44%	46%	49%
100%	43%	44%	46%	47%	50%

Tabla 0-6 Eficiencia global 3ª iteración



Grafica 0-5 Eficiencia global 3ª iteración.

6.1.6 Eficiencia Eléctrica

La eficiencia eléctrica es como se ha explicado a lo largo de toda la memoria el resultado más importante de todos, ya que es los paneles se han diseñado para dar energía eléctrica y no calor, aunque con el diseño del refrigerador se pueda sacar partido de ese calor que produce y de esta manera diseñar un sistema híbrido de panel fotovoltaico-térmico.

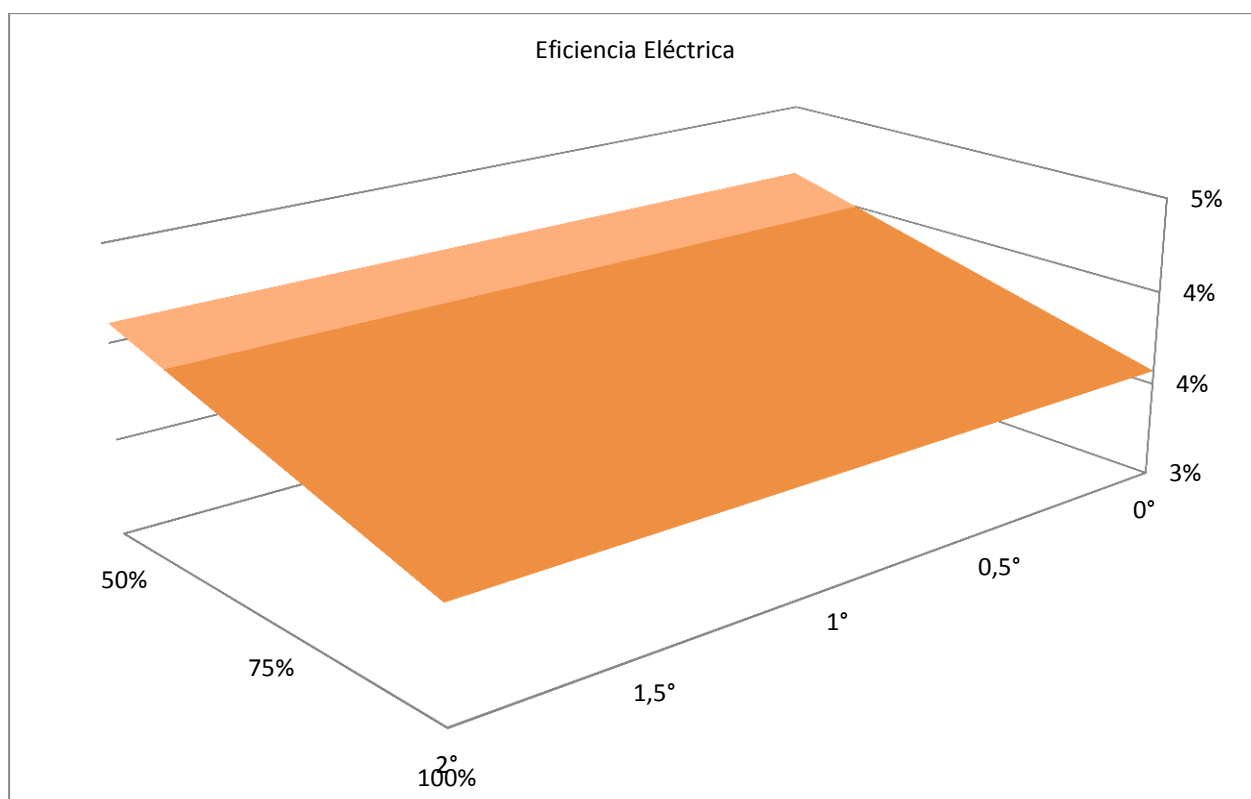
Eficiencia Eléctrica	0°	0,5°	1°	1,5°	2°
50%	4,10%	4,10%	4,10%	4,10%	4,10%
75%	3,84%	3,84%	3,84%	3,84%	3,84%
100%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%

Tabla 0-7 Eficiencia Eléctrica 3ª iteración.

La mayor eficiencia eléctrica de esta iteración 0.3% peor que la de la 2ª iteración.

Sin embargo en este caso no sirve de mucho comparar las eficiencias eléctricas de forma individual ya que los ventiladores que se han usado para cada iteración son diferentes, en este caso se ha usado 5 ventiladores de 60mm en la 2ª iteración se han usado 3 de 92mm.

Más adelante cuando se realizar la tabla de puntos, se podrá comparar de forma global las dos iteraciones.



Grafica 0-6 Eficiencia Eléctrica 3ª iteración.

6.1.7 Tablas de puntos de la 3ª iteración.

Puntos	Eficiencia Eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica (k)	T. Panel (k)	T. Salida (k)	Energía Térmica (w)	Total
0°	-	1	1	1	1	1	5
0.5°	-	2	3	2	2	2	11
1°	-	3	4	3	3	3	16
1.5°	-	4	5	4	4	4	21
2°	-	5	2	5	5	5	22

Tabla 0-8 Tabla de puntos para las diferentes geometrías con un flujo del 100%

En este caso la geometría que más puntos ha obtenido ha sido la de 2°, sin embargo debido a que su desviación típica está por encima de 2 kelvin no se puede admitir como la geometría más óptima.

Así que se escoge la geometría de 1.5° como la más óptima, ya que además esta solo un punto por debajo de la mejor valora.

En la siguiente tabla se va a valorar con un sistema de puntos igual al anterior a la carcasa de 1.5°, pero aplicando diferentes flujos máscicos para de esta manera estimar con cual se puede sacar más rendimiento.

En este caso la eficiencia eléctrica si se tiene en cuenta y como en otras tablas cuenta el doble de puntos por su importancia.

Puntos	Eficiencia eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica	T. Panel	T. Salida	Energía térmica	Total
50%	6	1	1	1	3	1	13
75%	4	2	2	2	2	2	14
100%	2	3	3	3	1	3	15

Tabla 0-9 Tabla de puntos para diferentes flujos máxicos de la carcasa con variación de 1.5°

En este caso se observa que el mejor flujo de funcionamiento es el del 100%, sin embargo es el de peor eficiencia eléctrica, es por eso que se decide elegir el flujo del 75% que se corresponde con un flujo máxico de 0.022kg/s.

Por lo tanto la mejor configuración para esta tercera iteración es la carcasa de 1.5° de variación en el ángulo de la geometría y con un flujo máxico de 75%. Otra razón por la que se elige este flujo es porque la diferencia de eficiencia eléctrica entre esta interacción y la 1ª no es más de 0.01%, así que se puede asumir esa pérdida de eficiencia.

Carcasa de 5 ventiladores de 60mm	Eficiencia eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica (k)	T. Panel (k)	T. Salida (k)	Energía calorífica (w)	Grados de variación de la geometría	Flujo máxico óptimo (kg/s)
Datos	3.84%	46%	1.4	323.7	306.2	190.65	1.5°	0.022

Tabla 6-0-10 Datos de la carcasa de 5 ventiladores de 60mm con variación de 1.5° y un flujo máxico de 0.022kg/s.

Carcasa de 3 ventiladores de 92mm	Eficiencia eléctrica	Eficiencia global	Desviación típica (k)	T. Panel (k)	T. Salida (k)	Energía calorífica (w)	Grados de variación de la geometría	Flujo máxico óptimo (kg/s)
Datos	4.12%	38%	1.67	328	308	155	2.5°	0.015

Tabla 0-11 Datos de carcasa de 3 ventiladores de 92mm con variación geométrica de 2.5° y un flujo máxico de 0.015kg/s

A pesar de que los datos de desviación típica, energía térmica y temperatura del panel de esta tercera iteración son mejores que los obtenidos en la segunda, la diferencia de eficiencia eléctrica se traduce en 2 W más de consumo por parte de los ventiladores en la configuración de la 3ª iteración y esto no compensa el resto de resultados favorables de la última iteración, teniendo en cuenta que la potencia máxima generada por el panel para un caso ideal son 21W.

Esta configuración de 5 ventiladores de 60mm es la mejor opción si la característica más importante fuera la energía térmica.

ANEXO II: CONTENIDO DEL SEGUNDO ANEXO

En el Anexo II se van a incluir todo las capturas de imagen del programa ANSYS FLUENT de las diferentes configuraciones.

6.2 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 1ª iteración.

6.2.1 Carcasa de 5 ventiladores de 60mm.

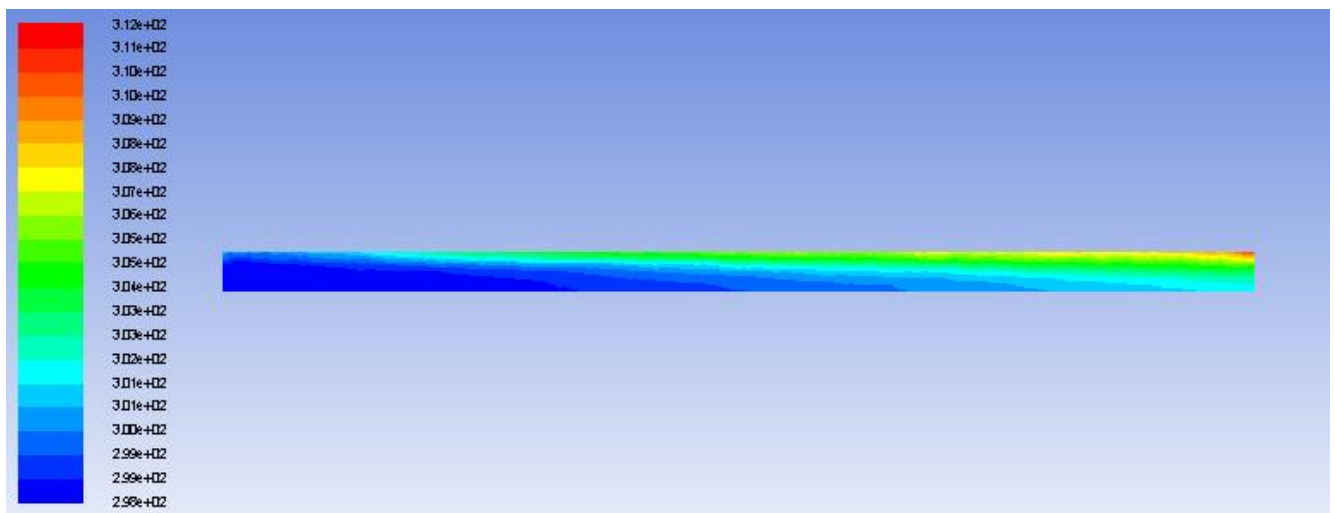


Figura0-1Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 60mm

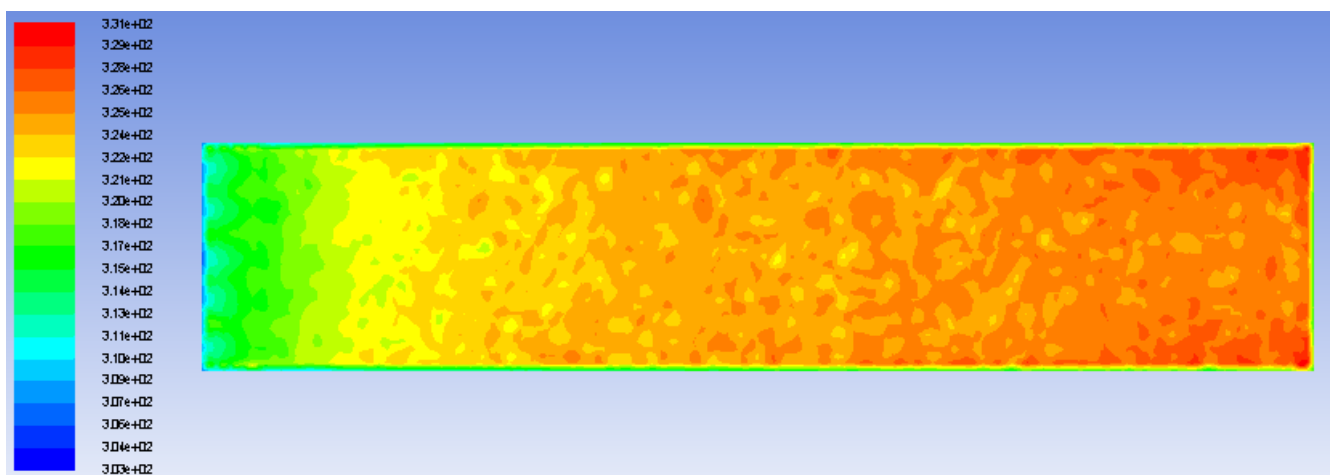


Figura 0-2 Distribución de temperaturas del panel con 5 ventiladores de 60mm

6.2.2 Carcasa de 3 ventiladores de 92mm.

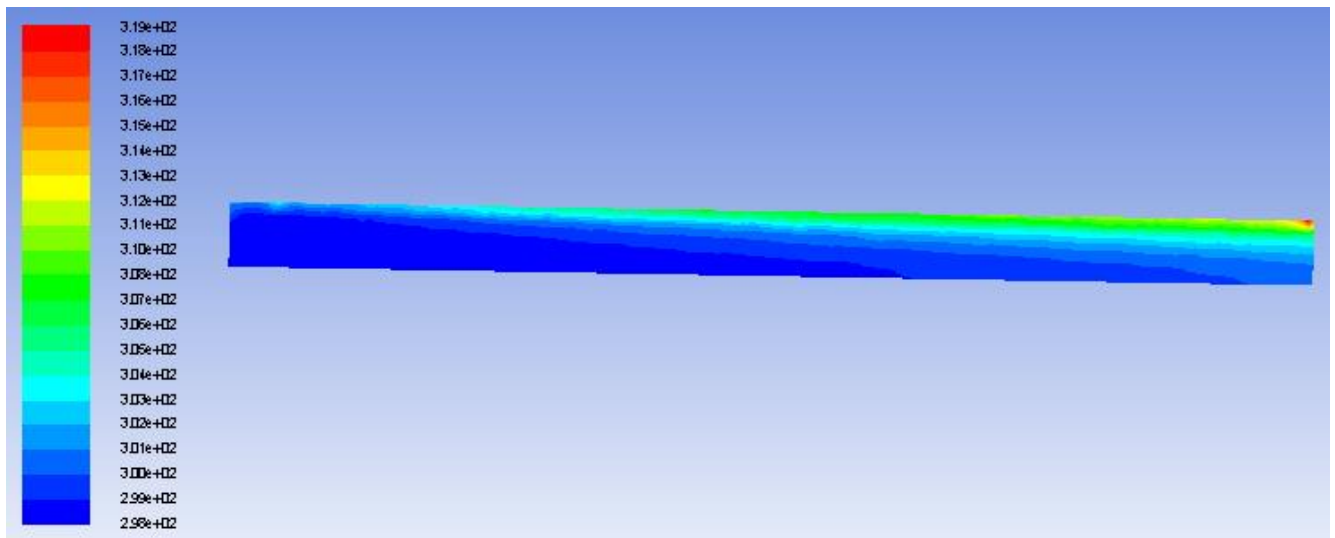


Figura 0-3 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 92mm

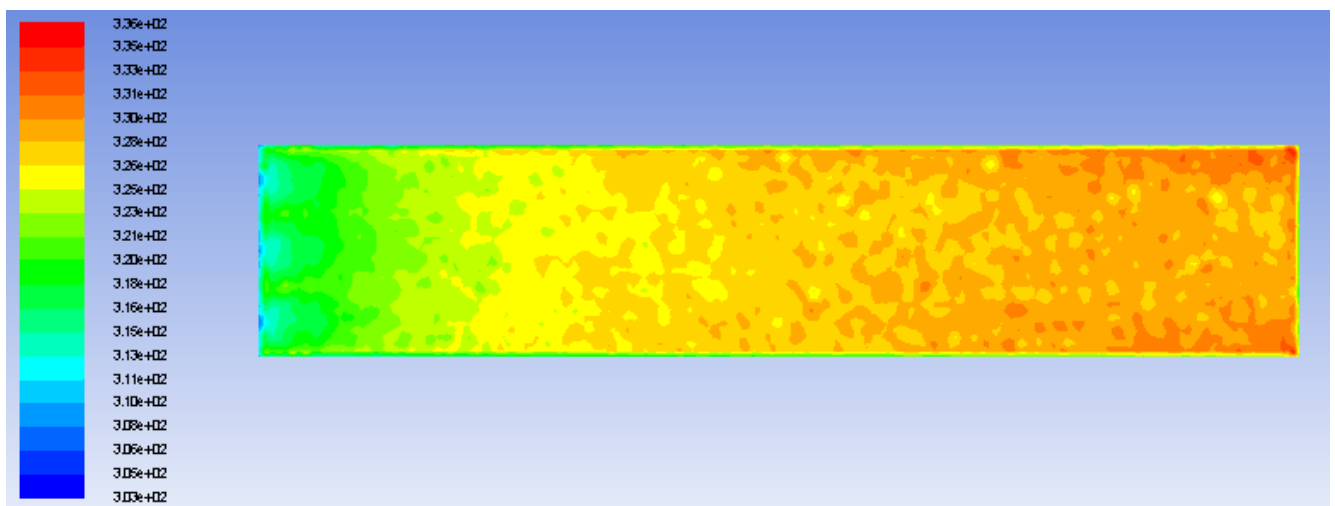


Figura 0-4 Distribución de temperaturas del panel con 3 ventiladores de 92mm

6.2.3 Carcasa de 2 ventiladores de 140mm.

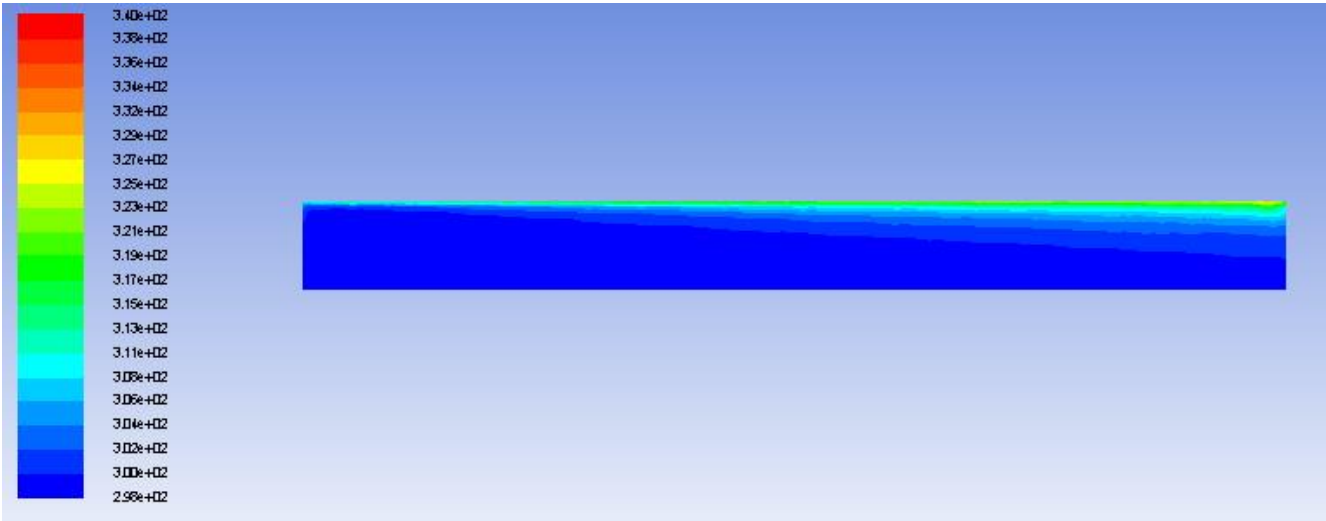


Figura 0-5 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador de la carcasa de 140mm

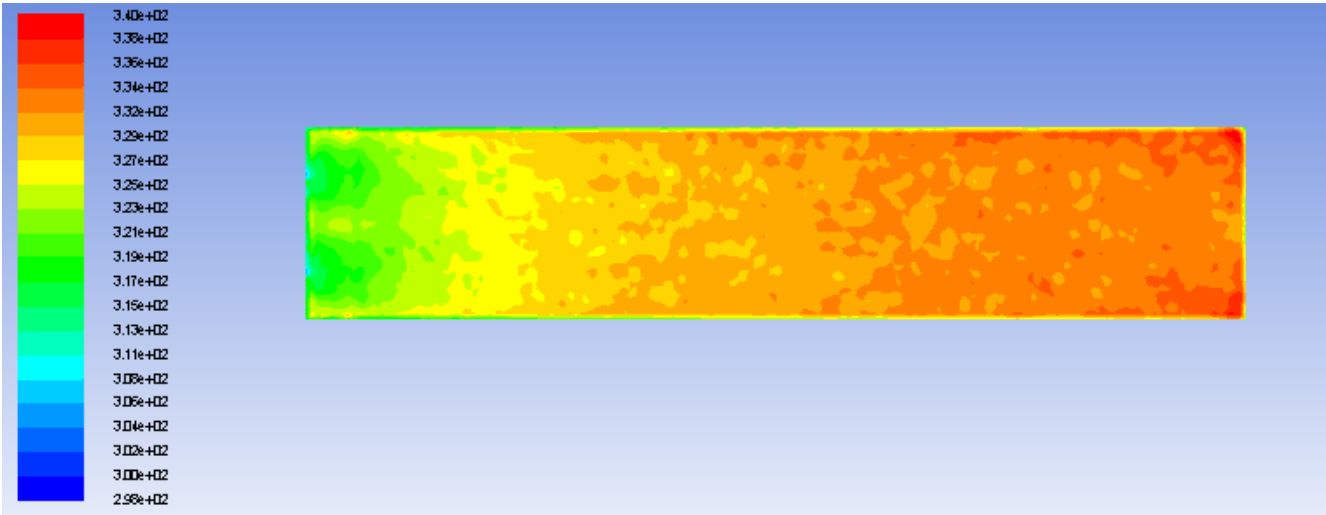


Figura 0-6 Distribución de temperaturas del panel con 2 ventiladores de 140mm

6.3 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 2ª iteración.

Las siguientes imágenes corresponden todas con una carcasa de 3 ventiladores de 92mm en la que se ha variado la geometría y el flujo másico.

6.3.1 Carcasa de con cambio geométrico de 1°.

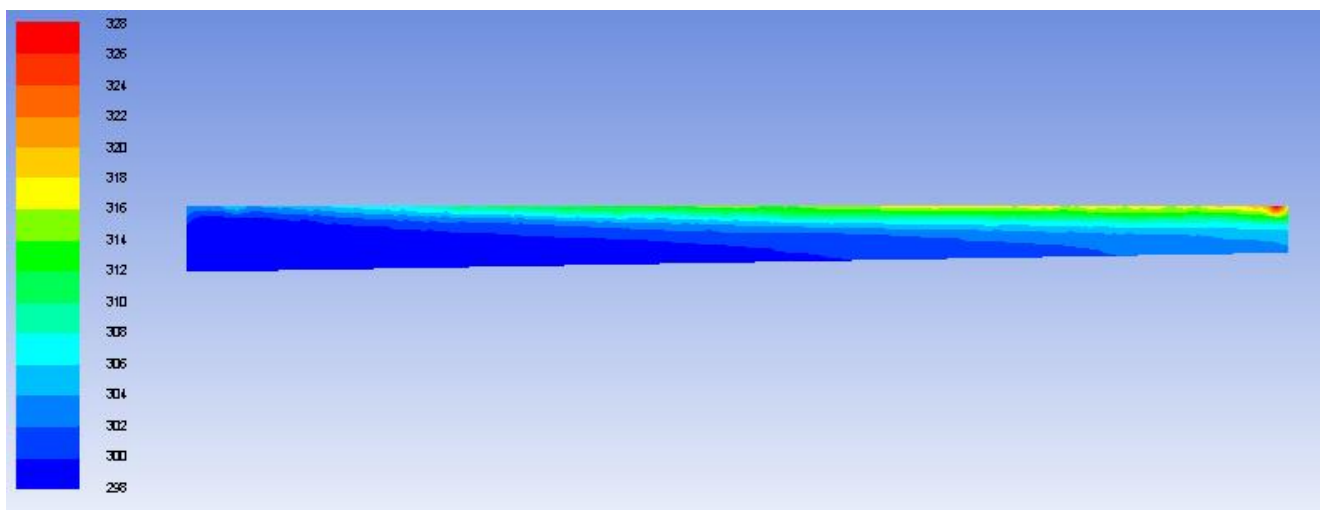


Figura 0-7 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°.

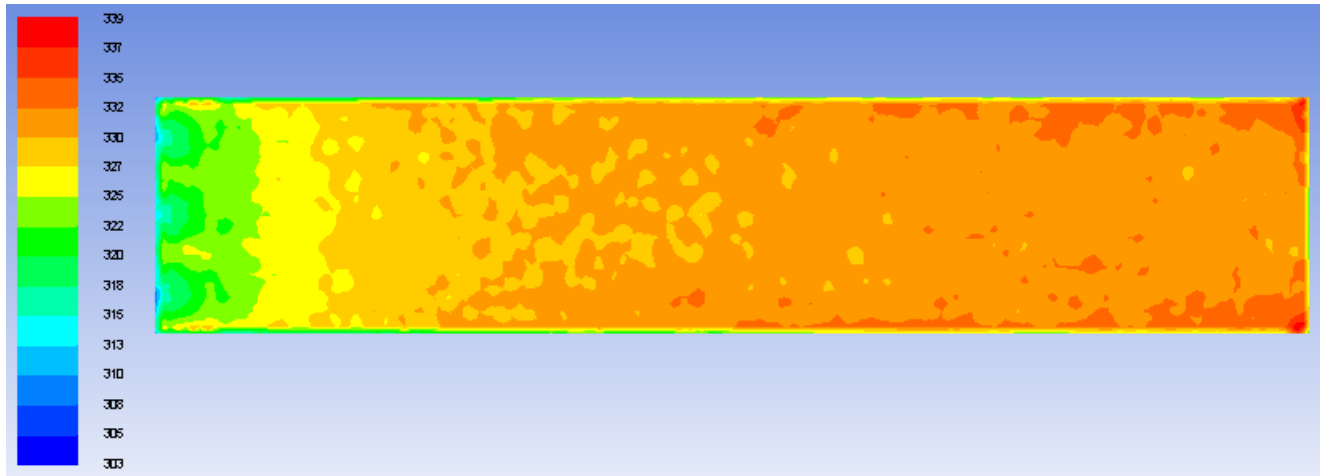


Figura 0-8 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°.

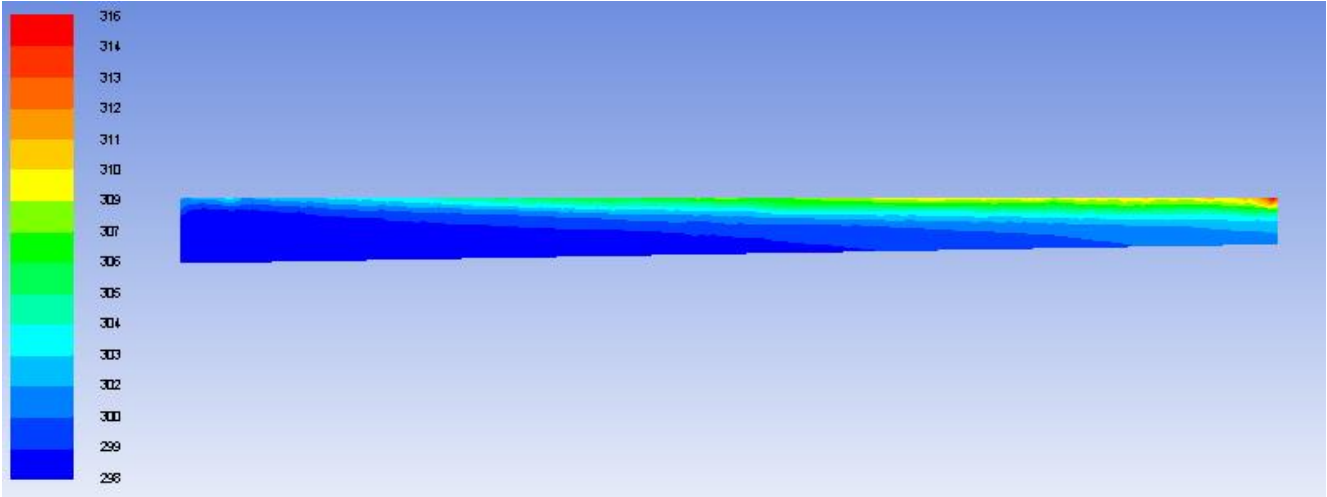


Figura 0-9 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°

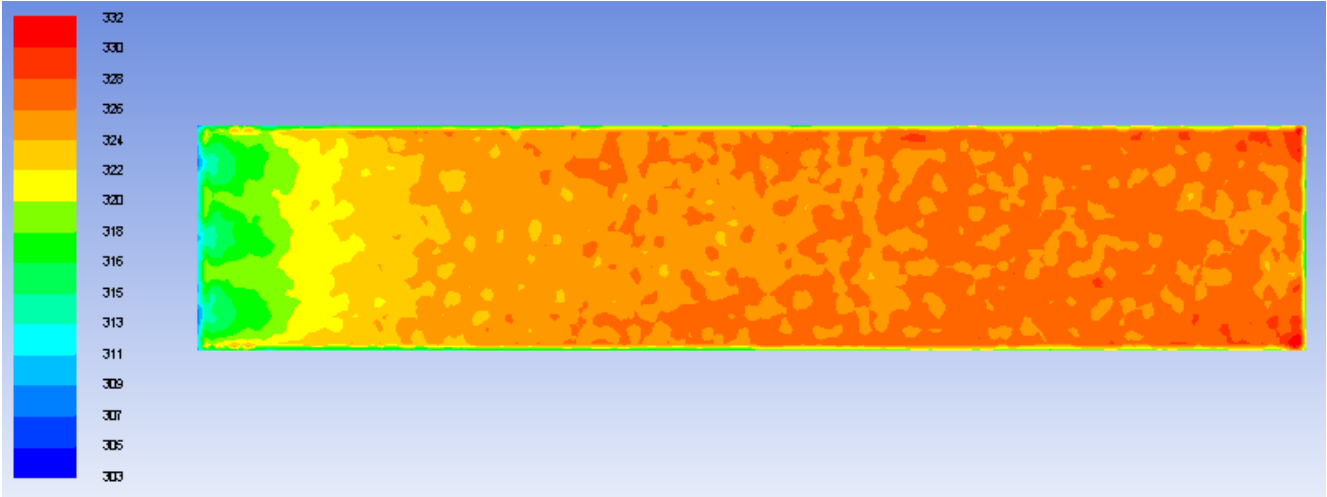


Figura 0-10 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°

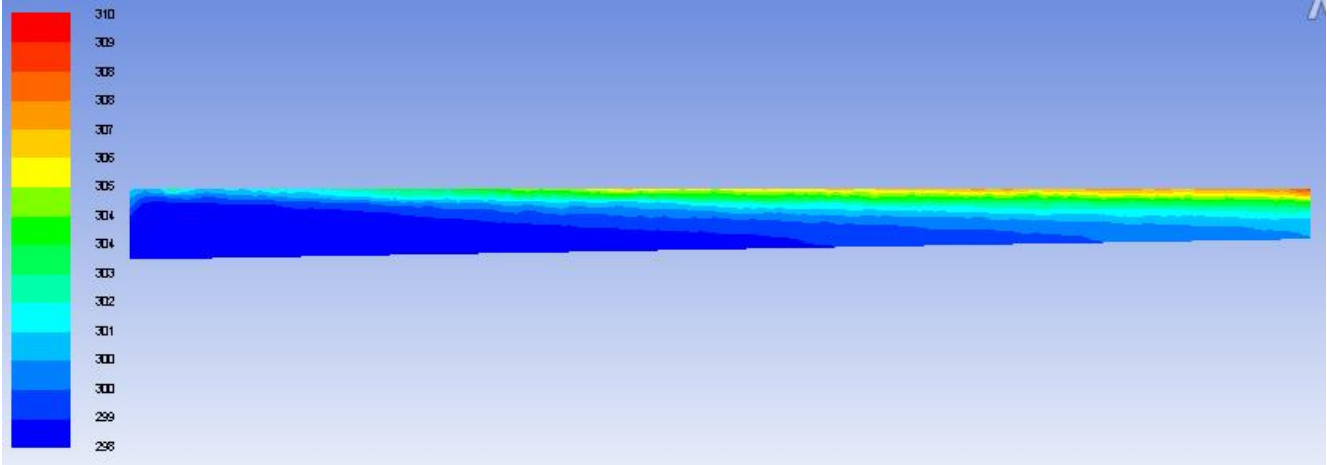


Figura 0-11 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1°

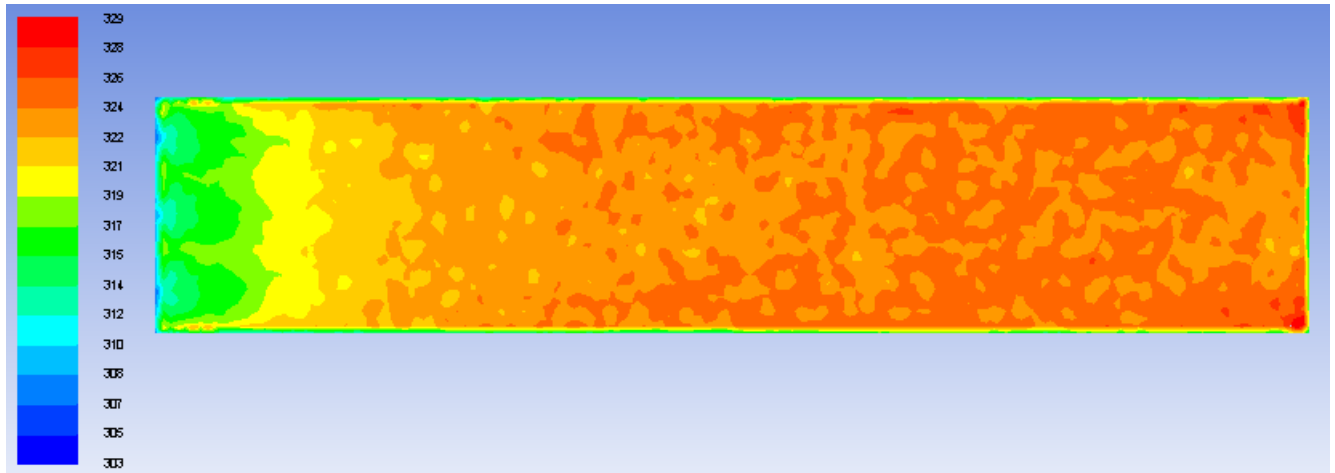


Figura 0-12 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1°

6.3.2 Carcasa de con cambio geométrico de 1,5°.

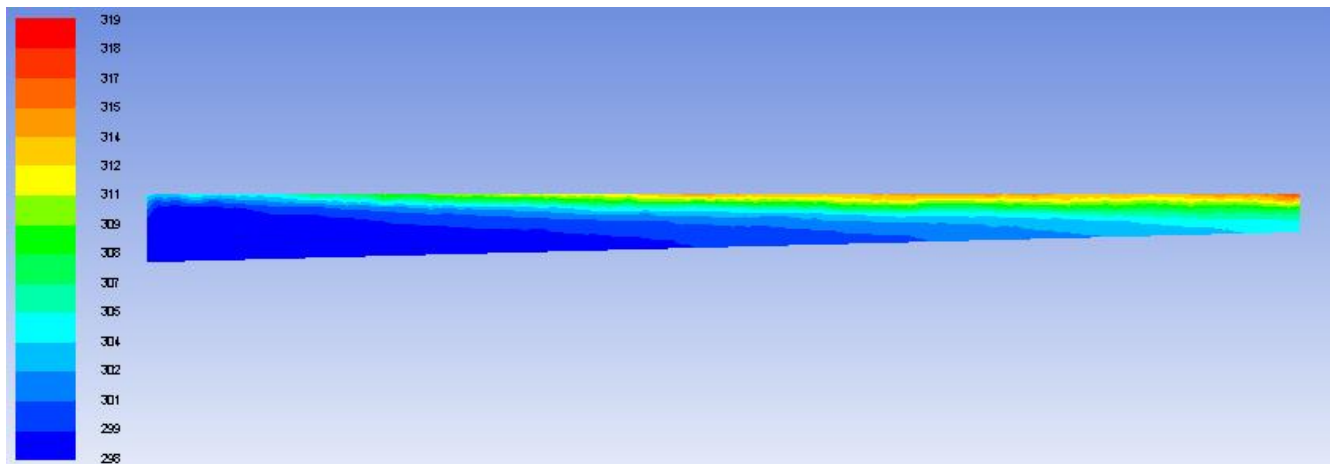


Figura 0-13 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°

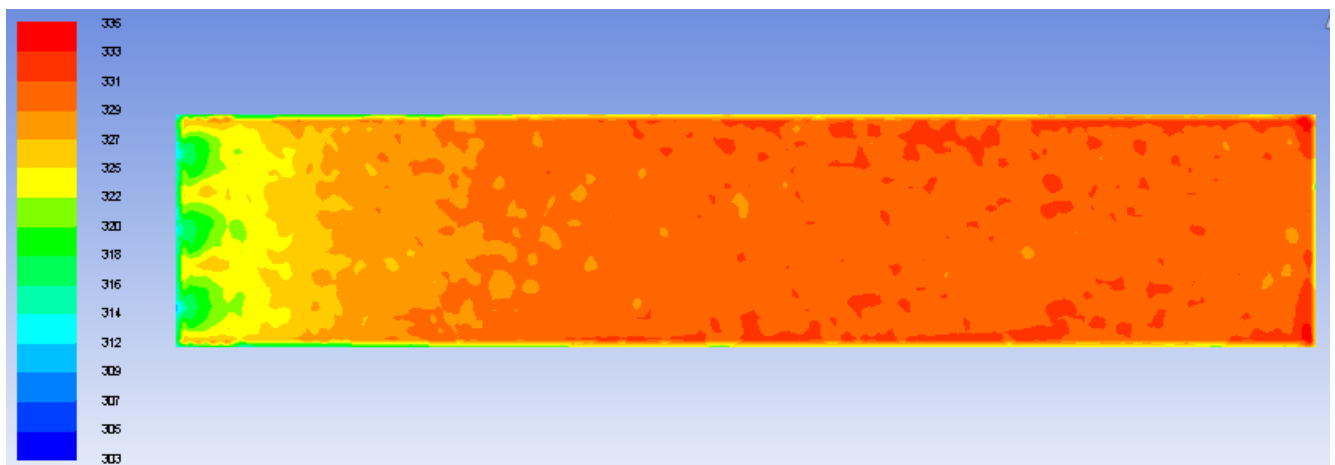


Figura 0-14 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°

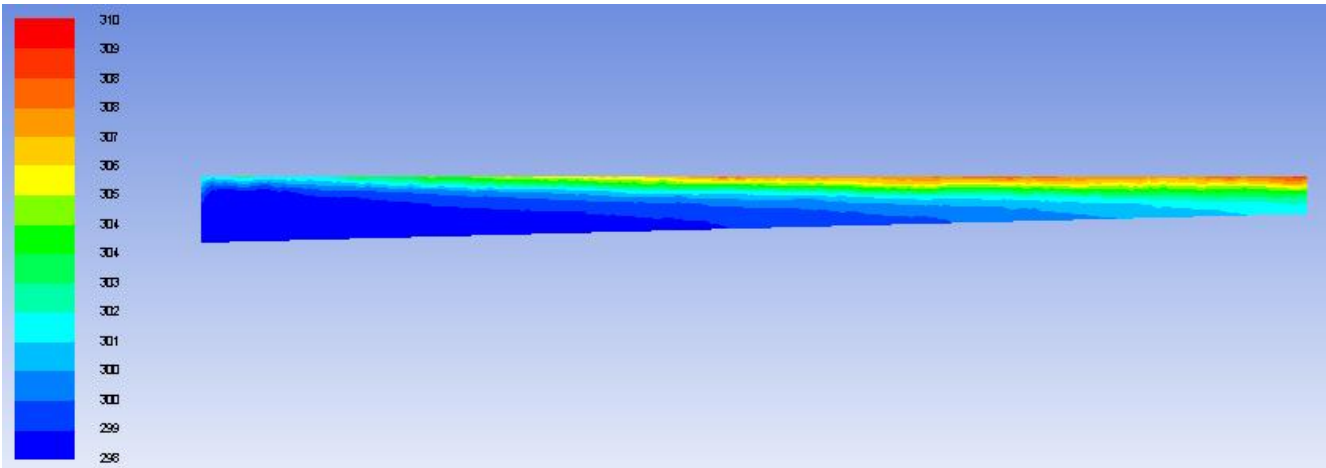


Figura 0-15 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°

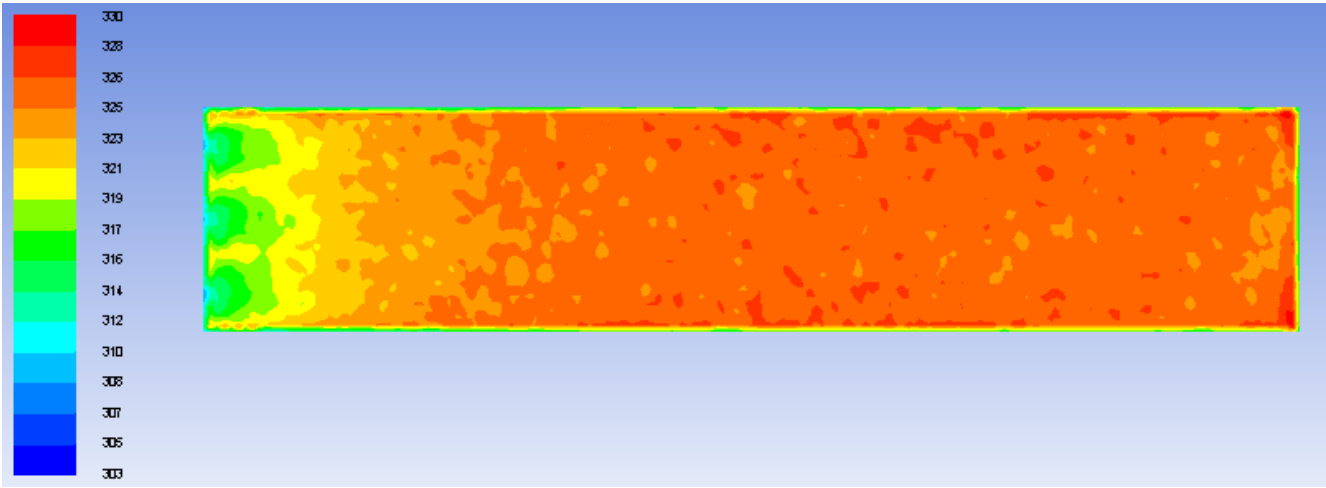


Figura 0-16 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°

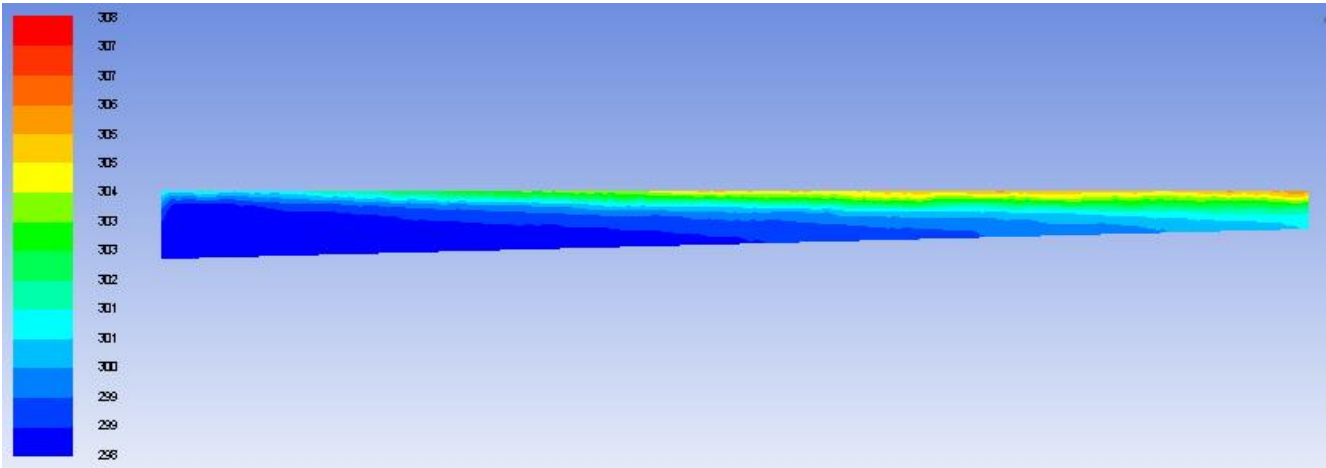


Figura 0-17 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1,5°

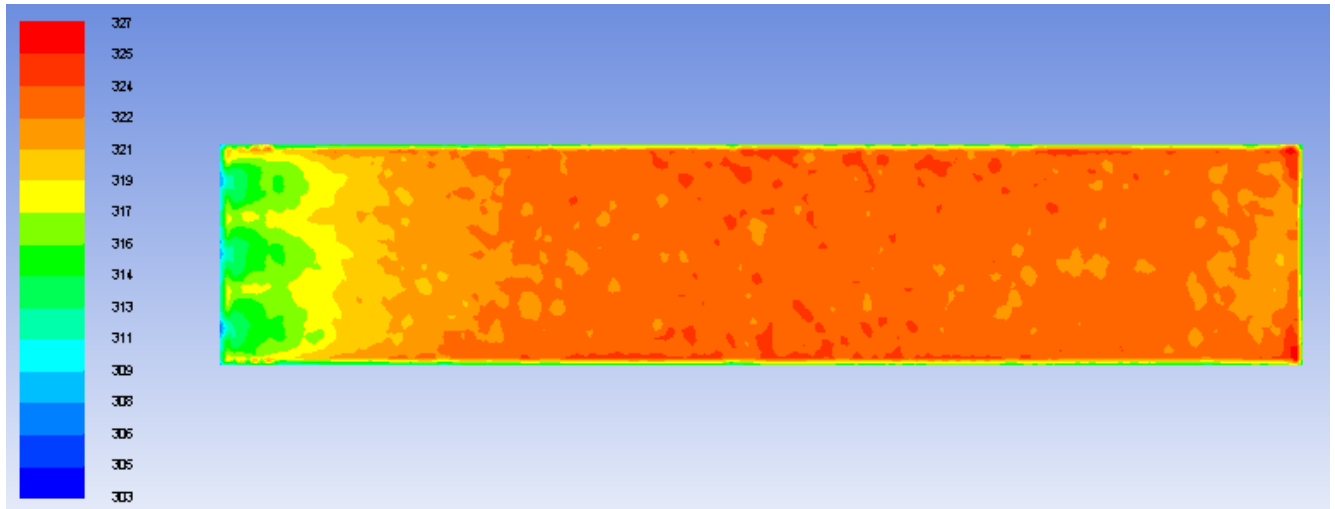


Figura 0-18 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 1,5°

6.3.3 Carcasa de con cambio geométrico de 2°.

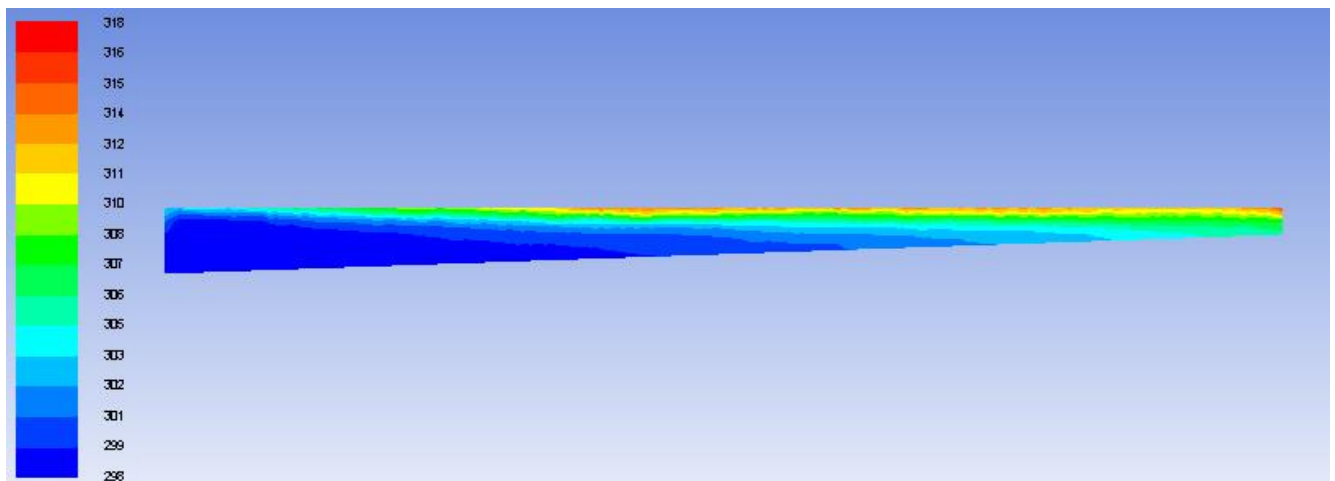


Figura 0-19 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°

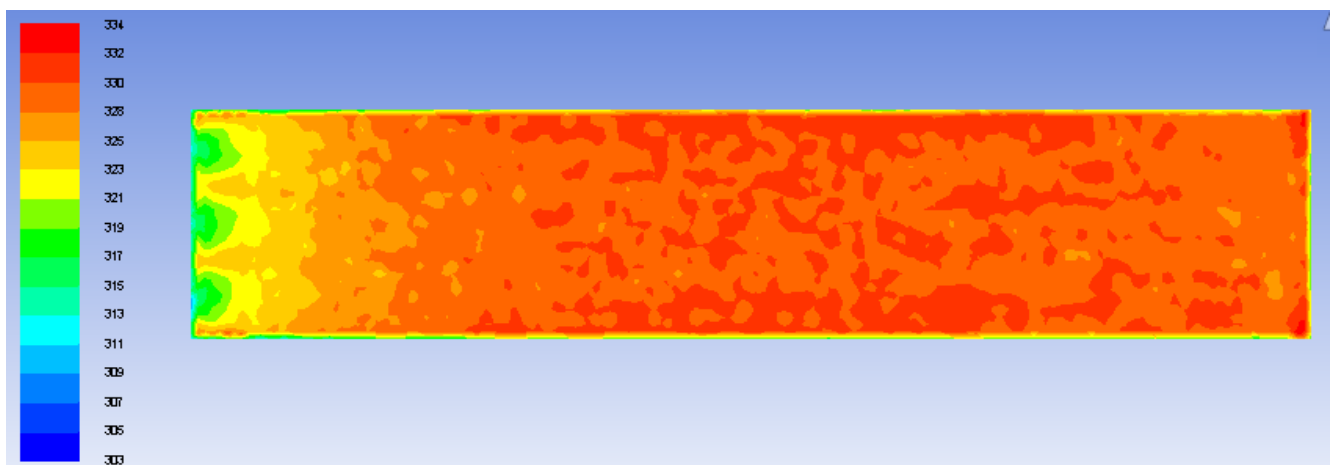


Figura 0-20 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°

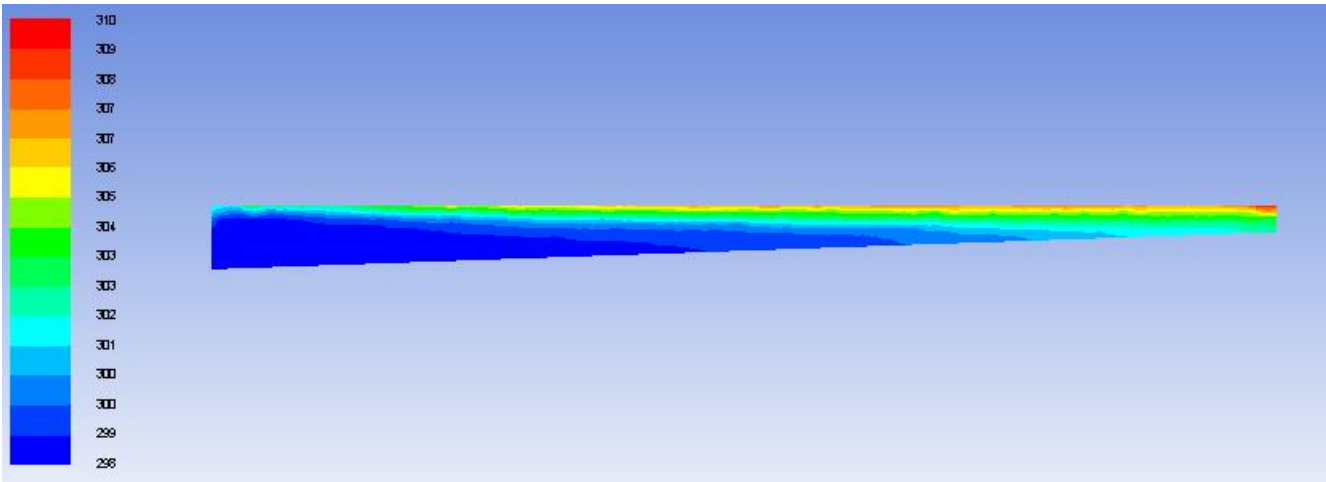


Figura 0-21 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°

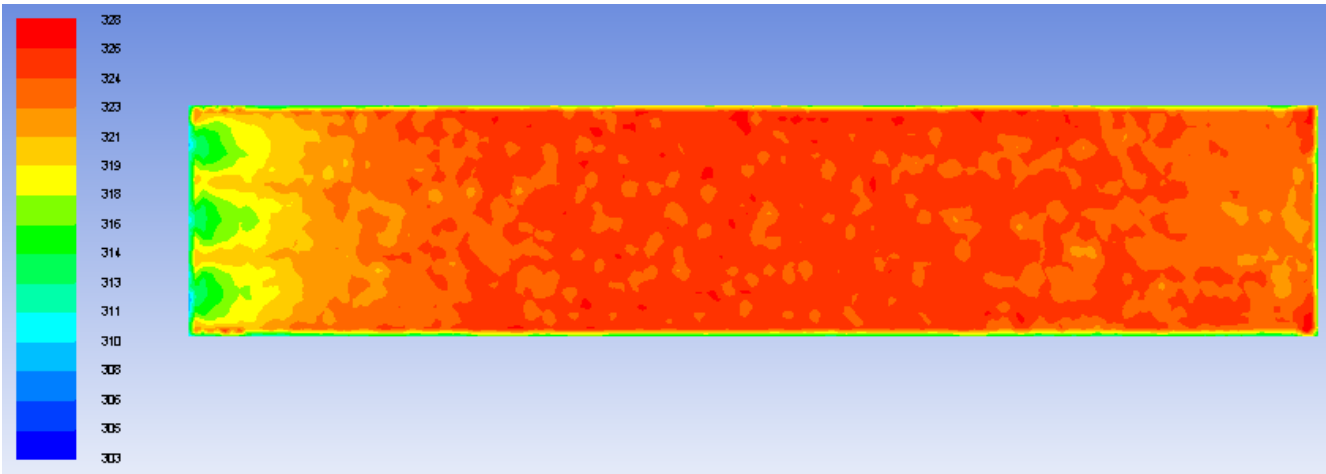


Figura 0-22 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°

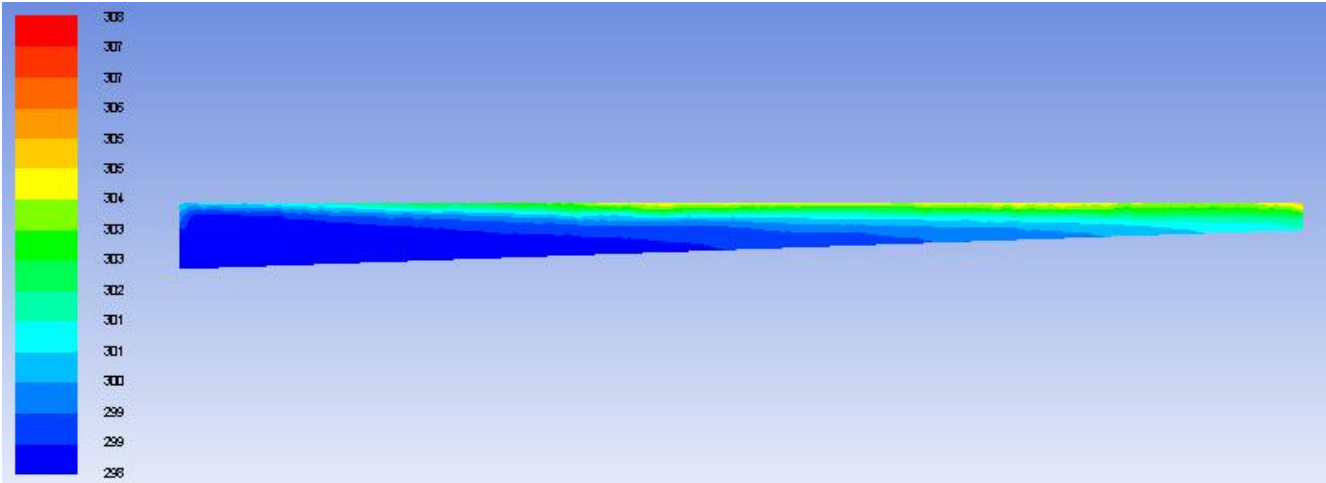


Figura 0-23 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2°

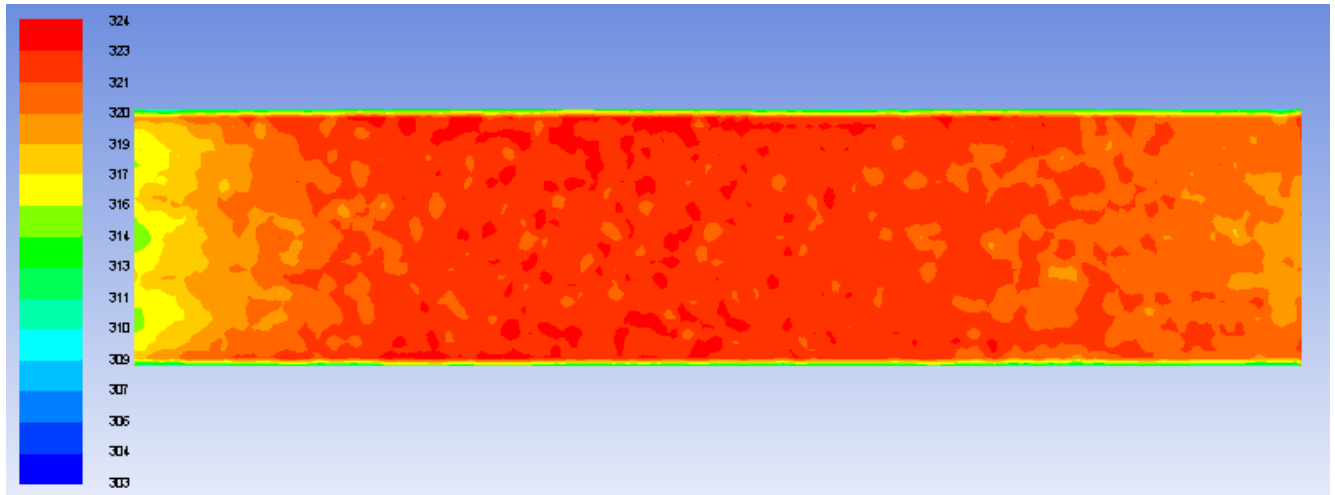


Figura 0-24 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2°

6.3.4 Carcasa de con cambio geométrico de 2,5°.

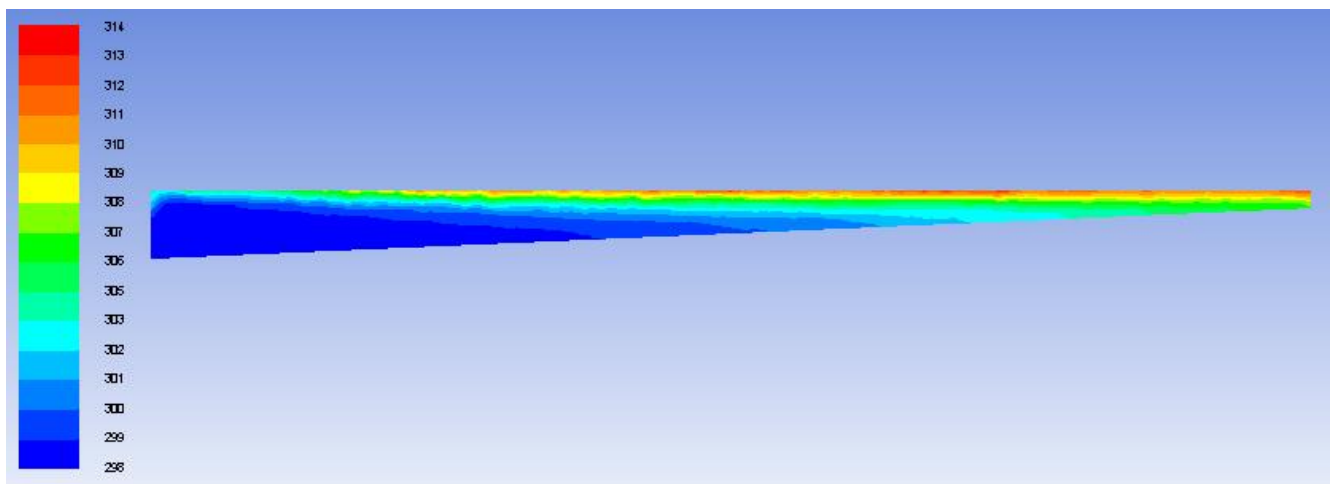


Figura 0-25 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2,5°

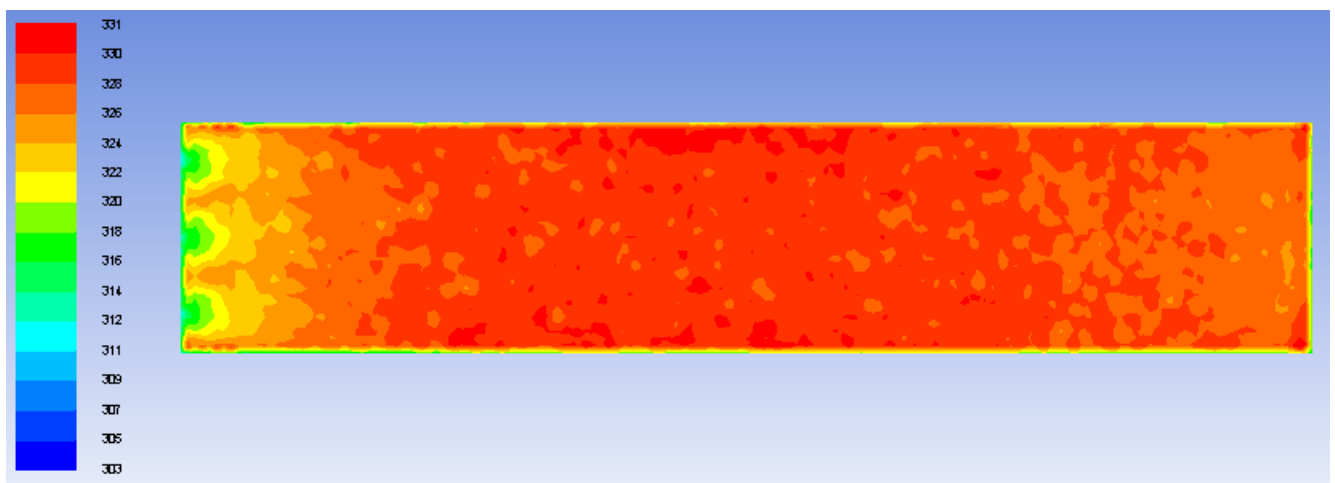


Figura 0-26 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2,5°

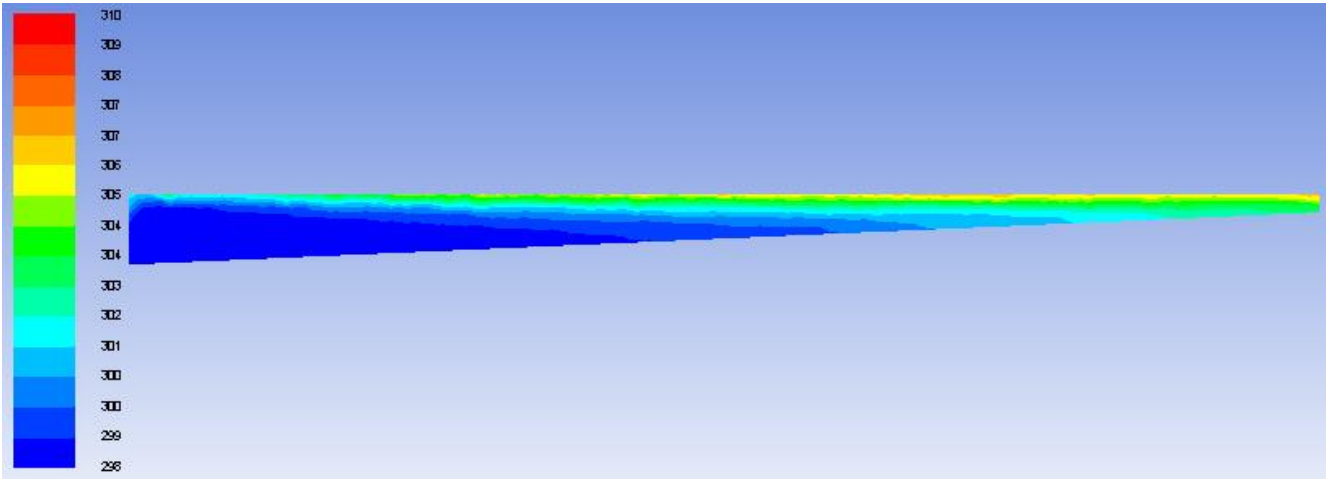


Figura 0-27 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2,5°

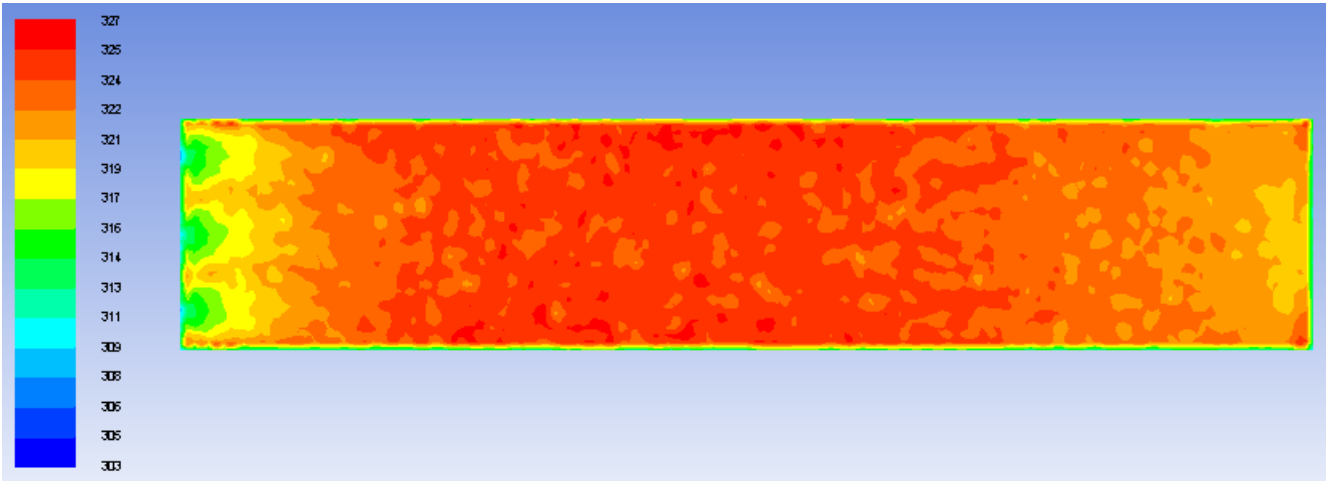


Figura 0-28 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2,5°

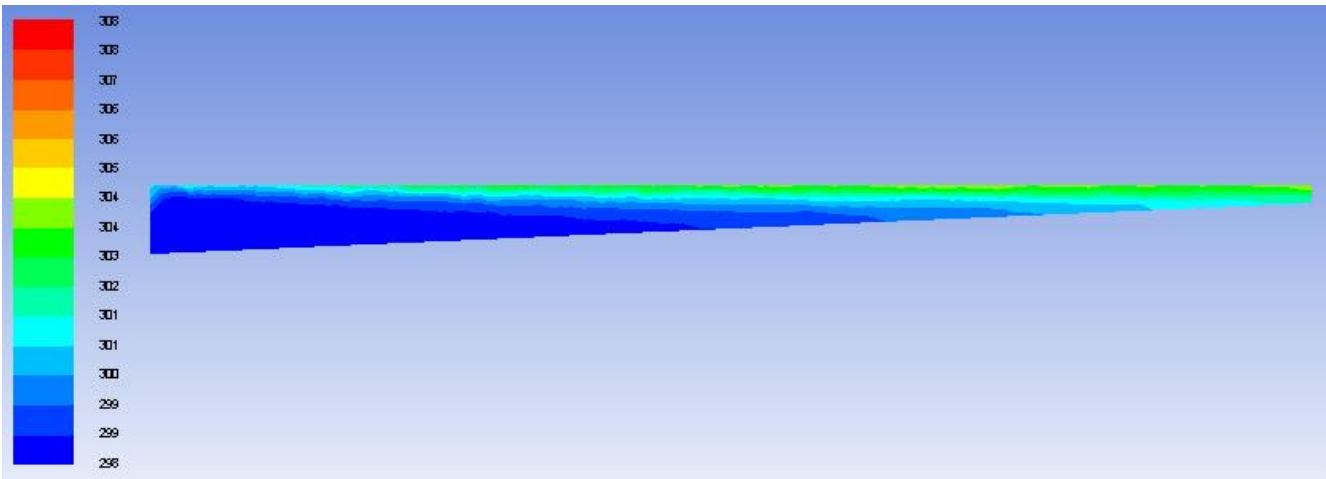


Figura 0-29 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2,5°

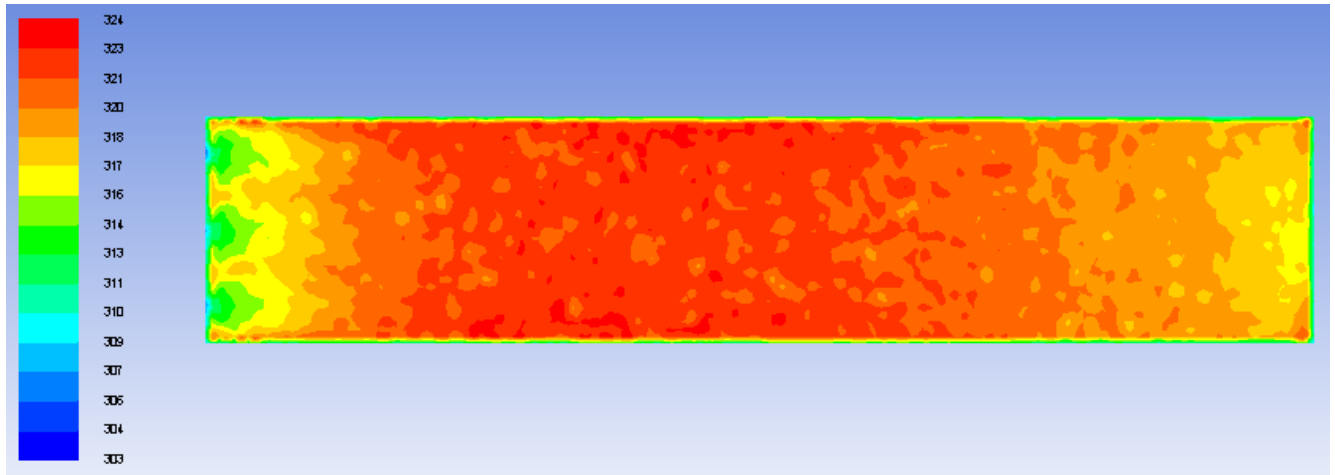


Figura 0-30 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 2,5°

6.3.5 Carcasa de con cambio geométrico de 3°.

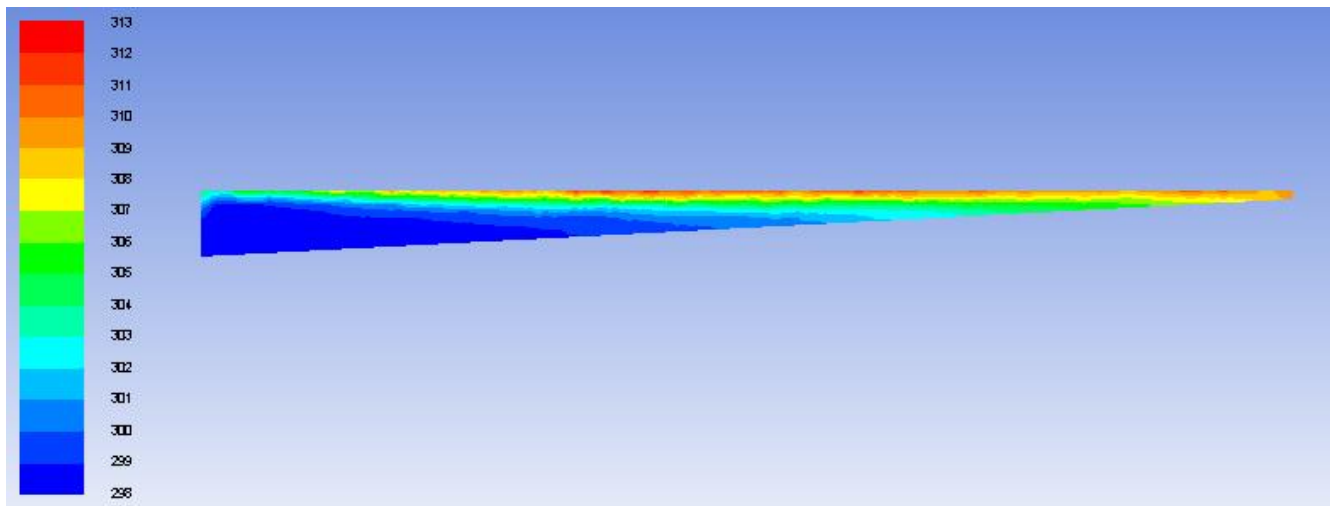


Figura 0-31 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 3°

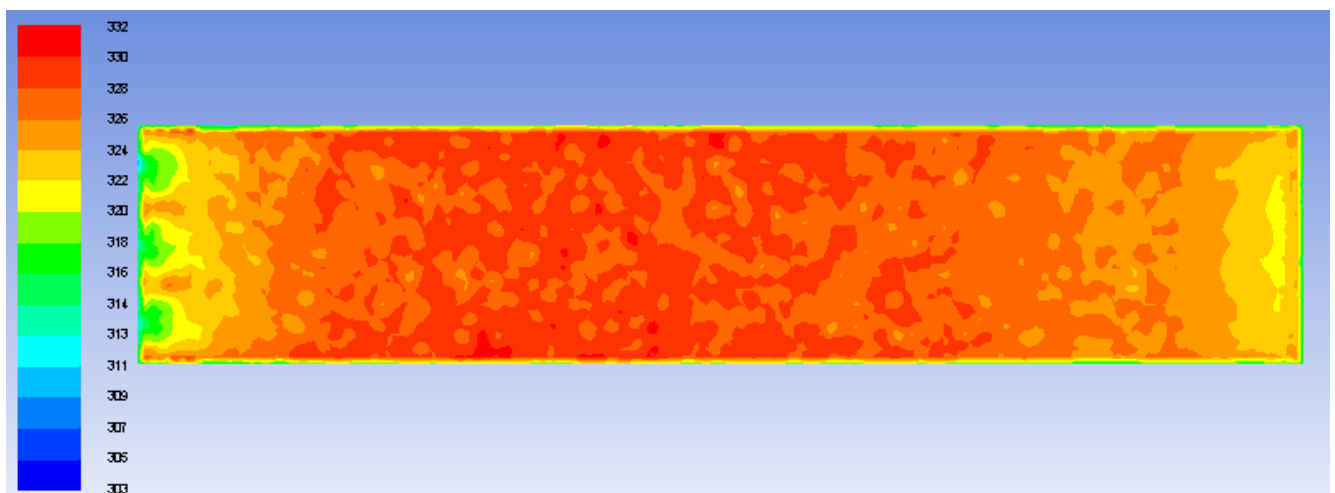


Figura 0-32 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 3°

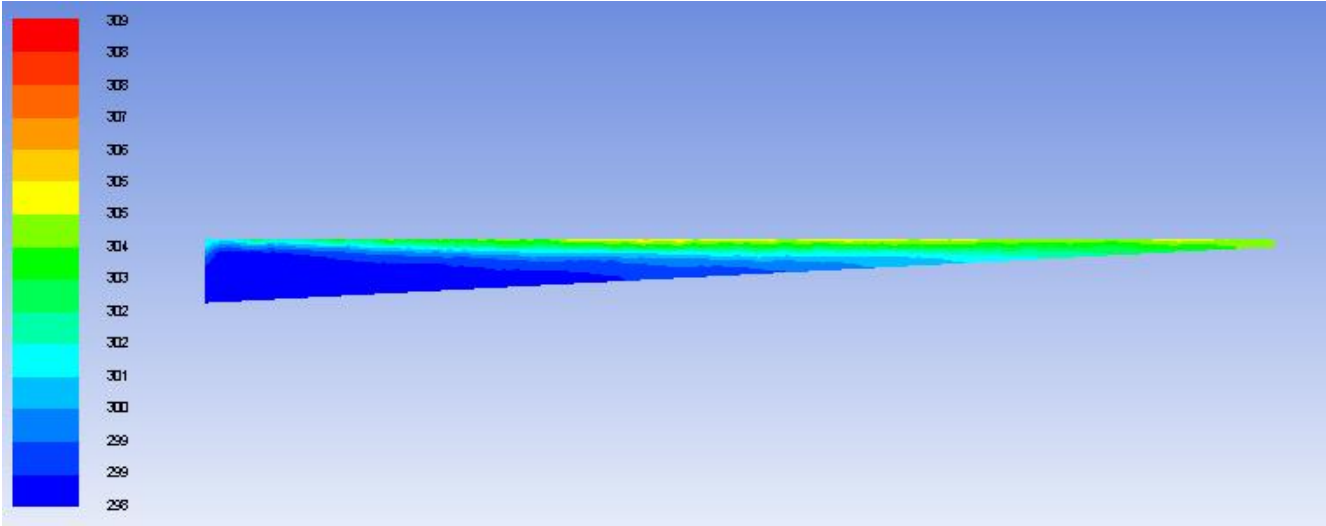


Figura 0-33 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 3°

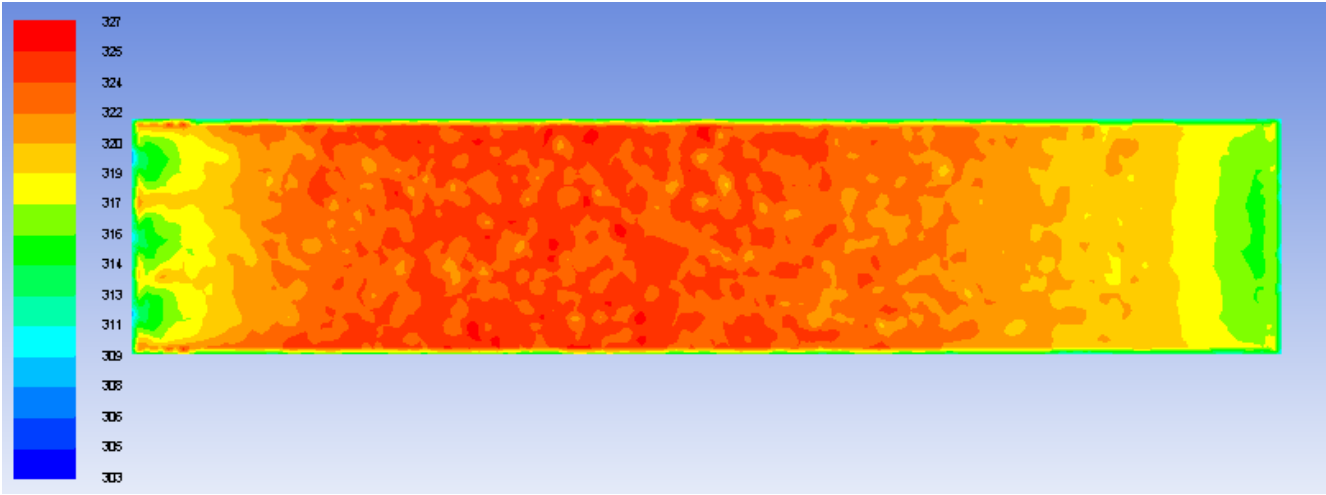


Figura 0-34 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 3°

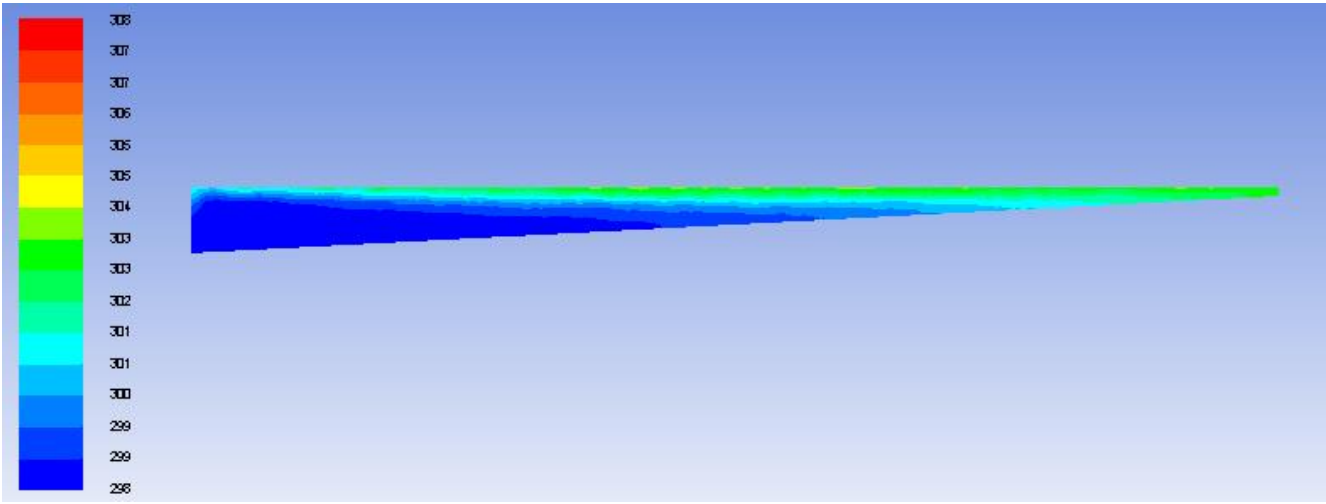


Figura 0-35 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.0465kg/s y 3°

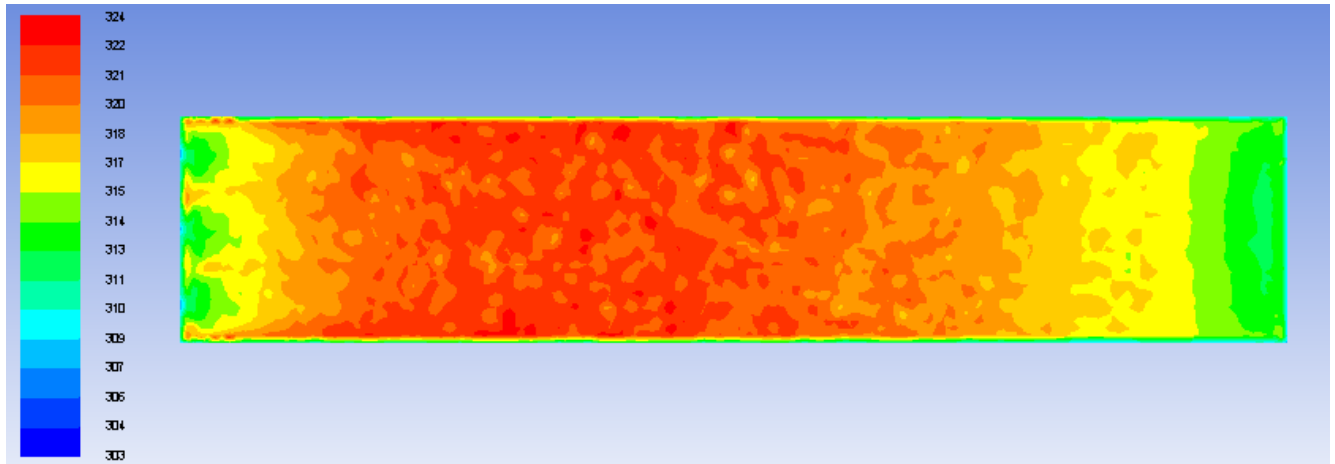


Figura 0-36 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.0465kg/s y 3°

6.4 Distribución de temperaturas en el los paneles y en el interior del refrigerador de la 3ª iteración.

Las siguientes imágenes corresponden todas con una carcasa de 5 ventiladores de 60mm en la que se ha variado la geometría y el flujo másico.

6.4.1 Carcasa de con cambio geométrico de 0,5°.

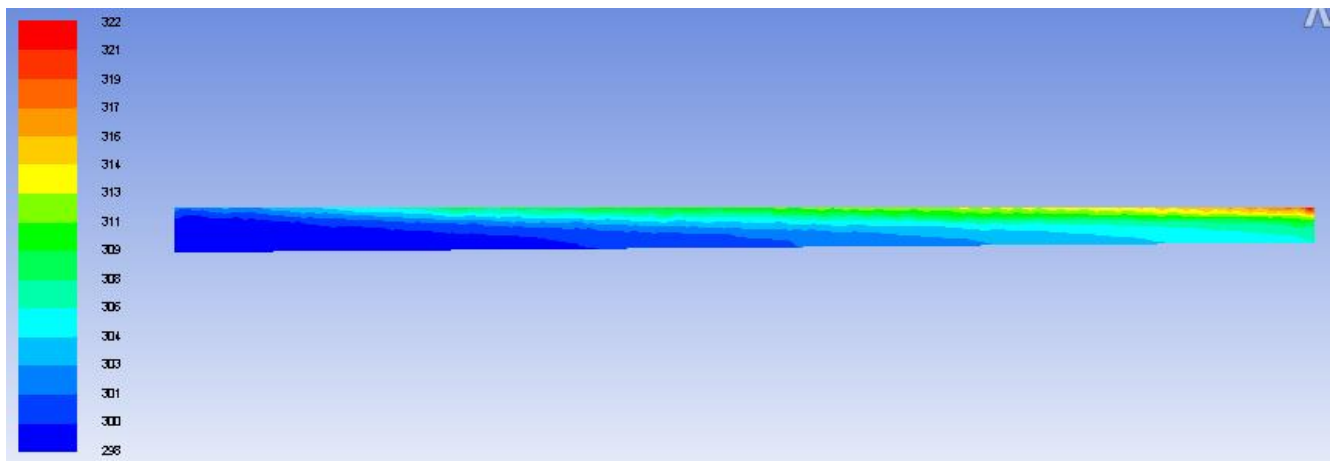


Figura 0-37 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 0,5°

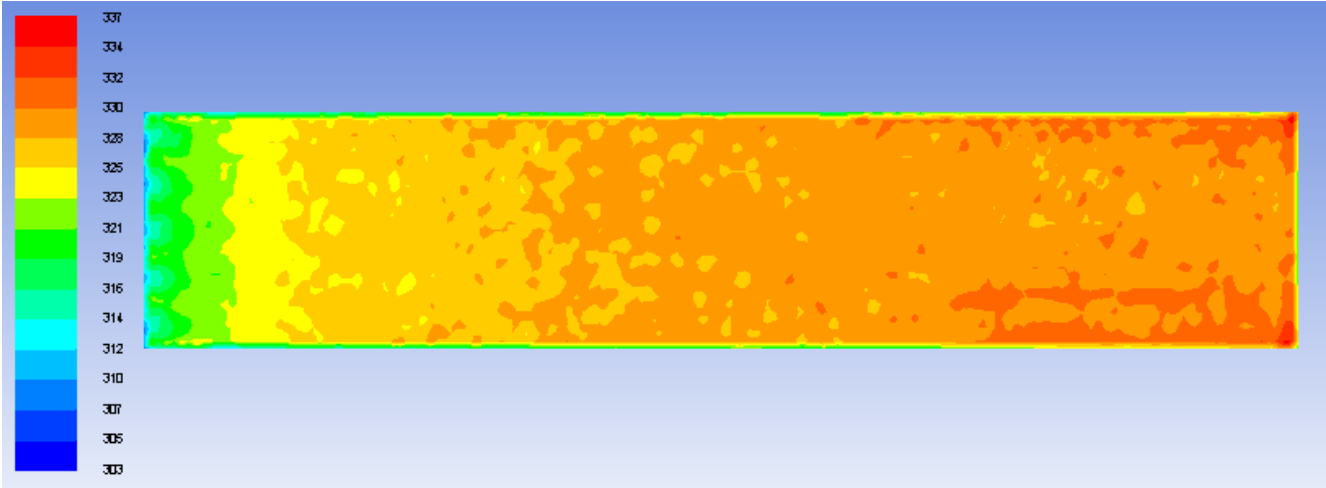


Figura 0-38 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 0,5°

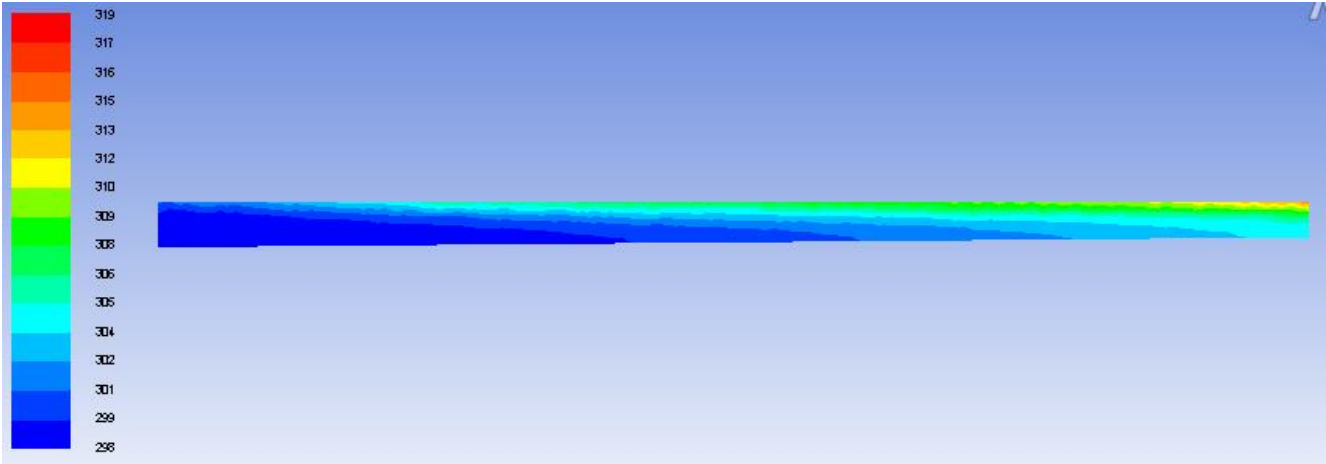


Figura 0-39 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 0,5°

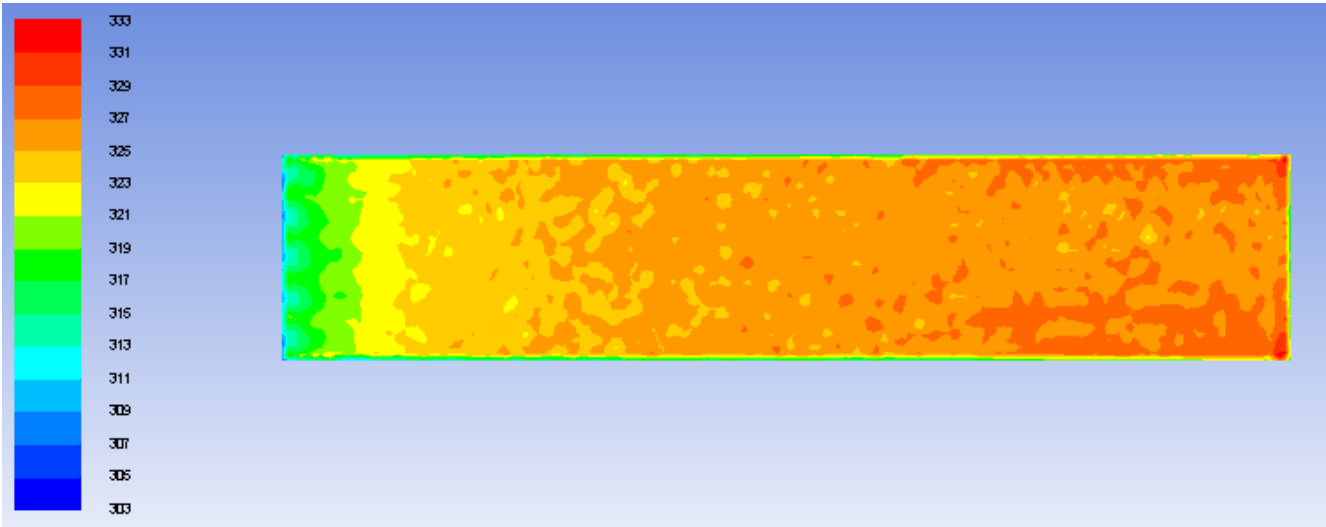


Figura 0-40 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 0,5°

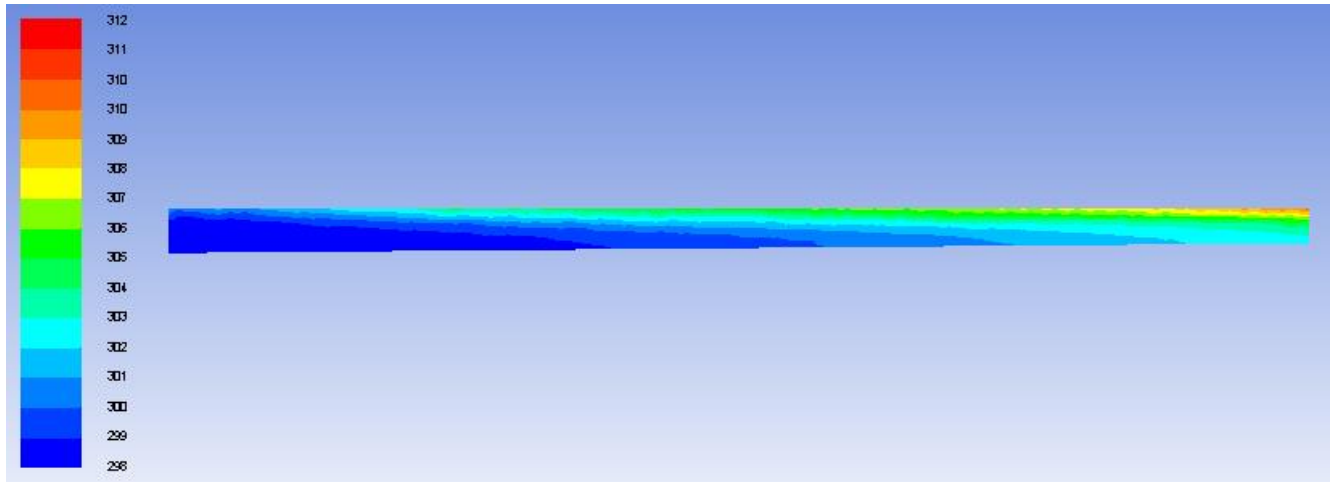


Figura 0-41 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y $0,5^\circ$

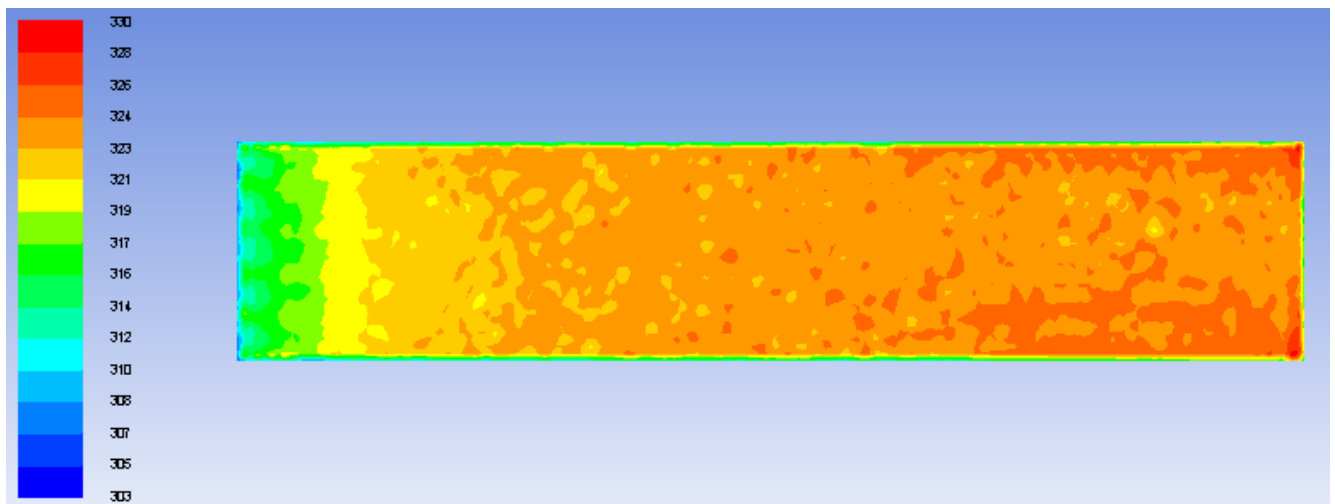


Figura 0-42 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y $0,5^\circ$

6.4.2 Carcasa de con cambio geométrico de 1° .

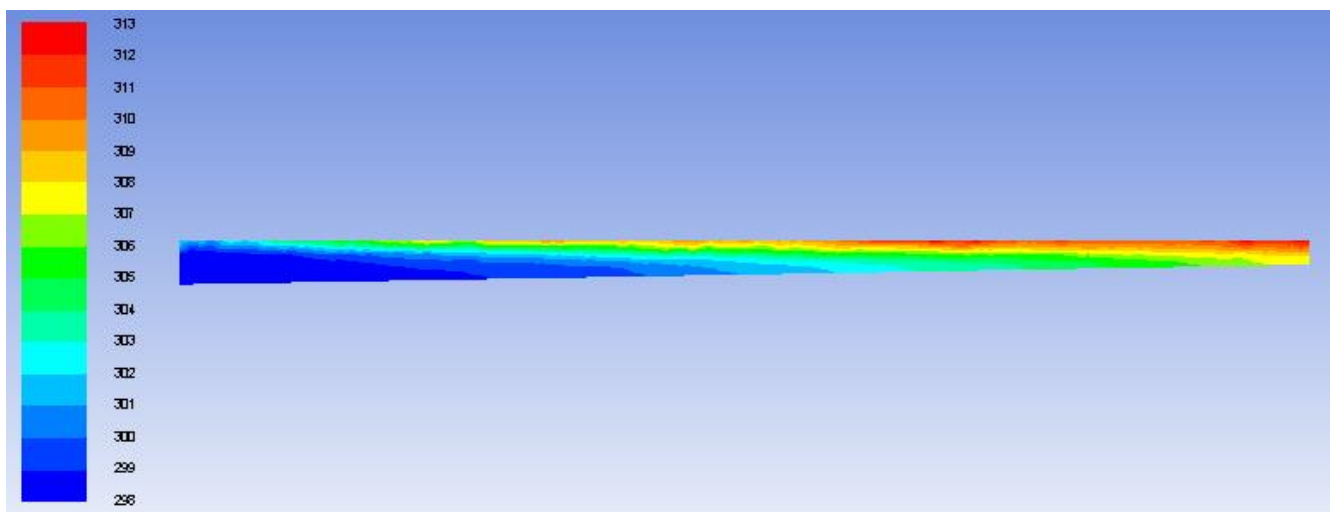


Figura 0-43 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°

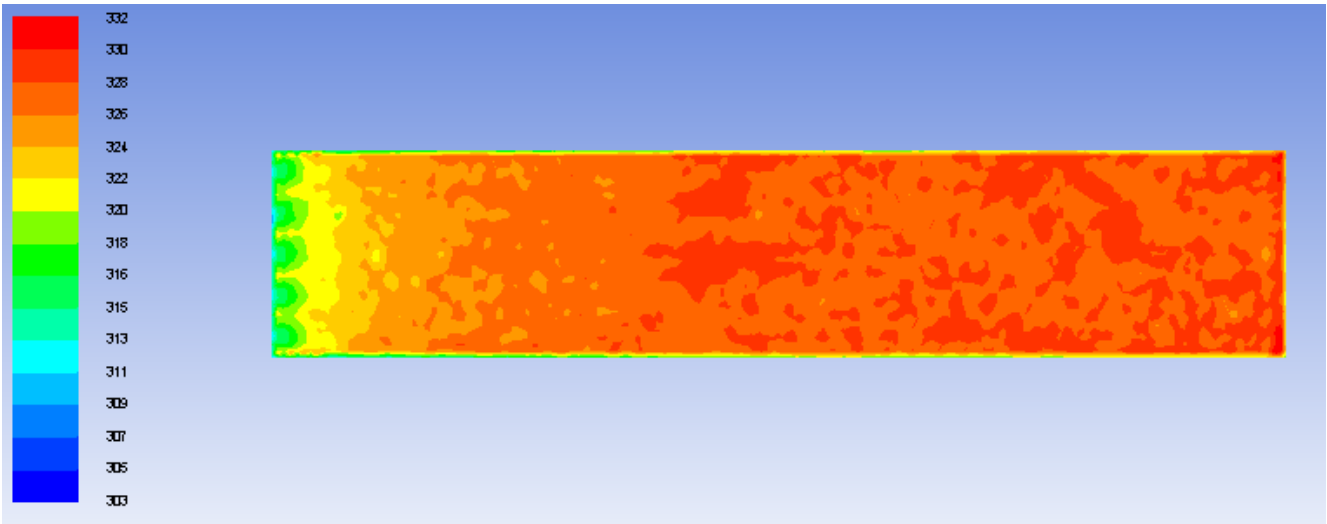


Figura 0-44 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1°

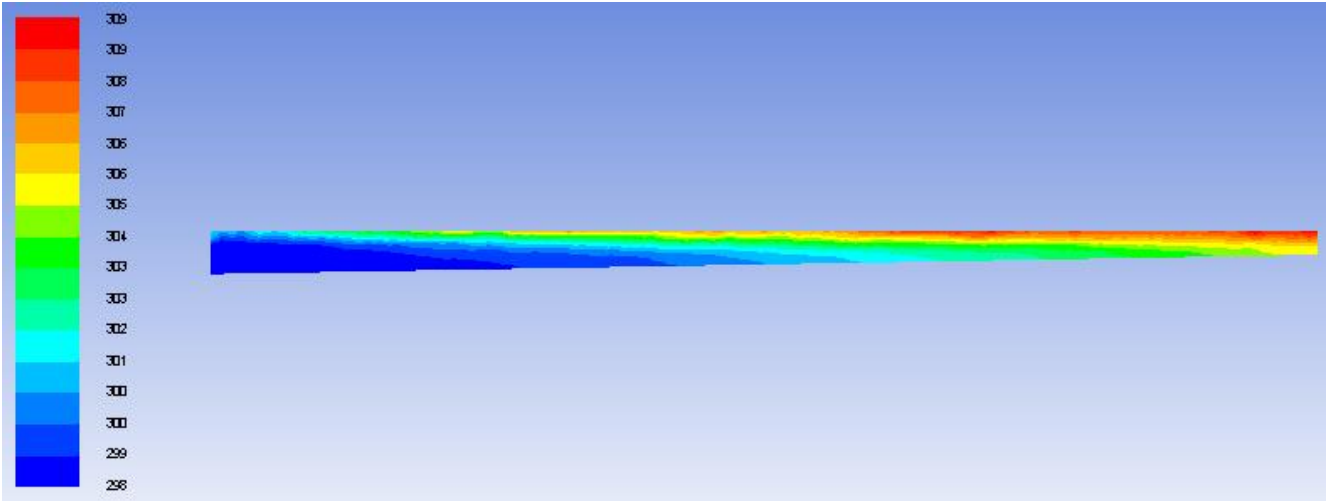


Figura 0-45 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 1°

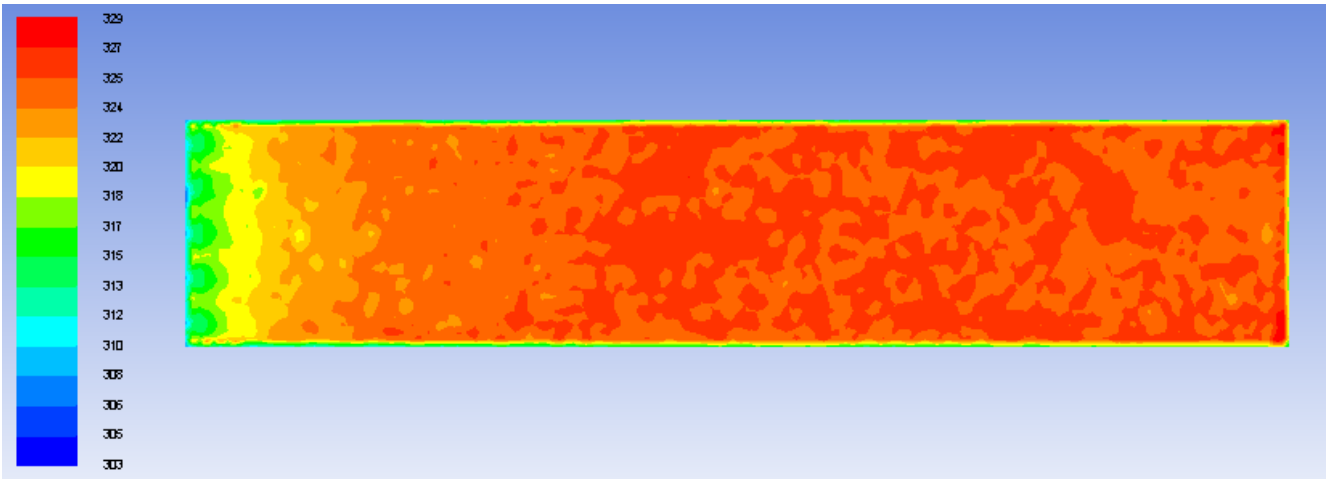


Figura 0-46 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 1°

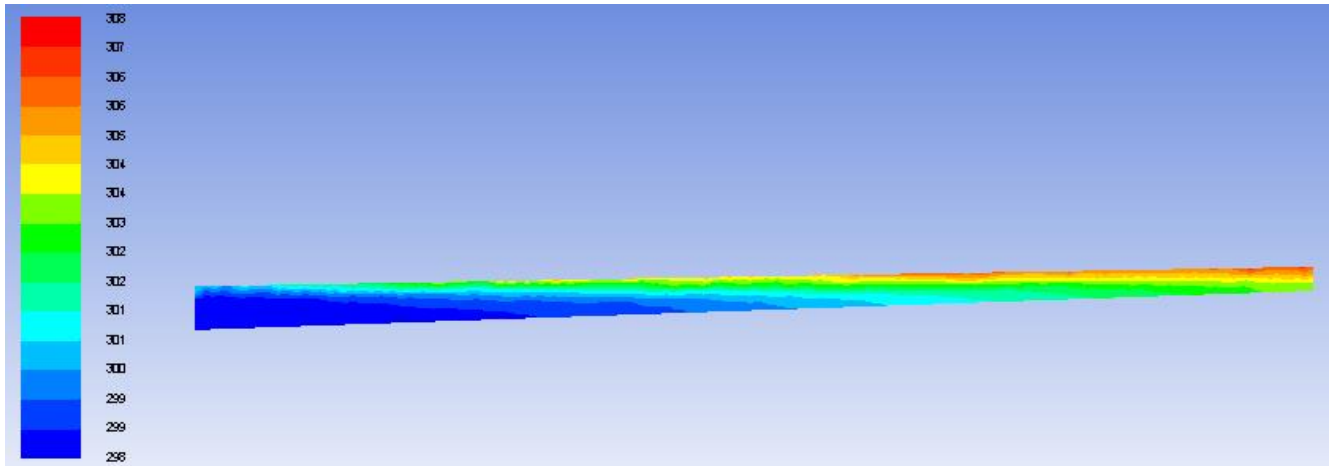


Figura 0-47 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°

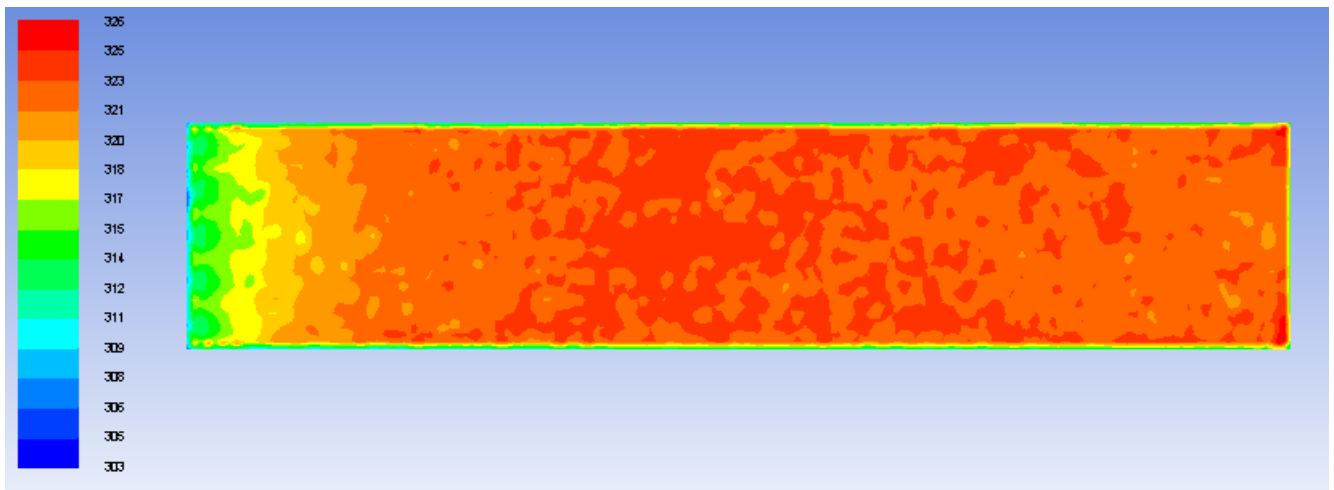


Figura 0-48 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1°

6.4.3 Carcasa de con cambio geométrico de 1,5°.

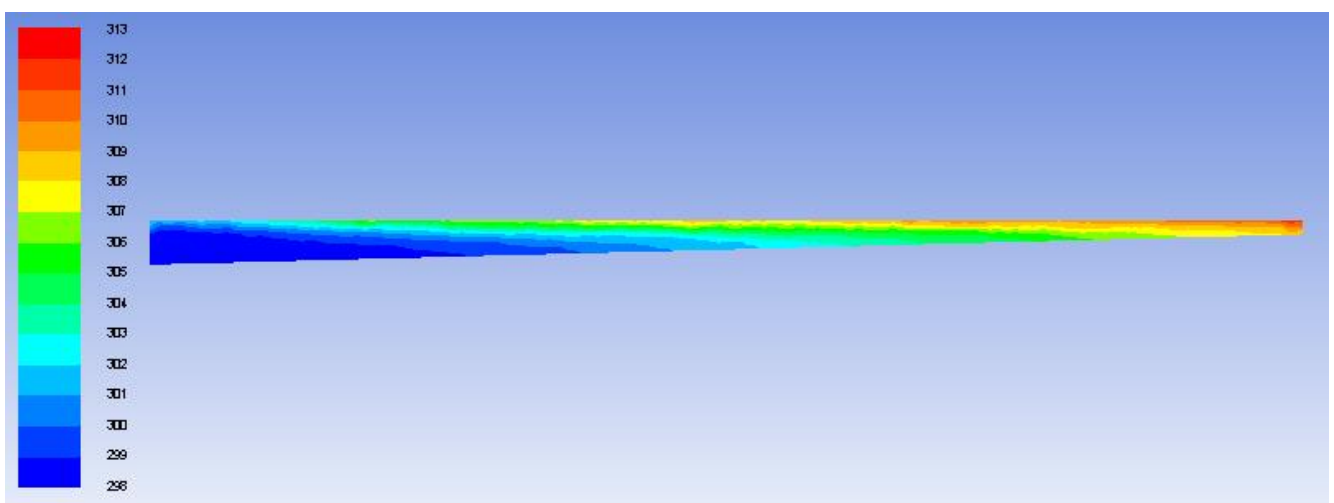


Figura 0-49 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°

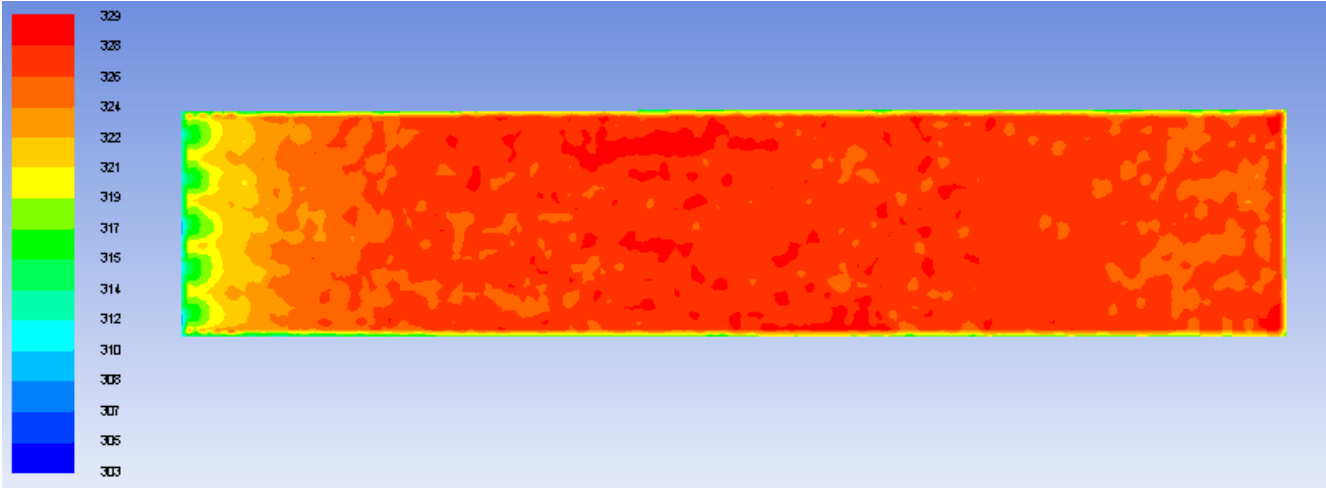


Figura 0-50 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 1,5°

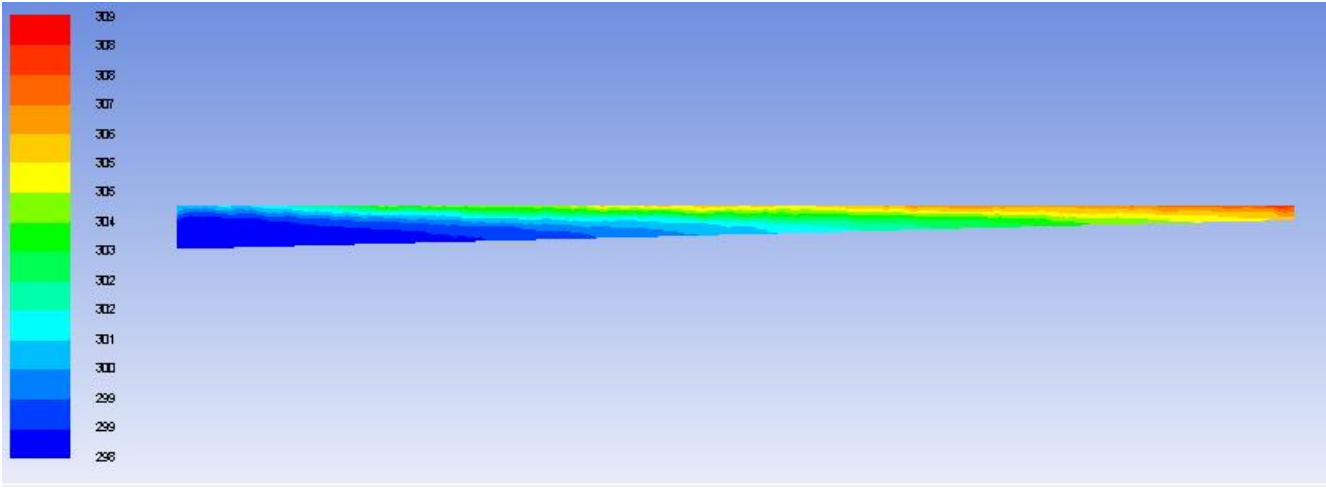


Figura 0-51 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 1,5°

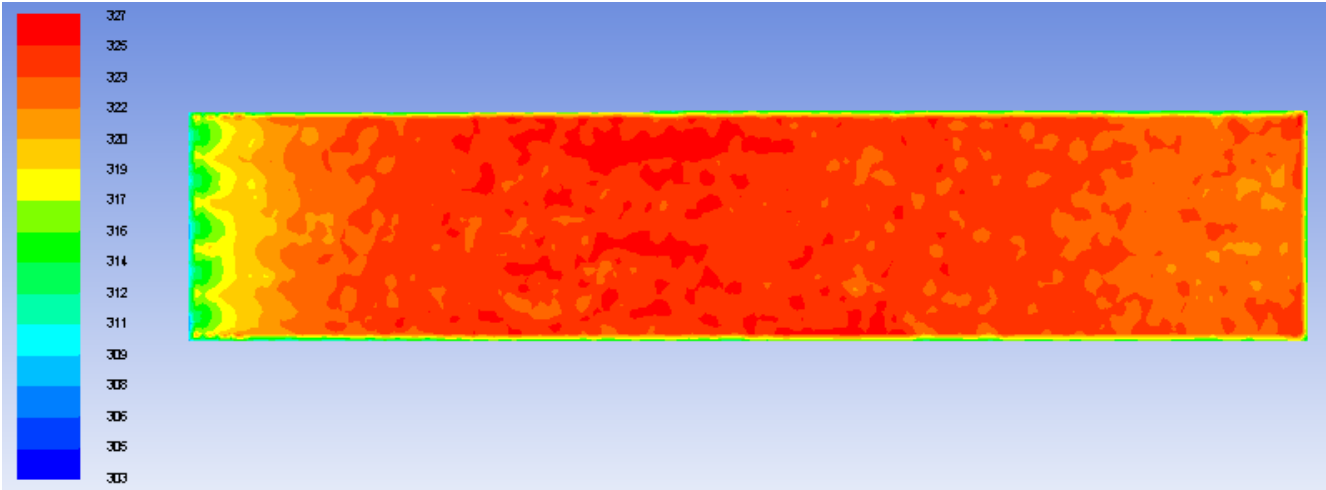


Figura 0-52 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 1,5°

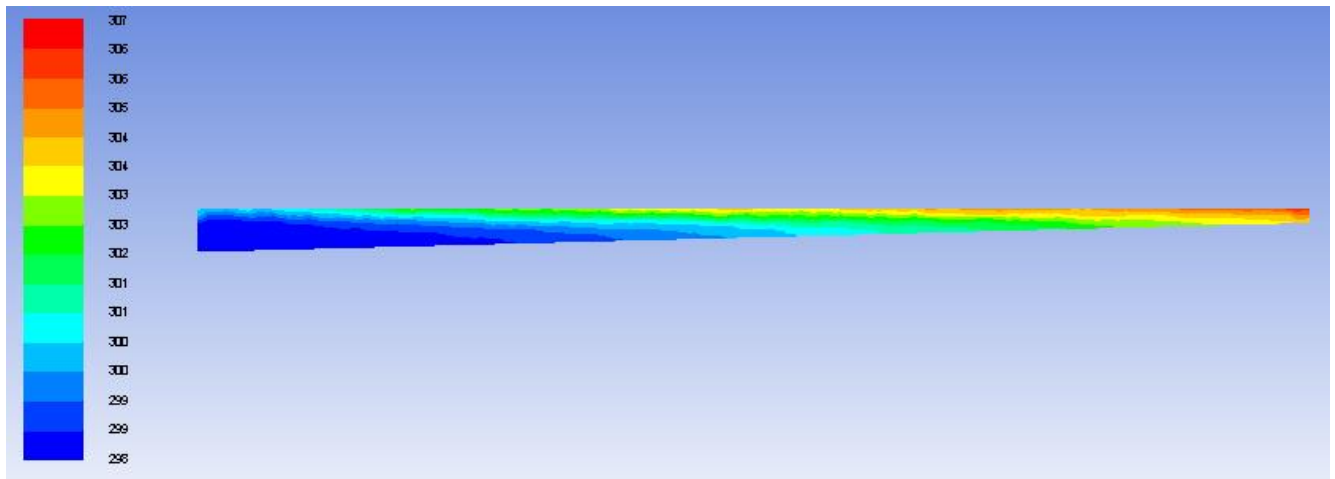


Figura 0-53 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°

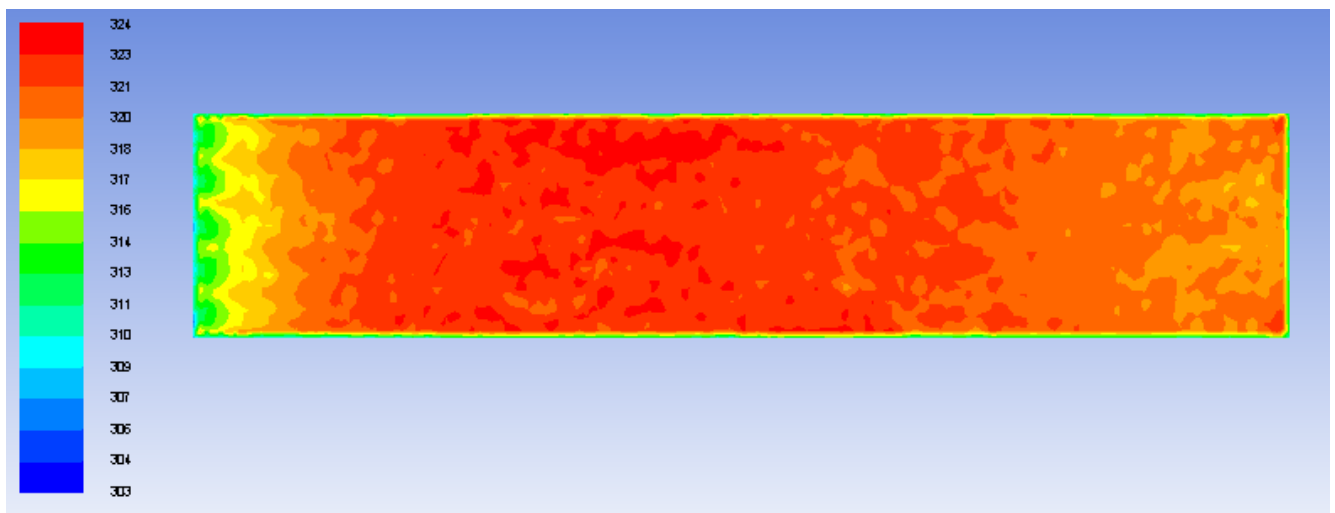


Figura 0-54 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 1,5°

6.4.4 Carcasa de con cambio geométrico de 2°.

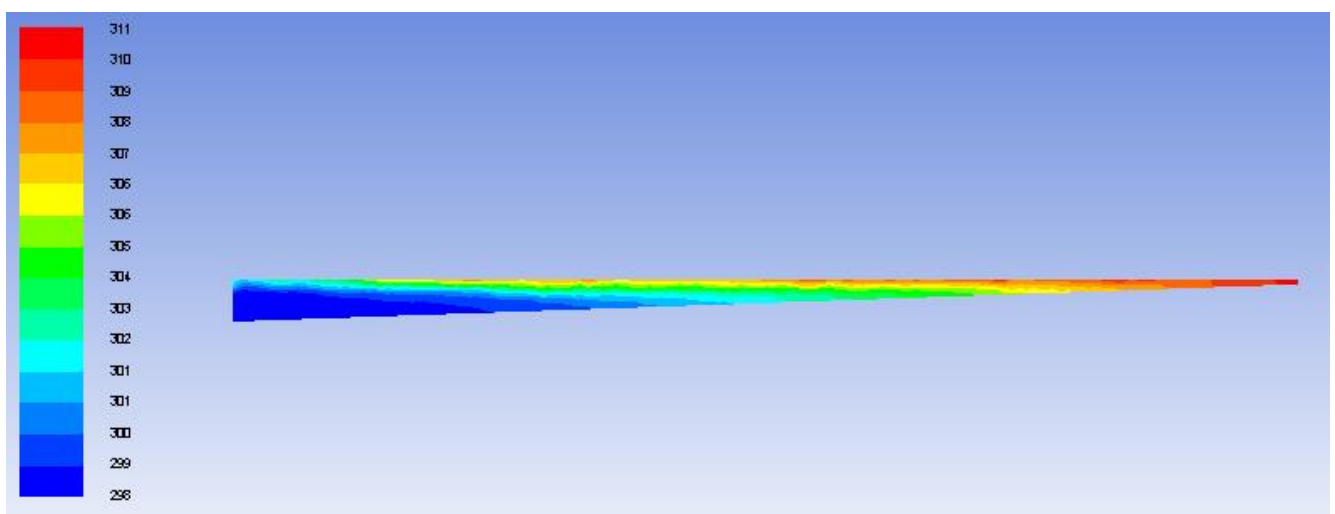


Figura 0-55 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°

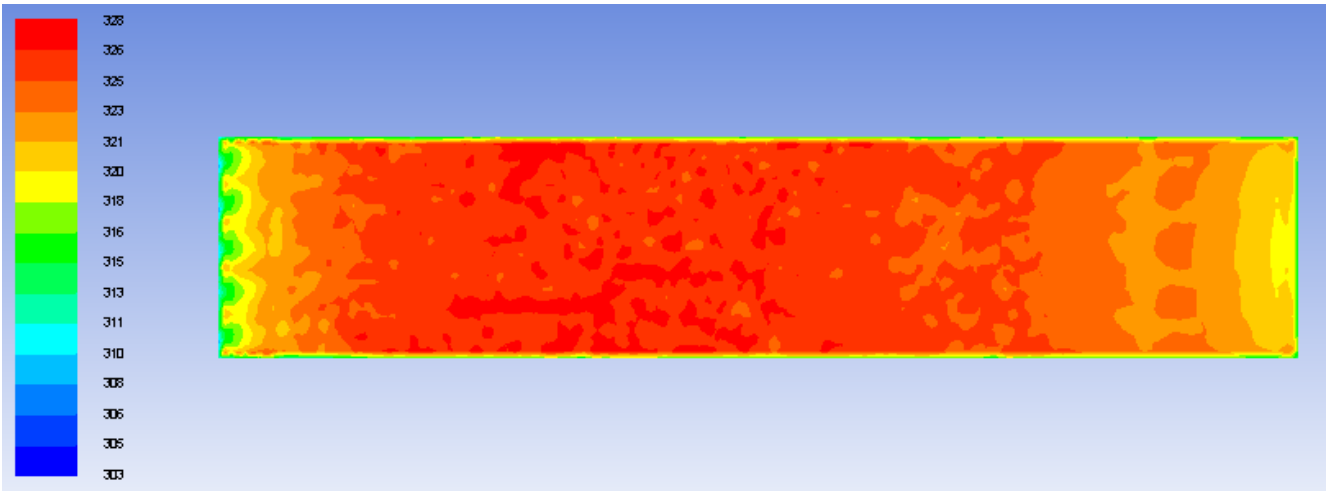


Figura 0-56 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.015kg/s y 2°

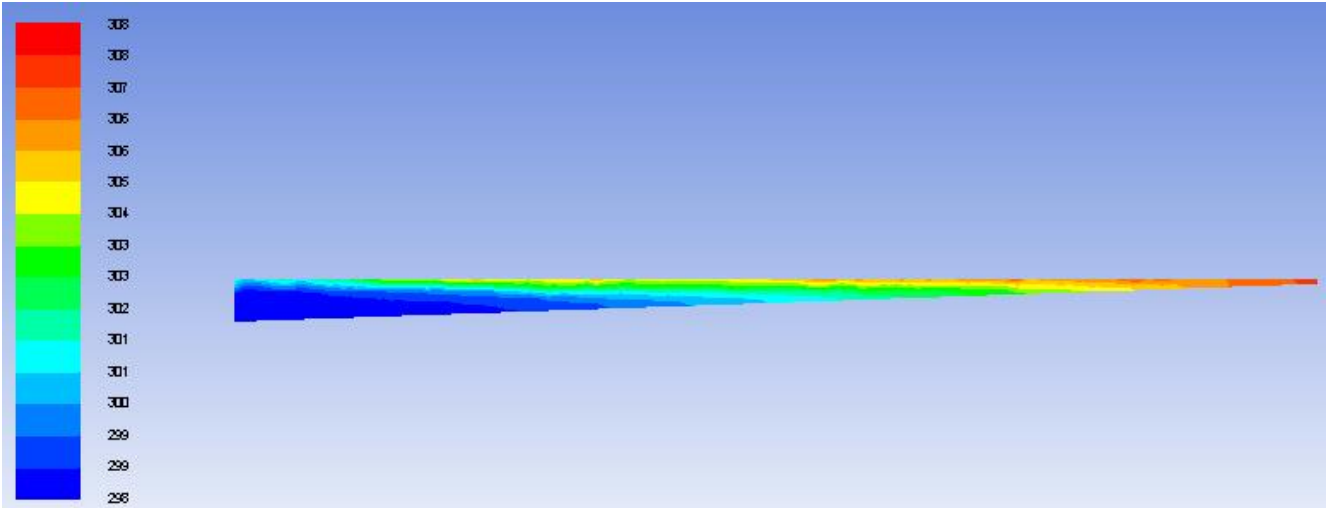


Figura 0-57 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.022kg/s y 2°

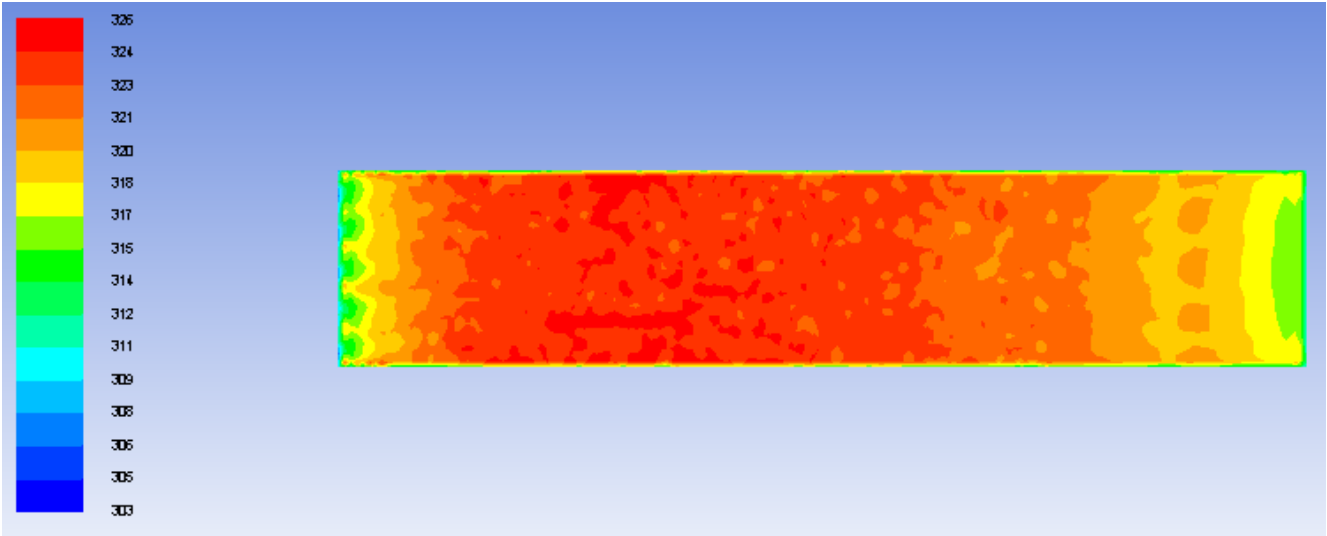


Figura 0-58 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.022kg/s y 2°

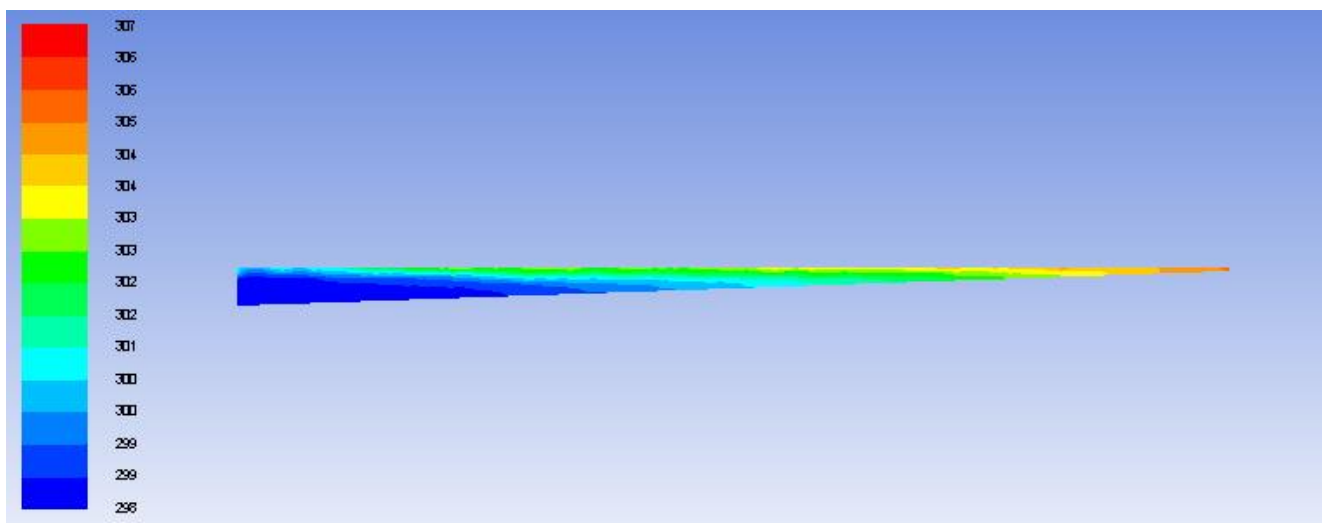


Figura 0-59 Distribución de temperaturas en el interior del refrigerador para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°

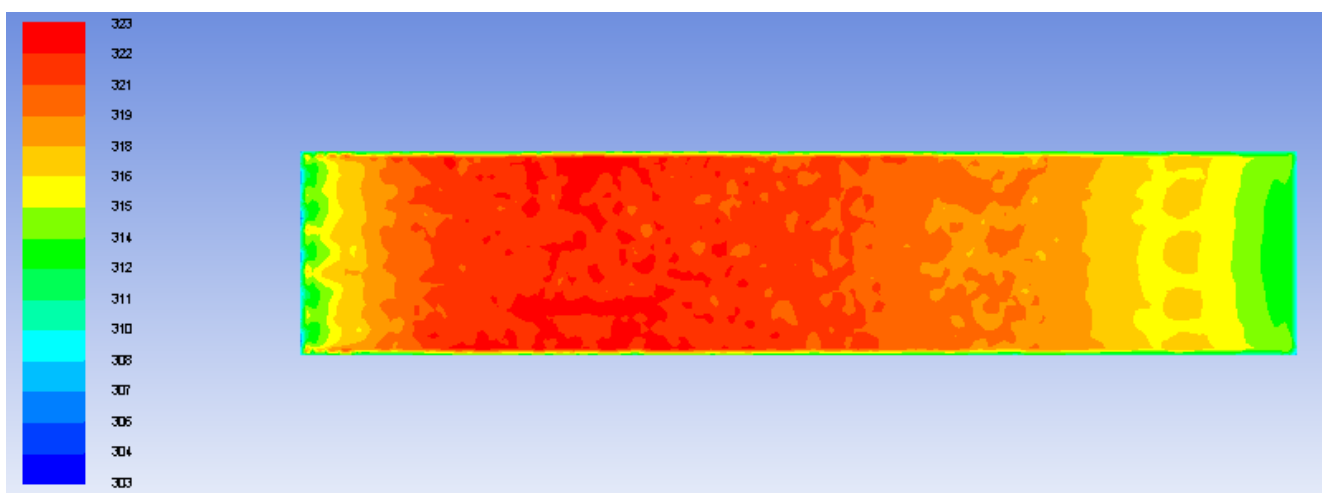


Figura 0-60 Distribución de temperaturas del panel para un flujo másico de 0.031kg/s y 2°