

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN DISIPADORES DE CALOR REFRIGERADOS POR AIRE EN PANELES FOTOVOLTAICOS MEDIANTE DINAMICA COMPUTACIONAL DEL FLUIDOS

Yustin Mauricio Roman Ardila

Ingeniería Mecatrónica

Director(es) del trabajo de grado

MsC. Jorge Andrés Sierra del Rio

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Octubre de 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

“Yo un universo de átomos, un átomo en el universo”

Richard Feynman

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

“

RESUMEN

Palabras clave: Energía solar, CFD, disipadores, eficiencia

Resumen: Estudios realizados experimental y numéricamente han demostrado que uno de los problemas en el uso de las celdas fotovoltaicas para extraer energía de la luz solar es el efecto de la temperatura, esto debido a que a medida que el panel solar se calienta, la eficiencia de conversión disminuye. Con el fin de mejorar la eficiencia de generación en paneles solares, se realizó un estudio computacional de la dinámica de fluidos (CFD), utilizando el software Ansys Workbench[®] 19.3, en el cual se modeló la transferencia de calor entre un panel solar con y sin disipadores de calor, determinando la incidencia de este dispositivo en la potencia generada por la celda fotovoltaica. Para el desarrollo del estudio, inicialmente se realizó el cálculo teórico de la transferencia de calor que se presenta en la celda con y sin disipador, empleando el método de resistencias térmicas como modelo de cálculo, determinando la temperatura promedio en la celda, con esto se procedió a calcular, mediante modelos encontrados en la literatura, la incidencia de la temperatura de la celda en la eficiencia de generación. Posterior a esto, simulaciones computacionales han sido realizadas con el fin de estudiar numéricamente el efecto de la geometría del disipador de calor en la eficiencia de las celdas fotovoltaicas, para esto se tomaron diferentes arreglos de aletas rectangulares, variando la altura (10mm, 25mm y 50mm) y la disposición de las aletas, conservando siempre una dirección de flujo longitudinal respecto a los disipadores. Para la configuración del modelo se consideraron condiciones de frontera correspondientes a los fenómenos físicos como la radiación solar y la convección forzada.

Se observa que al aumentar el área de transferencia de disipador mejora la temperatura del panel e incrementa en la medida que se tenga mayor cantidad de disipadores por celda, la menor temperatura de 317,95 se obtuvo con el disipador de 50mm y con 8 disipadores por celda. Además se encontró la influencia de la altura en disipadores de calor para paneles fotovoltaicos térmicos, en los cuales se determinó que al aumentar su altura mejoró la eficiencia en un 1%, mientras un aumento del número de aletas aumentó la eficiencia en un 1,6%, lo que significa una mejora significativa en su funcionamiento. Demostrando que los valores arrojados, presentan una buena aproximación al modelo matemático, donde se tienen errores máximos de 7,68%. Por lo tanto, el método propuesto presenta una validez confiable, para replicar en otros casos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A mis padres, por el apoyo incondicional, su esfuerzo, dedicación y amor, que me motivan a luchar por alcanzar mis sueños, además de sus valores inculcados para hacer de mí una persona y un profesional integro.

Agradezco también al departamento de Mecatrónica y Electromecánica, especialmente a los docentes que en algún momento del desarrollo de mi formación académica profesional intervinieron, en especial a los docentes Jorge Andrés Sierra del Rio y Diego Andrés Hincapié Zuluaga por el apoyo y la guía tanto personal como profesional académica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

- q* Energía en forma de calor [W]
k Conductividad térmica [W/m K]
A Área de transferencia de calor [m²]
T Temperatura [°C]
y Distancia [m]
R Resistencia térmica [m²k/W]
h Coeficiente de convección [W/m²k]
b Altura de las aletas [m]
t_f Ancho de la base de la celda [m]
t_b Ancho de las aletas [m]
L_c Profundidad de la base [m]
W_c Ancho de la base [m]
N Número de aletas [–]
P Perímetro de las aletas [m]
A_c Área transversal de las aletas [m²]
m Eficiencia de las aletas [–]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	97999217
2. MARCO TEÓRICO.....	111221111
3. METODOLOGÍA.....	252362123
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	333434336
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	44
REFERENCIAS.....	49

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades:

La protección del medio ambiente es compromiso de gobiernos, personas e industrias, por lo cual actualmente evidenciamos un gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares cada vez más eficientes como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica, por tal motivo mejorar su funcionamiento es un estudio de gran importancia en la actualidad.

Uno de los problemas en el uso de los paneles fotovoltaicos para extraer energía de la luz solar es el efecto de la temperatura, ya que debido a esta la generación de energía incidente del sol relacionada mediante la razón entre potencia eléctrica de salida se ve afectada, es decir, a medida que el panel solar se calienta, la eficiencia de conversión de luz a la energía eléctrica disminuye, por tal motivo es de gran interés controlar esta variable térmica y optimizar su funcionamiento, en este caso mediante el diseño de disipadores de calor refrigerados por aire .

Por lo cual se caracterizara el funcionamiento térmico de un panel fotovoltaico, buscando la manera más eficiente de disipar el calor y aumentar tanto su eficiencia como vida útil debido a la fatiga térmica por las altas temperaturas.

Objetivos:

General

Determinar mediante simulación computacional de fluidos la incidencia de diferentes arreglos de disipadores, con tres diferentes alturas de 10mm, 25mm y 50 mm y su incidencia en la eficiencia de paneles fotovoltaicos térmicos (PTV).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Específicos

- Realizar un estado del arte concerniente a los parámetros geométricos de mayor incidencia en la eficiencia de la generación de energía eléctrica a partir de paneles PTV.
- Analizar mediante dinámica computacional de fluidos la eficiencia térmica de dos arreglos de disipadores con tres diferentes alturas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Energía solar

El Sol es el origen directo o indirecto de todas las fuentes de energía presentes en nuestro planeta. La energía solar aprovecha directamente la energía que recibimos del Sol en forma de radiación electromagnética dando lugar al uso de la *energía solar fotovoltaica*, la cual utiliza la radiación solar para generar electricidad aprovechando las propiedades físicas de ciertos materiales semiconductores y el efecto fotoeléctrico que se produce en su estructura interna.

Paneles solares

Los paneles solares, también llamados paneles fotovoltaicos (PV) son dispositivos semiconductores que convierten directamente la luz solar en corriente eléctrica para producir potencia eléctrica.

Estos paneles fotovoltaicos utilizan células de material semiconductor, principalmente el silicio, ya sea en estado mono cristalino o poli cristalino, lo cual afecta directamente su eficiencia, influye directamente en su costo.

En el momento en que un panel fotovoltaico queda expuesto a la radiación solar, la luz transmite su energía a los electrones de los materiales semiconductores que, entonces, pueden romper la barrera de potencial de la unión P-N, y salir así del semiconductor a través de un circuito exterior.

Estos paneles fotovoltaicos se combinan de muy diversas formas para lograr tanto el voltaje como la potencia deseados y de este modo poder conseguir que la energía solar se acabe convirtiendo en energía de consumo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 1 Panel fotovoltaico. Fuente: [//www.greenenergy-latinamerica.com](http://www.greenenergy-latinamerica.com)

Estado del arte

La protección del medio ambiente es compromiso de todos, gobiernos, personas e industrias, hoy día vemos un gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares cada vez más económicos como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica, por tal motivo mejorar su eficiencia es un estudio de gran importancia en la actualidad.

Uno de los problemas en el uso de los paneles PTV para extraer energía de la luz solar es el efecto de la temperatura. A medida que el panel solar se calienta, la eficiencia de conversión de luz a la energía eléctrica disminuye, teniendo como referencia que los paneles PTV tienen el potencial de ser extremadamente eficientes, llegando a tener una eficiencia entre el 14 y el 17% [1].

Estudios como el de Agrawal y GN Tiwari [2] presentaron el concepto de disposición en serie y en paralelo del flujo de aire por los paneles solares utilizando micro canales en donde se hizo una disposición de nueve canales para la disipación del calor utilizando aire como refrigerante, en base a cálculos numéricos, observaron que la ganancia anual térmica se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

incrementaron a 70,62% y 60,19%, este estudio sirve de apoyo en el estudio de la posición de los canales y de las geometrías del modelado para una mayor eficiencia.

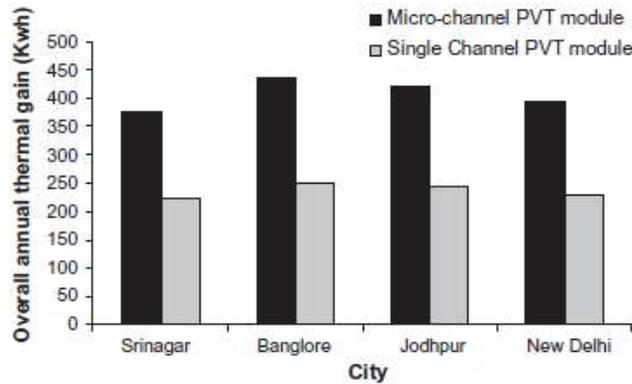


Figura 2 Ganancia anual total de energía térmica considerando micro canales en módulos fotovoltaicos [2]

Agrawal y Tiwari [3] realizaron un análisis experimental con vidrio fotovoltaico híbrido, en el cual enlazaron tres módulos PTV y a través de ellos hacían fluir aire siguiendo un patrón, en donde en términos de análisis de ahorro de energía, se concluyó que el colector fotovoltaico híbrido ofrece un mayor potencial en comparación con el módulo fotovoltaico. Goh Jin Li et al [4] demuestran una configuración con un paso del túnel de aire en una geometría rectangular para disipar el calor, corroborando lo anteriormente dicho sobre el decrecimiento de la eficiencia a medida que la temperatura de las celdas aumenta, este análisis lo realizaron comparando un modelo de un panel fotovoltaico con un túnel y otro sin este, aumentando su eficiencia en un 10.6% y la eficiencia térmica a 75.16%

Răzvan Caluianu et al [5] utilizaron el modelo térmico de un módulo PTV desarrollado y validado experimentalmente, con el cual se estudió el perfil de temperatura y la velocidad del aire en la sección de salida, la simulación se realiza con la aplicación del método de elementos finitos Galerkin al flujo y de la ecuación de energía, a medida que aumenta el ancho del canal a 10, 20, 30 mm, calculando la influencia de esta distancia del canal en los fenómenos de radiación y convección, observando que a medida que el ancho del canal aumenta, la temperatura media del aire varía en la sección de salida varía de 50 ° C a 30 ° C.

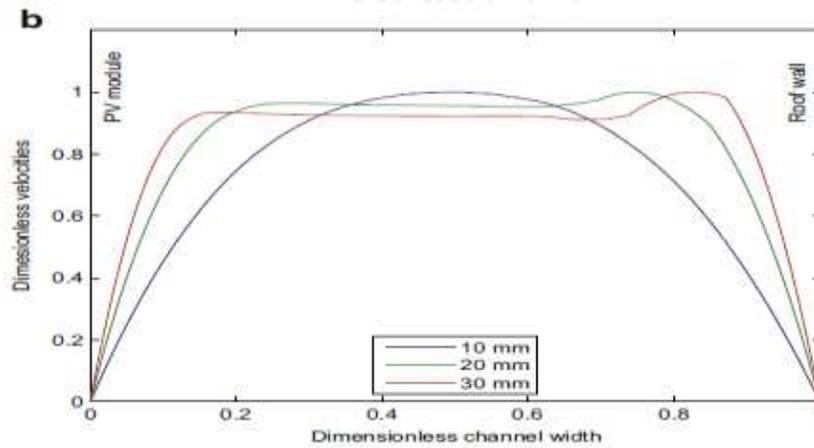


Figura 3 Temperatura y velocidad con $L=3,5$ cm [5]

La dependencia entre la conversión de eficiencia de energía y temperatura de los paneles PTV es un tema importante de estudio para los investigadores, resultados como los de [6,7], mostrados en la siguiente gráfica, confirmaron el aumento de la eficiencia en relación a la temperatura.

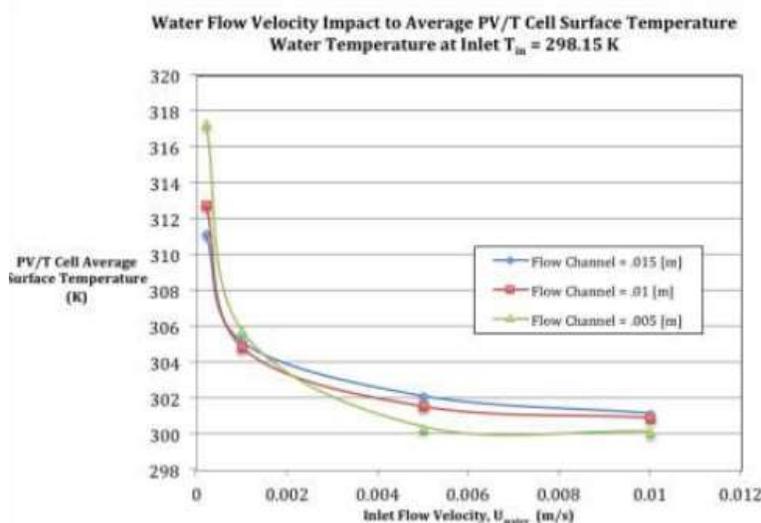


Figura 4 Temperatura promedio de la superficie contra velocidad del flujo [7]

Resultados como por los obtenidos por Lee et [9] al en el 2012, donde tomaron una simulación y resultados experimentales en donde encontraron una diferencia entre ambos métodos del 3%, asumiendo el sistema en estado estacionario, analizando la transferencia de calor con el ambiente, al usar una velocidad de 3.5 m/s, determinaron que un espaciamiento bajo entre aletas es importante cuando la entrada de velocidad es baja, y las

altas velocidades tienen un efecto más significativo cuando la velocidad de entrada es alta, reduciendo los efectos de la temperatura del módulo.

Estudios similares como los realizados en 2014 por Chaabane et al. [10] en los cuales se analiza computacional y experimentalmente pero teniendo como fluido el agua como refrigerante en los paneles fotovoltaicos, determinaron mediante el módulo Fluent del software Ansys, analizando los perfiles de temperatura en el conducto refrigerante a diferentes horas del día, en las cuales la incidencia de la radiación es diferente, determinaron que el modelo computacional presenta adecuadamente el fenómeno físico.

Autores como Baloch et al. [11] utilizaron un canal convergente y analizaron la influencia de este canal en la temperatura del panel durante un mes, experimentalmente tomaron los resultados entre un panel fotovoltaico sin canal y otro con dicho canal convergente con 2 grados de desviación, lo cual tuvo una disminución en la temperatura de hasta 25,8°C. Después realizaron un estudio [12] computacional de fluidos mediante el software Fluent donde tomaron el mismo ángulo de canal, corroborando lo anteriormente realizado experimentalmente.

La mayoría de los estudios realizados y analizados muestran que la máxima potencia producida varía de manera lineal con la temperatura. En la siguiente gráfica se puede observar que el pico de voltaje y potencia se alcanza al tener una celda PTV a menor temperatura.

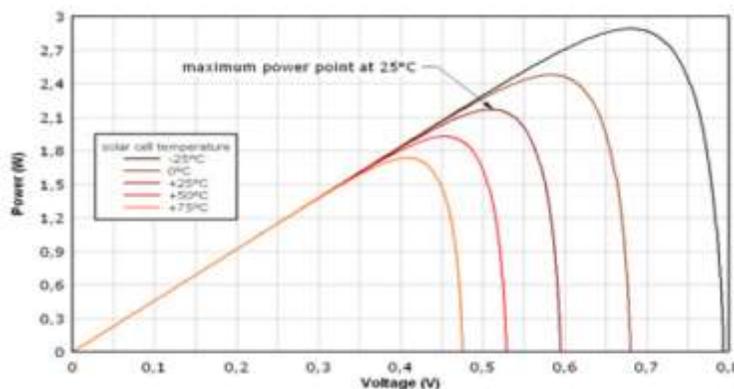


Figura 5 Eficiencia en la conversión de energía en paneles fotovoltaicos en relación a la temperatura [5]

Influencia de la temperatura

Las principales características de un panel fotovoltaico comercial están dadas por el fabricante y hacen referencia a los siguientes parámetros.

- **Potencia máxima P_{max}**

Corresponde a la potencia máxima que es capaz de entregar el panel fotovoltaico, el área más grande bajo la curva de corriente-voltaje.

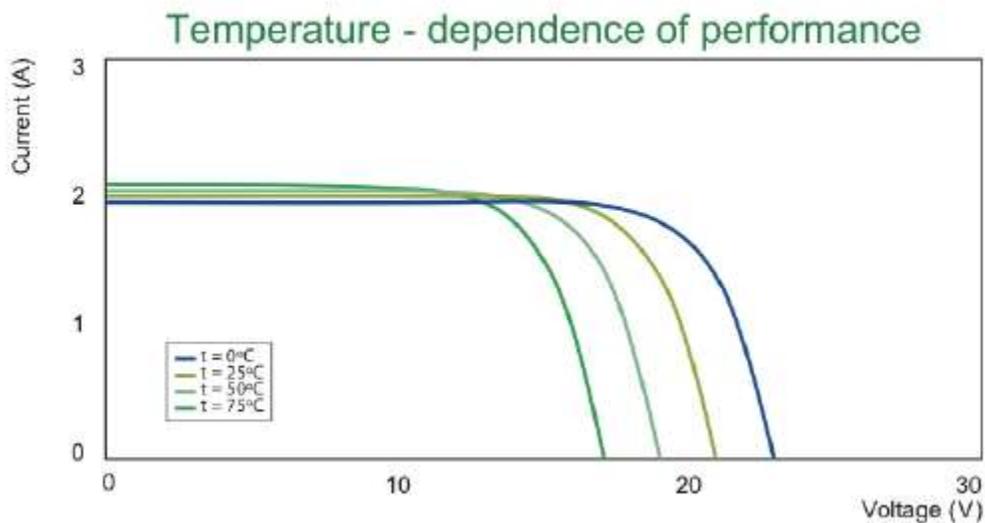


Figura 6 Corriente y voltaje dependiente de la temperatura. Fuente: www.solarelectricsupply.com

Por lo tanto, la relación entre la temperatura de la celda fotovoltaica y la potencia de salida se puede definir de la ecuación $P = P_{max}(1 + \frac{\gamma}{100}(T_{celda} - 25))$ (1)

$$P = P_{max}(1 + \frac{\gamma}{100}(T_{celda} - 25)) \quad (1)$$

P_{max} = Potencia máxima [W]

γ : Coeficiente termico de potencia [%/°C]

T_{celda} : Temperatura de la celda [°C]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Esta ecuación indica que mientras más baja sea la temperatura, mayor será la potencia nominal de salida. Esto se puede llevar a términos de la eficiencia de conversión del panel fotovoltaico, que es finalmente hacia donde apunta este estudio.

Por lo tanto la **eficiencia** eléctrica de un panel fotovoltaico tiene relación con la fracción de potencia eléctrica generada versus la cantidad de energía solar incidente sobre su superficie.

$$n_{el} = \frac{P}{GA} \quad (2)$$

A: Área superficial del panel [m^2]

G: Radiación solar incidente [W/m^2]

P: Potencia eléctrica generada [m^2]

Transferencia de calor

La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas. Los tipos de transferencia de calor existentes en la naturaleza son tres: **conducción, convección y radiación.**

Radiación

La transmisión de calor por radiación se caracteriza porque la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan a la velocidad de la luz. El transporte de energía por radiación puede verificarse entre superficies separadas por el vacío

Un cuerpo negro se define como aquel que emite y absorbe la máxima cantidad de energía a una temperatura determinada.

Los cuerpos reales reflejan radiación térmica en la misma forma en que la absorben y la transmiten.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Reflectividad: Es la fracción de calor incidente sobre el cuerpo que se refleja.

Absortividad: Es la fracción que se absorbe.

Transmisividad: Es la fracción de energía incidente transmitida a través del cuerpo.

Emisividad: Es la efectividad del cuerpo como un radiador térmico a una temperatura. Es la relación de la emisión de calor a una temperatura dada a la emisión de calor desde un cuerpo negro a la misma temperatura.

Por lo tanto el intercambio de calor por radiación entre dos cuerpos a diferentes temperaturas está dado por:

$$q_{rad} = \varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

ε : Emisividad del cuerpo 1

σ : Constante de Stefan – Boltzmann igual a $5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 k^4} \right]$

T_1, T_2 : Temperatura de los cuerpos [K]

Esta transferencia de calor por radiación define las pérdidas de calor hacia la atmosfera desde el panel fotovoltaico.

Conducción

Este mecanismo permite modelar la transferencia de calor del panel fotovoltaico a través del contacto de las diferentes superficies, esta conducción corresponde a la transferencia de calor que ocurre en un sólido o en un fluido en reposo mediante movimientos de rotación y vibración a escala molecular. Estos movimientos son más intensos a altas temperaturas por lo que la transferencia de energía ocurre desde zonas de alta a baja temperatura. El flujo de esta descrito mediante la Ley de Fourier como el calor proporcional al gradiente local de temperatura y a la conductividad térmica del material.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La ley de Fourier para flujos de calor instantáneos está dada por:

$$\vec{q} = k\nabla T \quad (4)$$

k : Conductividad termica del material $[\frac{W}{m \cdot K}]$

\vec{q} : Flujo de calor por unidad de tiempo y área $[\frac{W}{m^2}]$

La transferencia de calor por conducción permite modelar la transferencia de energía entre superficies en contacto de los diferentes componentes del panel fotovoltaico.

Convección:

La transferencia de calor por convección de un cuerpo comprende el movimiento de un fluido, ya sea líquido o gas en relación con el cuerpo. La ecuación para el cálculo de flujo de calor por convección en estado estacionario está dada por:

$$q_{conv} = h\Delta T \quad (5)$$

h : Coeficiente convectivo $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$

ΔT : Diferencia de temperatura entre el cuerpo y su entorno $[^{\circ}C \text{ o } K]$

El cálculo del coeficiente del coeficiente convectivo depende si se trata de una convección natural o una convección forzada, esta último es el caso de interés para este estudio, en donde el contacto del aire con el panel disipa el calor de el modulo fotovoltaico.

Por lo tanto para caracterizar los coeficientes convectivos hay que primero caracterizar el comportamiento del flujo de acuerdo a algunas características representativas como lo son las siguientes ecuaciones presentadas.

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{U_{\infty}L}{\nu} = \frac{U_{\infty}D_h}{\nu} \quad (6)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

U_{∞} : Velocidad del fluido [m/s]

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

L : Longitud característica

D_h : Diámetro hidráulico

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (7)$$

A_c : Área de sección de paso del fluido [m²]

P : Perímetro mojado (perímetro del área de sección) [m]

Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha_r} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (8)$$

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

α_t : Difusividad térmica [m²/s]

c_p : Capacidad calorífica [J/kgK]

μ : Viscosidad dinámica [kg/ms]

k : Conductividad térmica [W/mK]

Un número de Prandtl bajo indica que la difusión térmica es mayor que la viscosidad, por lo que predomina la transferencia de calor por conducción. Si el número de Prandtl es alto la difusión de momento es más relevante, por lo que predomina la transferencia de calor por convección.

Número de Nusselt

$$Nu_x = \frac{hx}{k} = \frac{hD_h}{k} \quad (9)$$

h : Coeficiente convectivo [W/m² K]

x : Distancia característica [m]

D_h : Diámetro hidráulico

k : Conductividad térmica [W/mK]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este número permite relacionar los modos de transferencia de calor por convección y por conducción, relacionando sus coeficientes relevantes. Para el cálculo del número de Nusselt existen variadas correlaciones dependiendo de la geometría a analizar; existen dos casos relevantes para este estudio.

Nusselt para placas horizontales

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = 0,664Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad (10)$$

Re: Número de Reynolds

Pr: Número de Prandtl

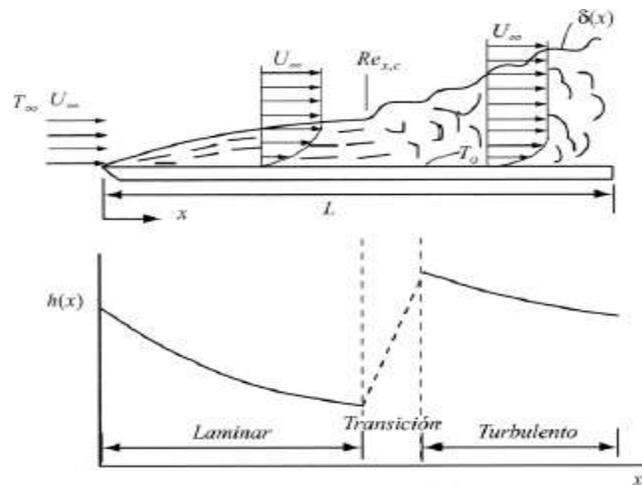


Figura 7 Flujo paralelo en convección forzada

Nusselt para placas paralelas

$$Nu = \frac{hL}{k} = \left[\left(\frac{1}{Nu_{fd}} \right)^3 + \left(\frac{1}{Nu_{dev}} \right)^3 \right]^{-\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Nu_{fd} = Número de Nusselt de fluido totalmente desarrollado

Nu_{dev} = Número de Nusselt de fluido en desarrollo

Los cuales tienen las siguientes ecuaciones características:

$$Nu_{fd} = \frac{1}{2} Re_b \left(\frac{b}{L} \right) Pr = \frac{1}{2} \frac{U_\infty b^2}{Lv} Pr \quad (12)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$Nu_{dev} = 0,664 \sqrt{Re_b \left(\frac{b}{L}\right)} Pr^{\frac{1}{3}} \left(1 + \frac{3,65}{\sqrt{Re_b \left(\frac{b}{L}\right)}}\right)^{1/2} \quad (13)$$

Pr : Número de Prandtl

U_{∞} : Velocidad de fluido [m/s]

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

L : Largo de canal [m]

b : Espacio entre placas paralelas [m]

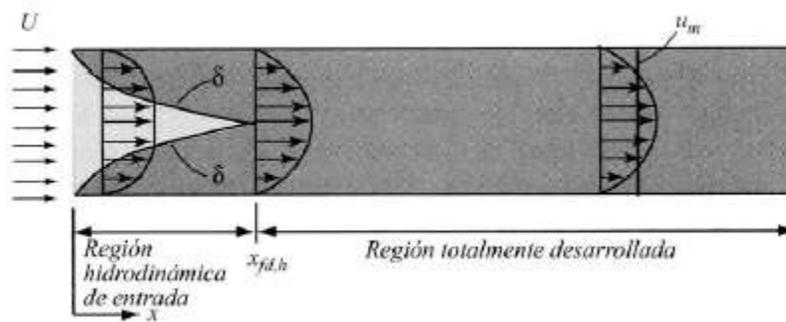


Figura 8. Flujo entre placas paralelas

Modelo de resistencias térmicas

Se emplea el método de resistencias térmicas para calcular el número de aletas necesarias para mantener dicha temperatura de operación sobre la base de la celda, adicionalmente se toma la eficiencia teórica de un arreglo de aletas rectangulares, dicho modelo cuenta con ciertas simplificaciones que se listan a continuación:

- Condiciones de estado estacionario.
- Transferencia de calor unidimensional.
- Las propiedades permanecen constantes (isotropía).
- El calor se transfiere al ambiente sólo por convección, despreciando el efecto de radiación.
- Se supone que las puntas de las aletas son fronteras adiabáticas, así como las paredes del ducto.
- Se desprecia el efecto de transferencia de calor de la cara frontal y trasera de las aletas.

- Se asume una correlación para el coeficiente de convección que sólo es función de la geometría.

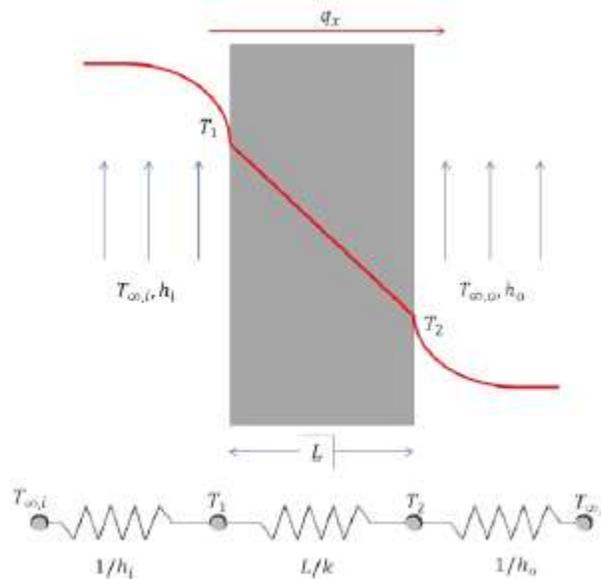


Figura 9 Conducción y convección en un modelo unidimensional

En la Figura 9 se muestra el esquema de resistencias térmicas para el arreglo de aletas, las resistencias en paralelo representan la convección simultánea desde el área de las aletas y la superficie libre de la base de las mismas.

El modelo matemático se describe para el calor por conducción, se tiene

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad (14)$$

Disipadores de calor

Un disipador de calor es un dispositivo que absorbe o disipa efectivamente el calor hacia el exterior de un espacio confinado utilizando la extensión del área de contacto entre el sólido y el fluido como principio de funcionamiento. Los disipadores de calor son utilizados en un amplio rango de aplicaciones donde la disipación de calor es requerida, como por ejemplo en procesos de refrigeración, ciclos de calor y enfriamiento de dispositivos electrónicos. El diseño más común utilizado es el disipador de calor consistente en una placa metálica con

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

muchas aletas perpendiculares, a la cual se le denomina arreglo de aletas (*fin array*), muy utilizado en aplicaciones electrónicas como refrigeración de chips y otros dispositivos.

DISIPADOR DE CALOR DE PERFIL RECTANGULAR

Un disipador de calor es un dispositivo que absorbe o disipa efectivamente el calor hacia el exterior de un espacio confinado utilizando la extensión del área de contacto entre el sólido y el fluido como principio de funcionamiento. Los disipadores de calor son utilizados en un amplio rango de aplicaciones donde la disipación de calor es requerida, como por ejemplo en procesos de refrigeración, ciclos de calor y enfriamiento de dispositivos electrónicos. El diseño más común utilizado es el disipador de calor consistente en una placa metálica con muchas aletas perpendiculares, a la cual se le denomina arreglo de aletas.

El disipador de calor incrementa su efectividad aumentando ya sea la conductividad térmica de las aletas, el área superficial de las aletas o el coeficiente de transferencia de calor.

Resistencia térmica de una aleta

La resistencia térmica en una aleta está definida como:

$$R_{fin} = \frac{1}{\sqrt{hPkA_c} \tanh mb} \quad (15)$$

Eficiencia de aleta

La eficiencia, que se define como la tasa de transferencia de calor que pasa por la aleta en base al máximo calor posible que puede ser disipado, está representada por la siguiente ecuación.

$$n_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{\tanh mb}{mb} \quad (16)$$

En donde la eficiencia esperada debe estar entre los 0,5 y 0,7.

Resistencia térmica del disipador de calor

Para que la transferencia de calor sea efectivamente mucho mayor que la de una superficie normal se realizan los llamados arreglos de aletas múltiples para incrementar el área de transferencia de calor. Al ser un arreglo completo se tiene que la resistencia completa de un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

disipador de calor queda definida por la resistencia térmica de las aletas y de la resistencia térmica de la base, según la siguiente ecuación

$$R_{sink} = \frac{1}{\left(\frac{n}{R_{fin}}\right) + h(n-1)bL} + \frac{t_{base}}{kWL} \quad (17)$$

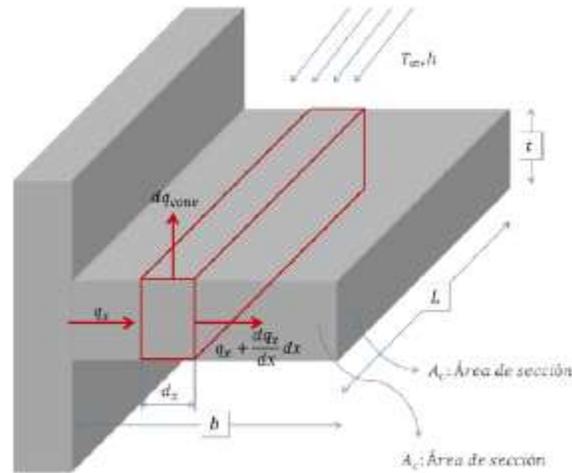


Figura 10 Aleta rectangular de sección uniforme

3. METODOLOGÍA

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para desarrollar los objetivos propuestos, se cuenta con un soporte teórico del caso de estudio a través de documentación de artículos que han replicado casos similares, estos el modelado y el análisis computacional se realizará utilizando el software ANSYS 19, disponible en el laboratorio perteneciente al grupo de Materiales Avanzados y Energía de la institución, este software contiene los módulos necesarios que permite hacer la simulación en donde se realiza una interacción termo- estructural.

Además con el fin de obtener confiabilidad en los resultados se utilizara el método de análisis por elementos finitos, con su respectivo estudio de malla, usando el módulo Meshing del software ANSYS, a continuación puede configurar las condiciones de frontera como lo son las características propias de los materiales en interacción como lo pueden ser densidades, viscosidades, coeficiente de expansión térmica, además de características externas, todas estas condiciones de frontera se configuran utilizando el módulo de dinámica computacional de fluidos Fluent del software ANSYS.

Para analizar la calidad en los resultados obtenidos y que estos converjan en una solución, se debe configurar el módulo de manera que haga el número de iteraciones necesarias, esto conlleva un alto gasto computacional, por lo que es necesario la utilización de un equipo de cómputo de buen rendimiento como lo es la Workstation 7600 que posee dos procesadores Intel®Xeon®, una capacidad de memoria superior a 512 GB, además posee una tarjeta de video NVIDIA de 52GB de memoria RAM.

Con el desarrollo del problema se seguirá la siguiente metodología propuesta en donde la realización de cada paso de forma detallada asegurará una mejor solución de la propuesta.

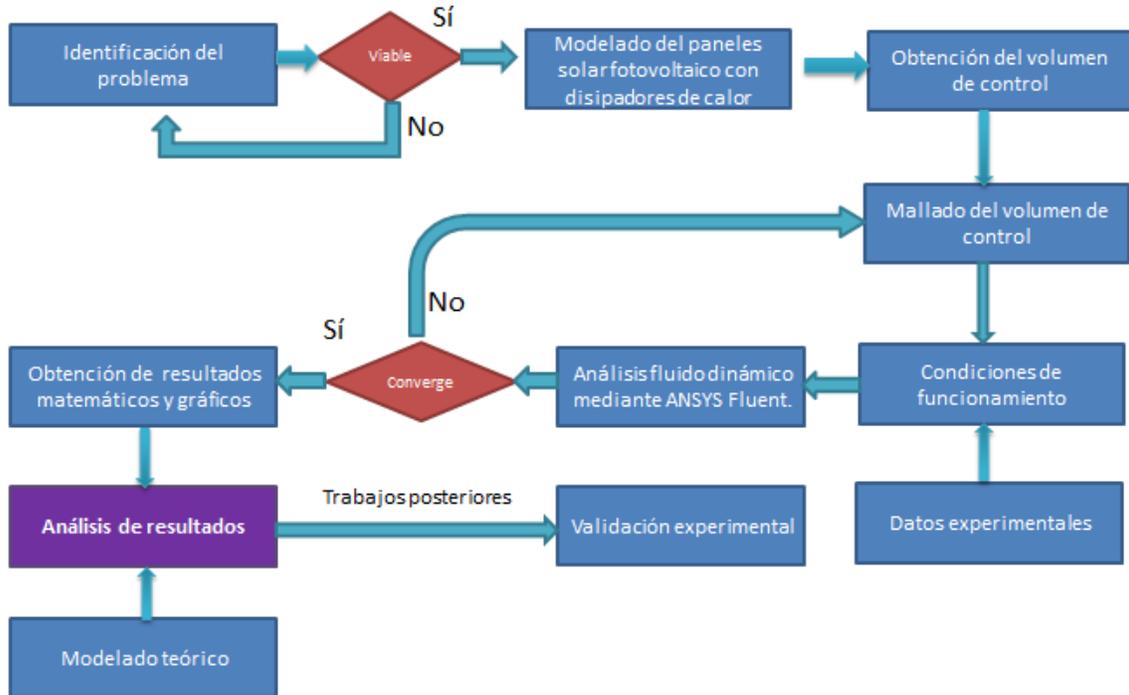


Figura 11 Metodología propuesta para el análisis del problema

MODELADO DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Datos de catálogo comercial

Se seleccionó un módulo fotovoltaico 330J, del cual se tomaron las características físicas para la validación de los modelos computacional y matemático, este además posee 36 celdas poli cristalinas de 3 in.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

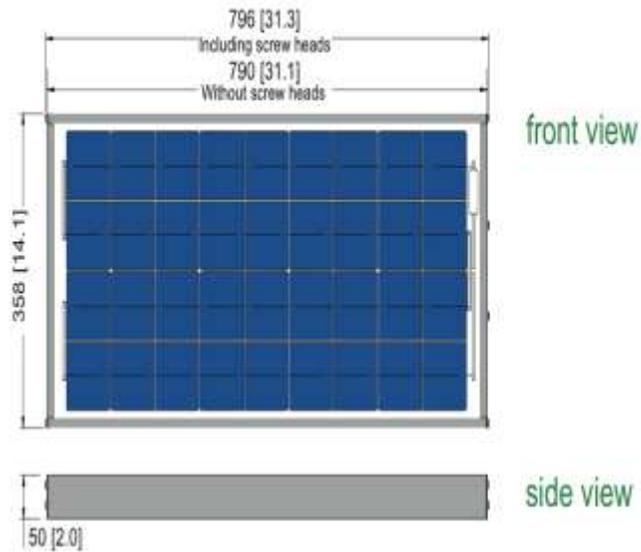


Figura 12 Panel fotovoltaico comercial 330J

Donde se evidencia el efecto negativo de la temperatura en la eficiencia del panel

Se obtienen los datos a las condiciones de funcionamiento indicadas para medir su capacidad fueron 800W/m^2 de irradiancia, una temperatura de 20°C y una velocidad del viento de 1 m/s . Además otros datos como lo son los valores nominales de potencia, coeficientes térmicos y dimensiones.

γ : Coeficiente térmico de potencia [$\%/\text{C}^\circ$]

P_{mpp} : Potencia máxima [W]

n_{el} : Rendimiento eléctrico (teórico)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

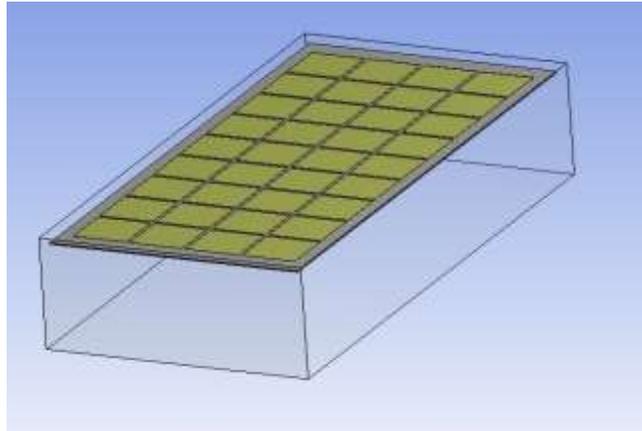


Figura 13 Modelado computacional de panel sin disipados (caso base)

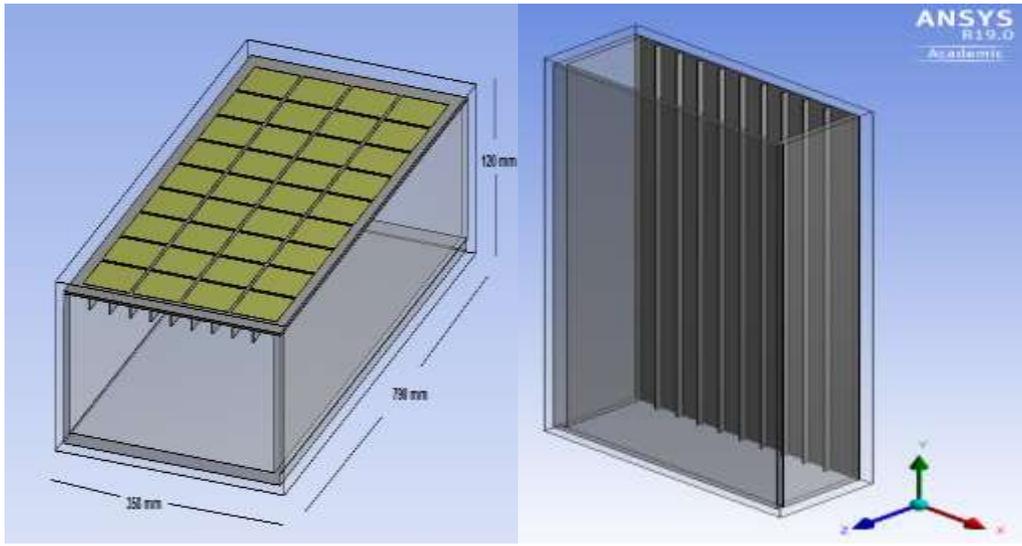


Figura 14 Modelado computacional del panel con aleta de 10 mm de alto

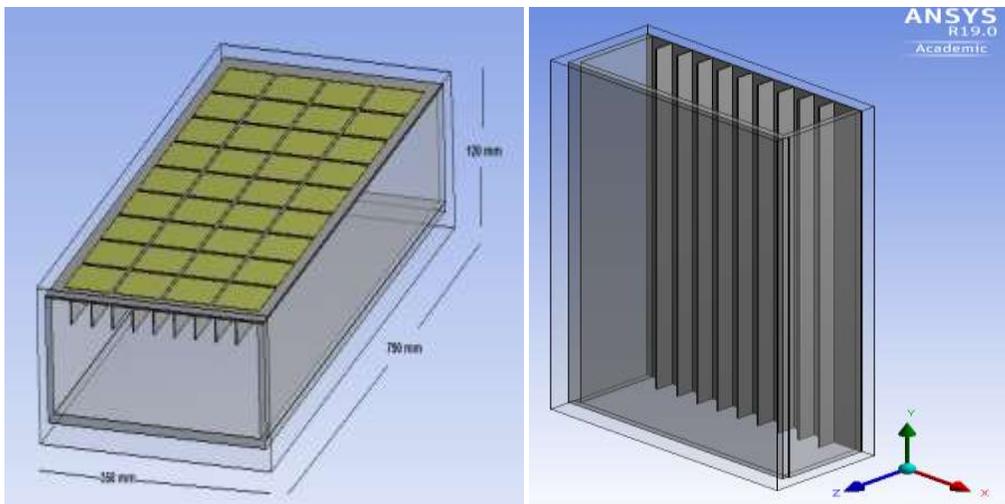


Figura 14 Modelado computacional del panel con aleta de 25 mm de alto

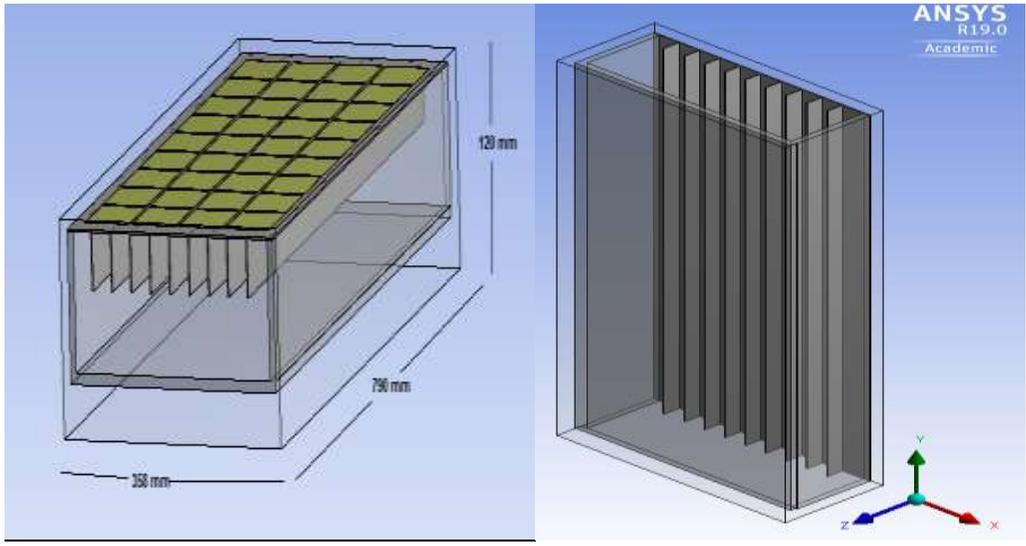


Figura 15 Modelado computacional del panel con aleta de 50 mm de alto

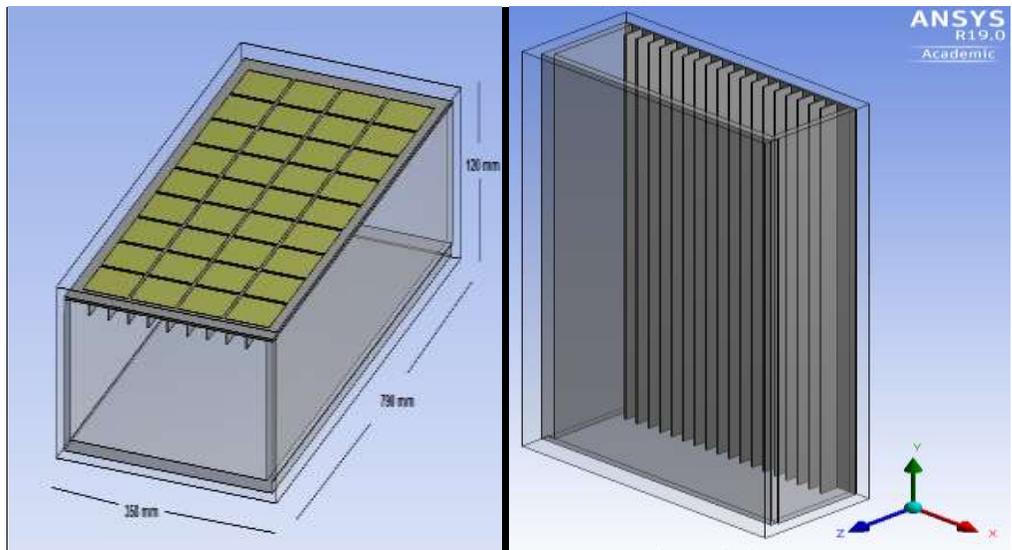


Figura 16 Modelado computacional del panel con 18 aletas

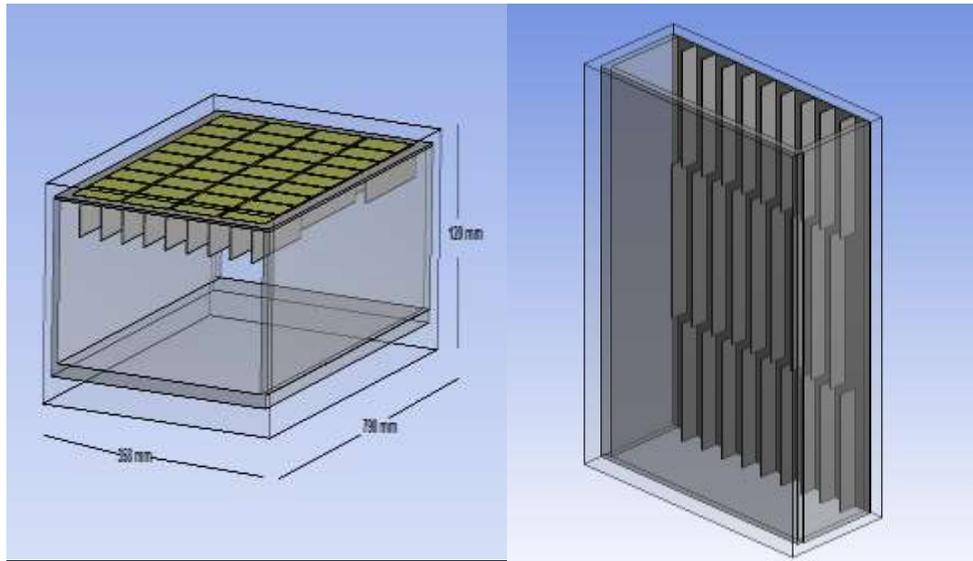


Figura 17 Modelado computacional del panel con diferente disposición de aletas y altura 25 mm

MALLADO DEL VOLUMEN DE CONTROL

Aquí se nombran las condiciones de frontera como lo son inlet, outlet, para configuración del flujo, paredes y la fuente de calor.

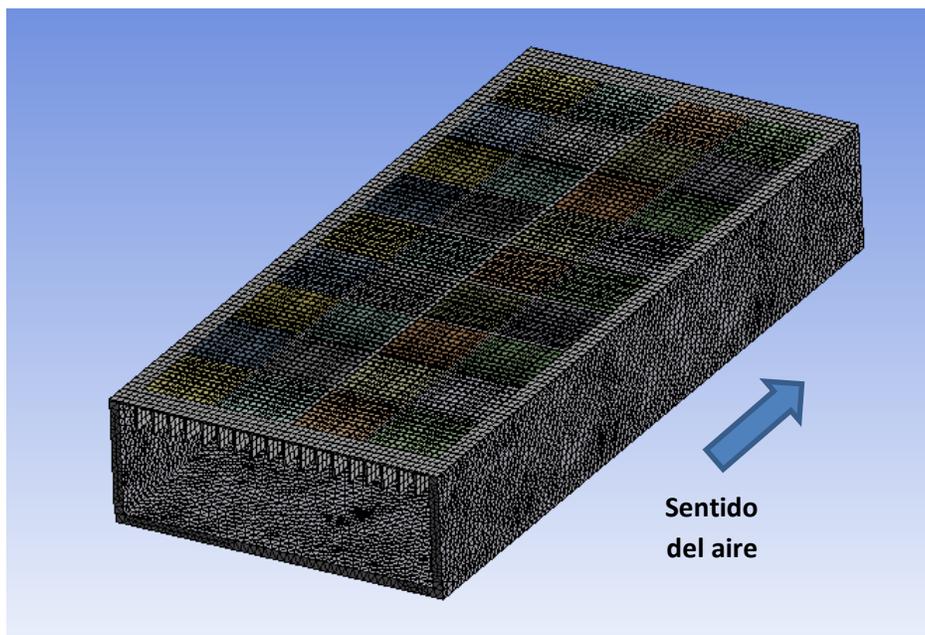


Figura 18 Mallado tetraédrico de la geometría

No					
No	Relevancia	Elementos	Tin [K]	Tout [K]	Error [%]
1	0	20208	300	356,4	27,265%
2	20	24360	300	320,5	10,073%
3	40	28512	300	304,71521	4,925%
4	60	30456	300	304,7879	0,024%
5	80	60912	300	304	0,259%
6	100	101824	300	304,5	0,164%

Tabla 1 Cantidad de elementos en la malla

De la figura anterior se tiene que la relevancia del 60 y 30456 número de elementos, presenta un error en la temperatura de salida de 0,024%, con un Skewness menor a 0,85, lo cual indica, una buena calidad de malla con resultados convergentes y estables.

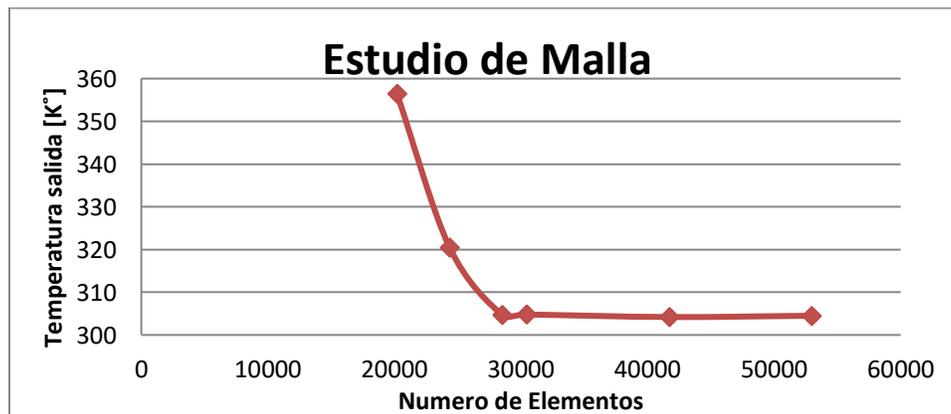


Figura 19 Grafica de estudio de malla

Ortogonalidad:

Es una generalización de la noción geométrica de perpendicularidad. Para su determinación se determina el ángulo entre los ejes ortogonales de una cara y los vectores que definen la dirección de las caras que se generan a partir de sus aristas

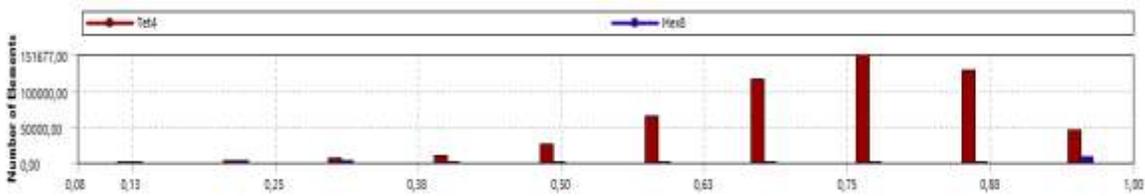


Figura 20 Ortogonalidad de la malla

Se observa que los resultados son estables en el tiempo, por lo cual el mallado del volumen es adecuado para la solución del planteamiento.

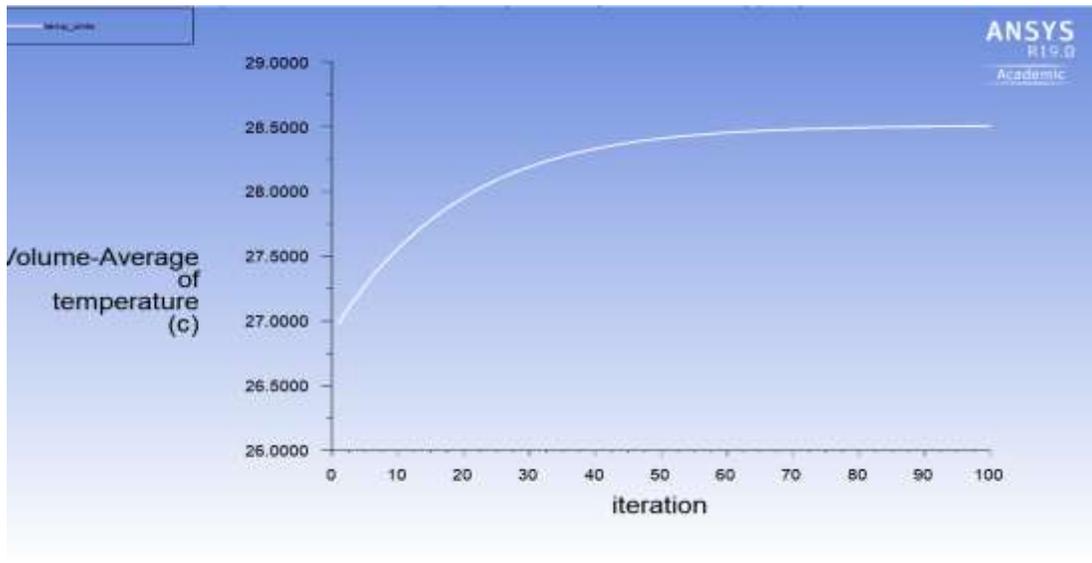


Figura 21 Temperatura promedio en el panel fotovoltaico modelado

Condiciones de funcionamiento

Para conocer la potencia máxima alcanzada por el panel, se tiene la energía solar convertida por el panel fotovoltaico y entregarla

$$P_{el} = VI = n_{el}G = P_{max} \left(1 + \frac{\gamma}{100} (T_{celda} - 25)\right) \quad (18)$$

V : Voltaje [V]

I : Corriente [A]

n_{el} : Rendimiento electrico

G : Radiacion incidente [W/m^2]

A : Área superficial [m^2]

T_{celda} : Temperatura de la celda [$^{\circ}C$]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

γ : Coeficiente térmico de potencia [%/°C]

P_{max} : Potencia máxima [W]

Generación interna de calor:

Este es producido debido a que cierta cantidad de energía incidente sobre el panel fotovoltaico es absorbida pero otra cantidad queda en su interior en forma de calor, por lo tanto es un parámetro que hay que caracterizar para la simulación computacional, y está representado por la ecuación:

$$Q = \frac{T_{celda} - T_{\infty}}{R_{total}} = G - P_{el} \quad (19)$$

T_{celda} : Temperatura de la celda [°C]

T_{∞} : Temperatura ambiente [°C]

R_{total} : Resistencia térmica del módulo fotovoltaico [°C/W]

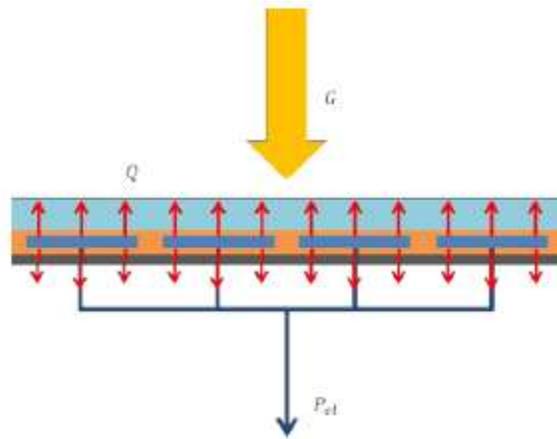


Figura 22 Generación interna de calor en el panel fotovoltaico

ANÁLISIS FLUIDO DINÁMICO MEDIANTE ANSYS FLUENT

Después del modelado computación mediante el módulo Design Modeler del software ANSYS, se realizó un mallado del volumen del control, se utilizara el modulo ANSYS Fluent, el software de dinámica de fluidos computacional (CFD) más potente disponible, optimizará el rendimiento de su producto más rápido. Fluent incluye capacidades de modelado físico bien validadas que brindan resultados confiables y precisos en la más amplia gama de aplicaciones CFD y multi físicas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fluent también ofrece computación de alto rendimiento (HPC) altamente escalable para ayudar a resolver simulaciones CFD complejas de modelos grandes de manera rápida y rentable.

A este modelo se le configuran las condiciones de frontera externas, como lo son la velocidad de entrada del viento (v), la generación interna de calor (Q), transferencia de calor por convección (h , T_{∞} , G) y radiación.

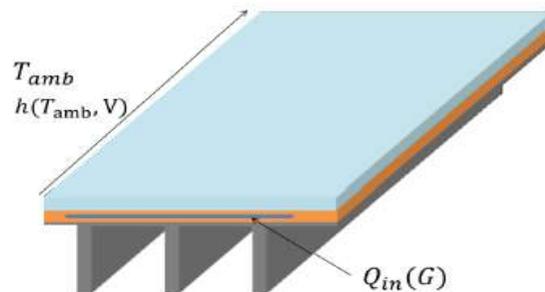


Figura 23 Condiciones necesarias para simulación

Modelo de turbulencia

Para la selección del modelo de turbulencia se debe tener en cuenta la naturaleza física del fenómeno, el nivel de exactitud requerido en los resultados y la capacidad de cómputo para ejecutar la simulación. En términos de capacidad de cómputo, el modelo Spalart – Allmaras es el que menor costo computacional presenta, debido a que sólo resuelve una ecuación que modela el transporte de viscosidad cinemática turbulenta. Adicionalmente se constituye como una buena elección en casos donde no se cuenta con una malla muy fina y los efectos turbulentos no son muy relevantes.

Para lo cual es necesario hallar el número de Reynolds para un flujo a través de un canal,

c
o
n

l
o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

los resultados no presentaban ningún tipo de variación, y por tal se decidió simular los demás casos asumiendo flujo laminar.

Método de solución

Se emplea un algoritmo denominado SIMPLE, el cual usa una relación entre la velocidad y las correcciones de presión, con el fin de obtener los campos de presiones en el fluido. Con este algoritmo se obtiene una correlación discreta para la corrección de presión en cada una de las celdas. Para la evaluación de los gradientes y derivadas se emplea el esquema denominado *least square cell based*, donde se asume que la solución para una variable varía linealmente de una celda a otra. Adicionalmente para resolver momentum y energía se emplea un sistema 'Upwind de segundo orden', el cual toma información de la procedencia del flujo e incrementa la precisión en los resultados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizan los contornos de temperatura en un corte transversal del centro de la celda, de manera longitudinal.

Dimensión	Símbolo	Valor	Unidad
Largo	L	0,79	[m]
Ancho	W	0,358	[m]
Área	A	0,2828	[m ²]

Tabla 2 Dimensiones del panel fotovoltaico

Parámetro de entrada	Símbolo	Valor	Unidad
Radiación solar	G	800	[W/m ²]
Temperatura ambiente	T_{∞}	25	[°C]
Velocidad del aire	U_{∞}	1	[m/s]
Densidad del aire	ρ	1,1225	Kg/m ³
Coefficiente de convección	h	8	W/m ² K

Tabla 3 Parámetros de entrada al sistema fluido dinámico

Caso sin disipador de calor (Caso base)

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Coefficiente convectivo	h	0,9	[W/m ² K]
Número de Reynolds	Re	2346	
Número de Nusselt	Nu	283,7	

Tabla 4 Resultados de Numero de Reynolds y Nusselt para modulo sin disipador

Efecto de la altura de la aleta en la resistencia térmica

En este caso de estudio se evidencio que la altura no tiene mayor influencia en la resistencia térmica, debido a que este se ve más afectado por el espesor de aleta, por lo que se puede decir que a medida que se utiliza una aleta más gruesa, es decir que al aumentar el espesor,

para un mismo número de aleta, el espaciado entre placas es cada vez menor, por lo tanto el flujo no se desarrolla mejor al no tener suficiente espacio.

Altura Disipador [m]	Rfin	Rsink
0,01	4,550	0,491
0,025	4,313	0,448
0,05	4,248	0,414

Tabla 5 Resistencia térmica con diferentes alturas de aletas

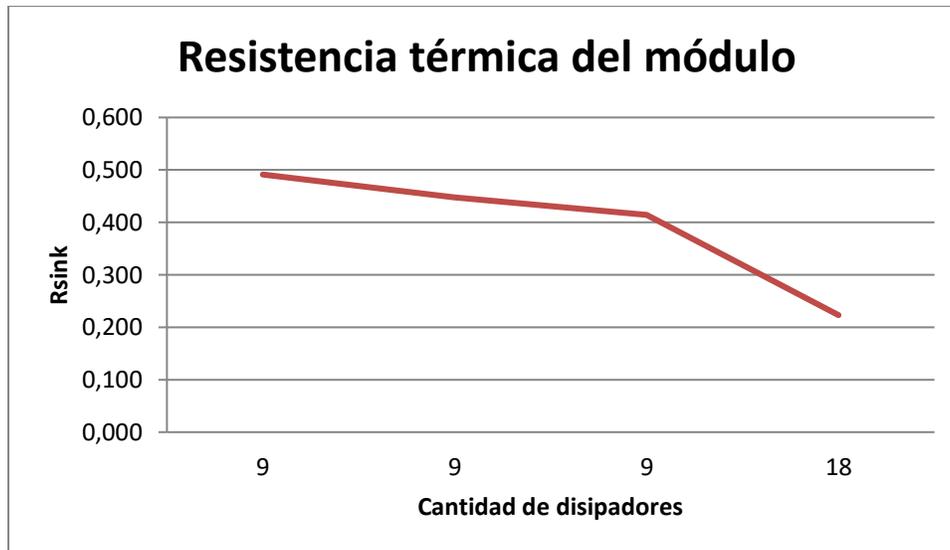


Figura 24 Resistencia térmica obtenida computacionalmente del módulo en relación a la cantidad de disipadores

Casos con misma cantidad de disipadores y diferentes alturas

Disipadores por modulo= 9

Altura Disipador [m]	Pr	Re	η_{fin}	Rfin	Rsink
0	0,70504023	2,35E+03	0,99	17,445	197,664
0,01	0,70504023	2,35E+03	0,50	4,550	0,491
0,025	0,70504023	2,35E+03	0,21	4,313	0,448
0,05	0,70504023	2,35E+03	0,11	4,248	0,414

Tabla 6 Resistencia térmica en relación a la altura de las aletas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resultados computacionales del caso

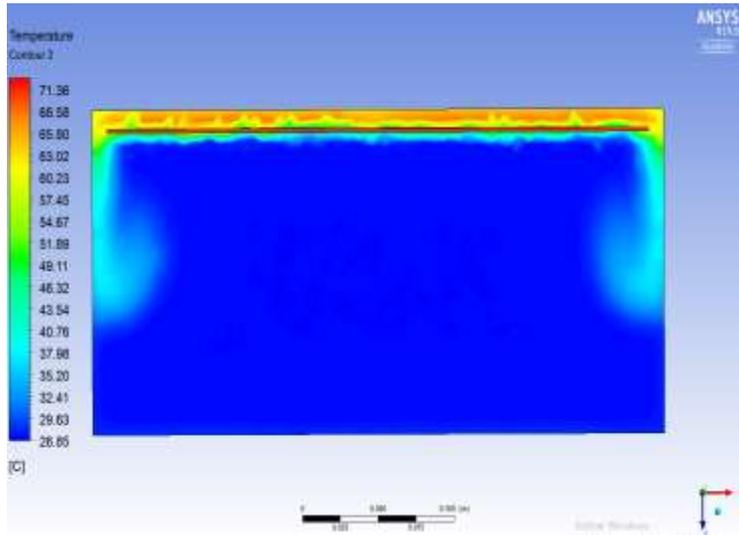


Figura 25 Contorno transversal de temperatura sin disipador (caso base)

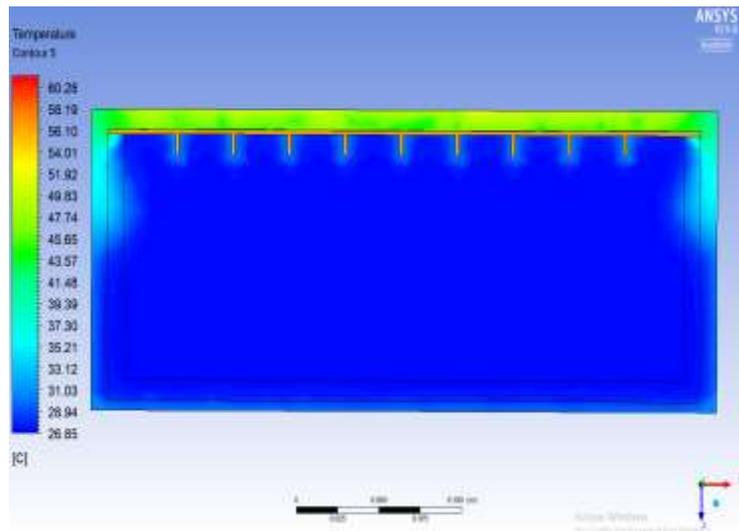


Figura 26 Contorno transversal de temperatura con disipador 10 mm

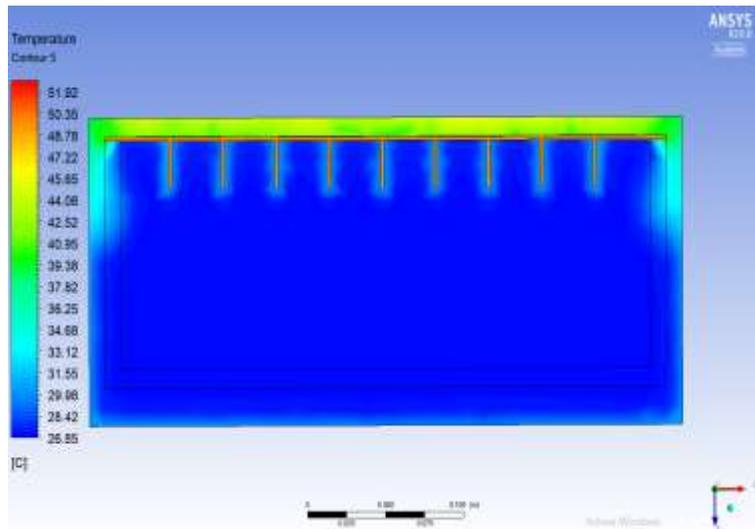


Figura 27 Contorno transversal temperatura con dissipador de 25 mm

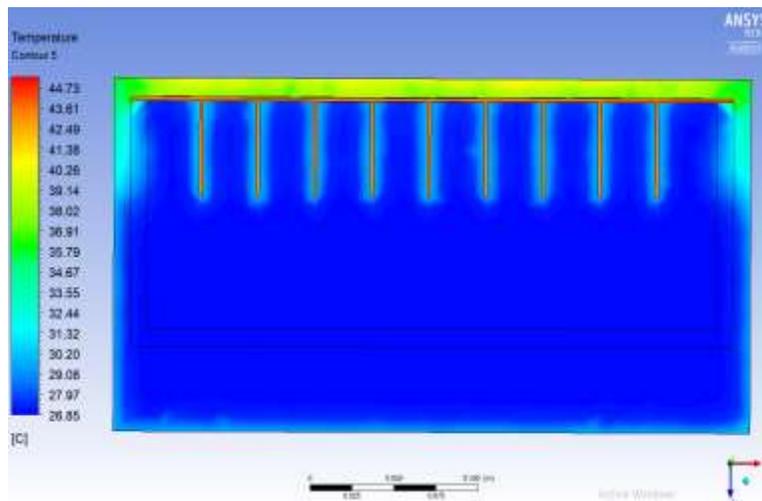


Figura 28 Contorno transversal temperatura con dissipador de 50 mm

Altura Dissipador [m]	Temperatura Teórica [K]	Temperatura Computacional [K]
0	336,38	336,38
0,01	355,28	330,19
0,025	348,00	323,94
0,05	342,38	317,95

Tabla 7 Temperatura teórica y temperatura computacional

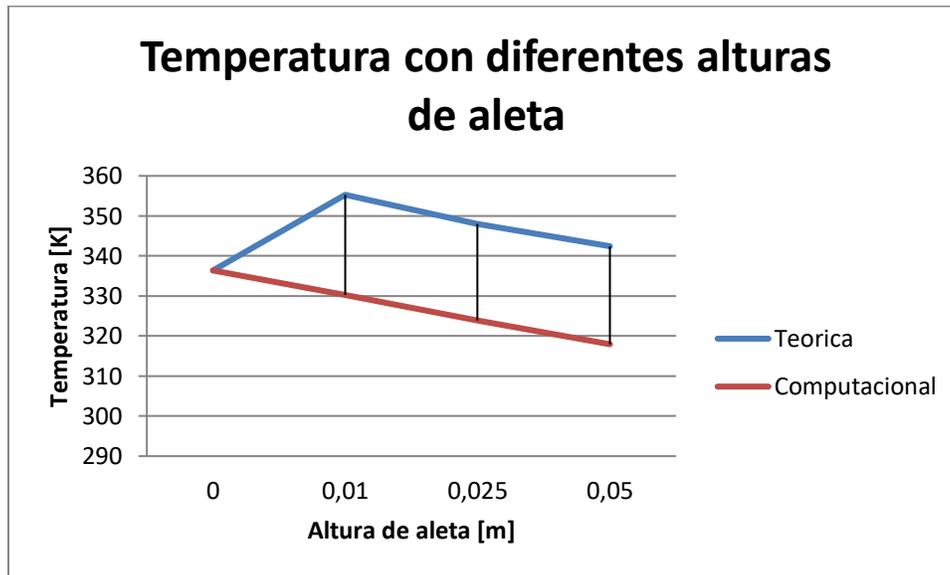


Figura 29 Temperatura teórica y experimental con diferentes alturas de disipador

Perfil de velocidad

Parámetro de entrada	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura ambiente	T_{∞}	25	[°C]
Velocidad del aire	U_{∞}	1	[m/s]
Densidad del aire	ρ	1,1225	Kg/m^3

Tabla 8 Parámetros de entrada a simulación fluido dinámica

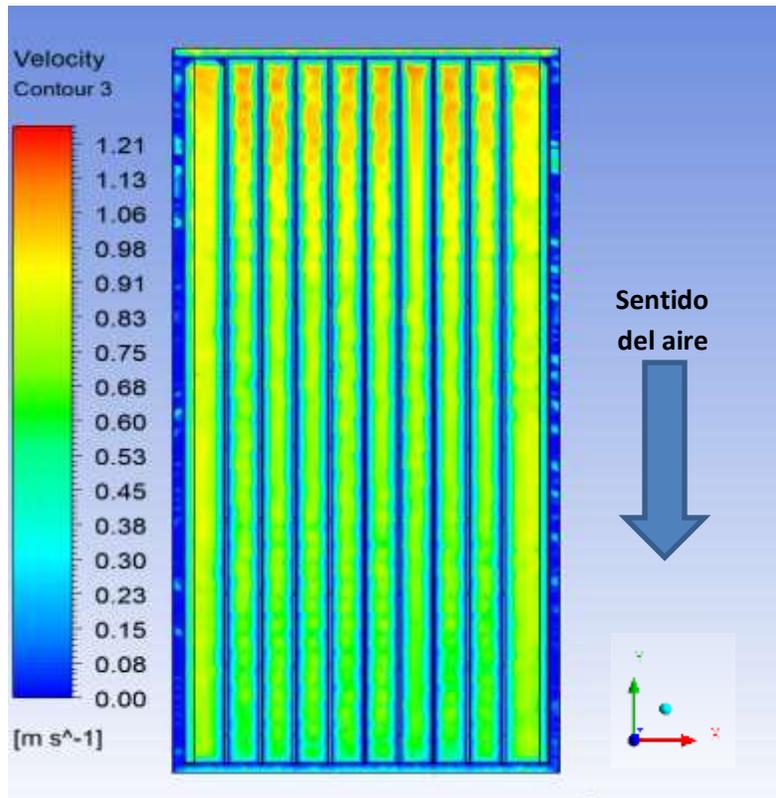


Figura 30 Plano XY de perfil de velocidad en el módulo fotovoltaico con velocidad de entrada de 1m/s

Caso con diferente cantidad de disipadores y a igual altura

Altura Disipador [m]	Cantidad de disipadores	Temperatura Teórica [K]	Temperatura Computacional [K]	ERROR [%]
0,025	9	348	323,94	7,42
0,025	18	310,14	309,14	0,42

Tabla 9 Temperatura de modulo fotovoltaico con diferente cantidad de disipadores

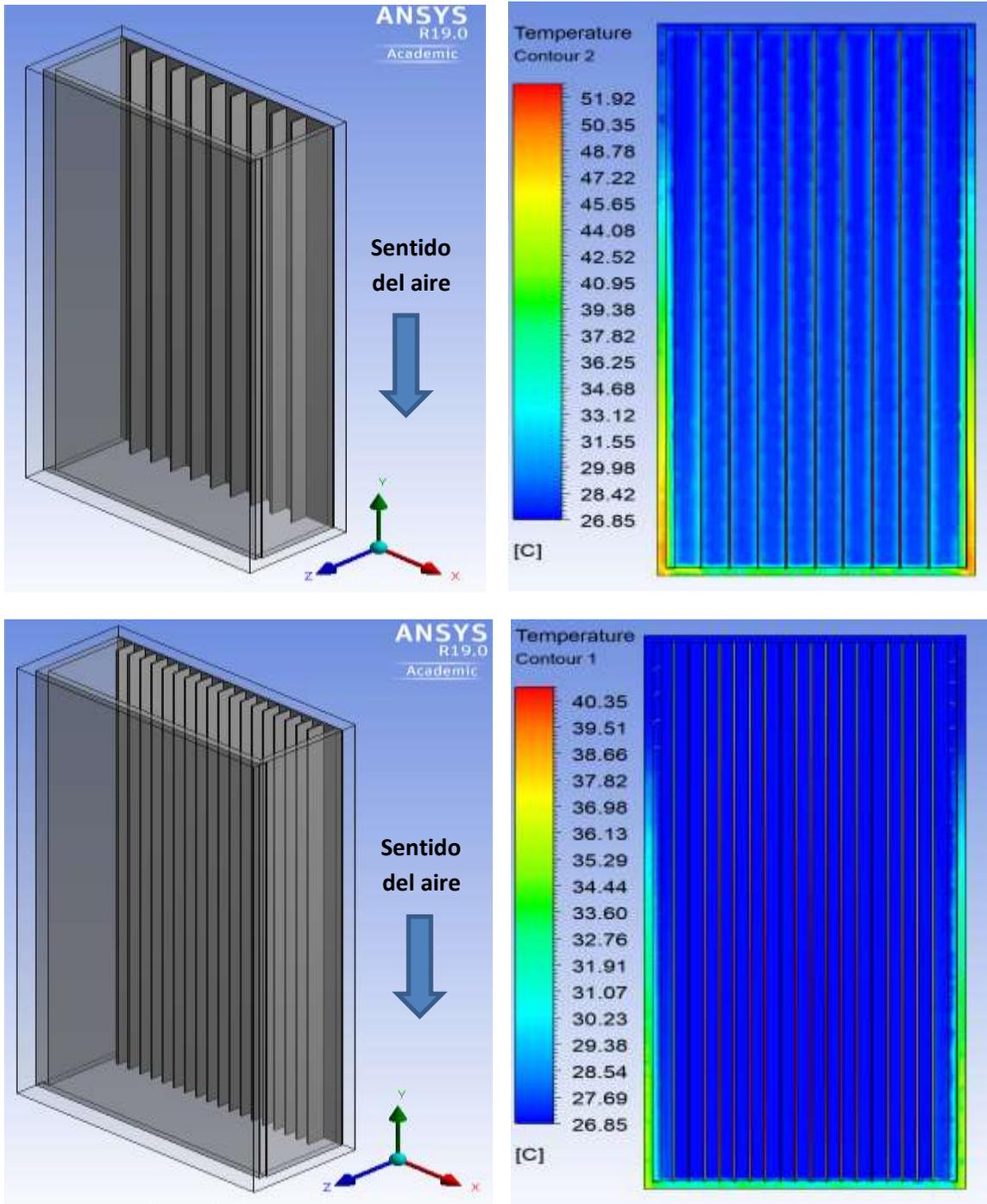


Figura 31 Comparación entre dos disipadores con la misma altura de aleta de 25 mm y diferente cantidad de aletas, a la derecha el contorno XY de temperatura

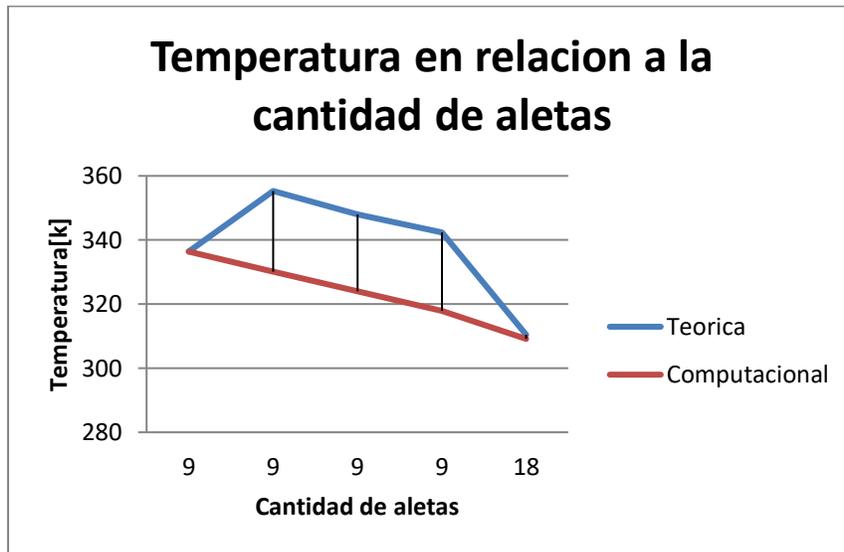


Figura 32 Temperatura del módulo fotovoltaico teórica y computacional en relación a la cantidad de aletas

A partir de estos resultados se puede observar que una mayor cantidad de aletas aumenta la transferencia de calor por convección, disminuyendo la temperatura total del módulo fotovoltaico.

Caso con diferente configuración de disipadores

Altura Disipador [m]	Cantidad de disipadores	Temperatura Teórica [K]	Temperatura Computacional [K]
0,025	9	348	323,94
0,025	9	348	323,97

Figura 33 Temperatura con diferente altura de disipadores

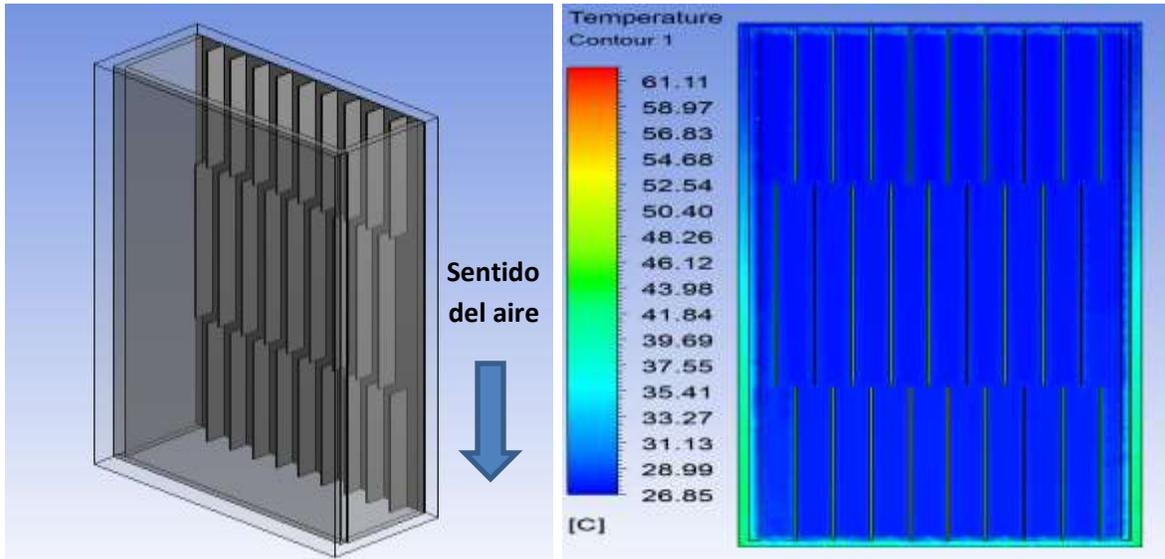


Figura 34 Disipadores con configuración diferente de aletas con una altura de 25 mm de aleta, a la derecha contorno en plano XY de temperatura

Los resultados obtenidos durante esta simulación demostraron que no tiene relevancia la disposición de las aletas en la temperatura total del sistema.

Eficiencia del módulo fotovoltaico

Eficiencia según datos del panel fotovoltaico comercial= **10,5%**

Potencia máxima según datos de panel fotovoltaico comercial= **21,6 W**

Altura Disipador [m]	Área Disipada [m ²]	Potencia en relación a la temperatura [W]	Eficiencia [%]
0	0	17,88	10,70
0,01	0,43	18,49	11,06
0,025	0,64	19,09	11,42
0,05	0,99	19,68	11,77

Tabla 10 Potencia en relación a la temperatura y eficiencia del módulo fotovoltaico

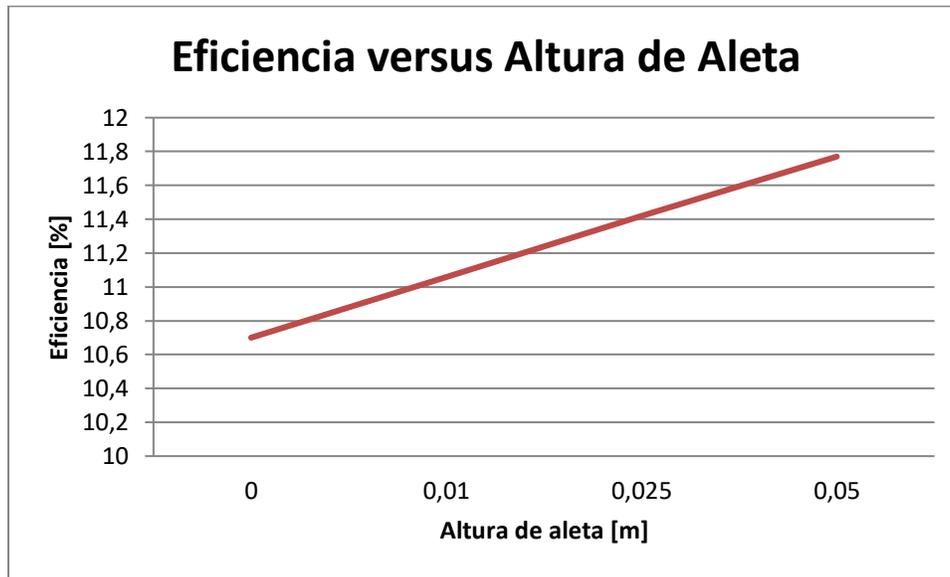


Tabla 11 Cálculo computacional de la eficiencia en relación a la altura de las aletas

En el caso base se tienen una similar eficiencia según los datos del módulo comercial, y la calculada a partir de los datos computacionales, además se observa que aumentar la altura de los disipadores aumenta la eficiencia en la conversión de energía eléctrica hasta en un 1%.

Efecto del Número de aletas en el número de Nusselt

El efecto directo no es precisamente el aumento de aletas, este depende del estrechamiento del espacio entre las placas, debido que al tener más la forma de un canal, el flujo se asemeja a un flujo entre placas paralelas infinitas. El fenómeno que ocurre de no desarrollo del flujo de aire va de la mano con un estancamiento de masa de fluido enfrente del disipador de calor, lo que genera un gran gradiente de presión, lo cual tiene influencia directa en la velocidad al interior del canal.

El efecto es directo, al tener mayor número de aletas, los canales son más angostos, al ser más pequeño el espacio para que circule el aire, éste no se desarrolla completamente, dando paso a que el Nusselt en desarrollo predomine.

Efecto de la altura de las aletas en la temperatura del módulo fotovoltaico

Hablar de la resistencia térmica del disipador es igual que hablar de la resistencia térmica total del panel fotovoltaico, siendo una relación directa, Utilizando esta relación directa, se puede caracterizar la variación de la altura de la aleta y cuantificar su influencia directa en la resistencia térmica del conjunto total.

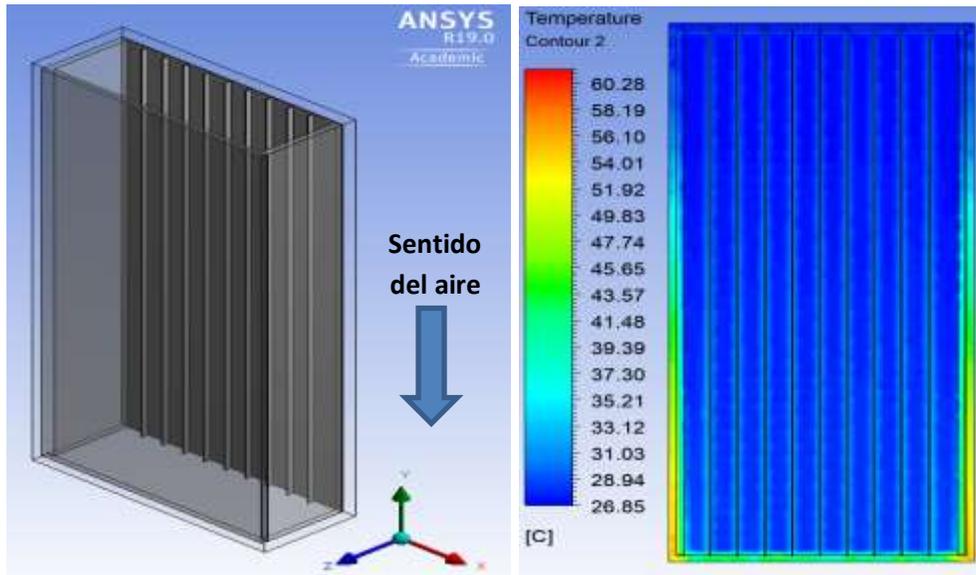


Figura 35 Contorno de temperatura con disipador de 10 mm

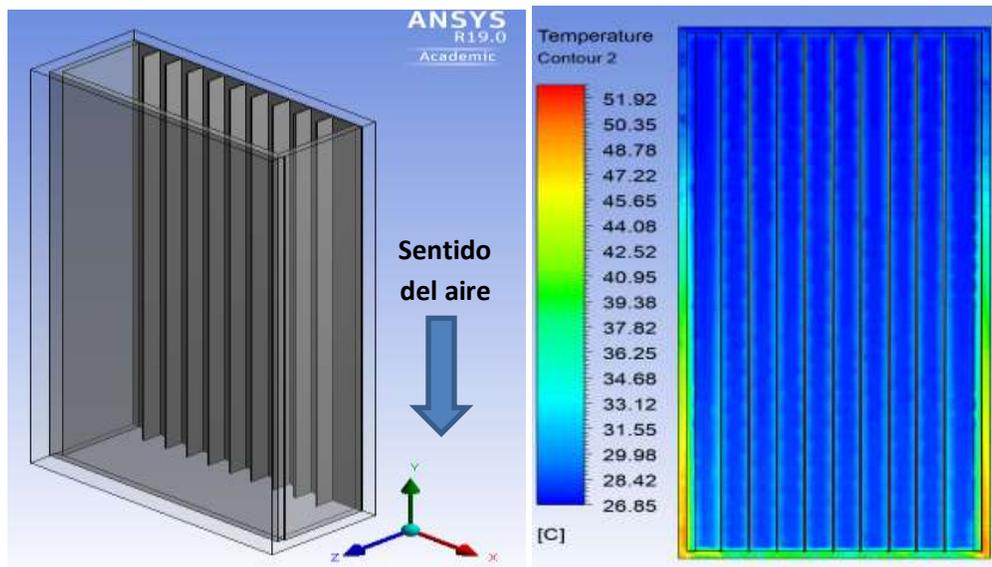


Figura 36 Contorno de temperatura con disipador de 25 mm

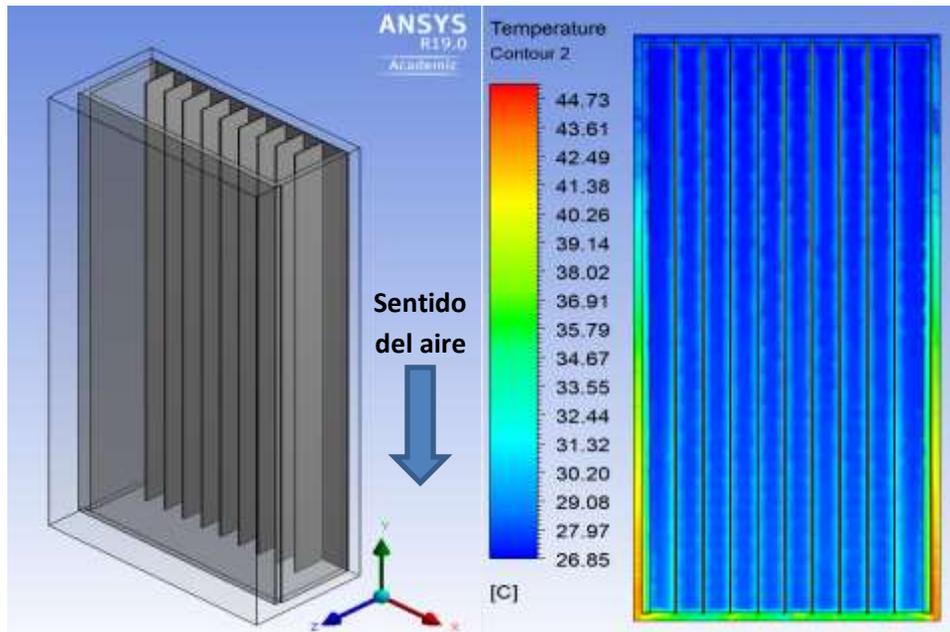


Figura 37 Contorno de temperatura con disipador de 50 mm

Error entre el modelo matemático y computacional

El error teórico contra modelo computacional, permite afirmar que con un error máximo del 7,68 % el modelo computacional es útil y replicable en para otros casos de análisis.

Altura Disipador [m]	Temperatura Teórica [K]	Temperatura Computacional [K]	Error [%]
0	336,38	336,38	0
0,01	355,28	330,19	7,59
0,025	348,00	323,94	7,42
0,05	342,38	317,95	7,68
0,025	310,46	309,14	0,42
0,025	348,00	323,97	7,41

Tabla 12 Error entre la temperatura teórica y computacional

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- En el desarrollo del estudio se simularon computacionalmente diferentes configuraciones y alturas de disipadores para paneles fotovoltaicos, lo cual se validó matemáticamente a través del modelo de resistencias térmicas, con lo cual se corroboró el efecto de la temperatura en la eficiencia de los paneles y como la disminución de esta puede incidir en un mejor funcionamiento de los mismos.
- Se determinó mediante simulación computacional de fluidos la incidencia de diferentes arreglos de disipadores, con tres diferentes alturas de 10mm, 25mm y 50 mm y su incidencia en la eficiencia de paneles fotovoltaicos térmicos (PTV).
- El modelo computacional está bien representado por el modelo matemático, en el cual se observa que al aumentar la altura de las aletas existe un mayor intercambio de calor con el exterior y una reducción de la temperatura, además de encontrar un error máximo de 7,68 % el cual es valor aceptable para replicar el modelo.
- Aumentar el número de aletas y su altura mejoró la eficiencia en un 1%, mientras un aumento del número de aletas aumentó la eficiencia en un 1,6%, lo que significa una mejora significativa en su funcionamiento.
- Las mejoras en la temperatura del panel fotovoltaico además de proporcionar un mejor rendimiento eléctrico, aumenta la vida útil de este debido a que no presentara diferentes gradientes de temperatura.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- [1] C. G. Popovici, S. V. Hudişteanu, T. D. Mateescu, and N.-C. Cherecheş, "Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat Sinks," *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 425–432, Jan. 2016.
- [2] Agrawal, S., Tiwari, G.N., 2011. Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module. *Sol. Energy* 85 (2), 356–370.
- [3] Agrawal, S., Tiwari, G.N., 2012. Exergoeconomic analysis of glazed hybrid photovoltaic thermal module air collector. *Sol. Energy* 86 (9), 2826–2838.
- [4] Goh Li Jin, Adnan Ibrahim, Yee Kim Chean, Roonak Daghigh, Hafidz Ruslan, Sohif Mat, Mohd. Yusof Othman, Kamaruzzaman Sopian, Evaluation of Single- Pass Photovoltaic Thermal Air Collector With Rectangular Tunnel Absorber, *American Journal of Applied Sciences* 7, 2, pp.277,282, 2010.
- [5] Ionuţ - Răzvan Caluianu, Florin Băltăreţu, Thermal modelling of a photovoltaic module under variable free convection., *Applied Thermal Engineering* 33-34; 2012
- [6] Borkar DS, Prayagi SV, Gotmare J. Performance Evaluation of Photovoltaic Solar Panel Using Thermoelectric Cooling, *International Journal of Engineering Research*, Vol. 3, No. 9; 2014, p. 536-539.
- [7] Fontenault B. Active Forced Convection Photovoltaic/Thermal Panel Efficiency Optimization Analysis, Rensselaer Polytechnic Institute Hartford; 2012.
- [8] Kelifa A, Touafek k, Ben Moussa H, Tabet I, Ben Cheikh El hocine H, Haloui H, Analysis of a Hibrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PTV), *Energy Procedia*, vol. 74, pp 835-843, 2015.
- [9] Lee S.S, Lai S.O, Chong K.K, A Study on Cooling of Concentrator Photovoltaic Cell using CFD, *International Conference on Innovation, Management and Technology Research*, 2012
- [10] Chaabane M, Mhin H, Bournot P, Experimental validation of thermal performance of a concentrating photovoltaic/thermal system, *Fifth International Renewable Energy Congress IREC*, 2014.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

[11] Baloch A, Bahaidarah H, Gandhidasan P., An Experimental Study of the Effect of Converging Channel Heat Exchanger on PV System , King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, 31261, Saudi Arabia, 2015

[12] Baloch A, Bahaidarah H, Gandhidasan P., Computational Fluid Dynamics Study for Optimization of Surface Temperature Profile of Photovoltaic/Thermal System, Mechanical Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Justin Roman A.

FIRMA ASESOR Jorge Sierra
ENVÍO 1º ENTREGA DE FDECEB

FECHA ENTREGA: 19-10-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FECHA ENTREGA: _____