

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

Prototipo de disipación de calor en paneles fotovoltaicos para análisis de eficiencia de conversión de energía.

Alejandro Vargas Cortés

Ingeniería Electromecánica

Elkin Henao Bravo

Daniel Sanín Villa

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

21 de marzo del 2024

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

RESUMEN

En este proyecto se busca analizar el funcionamiento de un panel solar aplicando uno de los métodos de transmisión de calor como la conducción, el cual consiste en el intercambio de temperatura de una superficie a otra a través de un contacto directo entre las partes. En este caso se diseñó un disipador de aleta para un panel solar como mecanismo de enfriamiento. Como resultados se obtuvieron que, al variar la temperatura de 45 a 60°C, se evidencia un patrón de crecimiento lineal, indicando que existe una relación proporcional directa entre la temperatura y la cantidad de calor disipado por la aleta. Asimismo, se evidenció que al ser la aleta más larga también hay un aumento en la disipación del calor. Como conclusión principal se obtuvo que con esta implementación del mecanismo de enfriamiento se genera un mejor rendimiento y eficiencia del panel solar a nivel térmico.

Palabras clave: Convección, Disipador, Panel Fotovoltaico, Transmisión de calor.

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

ABSTRACT

In this project, the objective is to analyze the operation of a solar panel by applying one of the heat transmission methods, such as conduction. Conduction involves the exchange of temperature between surfaces through direct contact. In this case, a solar panel was designed with a finned heatsink as a cooling mechanism. The results showed that, by varying the temperature from 45 to 60°C, a linear growth pattern was evident, indicating a direct proportional relationship between temperature and the amount of heat dissipated by the fin, denoted as \bar{Q}_- (*total, aleta*). It was also observed that increasing the length of the fin resulted in enhanced heat dissipation. The main conclusion drawn was that this cooling mechanism implementation leads to improved thermal performance and efficiency of the solar panel.

Keywords: Convection, Heatsink, Photovoltaic Panel, Heat Transmission.

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

RECONOCIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento inicialmente a Dios por brindarme salud y vida, permitiéndome la oportunidad de avanzar en esta ingeniería. Agradezco también a mi esposa por su dedicación y apoyo incondicional. Finalmente, doy las gracias a mis dos asesores, quienes me acompañaron durante la ejecución de este trabajo de grado, y que gracia a sus sugerencias, exigencias y retroalimentación constante, me ayudaron a que su desarrollo fuera exitoso y obtuviera buenos resultados.

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Objetivos	7
1.1.1 Objetivo general	7
1.1.2 Objetivos específicos	7
1.2 Organización del trabajo	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Funcionamiento de los paneles solares	8
2.2 Eficiencia de los paneles solares en función de su temperatura	10
2.3. Mecanismos para enfriar paneles solares	11
2.4. Sistema de disipación	13
2.4.1. Tipos de disipadores de calor	15
2.4 Eficiencia	17
3. METODOLOGÍA	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	48
REFERENCIAS	49

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

1. INTRODUCCIÓN

La producción de energía fotovoltaica ha crecido de manera exponencial como una de las fuentes de energías renovables y con mayor proyección debido al calentamiento global que se viene presentado durante las últimas décadas. Los paneles fotovoltaicos poseen una baja eficiencia, con el pasar de los años los ingenieros de diferentes áreas se han visto en la tarea de mejorarla y de este modo aprovechar cada vez más la energía eléctrica para el beneficio y desarrollo de la humanidad.

El funcionamiento de este equipo consiste en convertir parte de la radiación solar incidente en corriente continua que se puede convertir en corriente alterna por medio de un inversor. La eficiencia de los paneles solares suele oscilar entre el 4% y el 22%, siendo la temperatura uno de los factores principales que afecta negativamente a su rendimiento. En un experimento llevado a cabo por Singh et al., (2021), se implementó una placa de cobre con circulación de agua con el objetivo de mejorar el rendimiento de los paneles solares, logrando una reducción significativa del 15.23% en la temperatura con un flujo másico de 0.0166 Kg/s. Estas pruebas se llevaron a cabo durante todo un día, desde las 8:30 am hasta las 4:00 pm, con mediciones realizadas cada media hora.

Otro estudio, conducido por Hadipour et al., (2021), exploró la aplicación de rocío de agua sobre los paneles solares, lo que condujo a una notable disminución de las temperaturas hasta en 22°C y a una mejora en la eficiencia que osciló entre el 25.9% y el 33.3%. Siendo así, que, con base a lo anterior, se reconoce que a mayor temperatura menor es la generación de potencia y la eficiencia del panel solar.

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

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Analizar el funcionamiento de un panel solar en conjunto con un dispositivo disipador de calor.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento de un panel solar disminuyendo la temperatura.
- Buscar mejorar la eficiencia de un panel solar a través del proceso de refrigeración.
- Implementar un método de refrigeración para los paneles solares.

1.2 Organización del trabajo.

En el primer capítulo, se inicia con la introducción al análisis de los paneles solares. A continuación, se delimitan los objetivos del estudio. El segundo capítulo contiene el marco teórico, que comprende una descripción detallada de los elementos utilizados y una revisión de estudios previos sobre la refrigeración de paneles solares, dividiéndose en 6 temas principales: 1) funcionamiento de los paneles solares, 2) eficiencia de los paneles en función de su temperatura, 3) mecanismos de enfriamiento de los paneles solares, 4) sistema de disipación, 5) mantenimiento de las placas solares y, 6) la eficiencia. En el tercer capítulo se describe la metodología que detalla el proceso de las pruebas realizadas con disipadores de calor. En el cuarto capítulo se abordan los resultados experimentales, seguidos del quinto capítulo que son las conclusiones y las recomendaciones.

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

2. MARCO TEÓRICO

Para dar un soporte teórico a este trabajo de grado, se va a realizar una descripción de tres puntos esenciales a saber dividido en tres secciones: la primera tiene que ver con el funcionamiento de los paneles solares y su eficiencia en función de su temperatura; la segunda describe los mecanismos para enfriar los paneles solares y, finalmente, la tercera detalla el sistema de disipación por aletas de los paneles solares.

2.1 Funcionamiento de los paneles solares

Un panel solar es un dispositivo que capta la energía proveniente de la radiación solar y la convierte en energía eléctrica. No obstante, cabe destacar que este solo es uno de los componentes necesarios para establecer un sistema solar funcional, debido a que se requiere un convertidor de potencia, típicamente de corriente continua a corriente alterna, esta última siendo la más comúnmente utilizada para alimentar equipos y electrodomésticos en entornos residenciales e industriales (Ramírez, 2019).

En la industria solar, se pueden encontrar distintos tipos de paneles solares, principalmente clasificados como monocristalinos y policristalinos. La variación entre ellos radica en su eficiencia y el costo asociado a su instalación. Sin embargo, ambos comparten un denominador común: están contruidos mayoritariamente con silicio, siendo este material la base de 9 de cada 10 paneles fotovoltaicos en el mercado (Forero y Esquivel, 2019). En la Figura 1 se muestran los componentes tradicionales de un panel solar.

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

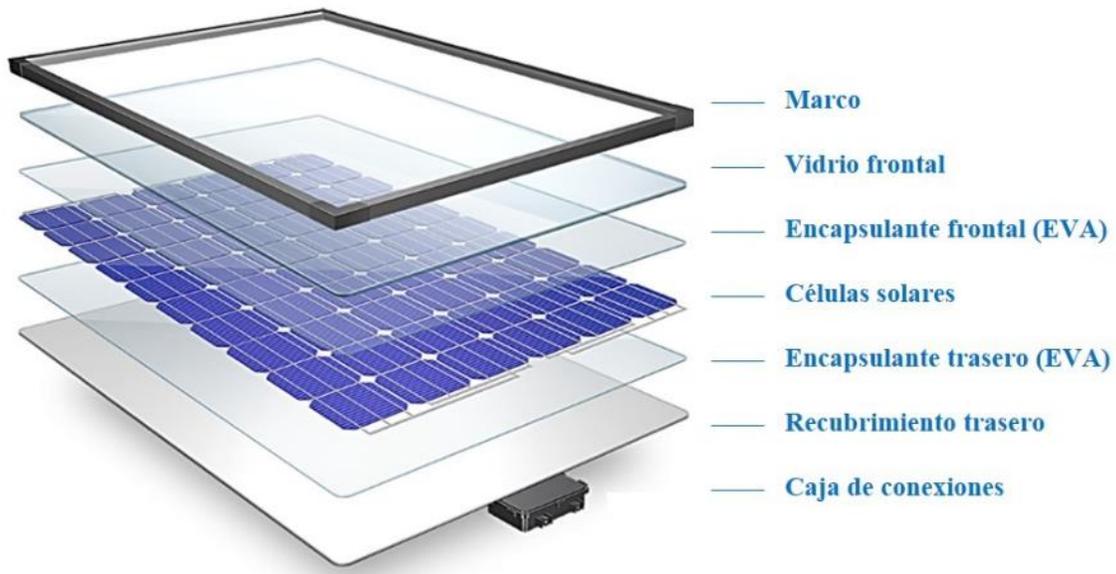


Figura 1. *Partes de que componen un panel solar.* Tomado de ECO GREEN ENERGY (2021).

Ahora bien, los paneles monocristalinos (mono-si) cuentan con una alta pureza de silicio, en donde su aspecto es oscuro y cuenta con sus bordes redondeados. Se reconoce que estos paneles son más costosos debido a que tienen una mayor eficiencia.

Por otro lado, los paneles policristalinos (poly-si), tienen un tratamiento más sencillo que los anteriores, contando con una fundición de silicio en bruto y haciendo que su aspecto sea más cuadrado, con ángulos rectos y presentándose de un color azul. Lo anterior, hace que estos sean más económicos.

En la Figura 1. Se muestra en una imagen la diferencia entre los paneles policristalinos respecto a los paneles monocristalinos.

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

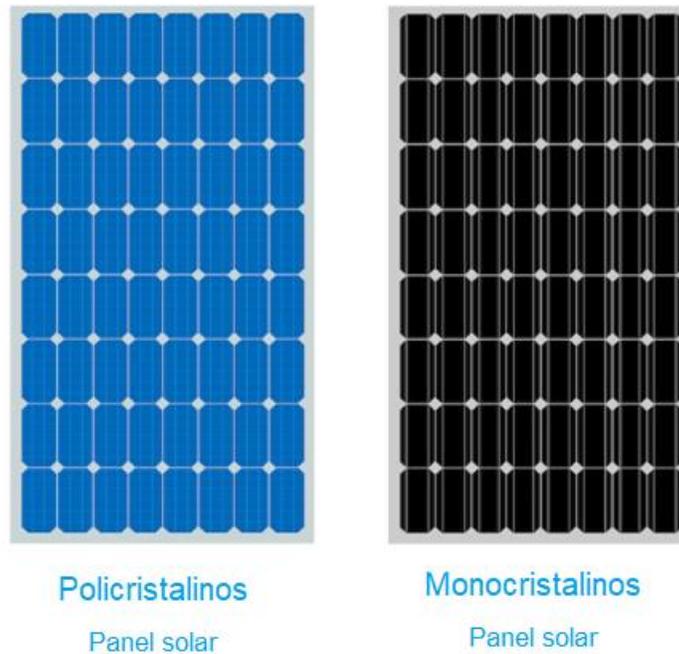


Figura 2 . Diferencia de paneles policristalinos y monocristalinos. Tomada de Ecoinventos (2022)

En este punto, es importante resaltar que a parte de la cantidad de silicio que tenga el panel solar, existen otras variables que inciden en el rendimiento y eficiencia de los paneles solares, por ejemplo, el ángulo de inclinación de los paneles, la irradiancia que recibirá en el lugar de la instalación, la potencia del pico y la temperatura (Forero y Esquivel, 2019).

2.2 Eficiencia de los paneles solares en función de su temperatura

Desde una perspectiva numérica, la evaluación de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos se realiza mediante la medición de la cantidad de potencia generada. En este sentido, se cuantifica la energía eléctrica producida por cada módulo, teniendo en cuenta diversos factores, entre los que se incluyen la transformación de la energía interna, el calor absorbido por el sistema y el calor procesado por el sistema (Almanza, et al., 2019).

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

Este enfoque resalta la influencia de la temperatura en el rendimiento de los paneles solares, ya que se ha observado que, a temperaturas más elevadas, disminuye su eficiencia. Específicamente, se ha identificado que la generación de energía eléctrica tiende a reducirse a medida que la temperatura se incrementa, debido a que afecta la potencia de salida, llegando a ser más eficiente cuando se mantiene una temperatura ambiente alrededor de los 25°C y se logra una adecuada interceptación de los rayos solares (Torres et al., 2018).

Según Hamzat et al. (2021), cualquier variación en la temperatura de una celda o panel solar, ya sea hacia arriba o hacia abajo en un grado, resulta en un aumento o disminución proporcional de la potencia. En otras palabras, el coeficiente de temperatura para cualquier celda es de -0,2%. Esto implica que, por cada incremento en la temperatura de un grado, la potencia máxima de la celda se verá reducida en un 0,2%, lo que afecta su eficiencia.

Este fenómeno refuerza la importancia de controlar y mantener las condiciones térmicas óptimas para maximizar el rendimiento de los paneles solares, subrayando la necesidad de considerar estrategias que mitiguen el impacto del calor sobre la eficiencia energética en sistemas fotovoltaicos, siendo así, que se deban utilizar diferentes mecanismos para enfriar los paneles solares los cuales serán explicados en la siguiente sección.

2.3. Mecanismos para enfriar paneles solares

La gestión efectiva de la temperatura en la superficie operativa emerge como un elemento crítico para potenciar la eficiencia de los paneles solares en funcionamiento. Un adecuado control térmico no solo tiene el potencial de incrementar la eficiencia eléctrica, sino también de mitigar la tasa de degradación celular a lo largo del tiempo (Linares, 2022).

En este contexto, la refrigeración en el ámbito de los paneles solares se focaliza en la captura y conversión del calor generado por la radiación solar en energía utilizable.

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

La implementación de sistemas de refrigeración, ya sean activos (que requieren una fuente de energía externa y equipo adicional) o pasivos (que prescinden de equipo mecánico o fuentes externas de energía), se erige como el enfoque principal para alcanzar este objetivo (Maleki et al., 2020).

La refrigeración activa se distingue por su capacidad para gestionar la temperatura mediante dispositivos mecánicos alimentados externamente, mientras que la refrigeración pasiva se caracteriza por estrategias que no dependen de fuentes de energía externas y no requieren componentes mecánicos adicionales. Ambos enfoques representan alternativas viables, cada uno con sus ventajas particulares y aplicaciones específicas en función de las condiciones y requisitos del entorno solar.

En la optimización del rendimiento de los paneles solares, se tienen distintos mecanismos de enfriamiento estratégico. El primero es la refrigeración mediante aire, donde la convención natural y forzada se vale de ventiladores para expulsar el calor del sistema fotovoltaico. Este método implica un notable despliegue energético de los ventiladores (Verma et al., 2020).

Otra alternativa es la refrigeración por agua, que se distingue por la eficiente capacidad de transporte de calor. La implementación de este mecanismo para enfriar sistemas de paneles solares demanda la selección de materiales resistentes a la corrosión y la ejecución de una instalación hermética (Hamzat et al., 2021).

Un tercer mecanismo de vanguardia implica la utilización de materiales de cambio de fase (PCM). Estas sustancias exhiben un elevado calor latente de fusión con un punto específico de cambio de fase (ya sea líquido o sólido). Este proceso permite que los materiales PCM absorban o liberen calor en correspondencia con su temperatura de cambio de fase, lo cual ha sido explorado en investigaciones recientes sobre energía (Energéticos, 2022). La aplicación de PCM se configura como una estrategia innovadora para la gestión térmica efectiva en paneles solares, contribuyendo así a optimizar su eficiencia operativa.

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

2.4. Sistema de disipación

El disipador de calor, en este caso cumple un papel fundamental a nivel industrial, la misión de este es extraer el calor de la cámara interna del disipador hacia el exterior, lo que hace que se le considere como un intercambiador de calor que extrae el calor de un sólido y lo cede al otro, reduciendo la temperatura debido a los cambios que se producen en los dispositivos.

Los disipadores de calor cumplen con las leyes de la termodinámica, empleando mecanismos de transmisión de calor de la fuente de mayor temperatura hacia un reservorio de menor temperatura. Existen dos clases de disipadores; activos o pasivos, los activos suelen constar de un mecanismo incorporado que hace fluir el aire, como un ventilador, esto los hace más costosos, en cambio los pasivos no constan de este mecanismo, lo cual hace que sean menos eficaces.

En la Figura 3. Se observa que la temperatura del sólido 1, es mayor que la temperatura del sólido 2; cuando el disipador hace su proceso de enfriamiento, expulsa el calor de un lado hacia el otro.

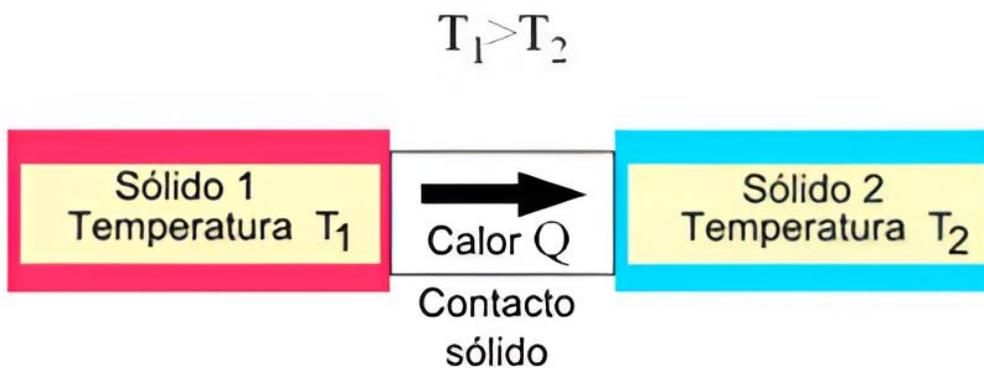


Figura 3. Representación de dos piezas con un intercambiador de calor. Tomada de Inditer (2020).

Los disipadores están hechos de distintos materiales tales como el cobre, acero, acero inoxidable y aluminio, el cobre comúnmente se ha familiarizado para los disipadores de

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

calor de tubos y aletas, el aluminio también se emplea para la fabricación de este tipo y para intercambiadores de placas.

El acero y el acero inoxidable se emplean para la fabricación de todo tipo de disipador la diferencia está en el tipo de fluido que deseemos poner en circulación (Lasso, 2021).

En la Figura 4. Se puede evidenciar como es la forma de un disipador y como se constituye de varios elementos como placas de aluminio y cobre en la parte inferior de este, comúnmente este es muy utilizado a nivel industrial.



Figura 4. *Ejemplo de un disipador de calor.* Tomada de Inditer (2020).

En la Figura 5. Se presenta la conexión del disipador de calor hacia el panel solar, generándole un gran beneficio de evitar problemas de sobrecalentamiento, corrosión, degradación o pérdidas de fluido.

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



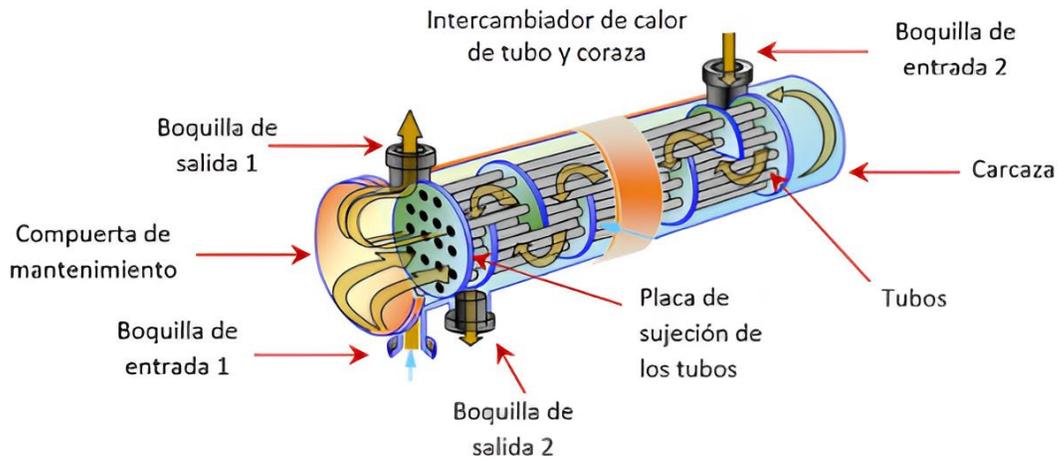
Figura 5. Panel solar conectado con disipador de calor. Tomada de Inditer (2020).

2.4.1. Tipos de disipadores de calor

En la industria existen diferentes tipos de disipadores: a) Carcasa y tubos, b) disipador por placas y, c) disipador por placas y aletas. El primero, se compone de una carcasa y dos tubos que son montados en el inferior de la primera y en paralelo a esta. Siendo así que se enfoque en dos factores que son el coeficiente global de transferencia de calor y la caída de presión (Lasso, 2021).

El segundo, disipador por placas, se compone por un conjunto de placas finas empaquetadas o de láminas de metal que constan de un alto índice de transferencia. Este disipador permite que se produzcan flujos turbulentos que disipan calor a velocidades bajas.

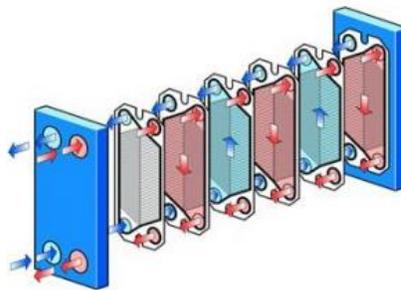
En la Figura 6. Se evidencia como está constituido este disipador, sus partes, su funcionamiento es circulación de un tipo de fluido (interno) y por el exterior en la carcasa otro fluido (externo).



Disipador de calor de Carcasa y tubo

Figura 6. *Diseño y partes de un disipador tubular. Tomada de Inditer (2020).*

En la Figura 7. Se puede observar cómo es la construcción del disipador por placas, su funcionamiento no es tan complejo, mientras que el calor desciende por una placa, en la placa contigua el calor (o fluido) circula de forma contraria, de esta forma, los dos fluidos nunca se juntan, disipando de esta forma el calor.



Disipador de calor por Placas

Figura 7. *Disipador de calor diseñado por placas. Tomado de Inditer (2020).*

El tercero, placas y aletas, está constituido por una serie de tubos situados en una corriente de aire lo cuales constan de unas aletas que permiten aumentar el área cuando se realiza el intercambio de calor.

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

En la Figura 8. Se evidencia el disipador de calor construido por tubos y aletas, en donde si se trata de un ventilador este hace que el aire se mueva por los tubos con las aletas, el fluido enfriado atraviesa los tubos hasta llegar a los extremos, donde se encuentran los cabezales.

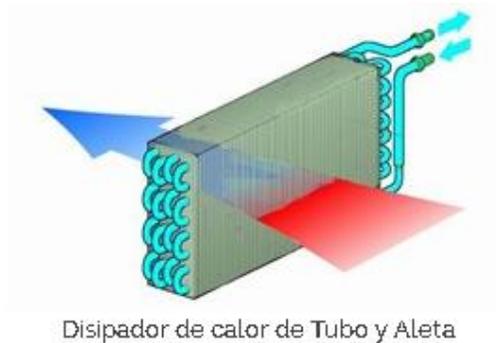


Figura 8. *Disipador de calor de aletas.* Tomado de Inditer (2020).

2.4 Eficiencia

En un primer estudio realizado sobre energía solar por (ZeynepÖzcan, 2021) en donde tras rigurosos análisis de la eficiencia y con el objetivo de mejorarla, se realizó un análisis sobre como disminuir la temperatura por medio de un conducto de aire ubicado en la parte inferior del panel, que le proporciona un cambio en la temperatura debido a la refrigeración que le genera, y así obtener una ganancia en la eficiencia, estos datos se van tomando anualmente por medio del software Matlab y PV SOL, ya que se pueden involucrar todas las variables, Temperatura, Potencia, Voltaje y Radiación.

En la Figura 9. Se observan las dimensiones con las que se ejecuta el estudio realizado en el artículo, dando claridad por medio de la figura en 3D, y esquema con sus acotaciones completas para obtener una mejor visualización y comenzar su análisis.

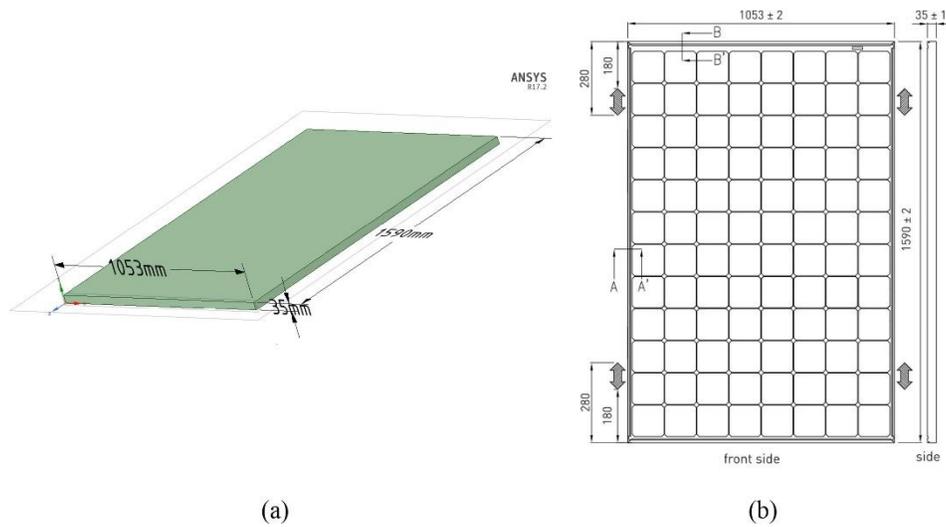


Figura 9. Medidas de un diseño de panel solar. Tomada de Zeynep et al. (2021).

De lo anterior, se obtiene que dentro del panel solar se evidencian diferentes cambios en la temperatura y como su mayor concentración se da en la parte central. Siendo así, que se propone un canal de enfriamiento por debajo de la placa que disminuya la temperatura en toda la placa y así, conservar la eficiencia y potencia eléctrica que se genera en óptimas condiciones (ver figura 10).

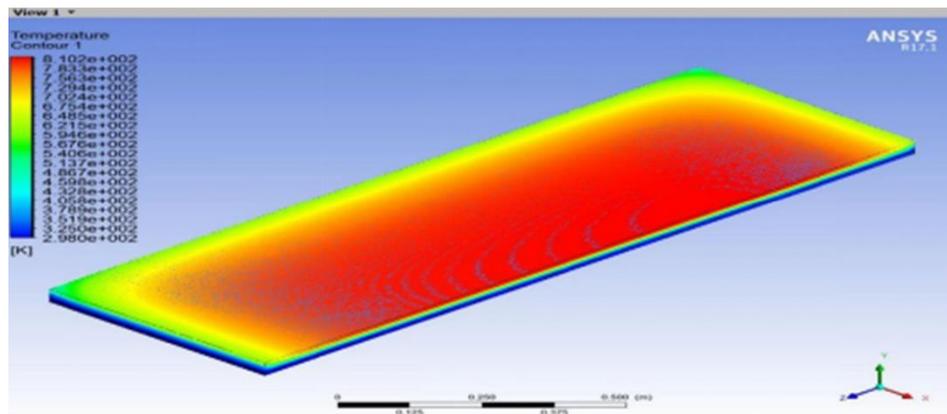


Figura 10. Ilustración de transferencia de calor por medio de software ANSYS. Tomado de Zeynep et al. (2021).

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

3. METODOLOGÍA

El proyecto consta de dos paneles solares de las mismas características que se encuentran en el Instituto Tecnológico Metropolitano “ITM” de la ciudad de Medellín-Colombia, estos son de la marca Hybrytec Energía solar, modelo HYBRYTEC-M5-30/12, con una potencia máxima de 30 W, (I_{mpp}) de 1.74 A, (V_{mpp}) 17.20 V, (V_{oc}) de 21.60 V, (I_{sc}) 1.93 A a condiciones estándar de prueba (STC).

Para este trabajo se implementará y diseñara un disipador con aleta recta, para ello: se tomaron medidas del panel fotovoltaico, se realizó una herramienta en Excel donde se anotaron cada una de las medidas del panel fotovoltaico (ver Tabla 1.) y donde también se definieron las medidas de la base del disipador y de las aletas, que ayudaron a encontrar los resultados de eficiencia, efectividad y disipación de calor que se verá en la sección de resultados. En la Tabla 1, también se puede observar los datos iniciales que se tomaron para la realización de cálculos anteriormente mencionados.

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

Tabla 1. Datos de panel y dissipador.

Datos			
Medidas del Panel	Largo (m)	Ancho (m)	Area (m ²)
	0,76	0,67	0,5092
Medidas del Dissipador (Lado largo)	Largo (m) (W)	Ancho (m) (H)	Area (m ²)
	0,43	0,36	0,1548
Medidas del Dissipador (Lado Corto)	Largo (m) (W)	Ancho (m) (H)	Area (m ²)
	0,31	0,13	0,0403
			Total (m ²)
			0,1951
Medidas de la aleta(Seccion transversal,Lado largo)	Largo w (m)	Alto t (m)	Area (m ²)
	0,41	0,003	0,00123
Medidas de la aleta(Seccion transversal,Lado corto)	Largo w (m)	Alto t (m)	Area (m ²)
	0,29	0,003	0,00087
Altura Aletas	Ancho L (m)	$A_{Aleta} (2 * w * L * w * t)$	
	0,025	0,000025215	
Temperatura Panel (T_p)	T (°C)	60	
	T (K)	333,15	
Temperatura Ambiente (T_∞)	T (°C)	28	
	T (K)	301,15	
Conductividad Termica Aluminio	K (W/m*K)	# aletas Larga	8
	237		
Coficiente Transferencia de calor	h (W/m ² *K)	# aletas Corta	3
	10		

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron resultados teóricos y prácticos relevantes para la investigación que ayudaron a mejorar y aumentar la eficiencia del panel y del disipador.

Después de haber tomado las medidas del panel fotovoltaico y definido las medidas de la aleta, basados en platina de aluminio comerciales, con medidas estándar de (25 x 3.2) mm o (1 x 1/8) pulgadas.

Se procedió a diseñar por piezas el disipador. Este diseño se realizó en el software de Autodesk Inventor, en donde se diseñaron 3 piezas (Placa, Aleta larga, Aleta corta) (ver Figura 11). Posteriormente, para sujetar las aletas a la placa del disipador se hicieron perforaciones a la base y unos salientes a las aletas que se incrustarán en las perforaciones.

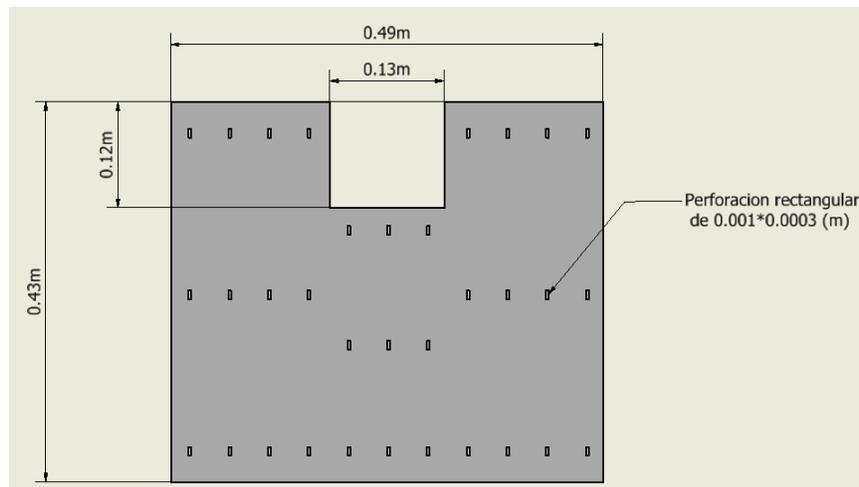


Figura 11. *Diseño de base del disipador.* Elaboración propia

En la Figura 12. Se tiene el diseño de la aleta larga en donde se pueden observar los salientes que incrustan en la placa del disipador.

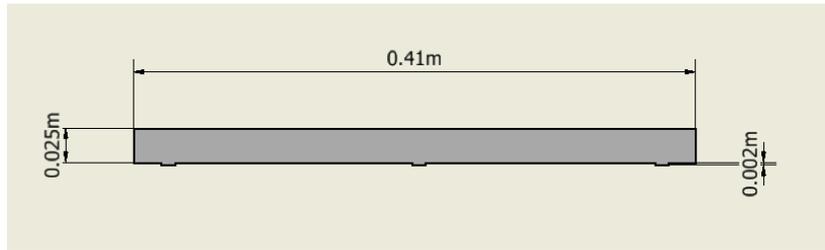


Figura 12. *Diseño de aleta larga.*

En la Figura 13. Se presenta el diseño de la aleta corta, en donde se pueden observar los salientes que incrustan en la placa del disipador.

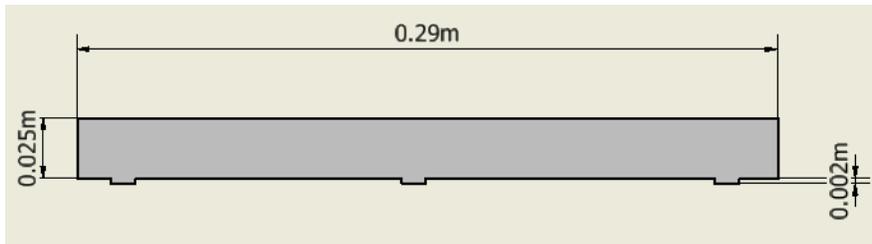


Figura 13. *Diseño de aleta corta.*

En cuanto a su ensamble de la base, aleta larga y aleta corta se tuvo el que se muestra en la Figura 14.

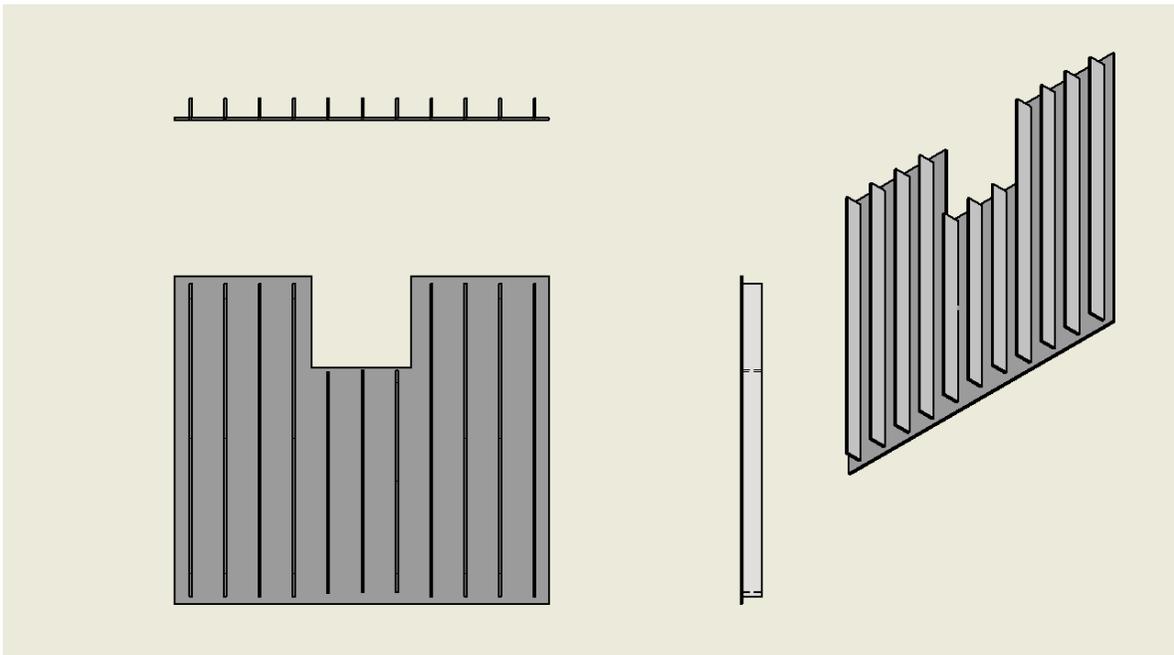


Figura 14. *Ensamble piezas del disipador.*

Finalmente, se tuvo el siguiente diseño del disipador como lo muestra la Figura 15.

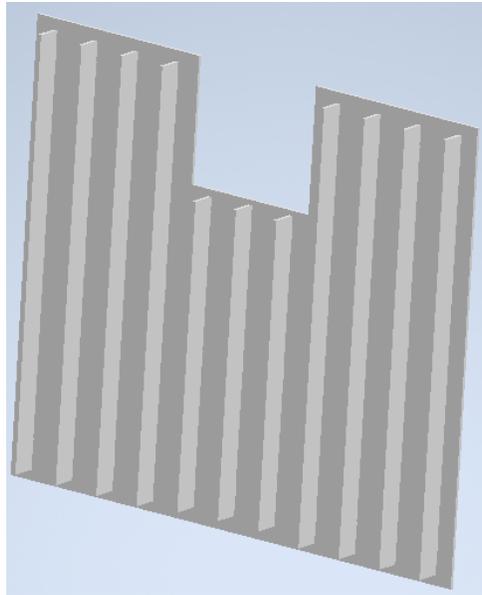


Figura 15. *Ensamble de disipador.*

Tabla 2. *Propiedades del cobre y aluminio. Tomado de (Gabrian International,, 2016).*

Metal	Comparación		
	Conductividad Térmica	Densidad	Precio
Aluminio	235 BTU/h.ft. °f	2712 kg/m3	Menor precio
Cobre	399 BTU/h.ft. °f	8940 kg/m3	Mayor precio

En cuanto a la fabricación del disipador se seleccionó el aluminio como material principal debido a que como se muestra en la Tabla 2, donde se tuvieron en cuenta algunas características principales como conductividad térmica, densidad y precio para los materiales como el Cobre y Aluminio. Como se logra observa en la tabla el cobre es el

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

material con mayor conductividad térmica que sería ideal para disipadores, pero su densidad y precio no son tan favorables para la creación de estos. Por tanto, se seleccionó el aluminio como material para la fabricación del disipador para este estudio debido a su precio y conductividad térmica.

Contando con pequeños cortes de las piezas con máquina CNC según los planos de diseños. Esta actividad la realizó la empresa SYSTEMATIZED SHEET METAL ENGINEERING SAS. Después se procedió con el ensamble de la base y las aletas larga y cortas, las cuales fueron soldadas con la base por medio de soldadura de arco con electro revestido o SMAW para aluminio con electrodo west arco E4043, esta actividad la realizó la empresa HD Mecanizados.

En la Figura 16 se muestra el disipador ya construido de acuerdo con su diseño.



Figura 16. *Disipador real terminado.*

Los puntos de unión de las placas que se diseñaron para el anclaje de las aletas tuvieron soldadura SMAW para aluminio (ver Figura 17).

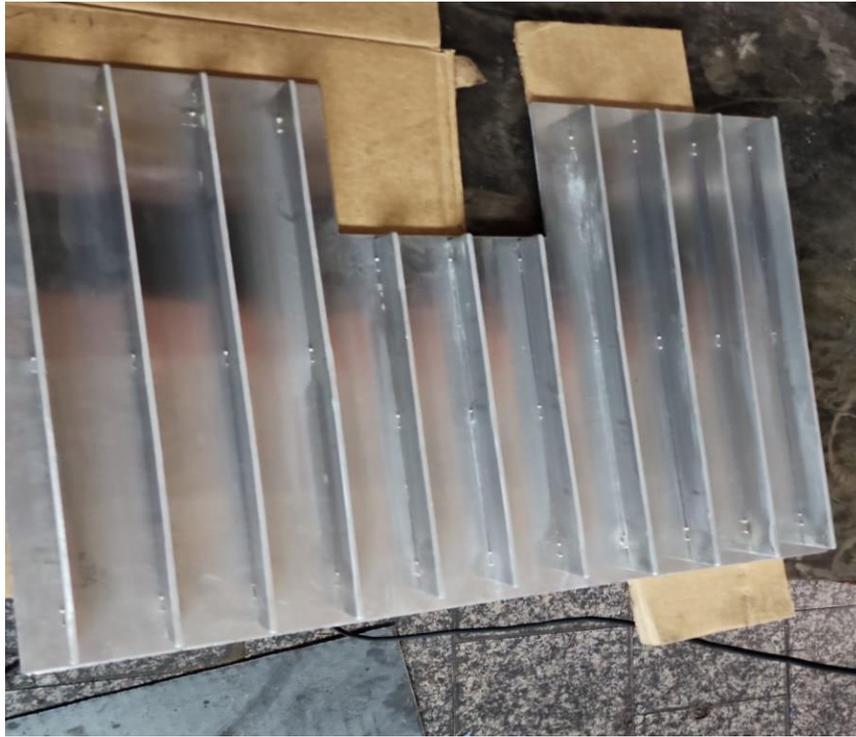


Figura 17. *Disipador real terminado.*

Después de tener definidas las medidas de la altura y espesor de la aleta se empezaron a realizar los cálculos para la eficiencia de la aleta. Para este caso se aplicaron las fórmulas para una aleta rectangular para poder calcular su eficiencia (ver Figura 18).

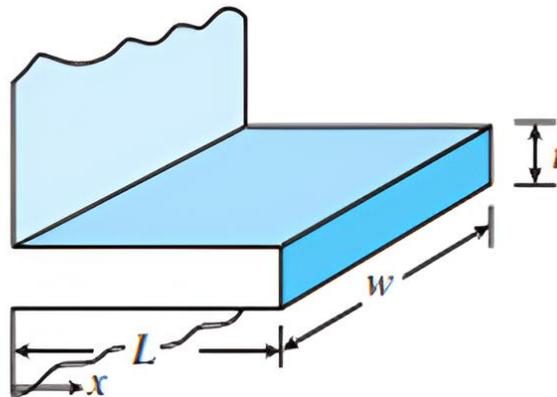


Figura 18. *Eficiencia de la aleta.*

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

Para el cálculo de la eficiencia se tienen las siguientes variables (ver Tabla 3).

Tabla 3. Variables usadas para calcular de la eficiencia de la aleta.

Variable	Descripción	Unidades
h	Coeficiente Transferencia de calor	W/m ² *K
k	Conductividad Termica Aluminio	W/m*K
t	Espesor de la aleta	m
L	Altura de la aleta	m
w	Longitud de la aleta	m
m	Variable auxiliar	-
lc	Variable auxiliar	-
A_{aleta}	Area aleta	m ²
η_{Aleta}	Eficiencia de la aleta	-

Para calcular la eficiencia de la aleta y teniendo claro el tipo de aleta que para este caso es aleta rectangular (ver Figura 18). Se procede a realizar la Ecuación (1) que es una variable auxiliar que se aplica para este tipo de aleta, continuando con la Ecuación (2).

$$m = \sqrt{\frac{2h}{kt}} = \sqrt{\frac{2 * 10(W/m^2 * K)}{237(W/m * K) * 0.003(m)}} = 5.0303 \quad (1)$$

$$L_c = L + \frac{t}{2} = 0.025 (m) + \frac{0.003 (m)}{2} = 0.0265(m) \quad (2)$$

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

Se continúa calculando el área de la aleta (Ecuación 3) y por último se realiza la Ecuación (4) de la eficiencia de la aleta.

$$A_{aleta} = 2WL_c = 2 * 0.41(m) * 0.0265(m) = 0.02173(m^2) \quad (3)$$

$$\eta_{Aleta} = \frac{\tanh(m * L_c)}{m * L_c} = \frac{\tanh(5.0303 * 0.0265)}{5.0303 * 0.0265} = 0.9934 \quad (4)$$

Realizando estos cálculos, se obtuvo un resultado de 0.9934 de eficiencia de la aleta. Después de haber calculado la eficiencia de la aleta se procede a calcular la efectividad que es la razón de la transferencia de calor total del área combinada de la superficie-aletas, al calor que sería transferido si esta superficie total se mantuviera a la temperatura de la base.

$$\varepsilon_{Aleta} = \frac{\bar{Q}_{aleta}}{\bar{Q}_{total, sin, aleta}} = \frac{\eta_{Aleta} * h * A_{Aleta} (T_p - T_{\infty})}{h * A_s (T_p - T_{\infty})} = \frac{A_{aleta}}{A_s} * \eta_{aleta} = 0.020366 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Aleta} &= \frac{\bar{Q}_{total, aleta}}{\bar{Q}_{total, sin, aleta}} = \frac{h * (A_{libre, aleta} + \eta_{aleta} * A_{aleta}) * (T_p - T_{\infty})}{h * A_{sin, aletas} (T_p - T_{\infty})} \quad (6) \\ &= \frac{A_{libre, aleta} + \eta_{Aleta} * A_{aleta}}{A_{sin, aletas}} = 2.08164 \end{aligned}$$

Se continúa calculando la transferencia de calor total ($\bar{Q}_{total, aleta}$), de donde se puede encontrar un valor aproximado de calor disipado.

$$\bar{Q}_{total, aleta} = \bar{Q}_{libre, aleta} + \bar{Q}_{aleta} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= h * A_{libre, aleta} (T_p - T_{\infty}) + \eta_{Aleta} * h * A_{aleta} (T_p - T_{\infty}) \quad (8) \\ &= h (A_{libre, aleta} + \eta_{Aleta} * A_{aleta}) (T_p - T_{\infty}) \end{aligned}$$

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

(9)

$$\bar{Q}_{total,aleta} = 152,337994 \text{ (w)}$$

Ahora si hacemos el ejercicio de analizar cuanto calor se disiparía sin aleta lo que tendríamos que hacer es obviar el \bar{Q}_{aleta} de la Ecuación 7.

$$\bar{Q}_{total,sin,aleta} = \bar{Q}_{libre,aleta} \tag{10}$$

$$= h * A_{libre,aleta} (T_p - T_{\infty}) \tag{11}$$

$$\bar{Q}_{total,sin,aleta} = 58.211 \text{ (w)} \tag{12}$$

Como podemos observar en la Ecuación 12, el calor disipado sin aleta es de solo 58.211W. entonces la adición de las aletas al disipador si ayuda a mejorar la transferencia de calor.

Después de completar el diseño del disipador y realizar los cálculos de eficiencia y efectividad de la aleta, así como obtener la cantidad de calor disipado, se procedió con la instalación del disipador en el panel para llevar a cabo la medición de Voltaje, Corriente, Potencia y Temperatura. Este montaje se llevó a cabo en Parque I del Instituto Tecnológico Metropolitano "ITM" en la ciudad de Medellín, Colombia.

En la Figura 19. Se puede apreciar el disipador, aplicado con una capa de crema térmica de la marca HEATSINK COMPOUN.DS HT510, a lo largo de cada una de las aletas.



Figura 19. *Disipador con crema térmica.*

Asimismo, se puede observar que en la base del disipador se le aplico la crema térmica para mejor la transferencia de calor y evitar espacios con aires entre el panel fotovoltaico y el disipador (ver Figura 20).



Figura 20. *Disipador con crema térmica en la base*

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

Posteriormente, el disipador fue montado en la parte inferior del panel fotovoltaico (ver Figura 21).



Figura 21. *Disipador instalado en el panel fotovoltaico.*

En cuanto a su instalación se tuvo la siguiente (ver Figura 22).



Figura 22. *Disipador instalado en la parte inferior del panel fotovoltaico.*

En la Figura 23. Se puede ver que por medio de un par de platinas y unos pernos se aseguran el panel fotovoltaico con el disipador.

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



Figura 23. Sujeción del disipador y el panel fotovoltaico.

Ahora bien, se puede observar que los dos paneles fotovoltaicos, uno con y otro sin disipador en una de las estructuras que se tienen en el laboratorio de electrónica y energías renovables, la cual fue diseñada para montajes de paneles fotovoltaicos (ver Figura 24).



Figura 24. Montaje de paneles fotovoltaico en estructura.

En la siguiente figura se muestra la estructura diseñada para el montaje de los paneles desde una vista frontal (ver Figura 25).

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



Figura 25. *Paneles fotovoltaicos en estructura*

En la Figura 26. Se puede observar cómo queda sujeto la parte inferior del panel fotovoltaico en la estructura.



Figura 26. *Parte inferior del panel fotovoltaico sujeto en la estructura.*

Después de completar el montaje del disipador, la aplicación de la crema disipadora y la fijación del panel fotovoltaico en la estructura, se lleva a cabo la prueba de medición de temperatura, voltaje, corriente y potencia.

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

Las mediciones de temperatura se realizaron utilizando una cámara termográfica de la marca FLUKE Referencia Tis60+, con el objetivo de verificar si la instalación del disipador en el panel fotovoltaico resultaba en una reducción de la temperatura. A través de la cámara termográfica, se pudo observar una reducción significativa de la temperatura entre los dos paneles fotovoltaicos, uno con disipador y otro sin disipador.

En la Figura 27. Se presenta la medición de temperatura, indicando 71.2 °C como la temperatura más alta registrada en la parte caliente del panel fotovoltaico con disipador.



Figura 27. *Medición de temperatura panel fotovoltaico con disipador.*

De acuerdo con lo anterior, se evidenció que la temperatura de 80.4 °C en la parte más caliente del panel fotovoltaico sin disipador (ver Figura 28).

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



Figura 28. *Medición de temperatura panel fotovoltaico sin disipador.*

En este punto de la implementación de los paneles fotovoltaicos se registró una reducción de temperatura de aproximadamente 8 °C. Esta reducción de temperatura es beneficiosa para la perduración de los materiales que componen el panel fotovoltaico debido a que pueden ayudar a alargar la vida útil del panel fotovoltaico. Posteriormente, se realiza medición de temperatura a la parte inferior del panel fotovoltaico con la cámara termográfica y se logra evidenciar que el panel fotovoltaico que no tiene disipador la temperatura es mucho mayor respecto a el panel fotovoltaico que si tiene disipador (ver Figura 29).

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



Figura 29. *Medición de temperatura panel fotovoltaico parte inferior sin disipador.*

Se realiza medición de temperatura a la parte inferior del panel fotovoltaico con disipador y se logra evidenciar una reducción de temperatura de aproximadamente 30 °C (ver Figura 30).



Figura 30. *Medición de temperatura panel fotovoltaico parte inferior con disipador.*

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

En relación con el análisis de la potencia del panel fotovoltaico, se emplearon los siguientes equipos suministrados en el Laboratorio de Electrónica y Energías Renovables de Parque I en el Instituto Tecnológico Metropolitano “ITM”: una carga electronica (BK PRECISION 8502 300W), un osciloscopio (ROHDE & SCHWARZ RTE 1204 – 2 GHz - 5 Gsa/s) y una fuente de alimentación para sondas de corriente ROHDE & SCHWARZ RT-ZA13. La Figura 31. presenta los equipos de medición utilizados en las pruebas de eficiencia del panel fotovoltaico.

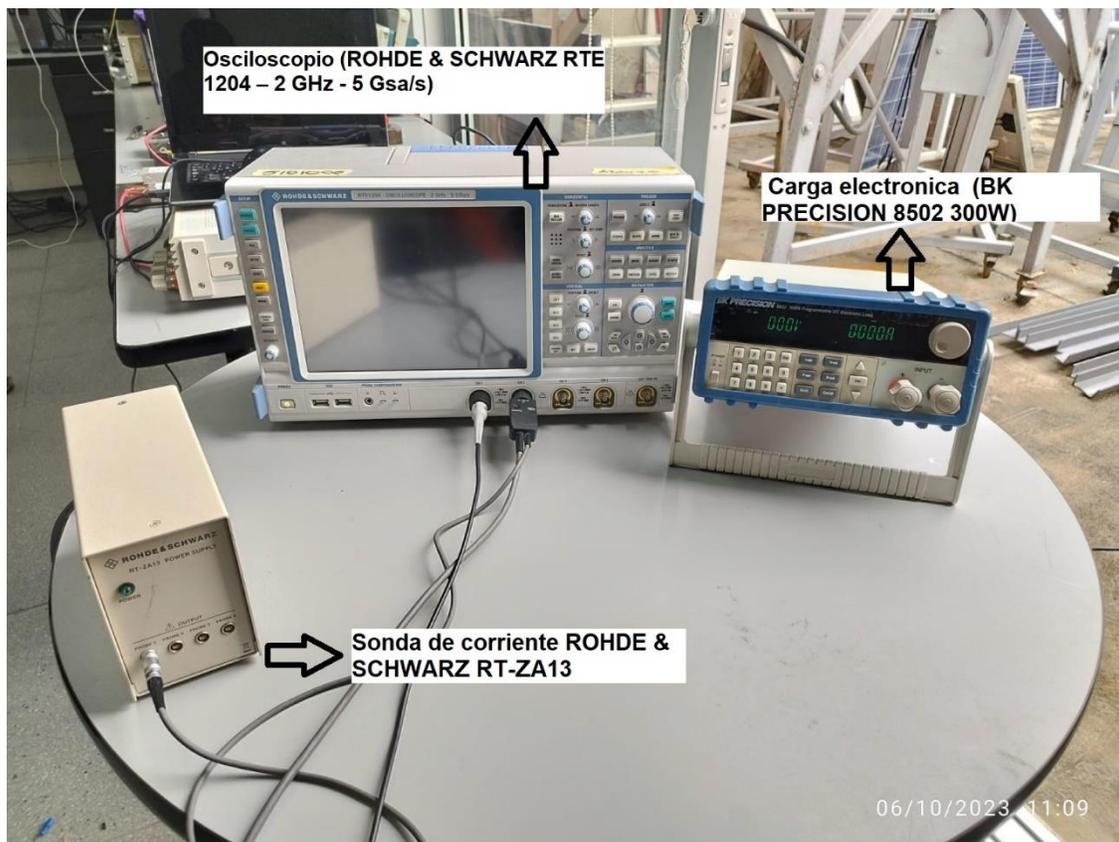


Figura 31. Equipos de medición para la eficiencia del panel fotovoltaico.

El procedimiento para medir la eficiencia del panel fotovoltaico se llevó a cabo de la siguiente manera: se verificó el voltaje V_{oc} del panel, que en este caso fue de 21.60 V. Se estableció un intervalo de 0.5 voltios, generando así 45 puntos de medición, que se configuraron en la carga electrónica (BK PRECISION 8502 300W) con intervalos de tiempo de 50 ms. El objetivo de utilizar esta carga es forzar al panel a operar en diferentes puntos

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

de operación, de manera que, a través del osciloscopio (ROHDE & SCHWARZ RTE 1204 – 2 Ghz - 5 Gsa/s), se pudieran observar las curvas corrientes vs voltaje y potencia vs voltaje.

En la Figura 32. Se aprecia que la carga electrónica opera a 17.01 V, con una corriente de 1.759 A. En el osciloscopio, las curvas de voltaje se representan en color amarillo, mientras que las de corriente se muestran en color azul. Las curvas presentan una relación inversa, indicando que a medida que el voltaje aumenta, la corriente disminuye.



Figura 32. Prueba de Voltaje y Corriente.

Después de haber encontrado los resultados de la eficiencia, efectividad y disipación de calor, que se encuentran desde la Ecuación 1 hasta la Ecuación 12. Y haber realizado el montaje del disipador a el panel fotovoltaico y haber realizado las pruebas de disipación de calor como se muestran en las Figuras 16 hasta la Figura 30.

Se decidió también realizar un análisis teórico con la variación de algunas de las variables para ver el comportamiento que podrían tener y ayudara a entender aún más la implementación del disipador en el panel fotovoltaico. Como se muestra a continuación (ver Figura 33), teniendo en cuenta que estos fueron obtenidos al variar la temperatura en

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

un rango específico, de 45 °C a 60 °C, con incrementos de 1 °C, para la variable aleta ($\bar{Q}_{total, aleta}$).

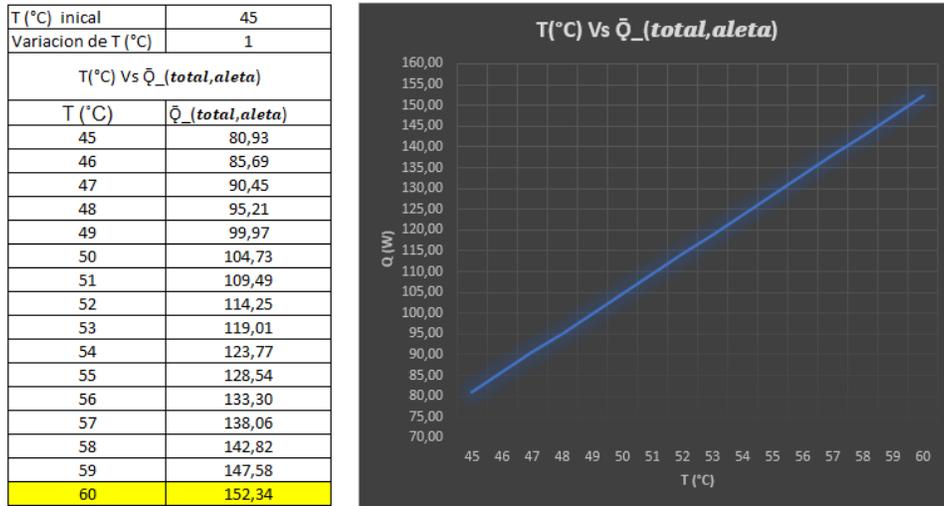


Figura 33. Tabla y gráfica de Temperatura vs $\bar{Q}_{total, aleta}$.

Estos resultados revelan un patrón de crecimiento lineal, indicando que existe una relación proporcional directa entre la temperatura y la cantidad de calor disipado por la aleta $\bar{Q}_{total, aleta}$. Este comportamiento lineal sugiere que a medida que la temperatura ambiente aumenta, también lo hace la capacidad de la aleta para disipar calor. Es decir, a temperaturas más altas, la eficiencia del disipador para reducir la temperatura del panel fotovoltaico se ve favorecida, permitiendo una disipación más efectiva del calor generado durante el funcionamiento del panel.

Esta relación cuantificada entre la temperatura y la capacidad de disipación térmica es crucial para comprender cómo el disipador responde a diversas condiciones térmicas. En la práctica, estos hallazgos respaldan la noción de que un incremento en la temperatura ambiente conlleva a un aumento proporcional en la capacidad de la aleta para manejar y disipar eficientemente el calor generado por el panel fotovoltaico.

Por otro lado, se notó que el incremento del de la aleta no favorece a la disipación de calor ($\bar{Q}_{total, aleta}$) (ver Figura 34).

Espesor aleta (m)	0,003
Variacion	0,003
Espesor aleta Vs $\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$	
Espesor aleta (m)	Vs $\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$
0,003	152,34
0,006	148,14
0,009	143,95
0,012	139,75
0,015	135,56
0,018	131,36
0,021	127,17
0,024	122,97
0,027	118,78
0,03	114,58
0,033	110,39
0,036	106,19
0,039	102,00
0,042	97,80
0,045	93,61
0,048	89,41

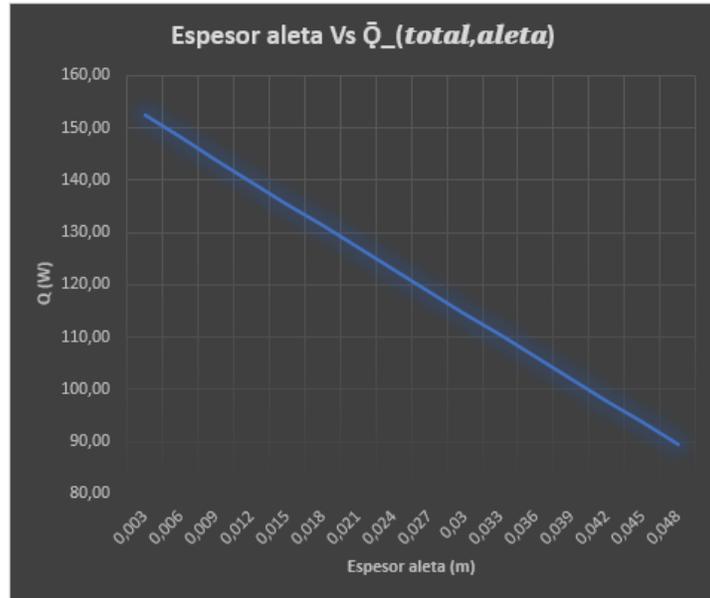


Figura 34. Tabla y gráfica de espesor de aleta vs $\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$.

Posteriormente, se evidencia que a medida que se incrementa el coeficiente de transferencia de calor (h), aumenta el calor disipado ($\bar{Q}_\text{total,aleta}$) (ver Figura 35). Los valores de h , que se muestran en la tabla son valores de coeficiente de transferencia de calor no forzado. Quiere decir que son valores que se pueden dar en un ambiente natural sin nada que fuerce una transferencia de calor como por ejemplo un ventilador.

h (W/m ² *K)	5
Variación de h	1
h (W/m ² *K) Vs $\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$	
h (W/m ² *K)	$\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$
5	76,16899681
6	91,40279617
7	106,6365955
8	121,8703949
9	137,1041943
10	152,3379936
11	167,571793
12	182,8055923
13	198,0393917
14	213,2731911
15	228,5069904
16	243,7407898
17	258,9745891
18	274,2083885
19	289,4421879
20	304,6759872

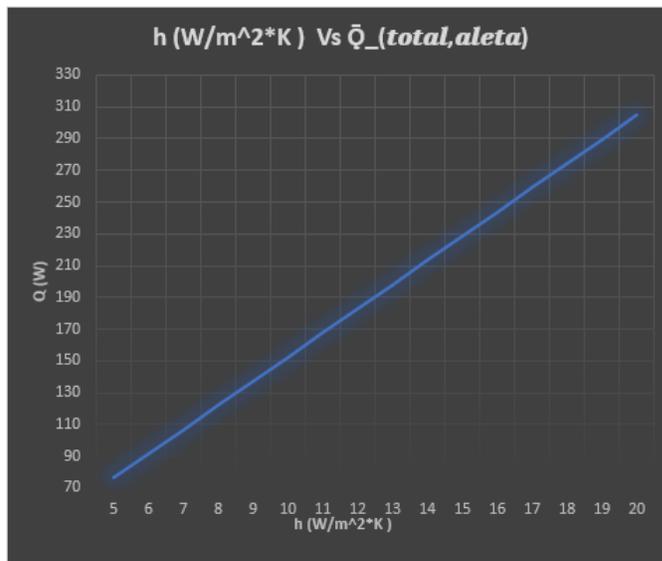


Figura 34. Tabla y gráfica de coeficiente de transferencia de calor vs $\bar{Q}_\text{(total,aleta)}$.

En este sentido, también se registró un aumento de disipación de calor ($\bar{Q}_{total, aleta}$), aumentando la distancia de la altura de la aleta, lo que evidencia que entre más larga la aleta más calor va a disipar (ver Figura 35).

Altura aleta (m)	0,025
Variacion	0,003
Altura aleta Vs $\bar{Q}_{total, aleta}$	
Altura aleta (m)	Vs $\bar{Q}_{total, aleta}$
0,025	152,34
0,028	163,63
0,031	174,92
0,034	186,21
0,037	197,51
0,04	208,80
0,043	220,09
0,046	231,38
0,049	242,68
0,052	253,97
0,055	265,26
0,058	276,55
0,061	287,84
0,064	299,14
0,067	310,43
0,07	321,72



Figura 35. Tabla y gráfica de altura de la aleta vs $\bar{Q}_{total, aleta}$.

En resumen, se puede observar que algunas de las variables que se analizaron como: h (coeficiente de transferencia de calor- $W/m^2 \cdot K$), T (Temperatura $^{\circ}C$) y altura de la aleta (m). A medida que se incrementaron los valores de estas variables, el calor disipado aumento, se puede decir que linealmente, caso contrario pasa con el aumento del espesor de la aleta que muestra una caída en la disipación del calor.

Las pruebas aplicadas a los paneles fotovoltaicos consistieron forzar al panel a operar en diferentes puntos de operación, usando una carga electrónica en modo voltaje (BK PRECISION 8502 300W), junto con la observación y registro de las curvas resultantes en el osciloscopio (ROHDE & SCHWARZ RTE 1204 – 2 GHz - 5 Gsa/s). Este proceso permitió la

obtención de datos precisos sobre la potencia, voltaje y corriente generada por los paneles fotovoltaicos, siendo estas pruebas ejecutadas en ambos paneles.

El día 01 de diciembre de 2023, en el laboratorio del Parque I del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM de la ciudad de Medellín-Antioquia, se llevaron a cabo las mediciones. Inicialmente, se realizaron pruebas al panel fotovoltaico #1 sin la presencia de un disipador, seguido de la instalación posterior del disipador en la parte trasera del mismo panel. Se registró un lapso de aproximadamente 5 minutos durante la instalación del disipador. Este mismo procedimiento se aplicó al panel fotovoltaico #2, seguido de una medición adicional con el panel fotovoltaico #1.

La Figura 36. Presenta las curvas correspondientes a la potencia, voltaje y corriente generadas por el panel #1 sin disipador.

Los resultados revelaron una potencia generada de 16.299 W, equivalente alrededor del 54 % del valor nominal del panel fotovoltaico, recordando que este tiene una potencia nominal de 30 W.

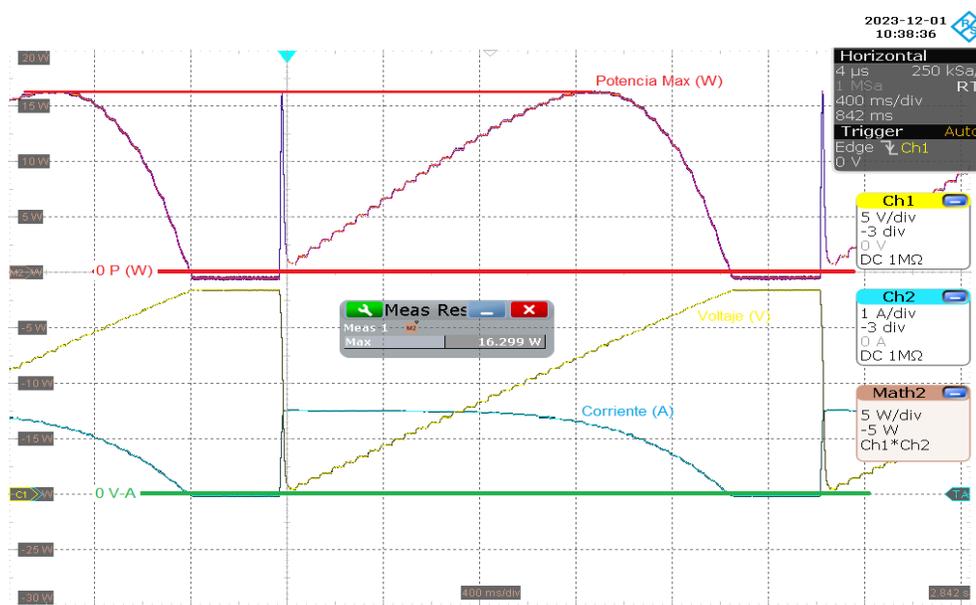


Figura 36. Grafica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #1 sin disipador.

En la Figura 37. Se tiene un incremento de potencia de alrededor de 1.1W, este incremento se le atribuye al disipador.

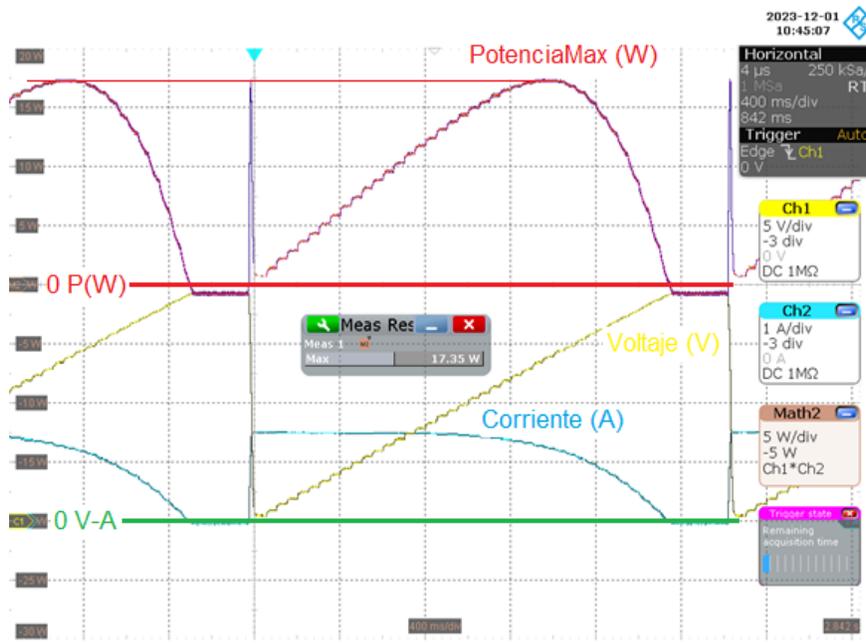


Figura 37. Gráfica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #1 con disipador.

En la Figura 38. Se evidencia la potencia del segundo panel, la cual fue de 18.93 W. Cerca del 63 % del valor nominal del panel fotovoltaico.

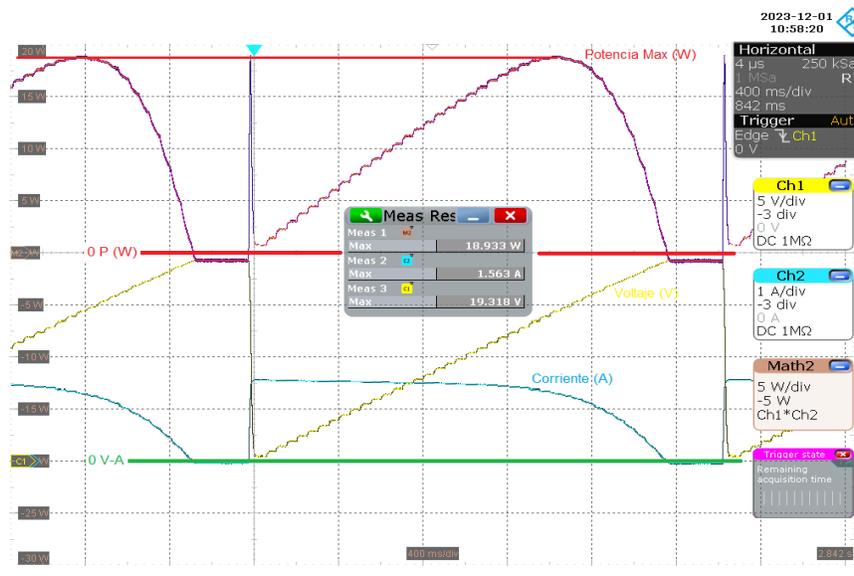


Figura 38. Gráfica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #2 sin disipador.

En la Figura 39. Se puede observar como el panel fotovoltaico #2 tiene una ganancia de alrededor de 0.4 W. también se le atribuye esta ganancia al disipador.

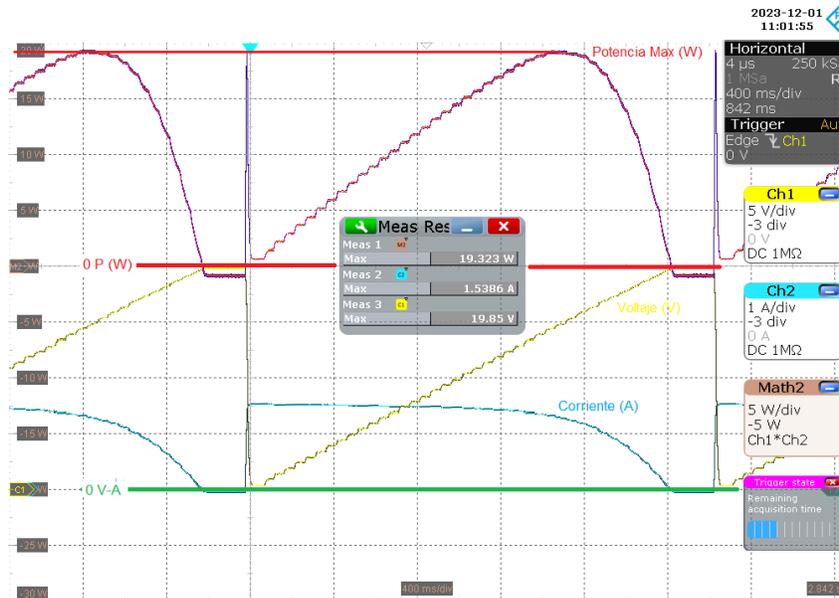


Figura 39. Gráfica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #2 con disipador.

En la Figura 40. Se evidencia que el primer panel con una potencia generada de 16.36 W, estuvo cerca del 54.5 % del valor nominal del panel fotovoltaico.

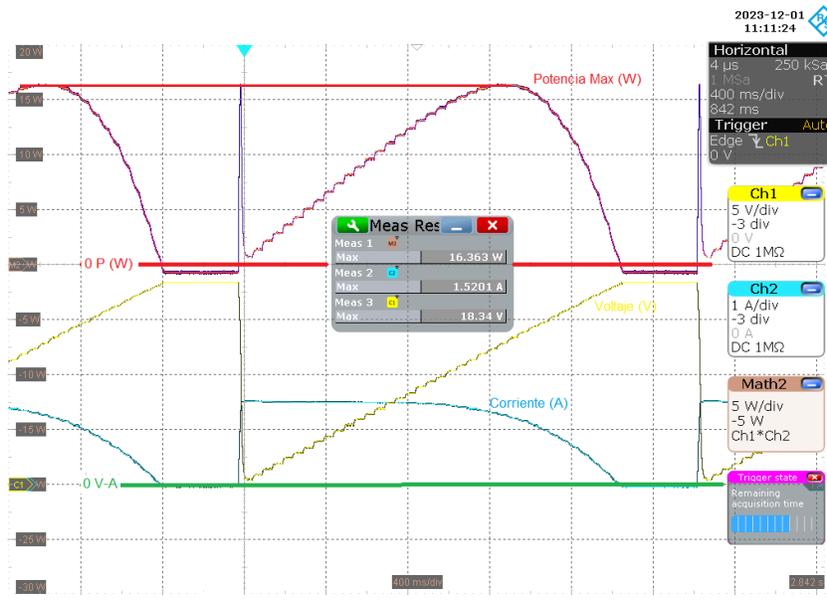


Figura 40. Gráfica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #1 sin disipador.

En la Figura 41. Se puede observar como el panel fotovoltaico número 1 tiene una ganancia de alrededor de 1.1 W. También se le atribuye esta ganancia al disipador.

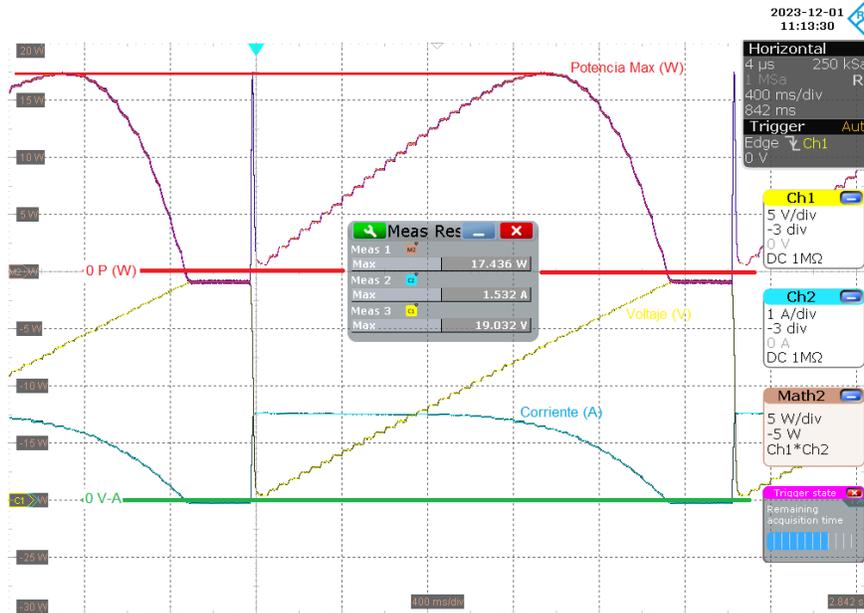


Figura 41. Gráfica de Potencia, Voltaje Y corriente del panel fotovoltaico #1 con disipador

En términos generales, las pruebas aplicadas a ambos paneles fotovoltaicos demostraron un incremento eléctrico de 1 W en la potencia, gracias a la instalación de un disipador de calor en la parte trasera de los paneles. Como se puede apreciar en las Figuras de la 36 a la 41, este aumento en la potencia implica un potencial ahorro económico a lo largo del tiempo. Es importante destacar que el disipador utilizado es de tipo pasivo, lo que implica que no requiere una fuente externa de alimentación.

Este disipador demanda únicamente una rutina de mantenimiento simple, como la limpieza del polvo y el ajuste ocasional de la base del disipador con el panel fotovoltaico. Para evaluar el impacto económico del disipador, se realizó un cálculo estimado considerando un incremento de 1 vatio durante 4 horas al día, en un horario de 10 AM a 2 PM. Este análisis apunta a visualizar el potencial ahorro económico que puede generarse con el tiempo gracias al rendimiento mejorado de los paneles fotovoltaicos.

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

$$1 W * 4 \text{ horas} = 4Wh \quad \text{quiere decir que sería } 4Wh * \text{ día} \quad (13)$$

$$4(Wh * \text{ dia}) * 30 = \frac{120Wh * \text{ mes}}{1000} = 0.12 kWh/\text{mes} \quad (14)$$

$$0.12 (kWh/\text{mes}) * \$884.930 = \$106.19 \quad (15)$$

Se realiza el cálculo del ahorro económico con un valor de \$884.93 por kWh, precio cobrado por la entidad prestadora del servicio de energía EPM en la ciudad de Medellín-Antioquia, para la fecha enero de 2024. Para un ahorro de \$106.19 COP por mes.

Como ejemplo: se toma el consumo de energía en una vivienda de la ciudad de Medellín-Antioquia ubicada en un sector estrato 3, como se muestra en la Figura 42.

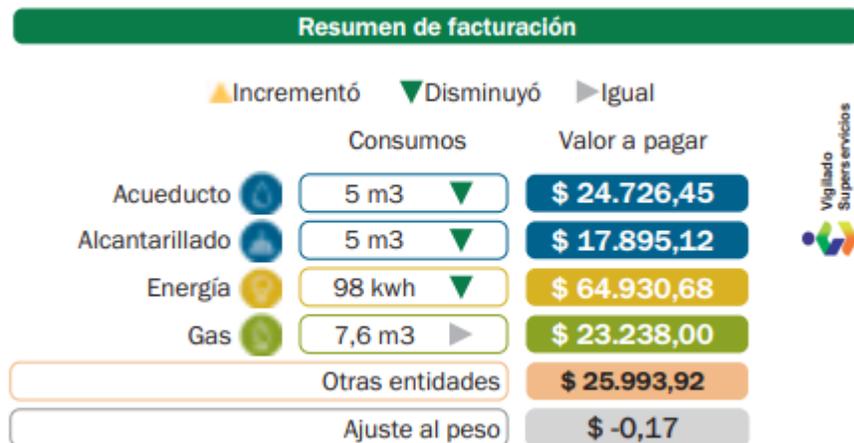


Figura 42. Resumen consumo de servicios vivienda estrato 3, de la ciudad de Medellín-Antioquia

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

Se procede a realizar los cálculos correspondientes:

1. Se tiene el consumo del mes en kWh y se pasa a Wh, como se muestra en la Ecuación 16.
2. Se dividen los Wh por los días del mes, se toman 30 días del mes, como se muestra en la Ecuación 17.

$$98kWh = 98000Wh \quad (16)$$

$$\frac{98000Wh}{30 \text{ días}} = 3266.66Wh \quad (17)$$

Según (SOLEN, 2019), en Colombia se presentan entre 4 y 5 horas solares pico; estas horas son el lapso en que los paneles solares reciben suficiente radiación para generar energía.

Para el caso de estudio se tomará el dato de 4 horas solares pico.

3. Se divide el consumo diario por la cantidad de horas solar pico, como se muestra en la Ecuación 18.

$$\frac{3266.66Wh}{4h} = 816.66W \quad (18)$$

4. Luego se divide el consumo diario por la capacidad del panel fotovoltaico con el que se ha venido trabajando (30W), como se muestra en la Ecuación 19.

$$\frac{816.66W}{30W} = 27.22 \quad (19)$$

5. Se obtuvo un resultado de 27.22 paneles fotovoltaicos para suplir el consumo de 816.66W por día, se redondea este resultado a 28 paneles fotovoltaicos.

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

6. Ahora, si a cada uno de los paneles fotovoltaicos se les instala un disipador como el que se fabricó para este estudio con este se aumenta un 1W, por lo tanto, se obtienen 28W de ganancia por el total de los paneles fotovoltaico, como se muestra en la ecuación 20.

$$1W * 28 = 28W \quad (20)$$

7. Se procede a calcular la ganancia en pesos colombianos de estos 28 paneles fotovoltaicos como se realizó en las ecuaciones 13,14 y 15.

$$28W * 4 \text{ horas} = 112Wh \quad \text{quiere decir que seria } 112Wh * \text{ dia} \quad (21)$$

$$112(Wh * \text{ dia}) * 30 = \frac{3360Wh}{1000} = 3.36 kWh/mes$$

$$3.36 (kWh/mes) * \$ 884.930 = \$ 2973.36 \quad (22)$$

8. En resumen, el ahorro económico de una vivienda con un consumo de 98kWh/mes y con la instalación de 28 paneles fotovoltaicos el ahorro seria de \$2973.36 COP por mes.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- La reducción significativa de 8°C en la temperatura del panel fotovoltaico, como se ilustra en las Figuras 29 y 30, no solo se traduce en un beneficio inmediato para la eficiencia operativa, sino que también desempeña un papel crucial en la preservación a largo plazo de los componentes del panel. Al minimizar el estrés térmico, se contribuye a prolongar la vida útil de los materiales, favoreciendo así la estabilidad y durabilidad del sistema fotovoltaico.
- El estudio detallado sobre las variaciones controladas en la temperatura, la altura de la aleta y el coeficiente de transferencia de calor reveló patrones claros de aumento en el calor disipado ($\bar{Q}_{total, aleta}$). Esta comprensión más profunda de los factores influyentes en la disipación de calor proporciona una base valiosa para futuras mejoras en el diseño y la eficiencia del sistema.
- A pesar de la inversión en el disipador de calor, valorado en 300 mil pesos colombianos, la ganancia de 1 W de potencia obtenida en las pruebas de laboratorio, como se describe en las ecuaciones 13, 14 y 15, indica un rendimiento mejorado del panel fotovoltaico. Es esencial considerar este incremento en potencia como un paso positivo hacia una mayor eficiencia energética a largo plazo.
- Este prototipo de disipador, que si se pudiera llevar a una escala de producción mucho mayor sería más económico, para paneles fotovoltaicos más grandes y arreglos de instalación en campos de producción de energía solar con mayor área. la aplicación de un disipador podría ayudar a mejorar la eficiencia de estos equipos y su ganancia en potencia pudiera ser más notable.

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

- En cuanto a las recomendaciones, sugerir la soldadura a lo largo de cada aleta en el disipador busca optimizar la transferencia de calor, abordando los espacios que podrían afectar negativamente este proceso. Además, la propuesta de realizar un análisis de diseño con software especializado apunta a identificar alternativas de disipadores que puedan ofrecer mejoras adicionales en la eficiencia del panel fotovoltaico, buscando maximizar el retorno de la inversión a lo largo del tiempo.
- Como se evidencia en el ejemplo, del consumo de una vivienda en la ciudad de Medellín-Antioquia a medida que se incremente la cantidad de paneles fotovoltaicos el ahorro económico también tiende a incrementar.
- Para efecto de este estudio se tomaron 4 horas picos solares, sin embargo, se debe tener en cuenta que en una práctica real serían más horas en las cuales se puede generar una mayor ganancia de potencia con la instalación del disipador.

REFERENCIAS

- AmirhoseinHadipoura, M. (2021). An efficient pulsed- spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis. *Renewable Energy*, 2.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (n.d.). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*. Mc Graw Hill Education.
- ECO GREEN ENERGY (*Building a Greener Word*). (2021). Retrieved from ECO GREEN ENERGY (*Building a Greener Word*): <https://www.eco-greenenergy.com/es/que-es-el-eva/>
- Ecoinventos. (2022, Enero 20). *Ecoinventos*. Retrieved from <https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/>
- Energiasolarfotovoltaica. (2022, Octubre 04). *Energiasolarfotovoltaica.org*. Retrieved from <https://energiasolarfotovoltaica.org/construccion-de-paneles-solares>
- G.Ansanelli, G. T. (2021). A Life Cycle Assessment of a recovery process from End-of-Life Photovoltaic Panels. *Applied Energy*.

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

Gabrian International,. (2016). Retrieved from *Gabrian International*,:
<https://www.gabrian.com/es/disipadores-de-cobre-o-aluminio-lo-que-debe-saber/>

Inditer. (2020, Diciembre 3). *Inditer*. Retrieved from <https://inditer.es/blog/como-funciona-un-disipador-de-calor/>

KamalSingh, S. C. (2021). Experimental performance study of photovoltaic solar panel with and without water circulation. *Materialstodayproceeding*, 2.

SOLEN. (2019, Octubre 26). Retrieved from SOLEN: <https://solentechnology.com/cuantas-horas-solares-pico-necesitan-los-paneles-solares/>

ZeynepÖzcan, M. E. (2021). Cooling channel effect on photovoltaic panel energy generation. *Solar Energy*,
<https://sciencedirect.bibliotecaitm.elogim.com/science/article/pii/S0038092X21009506>.

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

FIRMA ESTUDIANTES Alejandro Vargas Cortes

FIRMA ASESOR Ekin E. Henao B
David S. V.

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____