



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE  
TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO  
INTERMITENTE DE PANELES SOLARES PARA EL MEJORAMIENTO  
DE LA EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN SOLAR A ELÉCTRICA**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PRESENTA:

JESÚS MANUEL HERNÁNDEZ RAMOS

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. JESÚS LÓPEZ GÓMEZ

CUNDUACÁN, TABASCO, SEPTIEMBRE DE 2024

## DECLARACION DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

En la ciudad de Cunduacán, Tabasco el día 05 del mes de septiembre del año 2024, El suscribe Hernández Ramos Jesús Manuel alumno del programa de Ingeniería Mecánica Eléctrica con número de matrícula 182D23081, Adscrito a la División Académica De Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor (a) (es) de la tesis presentada para la obtención del título en Ingeniero Mecánico Eléctrico y titulada Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de paneles solares para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión solar a eléctrica dirigida por el Dr. Jesús López Gómez.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal de Derecho de Autor del 01 de julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 05 de septiembre 2024

Nombre y Firma



Jesús Manuel Hernández Ramos

# SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO INTERMITENTE DE PANELES SOLARES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN SOLAR A ELÉCTRICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

ÍNDICE DE SIMILITUD

HACER COINCIDIR TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIME LA FUENTE SELECCIONADA)

★forum.arduino.cc

Internet

1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 10 PALABRAS



COORDINACIÓN  
DE ESTUDIOS  
TERMINADOS



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División  
Académica  
de Ingeniería  
y Arquitectura



2024  
Felipe Carrillo  
PUERTO

## DIRECCIÓN

**OFICIO:** DAIA/DIR/CD/0811/2024  
**FECHA:** 05 de septiembre de 2024  
**ASUNTO:** Autorización de Impresión definitiva.

**C. JESÚS MANUEL HERNÁNDEZ RAMOS**  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado el trabajo recepcional para obtener el Título de la Licenciatura en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido dirigido por el DR. JESÚS LÓPEZ GÓMEZ, titulado:

**"Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de paneles solares para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión solar a eléctrica"**

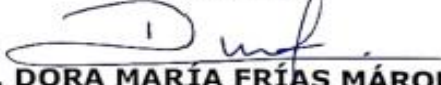
Tengo a bien autorizarle la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen profesional.

Asimismo, le informo que en el artículo 113, del Capítulo IV, de nuestro Reglamento de Titulación vigente, a la letra dice:

*"Una vez emitido el oficio de autorización de impresión del Trabajo Recepcional por la Dirección de la División Académica correspondiente, el egresado tendrá un plazo máximo de seis meses para efectos de presentar el Examen Profesional. En caso contrario, podrá optar por la misma u otra modalidad que señale el presente Reglamento, llevando a cabo los trámites correspondientes".*

Sin otro particular, me despido deseándole éxito en su carrera profesional.

ATENTAMENTE

  
**DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**  
DIRECTORA



DIRECCIÓN

C.c.p. Archivo-INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA-334  
DRA' DHFM/M' LHC

Memoria CUMEN desde 2008  
Consortio de  
Universidades  
Mexicanas  
IN ALIANZA DE CALIDAD PARA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda  
C.P. 86690 Cunduacán, Tabasco  
Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752  
direccion.daia@ujat.mx

www.ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE®



División  
Académica  
de Ingeniería  
y Arquitectura



2024  
Felipe Carrillo  
PUERTO

## DIRECCIÓN

### MEMORANDO

**PARA:** DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ

DIRECTORA DE LA DAIA.

**DE:** COMISIÓN REVISORA DE TRABAJO RECEPCIONAL

**FECHA:** 04 DE SEPTIEMBRE DE 2024

**ASUNTO:** ACEPTACIÓN DE IMPRESIÓN DEFINITIVA DE TRABAJO RECEPCIONAL

**CCP:** ARCHIVO.

**MEM/CET/334/ID334/2024**

PRESENTE.

En cumplimiento a lo estipulado en el Art. 112 del Reglamento de Titulación aplicable, y después de revisar el Trabajo Recepcional denominado:

**" Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de paneles solares para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión solar a eléctrica "**

Desarrollado por el C. JESÚS MANUEL HERNÁNDEZ RAMOS de la Licenciatura en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA bajo la modalidad de "Tesis", le comunicamos que aceptamos la impresión final de dicho trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMISIÓN REVISORA

M.C. JULIO CÉSAR RAMÍREZ HERNÁNDEZ

Revisor

DRA. KARLA MARÍA AGUILAR CASTRO

Revisor

DR. IVAN ALEJANDRO HERNÁNDEZ PÉREZ

Revisor

DR. EDGAR VICENTE MACÍAS MELO

Revisor

DR. FERMÍN MARTÍNEZ SOLÍS

Revisor

DR. JESÚS LÓPEZ GÓMEZ

Director de Trabajo Recepcional

Miembro UUMEX desde 2008

Consortio de  
Universidades  
Mexicanas

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda

C.P. 86690 Cunduacán, Tabasco

Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752

direccion.daia@ujat.mx

www.ujat.mx



## CARTA DE SESIÓN DE DERECHOS

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como autor (a) y/o autores en la producción, creación y/o realización de la obra denominada: SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO INTERMITENTE DE PANELES SOLARES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN SOLAR A ELÉCTRICA.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal de Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES

  
Jesús Manuel Hernández Ramos

ALUMNO O EGRESADO

  
Dr. Jesús López Gómez

DIRECTOR

### TESTIGOS

  
Selena Castillo Pérez

  
Hervin Cano Solís

## Dedicatoria

Cuando inicie esta etapa se veía demasiado tiempo para poder culminarla debido las diferentes situaciones que viví antes de entrar a esta institución y hoy por fin se logró este objetivo y es que este trabajo es fruto del esfuerzo, dedicación, desvelos y sacrificio que hice a lo largo de la carrera para llegar al objetivo final que era ser Ing. Mecánico Eléctrico, y así como este logro es mío es también de las personas que me apoyaron; en especial mi madre María Del Carmen Ramos por darme ese amor sin barrera y alentarme a superarme día a día , mi tía y segunda madre Noemi Landero por sus invaluables consejos su apoyo e incondicional amor y mis hermanos por haber estado ahí en cada momento de alegría, tristeza y enojo. Y no por último agradecer a Sasha mi mascota pieza pequeña pero importante en este logro ya que en mis desvelos también ella me acompañaba. Es por ello por lo que ese aporte que hicieron en mí, hoy se ve premiado en esta tesis. Que con mucho amor y lágrimas de alegría se las dedico. Y como un día dijo un gran sabio “Si no puedes volar, corre; si no puedes correr, camina; si no puedes caminar, gatea, pero sigue avanzando hacia tu meta.” - Martin Luther King Jr.

# Agradecimientos

Primero que nada quiero agradecer al padre de todo por haberme regalado la vida y por haberme permitido culminar esta maravillosa etapa ya que sin él no hubiera logrado nada ni sería nadie de lo que soy ahora, así como le agradezco por haberme permitido coincidir con grandes personas como lo fueron mis compañeros y amigos, los excelentes profesores con los que compartí cada materia de esta carrera donde con paciencia, entrega y dedicación compartieron cada uno de sus conocimientos para formar grandes ingenieros.

También agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Jesús López Gómez por haberme brindado la confianza, compartido sus conocimientos y haberme abierto las puertas en este gran grupo que es el laboratorio de sistemas digitales y mecatrónica donde se llevó a cabo este hermoso proyecto. así como agradecer a mis revisores la Dra. Karla María Aguilar Castro, el Dr. Edgar Vicente Macías Melo, el Dr. Iván Alejandro Hernández Pérez, el Dr. Fermín Martínez Solís y el Maestro Julio Cesar Ramírez Hernández, por instruirme y aconsejarme para elaborar esta tesis. Y por último y no menos importante agradecer el amor y apoyo incondicional a mi familia e incluir a esa persona especial que tuvo el rol de amiga y confidente y que estuvo conmigo en las buenas y malas a lo largo de esta carrera.

Es un honor haber coincidido en esta vida con estas maravillosas personas, que si volviera a nacer las volvería a elegir sin duda alguna.



# Índice general

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| <b>Capítulo 1</b>                               | 1  |
| Generalidades                                   | 1  |
| 1.1. Introducción                               | 1  |
| 1.2. Justificación                              | 3  |
| 1.3. Objetivo general                           | 4  |
| 1.3.1 Objetivos específicos                     | 4  |
| 1.4. Antecedentes                               | 5  |
| 1.4.1. Inicios de los paneles solares           | 5  |
| 1.4.2 Estado del arte                           | 6  |
| <b>Capítulo 2</b>                               | 10 |
| Fundamentos teóricos                            | 10 |
| 2.1. Paneles solares                            | 10 |
| 2.2. Modelo matemático de un panel solar        | 13 |
| 2.3. Radiación solar                            | 14 |
| 2.4. Orientación y zona geográfica              | 16 |
| 2.5. Orientación y zona geográfica regional     | 17 |
| 2.6. Parámetros fundamentales de un panel solar | 18 |
| 2.7. Eficiencia de un panel solar               | 20 |
| 2.8. Enfriamientos ineficientes                 | 20 |
| 2.9. Refrigeración pasiva                       | 21 |
| 2.10. Software de diseño CAD                    | 21 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.11. Sensores electrónicos .....                                                     | 22 |
| 2.11.1. Sensores de temperatura .....                                                 | 23 |
| 2.11.2. Medidores de corriente .....                                                  | 24 |
| 2.11.3. Medidores de voltaje .....                                                    | 25 |
| 2.15. Microcontroladores .....                                                        | 26 |
| 2.16. Agua destilada de los condensadores de aires acondicionados .....               | 27 |
| <b>Capítulo 3.</b> .....                                                              | 29 |
| Diseño e implementación del sistema de limpieza y enfriamiento .....                  | 29 |
| 3.1. Propuesta de automatización del sistema de limpieza y enfriamiento .....         | 29 |
| 3.2. Fabricar la estructura de soporte de los paneles solares .....                   | 33 |
| 3.3. Desarrollo e implementación de la instrumentación electrónica .....              | 34 |
| 3.3.1. Análisis de irradiancia .....                                                  | 35 |
| 3.3.2. Análisis de potencia, energía generada y eficiencia. ....                      | 36 |
| 3.4. Diseño mecánico de la propuesta en SolidWorks® .....                             | 38 |
| 3.4.1. Diseño de los paneles solares, mecanismo e implementación .....                | 38 |
| 3.4.2. Sistema de distribución de agua para enfriamiento .....                        | 39 |
| <b>Capítulo 4.</b> .....                                                              | 43 |
| Resultados experimentales .....                                                       | 43 |
| 4.1. Resultados de fabricación de la estructura .....                                 | 43 |
| 4.2. Análisis de resultados del panel solar instrumentado .....                       | 44 |
| 4.3. Ensamblaje del Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente .... | 53 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Conclusiones.....                                                               | 55 |
| Anexos A. Lenguaje de programación de los sensores de voltaje y corriente. .... | 57 |
| Anexo B. Constancias de participaciones en concursos a nivel estatal .....      | 62 |
| Referencias .....                                                               | 71 |

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

# Índice de tablas

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Condiciones y parámetros del panel solar utilizado. ....          | 19 |
| Tabla 2 Características de los dispositivos. ....                         | 27 |
| Tabla 3 Valores de Temperatura de un panel con suciedad. ....             | 44 |
| Tabla 4 Valores de un panel en limpieza y enfriamiento intermitente. .... | 45 |
| Tabla 5. Tabla de datos de la tesis. ....                                 | 65 |

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

# Índice de figuras

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Línea del tiempo de las celdas solares. ....                                                                               | 6  |
| Figura 2. Mapa conceptual de pasos de investigación. ....                                                                            | 9  |
| Figura 3. Celda monocristalina (Solar Ayllu, 2018). ....                                                                             | 11 |
| Figura 4. Celda Policristalina (Solar Ayllu, 2018). ....                                                                             | 11 |
| Figura 5. Celda de material capa fina (Solar Ayllu, 2018). ....                                                                      | 12 |
| Figura 6. Partes de un panel solar (Energy S. , 2020). ....                                                                          | 12 |
| Figura 7. Circuito eléctrico de un solo diodo (Mohammed Ridha, 2021). ....                                                           | 14 |
| Figura 8. Irradiación en México (Solargis, 2023). ....                                                                               | 16 |
| Figura 9. Criterios de instalación de un panel solar (Energy I. S., 2019). ....                                                      | 17 |
| Figura 10. Latitud del municipio de Cunduacán, Tabasco (Campos Diaz, 2019). ....                                                     | 18 |
| Figura 11. Cámara térmica AMG8833. ....                                                                                              | 23 |
| Figura 12. Ejemplo de pirómetro industrial. ....                                                                                     | 24 |
| Figura 13. Sensor de corriente ACS712. ....                                                                                          | 25 |
| Figura 14. Sensor de voltaje VCC<25V. ....                                                                                           | 26 |
| Figura 15. Esquema de pasos a seguir del sistema automatizado de limpieza y enfriamiento. ....                                       | 29 |
| Figura 16. Diagrama de flujo de programación electrónica. ....                                                                       | 32 |
| Figura 17. Diseño de soporte con panel solar. ....                                                                                   | 33 |
| Figura 18. Elaboración de soporte de panel solar. ....                                                                               | 34 |
| Figura 19. Diseño de soporte finalizado. ....                                                                                        | 34 |
| Figura 20. Diagrama de bloque del monitoreo de los paneles solares. ....                                                             | 35 |
| Figura 21. Diseño de panel solar en software CAD. ....                                                                               | 38 |
| Figura 22. Diseño de propuesta mecanismo sobre la estructura de panel solar. ....                                                    | 39 |
| Figura 23. Diseño de propuesta de mecanismo para limpieza. ....                                                                      | 39 |
| Figura 24. Plano elaborado en AutoCAD de la instalación de agua destilada de los aires acondicionados instalado en el edificio. .... | 41 |
| Figura 25. Diagrama de suministro de agua para limpieza y enfriamiento. ....                                                         | 42 |
| Figura 26. Instalación de soporte y panel solar en la DAIA. ....                                                                     | 43 |
| Figura 27. Comparativa de temperaturas en situaciones diferentes. ....                                                               | 46 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28. Comparativa de corriente en diferentes paneles.....                                      | 47 |
| Figura 29. Comparativa de voltajes en situaciones diferentes. ....                                  | 48 |
| Figura 30. Comparación de potencia en paneles con diferentes situaciones.....                       | 49 |
| Figura 31. Curva I - V de paneles en diferentes escenarios.....                                     | 50 |
| Figura 32. Curvas P - V de paneles en diferentes escenarios. ....                                   | 51 |
| Figura 33. Propuesta de sistema de limpieza y conexiones de riego de agua.....                      | 53 |
| Figura 34. Sistema de limpieza y conexiones de riego en base a lo diseñado. ....                    | 53 |
| Figura 35. Constancia de participación del cuarto foro del edén con este proyecto. ....             | 62 |
| Figura 36. Constancia de participación de verano científico con este proyecto. ....                 | 63 |
| Figura 37. Constancia de participación en el área de ingenierías y desarrollo tecnológico.<br>..... | 64 |

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



**SISTEMA AUTOMATIZADO DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO  
INTERMITENTE DE PANELES SOLARES PARA EL MEJORAMIENTO  
DE LA EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN SOLAR A ELÉCTRICA**

# Resumen

En la actualidad los paneles solares han dado respuesta a la problemática que se presenta con el alto consumo de energía eléctrica, así como ha aportado una solución a la problemática de la contaminación del medio ambiente ya que esta es una energía limpia que se puede aprovechar debido a que está al alcance de todos. Sin embargo, como todo equipo, suele presentar fallas debido a las diferentes condiciones en las que suele instalarse, ya sea por temperaturas muy bajas o temperaturas muy altas que provocan pérdidas significativas en todo el sistema. Incluyendo igual que en zonas donde hay temporadas de sequía provoca acumulación de polvo en la capa de cristal de los paneles provocando caídas de corriente a lo cual el sistema no puede ofrecer su mayor eficiencia. En este trabajo se estableció como objetivo primordial el diseño de la propuesta de un sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de los paneles solares para aportar una mejora de eficiencia en la conversión de la energía solar a eléctrica. Para así contrarrestar las fallas más comunes en condiciones no óptimas donde estos equipos reducen su eficiencia debido a la acumulación de polvo por la escasez de lluvia y rectificar intermitentemente la temperatura. Todo esto consiste mediante un monitoreo en tiempo real con la ayuda de sensores de temperatura, corriente y voltaje, que al detectar disminuciones en valores de potencia activaría una bomba que conduce mediante tubo plus agua destilada que sería precedida de los condensadores del edificio de laboratorios de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura en Cunduacán, Tabasco. Así también aportando un enfriamiento intermitente que ayuda al mejoramiento de la eficiencia por un lapso de tiempo. Antes de que se implemente esto, todo fue diseñado con la ayuda de un software CAD y utilizando también lenguajes de programación para una instrumentación electrónica económica. Este aporte ha sido de gran relevancia debido a que soluciona diferentes problemas tanto en el consumo elevado de energía eléctrica como aporte a la disminución de contaminación del medio ambiente, mejorando considerablemente la eficiencia de un panel solar en situaciones de exceso de temperatura y acumulación de polvo, como dándole uso al agua destilada que sería proporcionada por los condensadores de los aires acondicionados para aprovecharla y ahorrar agua potable.

# Abstract

At present, solar panels have now provided an answer to the problem that arises due to a high electricity consumption and have also provided a solution to the problem of environmental pollution, since this is a clean energy that can be used because it is accessible to everyone. However, as any equipment often fails due to different conditions in which it is usually installed, either due to really low or high temperatures that cause significant losses throughout the system. even the same issue as in areas where there are dry seasons, this causes dust accumulation in the glass layer of the panels, causing power drops, meaning that the system cannot offer its highest efficiency. the primary objective of this work was to design the proposal for an automated system for an intermittent cleaning and cooling of solar panels to provide an improvement in efficiency in the conversion of solar energy to electricity. In order to counteract the most common failures in non-optimal conditions where these devices reduce their efficiency due to the accumulation of dust and due to the lack of rain and to intermittently rectify the temperature. All this consists of real-time monitoring with the help of temperature, current and voltage sensors, which, when detecting decreases in power values, would activate a pump that conducts distilled water through a plus tube that would be preceded by the condensers of the laboratory building of the Academic Division of Engineering and Architecture in Cunduacán, Tabasco. Thus, also providing intermittent cooling that helps improve efficiency for a period of time. Before this was implemented, everything was designed with the help of CAD software and also using programming languages for economical electronic instrumentation. This contribution has been of great relevance because it solves different problems both in the high consumption of electric energy and contributes to the reduction of environmental pollution, considerably improving the efficiency of a solar panel in situations of excess temperature and dust accumulation, as well as making use of distilled water that would be provided by the condensers of the air conditioners to take advantage of it and save clean water.

## Palabras claves

*Energía Solar; Limpieza Fotovoltaica; Enfriamiento Fotovoltaico; Paneles Fotovoltaicos; Energía Renovables; Eficiencia Fotovoltaica; Conversión Solar a Eléctrica.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

# Capítulo 1.

## Generalidades

En esta sección se presentará y abordará lo relacionado a temas de introducción basados en la literatura de investigación relacionada a los paneles solares, justificación del proyecto donde se menciona las de este, así como los objetivos generales y específicos que se realizaron con la finalidad de explicar cada uno de estos puntos importantes.

### 1.1. Introducción

En la actualidad, las energías renovables han sido una reacción al excedente de consumo de energía eléctrica, mientras que la energía solar ha experimentado un impacto significativo, ya que se considera indispensable para atenuar el cambio climático y evitar más daños sobre el medio ambiente. Sin embargo, para crear paneles más baratos y eficientes, una nueva generación de paneles solares requiere unir tecnologías como nano partículas utilizando polímeros. El panel se fundamentaría en varias capas que lograrían utilizar incluso el espectro infrarrojo, además de aprovechar los diferentes tipos de luz. Pero finalmente, los científicos están innovando materiales en los paneles fotovoltaicos para hacerlos altamente eficientes al momento de captar los rayos del sol, con el fin de convertir la energía solar en una fuente competitiva y realmente al alcance de todos. Esta energía es aprovechada de dos maneras, que serían: Aprovechamiento térmico y aprovechamiento fotoeléctrico donde el efecto fotoeléctrico proviene de un fenómeno causado por las partículas de luz (fotones, ondas de radiación electromagnética) que cuando estas chocan sobre un material por consecuencia movilizan sus electrones. Dicho de otra manera, la luz se comporta como

una onda cuando viaja, pero cuando choca con un electrón, los fotones contribuyen toda su energía y empujan estas partículas hacia otros átomos, creando una corriente eléctrica (Rodríguez Rosales et al., 2020). Este efecto ha tenido amplio auge, sin embargo, para el caso de los paneles fotovoltaicos, se han detectado ciertas fallas entre las cuales se encuentran dadas debido a altas temperaturas donde la eficiencia de los paneles se ve afectada un 20%, y conforme pasa el tiempo, las pérdidas se vuelven significativas, ya que se involucran casos como el bajo rendimiento por el sobrecalentamiento de los conductores, así como en la eficiencia del inversor que baja conforme sube la temperatura (Yarince, 2022). Por otra parte, durante el verano, se encuentran pérdidas por suciedad debido a la acumulación de polvo, ya que al no haber lluvias no hay forma de mantener limpios los paneles. Estas fallas comunes han sido abordadas mediante interfaces de monitoreo e incluso el análisis basado en software y, por otro lado, sistemas de control para la detección de fallas por hardware (Sierra Aguilera, 2019). De tal manera se han identificado trabajos de desarrollo de sistemas basados en control PID y dispositivos para obtener un monitoreo en tiempo real, por los cuales tendrían una mayor oportunidad de aprovechamiento debido al funcionamiento de múltiples variables que este nos permite manejar (A. Balaguera et al., 2022). Por lo que este trabajo propone el desarrollo de un sistema automatizado de limpieza y de enfriamiento intermitente mediante un sistema mecánico en una estructura de un panel solar (PV), y el monitoreo de la temperatura y potencia que tiene como finalidad de mejorar la eficiencia en la conversión de energía solar eléctrica. El uso de monitoreo en tiempo real de temperatura auxiliado con una cámara térmica, un sensor de corriente y un sensor de voltaje está en función en valores de los factores térmicos de la región sureste del país, específicamente en el estado de Tabasco, municipio de Cunduacán. Por lo tanto, con la ayuda del monitoreo se conocería el comportamiento y la mejora del sistema de enfriamiento intermitente y limpieza en los paneles solares. Cabe mencionar que el sistema de limpieza por agua estaría, en parte, se usaría el condensado de los aires acondicionados del área donde se encuentra instalado los paneles solares de este trabajo, esto es, se reutilizaría el agua para un uso cotidiano y así contribuir más al cuidado del medio ambiente.

## 1.2. Justificación

En el Estado de Tabasco debido a las altas temperaturas que presentan en los meses de marzo a septiembre, se obtienen incrementos notables en el consumo de energía eléctrica esto debido a la alta exigencia respecto a los equipos utilizados para llegar al confort de las personas. Es por ello que alternativas como las energías renovables tienen un papel importante para poder lograr el abastecimiento necesario, sin embargo todo equipo tiende a generar fallas por distintos factores, entre ellos el inminente paso del tiempo, pero las problemáticas que se pueden abordar respecto a los equipos son tanto factores del medio ambiente como propios de los equipos, en diversos trabajos se centran en los sistemas de paneles fotovoltaicos debido a que han tenido un alto impacto a la problemática del consumo energético pero no han sido abordado del todo los problemas que estos suelen generar. Por ello se debe plantear una alternativa para abordar esta situación, buscando generar un sistema de limpieza óptimo, operable, de bajo costo, de fácil instalación y mantenimiento, teniendo en cuenta todo el tiempo el uso de sensores para el monitoreo de los parámetros indispensables tales como corriente, voltaje y temperatura y darle solución a las posibles fallas que suelen darse por las altas temperaturas presentados en la región y así dar viabilidad a la aplicación de paneles solares con el uso de la automatización. En los trabajos realizados de la literatura científica, abarcan la introducción al aprovechamiento de la energía fotovoltaica, solución a fallas de paneles solares, formas de conectar a la red de estos paneles y proyectos recientes que se basa en la detección de fallas mediante métodos o simplemente por el análisis de software. Como bien se conoce que, en el estado de Tabasco, México su clima es cálido

húmedo donde en la estación de verano se alcanzan una temperatura promedio de 36°C y por consecuencia la eficiencia solar obtenida rondaría en un 80%<sup>8</sup>. Esto abre paso a los sistemas de limpieza en paneles solares, normalmente se hace de manera manual con operadores o especialistas de los proveedores de paneles solares, una alternativa a esta situación, son los robots limpiadores, que de manera automatizada realizan este proceso. En este trabajo, se propone un sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente para paneles solares para mejorar la conversión de energía solar a eléctrica.

Esto mediante un estudio experimental en módulos de paneles solares, para comparar con distintos paneles y ver las mejoras que ofrece en la eficiencia. Lo cual propicia a un nuevo método de limpieza y enfriamiento en los paneles solares impactando tanto en eficiencia como vida útil de estos, logrando así un mejor suministro de potencia eléctrica al sector industrial/poblacional, en este caso de estudio está implementado en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, del municipio de Cunduacán, Tabasco.

### **1.3. Objetivo general**

Realizar un análisis cuantitativo de la eficiencia de paneles solares mediante la implementación de sensores instrumentados para medir los parámetros de potencia, temperatura y enfriamiento intermitente. Por otra parte, se propone el diseño de un sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de paneles solares en CAD 3D para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

- Realizar la búsqueda de información de los tipos de paneles solares y su funcionamiento e identificar las pérdidas de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica a fin de definir una propuesta del sistema automatizado.
- Fabricar la estructura de soporte de los paneles solares que consiste en un soporte inclinado a 45°.
- Desarrollar e implementar la instrumentación electrónica para medir los parámetros de potencia y temperatura; usando sensores de corriente, voltaje, cámara térmica en el panel solar, respectivamente.
- Realizar las pruebas experimentales de la instrumentación electrónica en los paneles solares para obtener los datos y graficar voltajes, corrientes, potencias, y temperaturas.
- Diseñar en SolidWorks® CAD la propuesta del mecanismo automatizado de limpieza y enfriamiento para el control de movimiento de limpieza y monitorear la temperatura de manera intermitente con el fin de mejorar la eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica.



## 1.4. Antecedentes

### 1.4.1. Inicios de los paneles solares

El científico francés Edmund Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en el año 1839, donde notaron que ese efecto transformaba la luz en electricidad con la ayuda de algún medio. No obstante, en el año 1873, el ingeniero eléctrico Willoughby Smith descubrió el efecto de fotocontinuidad en el selenio, el cual esta causa que el material se haga más conductivo a causa de la captación de radiación electromagnética. Por lo tanto, en el año 1876, el profesor inglés William Grylls Adams con ayuda del profesor Richard Evans Day descubrieron que el selenio producía electricidad cuando este es sometido a la luz solar. De estos estudios y aportaciones, no fue hasta 1953 en los laboratorios Bell que se descubrió que el silicio podría ser más eficaz que el selenio. Ya que este tenía una eficiencia que rondaba el 1% debido a las características de este material. El primer panel de silicio fue creado en 1954 por Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin y Calvin S. Fuller, donde el panel contaba con una eficiencia del 6% a causa del material usado (Durán, 2018). Este avance abre el camino a la revolución solar que se está produciendo actualmente, mediante paneles fotovoltaicos ya sea montados o instalados encima de edificios de cualquier tipo, casas o industrias, pues estos paneles dieron origen al término "energía solar fotovoltaica". Esto experimentó un rápido desarrollo durante la carrera espacial entre los países de Estados Unidos y la Unión Soviética durante la década de 1970, pero el nuevo desafío comenzó con la crisis petrolera del año 1973, que expuso la combustibilidad de los combustibles. Dadas las circunstancias, esto llevó al incremento de uso de energía fotovoltaica durante la década de 1980 para así alimentar estaciones telefónicas, puestos de seguridad y otras instalaciones (Salazar Peralta et al., 2016). El uso de fuentes limpias aumenta actualmente en México; que desde el año 2008 se observó un crecimiento medido de la participación de energías renovables en el desarrollo total de electricidad que se genera en el país; No fue hasta el año 2013, que mediante la reforma energética se impulsó nuevas reglamentaciones para la industria, así convirtiendo a México en un referente para el mundo. En el año 2015, el 20% de la generación total de electricidad se originó de energías limpias. Por otro lado, el 28% de la capacidad instalada en el país correspondía a este tipo de energías. Es por todo esto que el aprovechamiento de este tipo de energía

ha experimentado un incremento en los sectores de consumo, residencial y comercial, incluso, aunque de manera menor, en el sector industrial del país (Secretaría de Economía, 2017).

A continuación, se presenta una línea del tiempo con base en los antecedentes históricos sobre paneles fotovoltaicos a lo largo de la historia, como se observa en la Figura 1.

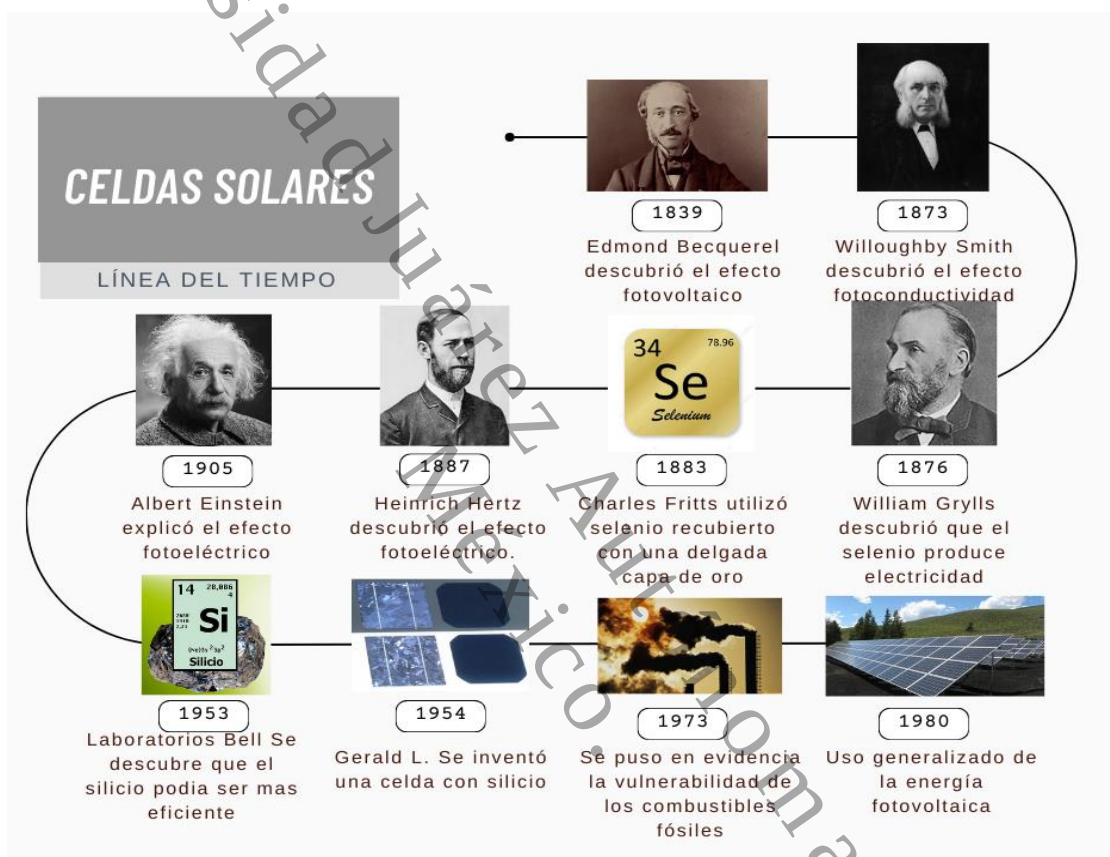


Figura 1. Línea del tiempo de las celdas solares.

Se realizó una revisión de la literatura relacionada con referencia al estudio de los paneles solares que abarcan la introducción al aprovechamiento de la energía fotovoltaica, solución a fallas de paneles solares, formas de conectar a la red de estos paneles y proyectos recientes que se basa en la detección de fallas mediante métodos o simplemente por el análisis de software. Pero a diferencia de este trabajo, en los proyectos anteriores y encontrados, usan temperaturas que rondan entre los 15°C y los 28°C donde un panel solar mantiene su eficiencia de fábrica y, por consecuencia, las fallas son menores y a largo plazo. Como bien se conoce que, en el estado de Tabasco,

México su clima es cálido húmedo donde en la estación de verano se alcanzan una temperatura promedio de 35°C y aquí la eficiencia es de un 80%. Entre estas investigaciones se encuentra la siguiente información.

El Colegio de Ingenieros, de la Universidad de Sharja en los Emiratos Árabes unidos han realizado diversos análisis para el mejoramiento en la captación de energía solar, atacando principalmente el área térmica mediante un sistema de enfriamiento en la parte trasera de los paneles solares. Estableciendo ciertos parámetros y puntualizando “el mejoramiento en la eficiencia se logra a través de un sistema de enfriamiento (C. Ghenai et al., 2020). Además, se debe de tener en cuenta que la idea de los paneles solares es solventar el consumo a nivel industrial/poblacional de manera óptima y amigable con el ambiente, en algunos lugares las condiciones climatológicas permiten aprovechar solo cierto porcentaje del panel solar, como es el caso de Katsushika en Tokio, Japón donde la energía convertida es de 73.5% con un 13.0% de generación de potencia , con una eficiencia de 60.5%, utilizando un sistema PV/T, este sistema desarrollado en la universidad de ciencias en Tokio (K. Terashima, 2023). La eficiencia puede verse afectada incluso por temperaturas inferiores a las de operatividad recomendadas, como tal los efectos de temperatura y suciedad en la superficie del panel implicarán una pérdida de eficiencia, tomaron el tipo de paneles policristalinos, analizaron con técnicas de enfriamiento activo, y determinaron el comportamiento y mejoramiento de la eficiencia, denotando la preferencia en fluidos como agua y anticongelante, reduciendo a 49.2°C y una eficiencia de panel mejorable hasta 47.67%, los resultados mostraron que las temperaturas disminuyen un 19.19%, con técnicas pasivas hasta un 21.12% (K. Bilen, 2023).

En otros estudios basados en la exergía de sistemas de enfriamiento con agua en paneles de tipo monocristalinos comparando los comportamientos con paneles con y sin enfriamiento con agua, determinan un mejoramiento en la eficiencia del 2.91% con respecto al panel sin enfriamiento (L. Champhavong et al., 2022). Por otra parte, la experimentación respecto a un sistema de enfriamiento alrededor del cuerpo del panel solar utilizando un sistema cerrado se obtienen el 20°C, elevando así la eficiencia a un 13.8% (D. Lopez, 2022). Así mismo, se realizaron análisis con respecto al mejoramiento

en la potencia de salida, esto involucra al mejoramiento en la eficiencia del panel que consiste en un disipador de calor en la parte trasera, utilizando una camisa de aire con burbujas inducidas, el disipador de aluminio logrará modificar las temperaturas de 44.27°C hasta 37.98°C, esto implica que sí esto ayuda a reducir las temperaturas del panel, mejoraríamos la potencia de salida en un 9.31% H.S (H.S Arunkumar et al., 2023).

La mayoría de los métodos de mejoramiento de eficiencia se centran solo en la temperatura del panel, pero existe la problemática del polvo en la superficie del panel, es por ello que, otras investigaciones se centran a la limpieza de este, ya que este factor involucra también al mejoramiento en la eficiencia. Se ha estudiado el comportamiento en el panel, utilizando agua presurizada rociada en la superficie del panel, incrementa un 5-9% durante el día, esto en condiciones normales de radiación generando incremento de eficiencia de un 11-18% (W. Salameh et al., 2023). Al igual que la parte trasera y frontal del panel generan un aprovechamiento de impacto considerable en el panel, ya que tanto la suciedad, como altas o bajas temperaturas afectan a la eficiencia del panel. Usaron un robot con un sistema automatizado de limpieza que permita detectar mediante el procesamiento de imágenes la suciedad y comenzar o pausar el proceso de limpieza del panel, debido a que sí se concentra una cantidad de polvo, puede llegar a afectar la eficiencia del panel (Jothi Venkatesh K et al., 2023). Recalcando así la importancia de la limpieza de estos equipos, gracias a estos estudios podemos determinar que usando un robot limpiador con esponjas y una bomba de agua podemos limpiar el polvo de la superficie, logrando un aumento de 10 a 30% en la generación de potencia eléctrica (Arati Mahadev Dhobale et al., 2023). Es por ello que este trabajo aporta una mejora en la eficiencia de los paneles solares con la ayuda de un sistema automatizado y de enfriamiento intermitente utilizando instrumentación electrónica de bajo costo, agua reciclada de los condensadores de los aires acondicionados y que tiene resultados óptimos en la región del estado de Tabasco en la conversión de la energía solar a eléctrica.

En la Figura 2, se muestra un mapa conceptual referente a una guía de investigación que se hizo con la finalidad de mostrar trabajos relacionados al tema y dividiéndolos en 3 secciones.

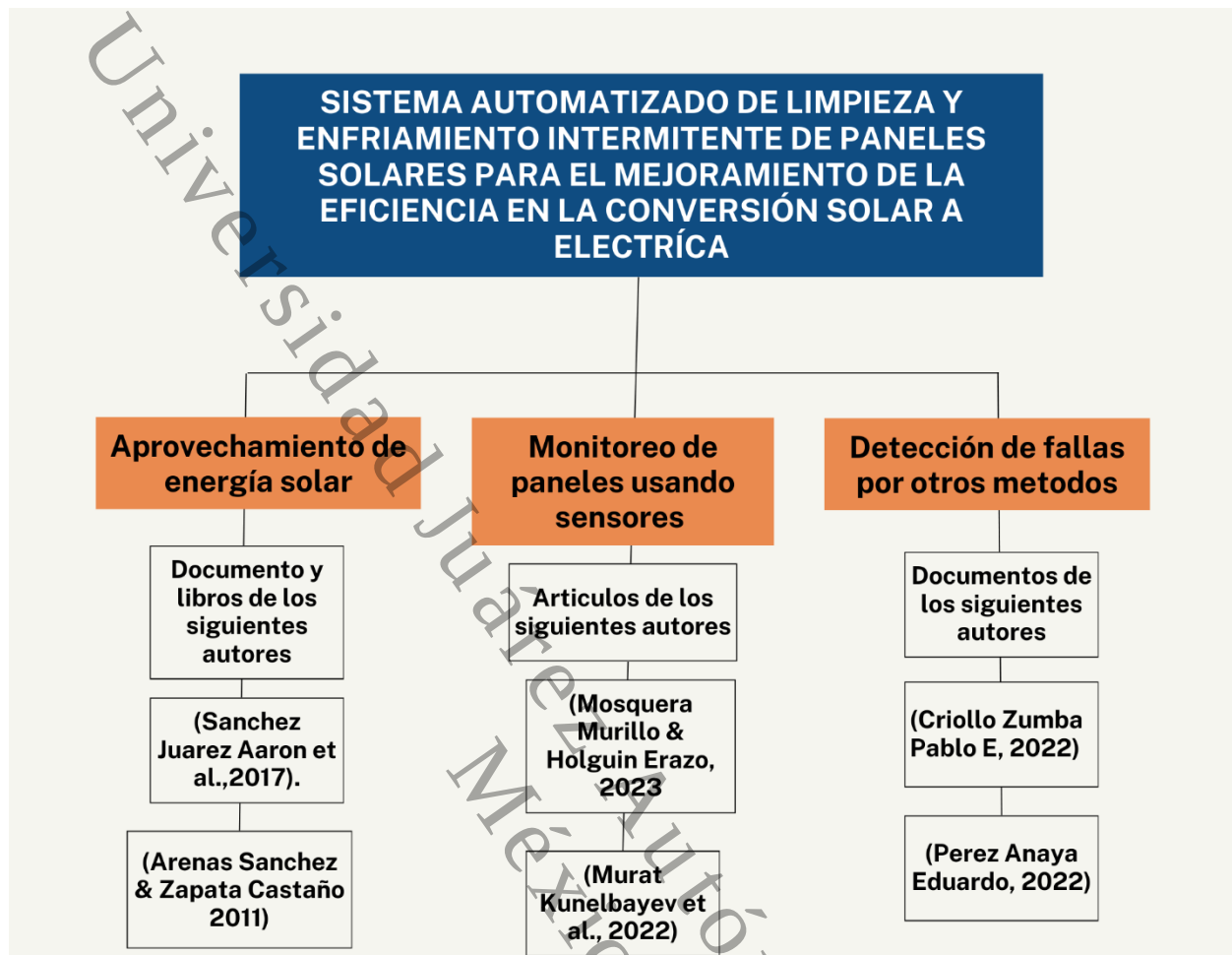


Figura 2. Mapa conceptual de pasos de Investigación.

# Capítulo 2.

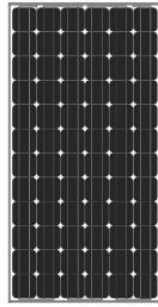
## Fundamentos teóricos

En este capítulo se mostrará la investigación relacionada a los paneles solares, misma que se utilizó para entender y clarecer los temas que se utilizaran para este proyecto, así brindar conocimiento de los paneles solares donde se encuentran temas como sus componentes, parámetros importantes, instalación y temas relacionados a sensores eléctricos y softwares.

### 2.1. Paneles solares

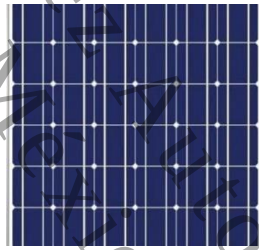
La energía solar expande los horizontes de consumo, ya que puede ser empleada para prácticamente cualquier uso energético. La tierra recibe una enorme cantidad de energía sol, y con esta energía recibida se podría cubrir por varios años gran parte de la demanda energética global. La tecnología fotovoltaica ha avanzado significativamente durante las décadas tanto a nivel científico como tecnológico. Desde un punto de vista de innovación, la eficacia de los distintos tipos de celdas ha aumentado cinco veces, y actualmente hay tres generaciones de celdas desarrolladas en las cuales se encuentra: monocristalino, policristalino y capa fina (Secretaría de Economía, 2017).

- En el caso de las celdas monocristalinas donde se pueden reconocer a simple vista, debido a que su superficie es uniforme y expuestas a luz producen un efecto similar a un espejo gris. El rendimiento de estas celdas ronda entre los 18% y 22%, como se ilustra en la Figura 3, este sería un ejemplo claro de este tipo de celdas.



*Figura 3. Celda monocristalina (Solar Ayllu, 2018).*

- En el caso de las celdas policristalinas estas reflejan la luz de manera no uniforme y es por esto que se puede observar las imperfecciones del cristal, donde otra característica sería que presenta un color azulado. Y su rendimiento ronda entre los 14% y 17%, en la Figura 4 podemos ver un ejemplo de este tipo de celda.



*Figura 4. Celda Policristalina (Solar Ayllu, 2018).*

- Las celdas de capa fina que son flexibles y a diferencias de las dos anteriores no tienen una estructura cristalina, pero estas son más económicas, y son más usadas en líneas de producción continua. Tienen un rendimiento que ronda entre los 8% y 12%, y en la Figura 5 podemos ver un ejemplo para distinguir estas celdas (Solar Ayllu, 2018).



Figura 5. Celda de material capa fina (Solar Ayllu, 2018).

Entre sus ventajas y desventajas podemos encontrar que con las celdas monocristalinas se fabrican con un solo tipo de silicio y las policristalinas con varios cristales de silicios juntos y esto hace que las monocristalinas tengan mayor eficiencia, pero a su vez son más costosas, solo duran 25 años y solo se usan en lugares con clima frío a diferencia de una celda con material policristalino que duran 30 años, son económicas, su eficiencia es un poco menor, pero se adapta a zonas calientes (Solar Ayllu, 2018). Y entre las ventajas y desventajas de una capa fina es que están hechas de varios materiales entre los cuales se encuentran silicio amorfo, telurio de cadmio, de cobre y esto hace que su eficiencia sea menor.

En la Figura 6 podemos apreciar cómo se compone un panel solar y observar que en lo único que cambia ya sea monocristalino, policristalino o capa fina es en el material que estén hechas las celdas solares.

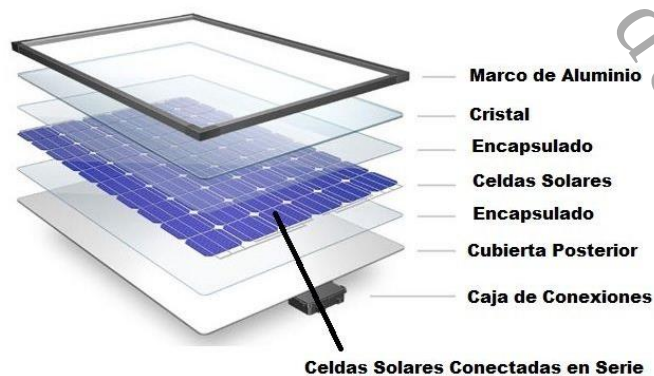


Figura 6. Partes de un panel solar (Energy S. , 2020).



## 2.2. Modelo matemático de un panel solar

Para diseñar un modelo fotovoltaico se puede representar mediante un circuito de un solo diodo y mediante éste evaluar su rendimiento, se puede construir con base en los parámetros de los paneles fotovoltaicos. Este modelo de un solo diodo es simple y muy utilizado debido a que solo tiene 5 parámetros que se obtienen cuando un panel trabaja de manera óptima. Los cinco parámetros utilizados son:

- La fuente de corriente  $I_{ph}$  conectada en paralelo.
- Factor de idealidad del diodo (Funciona para representar el voltaje de salida).
- Corriente de saturación del diodo  $I_0$ .
- Resistencia en serie  $R_s$ .
- Resistencia en derivación grande.

Utilizando la ley de Kirchhoff podemos calcular la corriente de salida de un panel fotovoltaico se muestra en la ecuación (1).

$$I = I_{ph} - I_d - I_p; \quad (1)$$

donde  $I_d$  es la corriente directa del diodo,  $I_p$  es la corriente de la resistencia en derivación y como resultado  $I_d$  se puede calcular mediante la ley de un diodo de Shockley quedando como se ilustra en la ecuación (2).

$$I_d = I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + IR_s}{V_t} \right) - 1 \right]; \quad (2)$$

donde  $V$  sería el voltaje de salida y  $V_t$  es el voltaje térmico del diodo como se muestra de la siguiente forma:

$$V_t = \frac{k_B T_c}{q}; \quad (3)$$

donde  $k_B$  es la constante de Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23} J/K$ ),  $T_c$  es el valor de la temperatura del panel y  $q$  es la carga del electrón dada por ( $1.60 * 10^{-19} C$ ), obteniendo como resultado:

$$I_p = \frac{V + IR_S}{q} \quad (4)$$

Por lo tanto, sustituyendo las ecuaciones (2)-(4) en la ecuación (1), se obtiene que  $I$  es:

$$I = I_{Ph} - I_o \left[ \exp \left( \frac{V + IR_S}{V_t} \right) - 1 \right] \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (5)$$

Cabe mencionar que estos parámetros están sujetos a condiciones climáticas en las que opera el panel, y se deben tomar cuidadosamente para representar las curvas I-V y P-V (Mohammed Ridha, 2021).

El circuito de un solo diodo para modelo de un panel fotovoltaico quedaría representado como se muestra en la Figura 7.

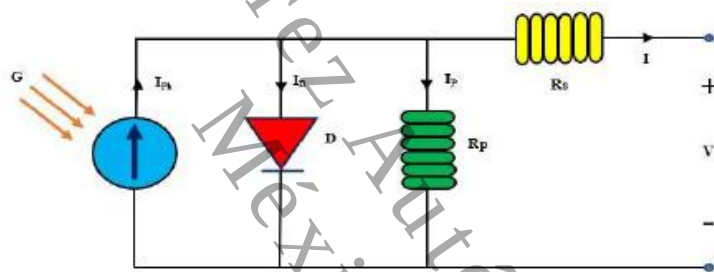


Figura 7. Circuito eléctrico de un solo diodo (Mohammed Ridha, 2021).

### 2.3. Radiación solar

Conocemos como radiación solar a la energía solar que incide en una superficie en algún lugar en concreto, o como también se la llama en otros lugares, irradiación solar. Esta cuando se describe como potencia, es expresada en una cantidad dada en Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) que generalmente se muestra como el valor promedio diario de cada mes. Cabe mencionar que en un día despejado la radiación que llega a la tierra es de aproximadamente  $1,000 W/m^2$ . Pero esto varía de acuerdo con la posición de la tierra y las condiciones atmosféricas, no incluyendo que hay muchos factores que pueden determinar la cantidad de radiación en cada área global (International, Fotovoltaica Manual De Diseño e Instalación, 2019).

La irradiancia solar recibida está sujeta a variaciones provocadas por la atmósfera y las causas principales serían las siguientes:

- Las moléculas de aire, el vapor de agua y las partículas de polvo en la atmosfera que dispersan la luz.
- La capa de ozono y el dióxido de carbono que se encuentra en la atmosfera atrapan la luz.
- Las moléculas de aire y el polvo en la atmosfera esparcen la luz.

La cantidad de horas equivalentes a la radiación de  $1,000 \text{ W/m}^2$  en un día es lo que se conoce como una hora solar pico. Esto permite describir la cantidad de energía solar disponible a lo largo de un día como  $m^2$ , que a su vez es perpendicular a la posición del sol. Y se puede decir que tenemos 8 horas de sol pico si el sol brillara por 8 horas a  $1,000 \text{ W/m}^2$ , esto sería igual a  $8 \text{ kWh/m}^2$ , en caso de recibir esa cantidad de energía durante todo un día, pero también hay que tener en cuenta que la distancia de la tierra al sol, la inclinación del eje de la tierra y las latitudes del hemisferio norte cuando están inclinadas hacia el sol desde el mes de junio hasta agosto es aquí donde se produce más radiación solar accesible (International, Fotovoltaica Manual De Diseño e Instalación, 2019).

Según datos proporcionados por el sistema de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), México se ubica entre los  $15^\circ$  y  $35^\circ$  de latitud, lo que se considera la región más favorable para el recurso solar. El país recibe una media diaria de  $5,5 \text{ KW/m}^2$  (la unidad de medida de la irradiación solar). En la Figura 8, se muestra que la región con mayor potencial es el noroeste del país, donde en primavera y verano la radiación supera los  $8 \text{ KWh/m}^2$ . En cambio, el centro del país tiene los puntos de mayor demanda, y el estado de Tabasco se encuentra en una medida media de la suma anual lo que representa un desafío u oportunidad para la infraestructura de transmisión de Comisión Federal de Electricidad (Portillo, 2017).

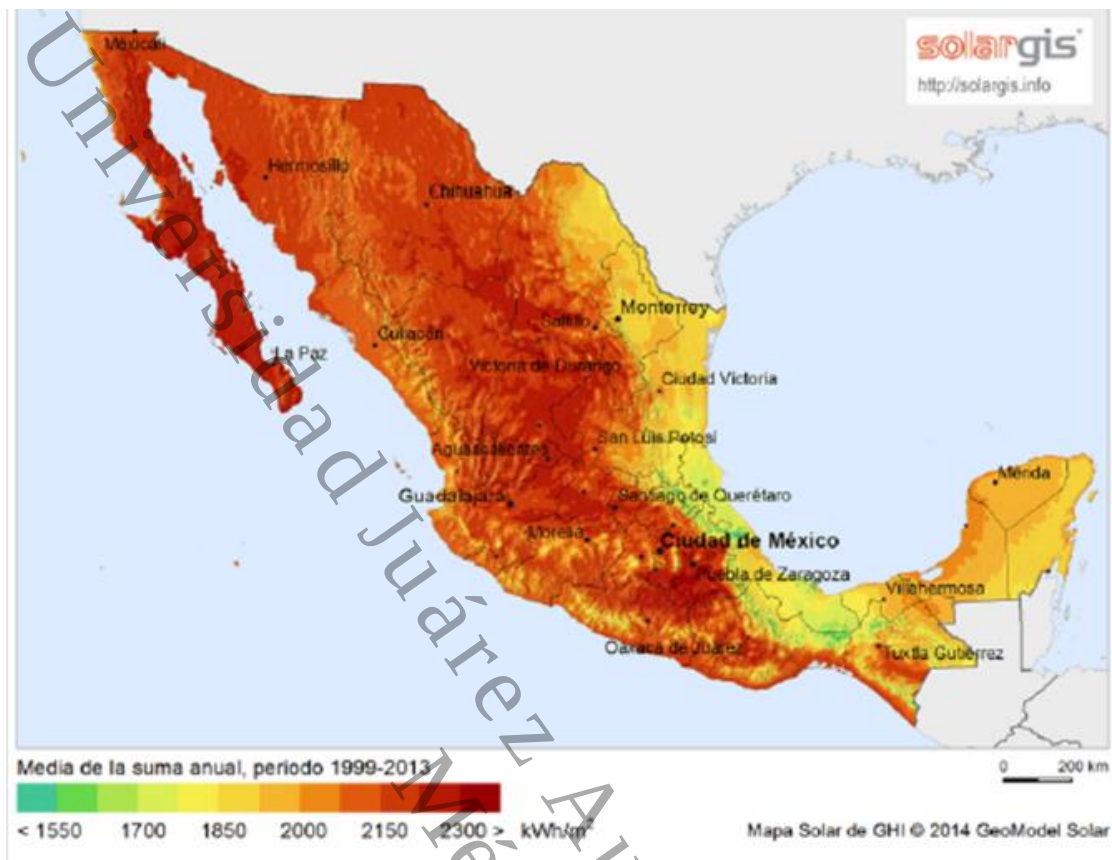


Figura 8. Irradiación en México (Solargis, 2023).

## 2.4. Orientación y zona geográfica

La trayectoria del sol durante el día está predeterminada. Ya que si observamos el sol señala exactamente el sur al mediodía, pero si se encuentra en una latitud sur, esto será inverso o sea que el sol parecerá moverse a través de la parte norte del cielo y señalará exactamente al norte al mediodía. Esto podría ser determinado con la ayuda la latitud (distancia hacia el sur o hacia el norte en grados).

El sol parece moverse 15 grados en acimut cada hora. La localización aparente del sol hacia el este u oeste del sur se conoce como ángulo de acimut y esta se puede medir en grados, por lo tanto, como hay 360 grados en una circunferencia y 24 horas durante un día tendríamos que la inclinación recomendada para el panel solar sería entre 15 y 40 grados. Como sugerencia, el sitio ideal para instalar un panel fotovoltaico depende de la latitud y de la estación del año, mientras que la inclinación de los paneles varía según

las necesidades energéticas anticipadas y el tiempo o estación de uso. (Energy I. S., 2019) (Solar Ayllu, 2018) cómo se ilustra en la Figura 9.

Los criterios que se deben tener en cuenta serían: orientación y la inclinación de los paneles.

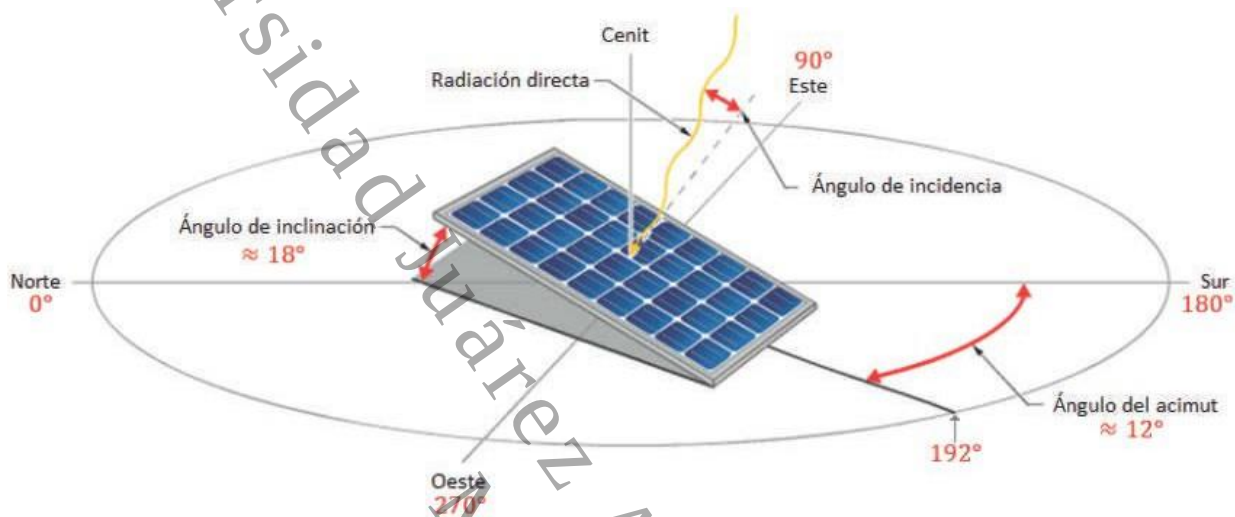


Figura 9. Criterios de instalación de un panel solar (Energy I. S., 2019).

## 2.5. Orientación y zona geográfica regional

Para orientar los paneles en la región de Cunduacán, Tabasco se establece mediante las condiciones de la estación del año y la latitud de la zona que en este caso Cunduacán tiene una latitud de  $18^\circ 03'$  latitud norte. Por lo tanto, si nos encontramos en la temporada de primavera y otoño el ángulo de inclinación se tomaría con lo siguiente:  $LATITUD - 2.5$  grados. En el caso de la temporada de verano la obtendríamos con:  $(LATITUD * 0.9) - 23.5$  grados.

Cabe mencionar que el ángulo correcto es para ubicaciones ideales donde podemos encontrar sombra, área con muchas hojas y esto causaría que se deba ajustar el ángulo para así compensar las condiciones menos ideales. Es por ello por lo que se recomienda usar un ángulo que se ajuste a las condiciones (Energy D. N., 2019). En la siguiente Figura 10 se observa la zona geográfica que existe en el estado de Tabasco con respecto a su latitud.

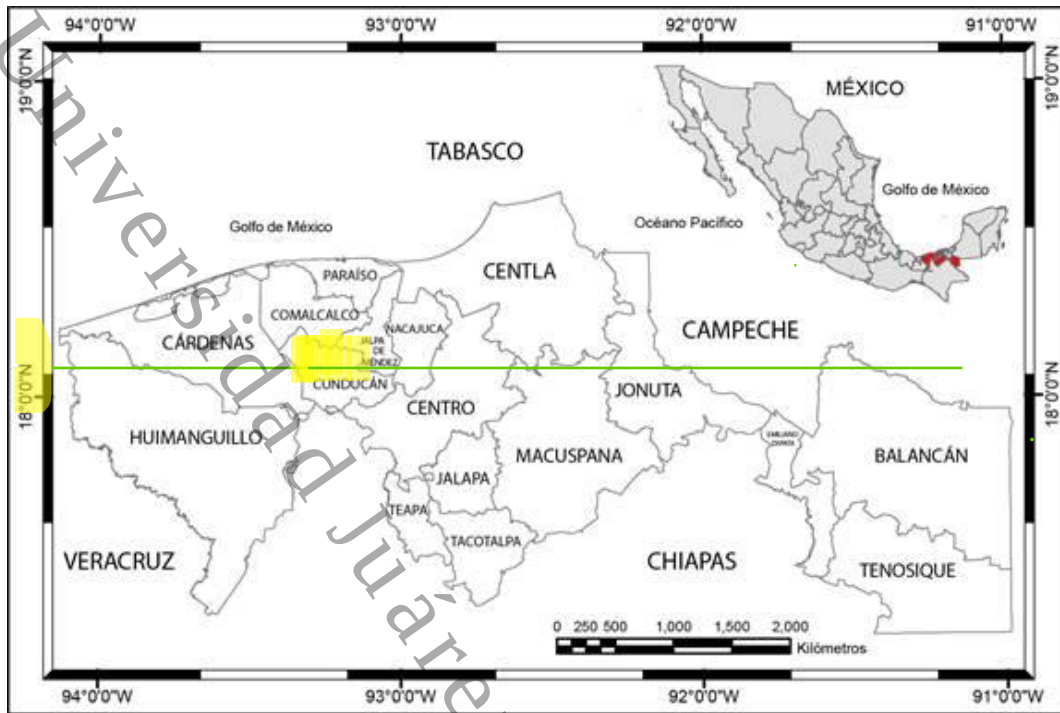


Figura 10. Latitud del municipio de Conduacán, Tabasco (Campos Diaz, 2019).

## 2.6. Parámetros fundamentales de un panel solar

Los parámetros fundamentales son los siguientes: tensión de circuito abierto  $V_{OC}$ , que es la tensión máxima que se obtiene en los extremos del panel solar cuando no hay carga conectada; corriente de cortocircuito  $I_{SC}$ , que es el valor máximo de corriente que puede circular por el panel solar, dado que sus terminales están cerrados; corriente de oscuridad, que es causada por la recombinación de pares electrón-hueco dentro del semiconductor; y corriente de iluminación  $I_L$ , que es la corriente que se genera cuando el panel se expone a la luz (Guadalupe, 2018).

Los valores de tensión e intensidad variarían cuando el panel solar se conecta a una carga. La potencia máxima entregada (tensión máxima  $V_m$  e intensidad máxima  $I_m$ , siempre será menor que  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$ . Es por ello por lo que la potencia máxima que puede proporcionar un solo panel se logra resolviendo la siguiente ecuación:

$$P_m = V_m I_m \quad (6)$$

Y esto nos ayuda a definir un parámetro del panel solar que llamamos (Factor de Forma “FF”) y este se calcula dada la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (7)$$

En los paneles solares más comunes los valores típicos de FF son 0.7 o 0.8 (Guadalupe, 2018).

En el panel que se usará el fabricante establece los siguientes datos como se muestra en la Tabla 1, que debemos tener en cuenta para poder observar la diferencia de resultados.

*Tabla 1 Condiciones y parámetros del panel solar utilizado.*

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| Potencia Máxima (Pmax)           | 100 W             |
| Voltaje pico del circuito (Voc)  | 21.61 V           |
| Voltaje de potencia máximo (Vmp) | 17.70 V           |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 5.74 A            |
| Corriente máxima (Imp)           | 5.65 A            |
| Resistencia al viento            | 2400 pa           |
| Dimensiones                      | 1020*670*35 mm    |
| Dimensiones de celda             | 156 * 104 mm      |
| Condición de prueba              | 1000 W/m2, AM 1.5 |
| Temperatura                      | 25°C              |

## 2.7. Eficiencia de un panel solar

Hay factores que influyen en conseguir la máxima eficiencia solar ya que definen su uso, como por ejemplo qué se está alimentando. Los dispositivos que requieren de energía eléctrica para funcionar son habitualmente conocidos como cargas. En un sistema fotovoltaico, la cantidad de energía que consumen ellas es el factor que más afecta su tamaño y costo. Mejorar la eficiencia en el uso de la energía generada debería ser la primera prioridad para el diseñador del sistema FV para así lograr un diseño óptimo. Para poder reconocer las oportunidades de ahorro de energía, es necesario analizar detalladamente las necesidades energéticas; Asimismo, se recomienda buscar una solución alternativa de calentamiento. A esto nos referimos como reemplazo de cargas. Un ejemplo claro es un dispositivo que necesita hasta 2500 vatios y solo funciona el 25 % del tiempo. Aunque algunos electrodomésticos, como secadores de pelo y tostadoras, requieren mucha energía (vatios), aún pueden funcionar con sistemas FV (Solar Ayllu, 2018). Es por ello por lo que si requiere reducir el costo de un sistema FV evite tener instalado a ellos los siguientes electrodomésticos:

- Artefactos eléctricos para calefacción de espacios.
- Calentadores eléctricos de agua.
- Secadores eléctricos de ropa.
- Cocinas eléctricas.

## 2.8. Enfriamientos ineficientes

Las situaciones que afectan la eficiencia de la energía solar se conocen como " efecto sombra" porque la sombra provoca una inestabilidad energética. Si la productividad de un panel fotovoltaico es demasiado baja debido a la sombra, el sistema energético experimenta eventos relacionados con la energía, que pueden dañar irreversiblemente los accesorios conectados como baterías e inversores de corriente.

El efecto sombra en casos negativos:

- Produce menos energía.
- Aumenta la temperatura en el módulo afectado.
- Reduce la vida útil y produce puntos calientes.



- Disminución del rendimiento del sistema.

Algunas ventajas de este efecto son:

- Los conectores de salida regresan a su temperatura normal preparándose para volver a trabajar en su máxima capacidad.
- Aumenta la productividad al tener un descanso.

Cabe señalar que durante la noche puede recibir este beneficio (Solar Ayllu, 2018).

Aunque hay otros elementos, por ejemplo, el clima impacta significativamente la cantidad de energía producida por cualquier sistema fotovoltaico y el costo de un sistema fotovoltaico es necesario y representa una oportunidad para aumentar la eficacia de las cargas. Así obliga a sustituir dispositivos y equipos ineficientes (Energy I. S., 2019).

## **2.9. Refrigeración pasiva**

Las técnicas de enfriamiento usadas preferentemente para paneles dependen directamente de la aplicación y condiciones de operatividad, por ello las técnicas de enfriamiento activo son más efectivas que las de enfriamiento pasivo en altas temperaturas de ambiente, debido a que la eficiencia disminuye significativamente, la técnica más utilizada es basada con un 35% de líquido activo de enfriamiento, seguido de gas que esto implica que se usa el aire, como método pasivo.

## **2.10. Software de diseño CAD**

La creación de modelos 2D y 3D de objetos tangibles requiere la herramienta de diseño asistido por computadora. En la escena del diseño de 3D y en el campo más amplio del diseño de ingeniería, estas herramientas son fundamentales. es una aplicación de solicitud que permite registrar y refinar el proceso de creación de un artículo, sistema o componente. Los usuarios pueden explorar modelos en 2D o 3D hasta el mínimo detalle con estos programas. información geométrica del elemento, lo que acelera el proceso de intercambio de datos en muchas plataformas y dispositivos. El uso de la herramienta CAD ha sido indispensable en diversos campos, entre ellos la ingeniería, el diseño, la arquitectura y la fabricación. Entre los más usados por la comunidad estudiantil se encuentra:

- **Autodesk Fusión 360**

Es un programa de diseño 3D basado en la nube y suscripciones para la industria de fabricación aditiva. Que crea diseños detallados y proporciona colaboración en línea para modelado paramétrico y estético.

Fusion 360 funciona con muchos tipos de archivos, esto permite el movimiento fácil de los diseños dentro y fuera del programa. También es perfecto para impresiones en 3D e incluye herramientas para que tu diseño esté listo para ser impreso. Esta herramienta admite diseño 3D, CAM, CAE, CAD y diseño de circuitos.

- **SolidWorks**

SolidWorks es un estándar en la industria que proporciona una amplia gama de herramientas para el diseño 3D, la creación de prototipos y la realización de ideas. Tiene funciones únicas como escultor 3D, DraftSight y una herramienta para crear moldes. Está lleno de una amplia gama de funciones, incluidas herramientas para crear animaciones automáticamente, gestionar el modelado de superficies y generar renderizados fotorrealistas. Todo esto da como resultado una plataforma sólida para el diseño, simulación y análisis.

- **AutoCAD**

Estándar en la industria CAD, AutoCAD se dedica especialmente al diseño arquitectónico, pero también es un programa útil para preparar dibujos mecánicos desde modelos 3D (27, 2023).

## **2.11. Sensores electrónicos**

Los sensores electrónicos son dispositivos que encuentran y transforman varias magnitudes físicas en señales eléctricas para luego procesarlas. Estos sensores electrónicos son utilizados en una extensa variedad de aplicaciones entre ellos se encuentran los siguientes:

### 2.11.1. Sensores de temperatura

Actualmente se usan muchos dispositivos para medir la temperatura entre los cuales se encuentran, módulos Raspberry, pirómetros de radiación, termómetros infrarrojos, termorresistencias entre otros y donde cada uno presenta rangos diferentes depende la necesidad o a la aplicación que se someterán estos rangos se encuentran entre los -200°C a 450°C que sin duda los sensores tipo eléctricos son los que actualmente tiene más extensión en la medición de temperatura (Bausa Aragones, 2016).

Entre ellos podemos mencionar a la cámara térmica AMG8833 que es un módulo que incluye un grupo de sensores térmicos infrarrojos y son representados con una matriz de 8 por 8 esto da como resultado obtener valores de 64 lecturas individuales y tiene un rango de medición de 0°C Y 80°C con una precisión de +, - 2.5 °C y se pueden detectar valores a una distancia de 7 metros esto lo hace uno de los sensores más precisos y económicos. Se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Cámara térmica AMG8833.

Por otra parte, existen los pirómetros industriales que entran en los sensores infrarrojos que son sensores que miden temperatura sin necesidad de tocar el objeto y tienen un rango de medición en temperatura que ronda entre los -60°C y 80°C con la diferencia que su distancia puede variar y tienen precisiones de +, -2 °C lo que lo hace eficiente, pero por un mayor costo por su viabilidad y sus diferentes aplicaciones (Engineering, 2023). Se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Ejemplo de pirómetro industrial.

### 2.11.2. Medidores de corriente

Estos dispositivos son una solución económica para medir la corriente ya que como se sabe existen instrumentos eficientes que hagan estas mediciones entre los cuales tenemos, amperímetros de gancho, multímetro, entre otros. Existen sensores que son usados para monitorear corriente continua o alterna entre los cuales se incluyen sensores de corriente lineales ajustables, de balance nulo, digitales y lineales donde estos últimos pueden hacer arrancar un motor o abrir una válvula. Existen 4 tipos de sensores de corriente que son:

- *Bobina de Rogowski:* Este es un dispositivo electrónico usado para medir corriente alterna y que consta de un embobinado transversal constante.
- *Shunt de corriente de baja resistencia:* Estos son considerados los de valor menor y que brindan una medición sencilla y con una gran precisión. Comúnmente tiene cuatro bornes que serían los terminales en donde finaliza los dispositivos mediante los hilos conductores.
- *Transformador de corriente:* este permite tener un valor de salida igual a la potencia que ingresa actualmente la mayoría de los artefactos eléctricos requieren un transformador para ajustar la corriente
- *Sensor de efecto Hall:* existen dos tipos de efecto Hall los cuales serían anillo abierto y anillo cerrado donde este último ofrece mayor precisión y funciona dada la consecuencia de una fuerza que ejerce sobre una carga eléctrica que es sometida a un eléctrico y magnético. Un ejemplo claro de este tipo de sensores sería el Sensor de Corriente ACS712 que puede

medir corrientes de hasta 30 A ya sea en CA O DC este sensor es ideal en trabajos mecánicos (Figura 13) en el área industrial o comercial. En la siguiente imagen podemos observar un sensor ACS712 y cabe mencionar que estos sensores son muy económicos y se encuentran al alcance de todos (Aliaga Vargas, 2021).



Figura 13. Sensor de corriente ACS712.

### 2.11.3. Medidores de voltaje

Estos sensores funcionan mediante un módulo de divisor de tensión que como bien se sabe están basados en la ley de Kirchhoff que nos dice que en un lazo cerrado la suma de voltajes es igual a cero estos son aplicados en circuitos donde se desea eliminar frecuencias en una señal, estos son esenciales en muchos circuitos electrónicos (Jaimes Calvete, 2022).

Tenemos en un circuito dos resistencias conectadas en serie obteniendo que  $i_1 = i_2$  que esto sería igual a  $i$ . y con la ley de ohm obtenemos:

$$V = IR \quad (8)$$

$$V_{ent} = i (R_1 + R_2) \quad (9)$$

Donde despejamos  $i$  para reordenar y así obtener  $i = V_{ent} * (\frac{1}{R_1 + R_2})$  donde en términos de  $V_{ent}$  despejamos la corriente para tener que  $V_{sal} = iR_2$  donde simplemente sustituimos los valores de  $i$  teniendo como resultado la ecuación de divisor de voltaje:

$$V_{sal} = (V_{ent} * \frac{1}{R_1 + R_2}) R_2 \quad (10)$$

Un ejemplo claro de estos sensores donde se aplica este divisor de tensiones sería en el sensor VCC<25V-DCT- Electronic que es un módulo de divisor de tensión que utiliza resistencias de 30K y 7.5 y puede hacer mediciones con voltaje de 25 V y es compatible con tarjetas microcontroladoras como lo son ESP32 y Arduino donde alguna de sus ventajas sería el bajo costo, su accesibilidad de obtención y que es fácil de programar. En la Figura 14 podemos ver un ejemplo de este modelo de sensor.



Figura 14. Sensor de voltaje VCC<25V.

## 2.15. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que alberga cada parte de una computadora. Es utilizado para supervisar el desempeño de una función específica y, debido a su pequeño tamaño, se encuentran normalmente incorporados en el dispositivo gubernamental.

Pero debemos saber que existen diferencias entre un microcontrolador y un microprocesador y es que un microcontrolador es un circuito integrado de gran escala de integración que añade la gran parte de los elementos que configuran un controlador y el microprocesador es un circuito integrado que contiene una unidad Central de Proceso a lo que conocemos como (CPU)

Entre los microcontroladores más comunes tenemos al Arduino y la tarjeta Esp32 donde sus ventajas y desventajas serían la diferencia de tensión de funcionamiento ya que Esp32 funciona con un voltaje de 3.3 V DC y Arduino con 5V DC pero que a la hora de procesar Esp32 tiene una memoria flash de 4 MB donde Arduino de 32 KB y entre otros datos que tendrían serían:

Tabla 2 Características de los dispositivos.

| Función            | ESP32      | ARDUINO   |
|--------------------|------------|-----------|
| Consumo en mA      | 80 – 90 Ma | 45 -80 mA |
| Capacidad de pines | 36         | 14        |
| Velocidad          | 240 MHz    | 16 MHz    |

así que podríamos concluir que el uso de cada uno sería dependiente de la aplicación que se le dará (German Lopez, 2003) (Taylor, 2022).

## 2.16. Agua destilada de los condensadores de aires acondicionados

En el funcionamiento del aire acondicionado intervienen numerosos procesos físicos y químicos. Básicamente, lo que estos equipos hacen es controlar la temperatura, humedad en una habitación cerrada. Ya que, al pasar por la unidad evaporadora, el refrigerante contiene un cambio de estado, pasando de líquido a gaseoso. El aire caliente de tu ambiente se ve a través del evaporador mientras el refrigerante circula por su interior. Esto sucede debido al funcionamiento de los ventiladores del equipo. El refrigerante es el que luego absorbe el calor del aire y hace que el interior de la unidad se enfríe. A su vez el vapor de agua se convierte básicamente en agua líquida. El agua queda acumulada en la base del evaporador, esas gotas de agua que expulsa estos equipos provienen del vapor de agua condensado que estaba en el ambiente. Ahora bien, cabe mencionar que el agua que sale es destilada mas no es agua potable ya que esta proviene del proceso de condensación así que esto reduce el uso de esta agua dándole funciones como: Recargar la taza de baño, rellenar el agua del limpiaparabrisas o limpiar con ella ventanas o pisos. Y mediante estudios y pruebas de pH, mediciones de turbidez entre otras se llegó a un resultado favorable donde se muestra que la calidad del agua destilada de estos equipos es lo suficientemente buena como para reutilizarse en riegos.

La cantidad de agua que se puede recolectar por un aire acondicionado que está trabajando en una zona calurosa sería alrededor de 2 a 5 litros al día teniendo en cuenta

que se consideraría la humedad y temperatura ya que a mayo temperatura el vapor de agua se condensa de manera más rápida. Situaciones que se presentan en el estado de Tabasco durante las estaciones de primavera a verano y parte de otoño por lo que aprovecharla sería un plus para el cuidado del medio ambiente y no utilizar agua potable (Marina, 2022).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



# Capítulo 3.

## Diseño e implementación del sistema de limpieza y enfriamiento

En este capítulo se escribe todo lo relacionado al diseño, instalación e implementación del sistema de limpieza y enfriamiento donde se explica como se lleva acabo la propuesta y fabricación, materiales usados, la instrumentación electrónica, análisis de irradiancia y la elaboración de la propuesta hecha en software CAD.

### 3.1. Propuesta de automatización del sistema de limpieza y enfriamiento

Para iniciar este proyecto se realizó un esquema para seguir los pasos a realizar para el funcionamiento del sistema.



Figura 15. Esquema de pasos a seguir del sistema automatizado de limpieza y enfriamiento.

Siguiendo este esquema dividió en cuatro etapas, donde se explicará el desarrollo de cada una de ellas iniciando por:

- *Etapas 1* “Diseño de la propuesta usando software CAD”.

Para continuar el proyecto se diseñó en software CAD la propuesta de mecanismo para el mantenimiento de limpieza automatizado y enfriamiento intermitente. En este se observó el tipo de movimiento que se le daría, los materiales y componentes que servirían ya que se expondrían a temperaturas de 30°C a 65°C, todo esto con la finalidad de obtener un diseño optimo y viable para el proyecto.

- *Etapas 2* “Instalar la propuesta de mecanismo”.

Una vez ya diseñado el mecanismo de limpieza y refrigeración automatizado en el software CAD, se llevó a montar la propuesta de este en un soporte hecho de perfil (PTR) donde se diseñó especialmente para montar dos placas solares de un metro por 0.8 m cada una, esta se hizo con un ángulo de inclinación de 63° debido a la altitud del municipio de Cunduacán, Tabasco y el lugar de ubicación de los paneles.

- *Etapas 3* “Desarrollar e implementar la instrumentación electrónica”.

En esta etapa se desarrolló todo con respecto a la instrumentación electrónica, donde se usó una tarjeta microcontroladora ESP32 debido a las capacidades de pines que se utilizaron para los sensores y cámara térmica. La cámara térmica que se usó fue una amg8833 que se utilizó para obtener los valores de temperatura que se mandarían a una computadora, estos valores obtenidos fueron importantes ya que debido a obtener temperaturas por encima de los 40° C se simularía el proceso de limpieza y refrigeración del sistema automatizado. La cámara fue programada en lenguaje Arduino (anexo a), este monitoreo es importante para poder llevar un control de temperatura. También se usaron sensores de voltaje y corriente conectados a la tarjeta microcontroladora y esos datos fueron utilizados para obtener las gráficas de eficiencia con respecto a la temperatura obtenida.

Se utilizó un sensor de voltaje VCC<25V (Figura 14) de capacidad de lectura de 25 V. en VC esta referencia de capacidad se estableció debido a la capacidad de voltaje del panel

solar. Este sensor funciona debido a que es un pequeño divisor de tensión que utiliza resistencia de 30 K y 7.5 K ohm, va conectado a la tarjeta microcontroladora ESP32 y fue programado en lenguaje Arduino con un arreglo de un filtro pasabaja para obtener resultados más claros y así no obtener tanto resultado de ruidos en el monitoreo, obteniendo los valores de voltaje del panel solar y observando las variaciones que este presenta cuando se excede las temperaturas por consecuencia notando la pérdida de eficiencia causada por la temperatura.

También se programó un sensor de corriente ACS712 (Figura 13) al cual se le hizo un arreglo con amplificadores (amplificador restador) utilizando amplificadores operacionales utilizando resistencias de 400 Ohm y OPAM - Lm234. Este arreglo se hizo con la finalidad de restar la ganancia que se obtiene ya que el sensor nos da:  $0\text{ A} \rightarrow 2\text{ V}$ .

Y se requiere que al obtener un valor sea:  $0\text{ A} \rightarrow 0\text{ V}$  de salida así usarlo hasta 20 A y obtener lecturas casi exactas.

Todos estos componentes que se usaron se conectaron a la tarjeta microcontroladora ESP32 y observaron sus resultados en la computadora para luego poder graficarlos y ver la mejoría que se presentaba en cada panel solar dada las condiciones en las cuales se monitoreaban como se muestra en la figura 16.

Diagrama de proceso utilizando instrumentación electrónica:

### PROGRAMACIÓN DE SENSORES PARA MONITOREO

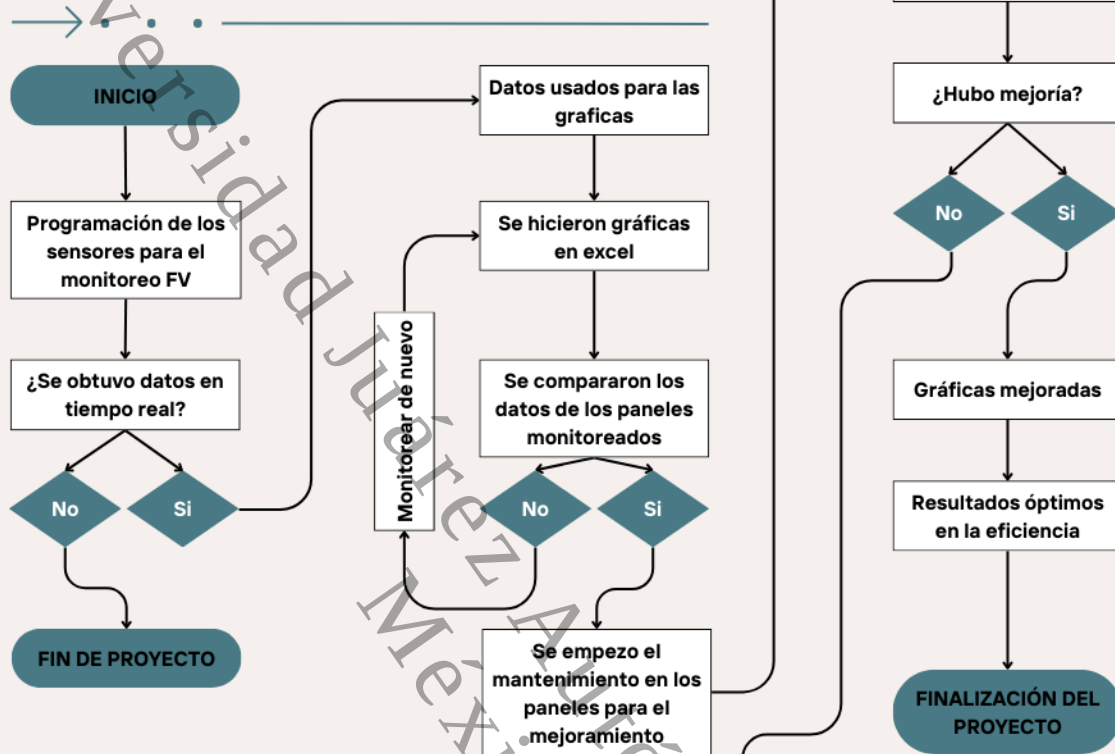


Figura 16. Diagrama de flujo de programación electrónica.

- Etapa 4 “Integrar el sistema automatizado de la propuesta”.

El sistema de monitoreo se integró en un soporte para dos paneles solares donde se utilizó los siguientes materiales:

- PTR
- Electrodo 6031
- Tubo plus de ½ pulgada
- Termofusor

- Codos y T de material tubo plus
- Bomba de agua de 12 volt
- Sensores de corriente, potencia y cámara térmica
- Aspersores
- Se reutilizo agua obtenida por el condesado de los aires acondicionados de la división de Ingeniería y arquitectura.

Todos estos componentes fueron encontrados al alcance y de precio económico para este sistema automatizado de limpieza y refrigeración. Fueron ensamblados parte por parte al soporte y programados como se mencionaron anteriormente.

### 3.2. Fabricar la estructura de soporte de los paneles solares

Para realizar el soporte de los paneles solares se utilizó el taller de forja y soldadura de la división académica de ingeniería y arquitectura donde con respecto a las medidas específicas se fue diseñando en base a la propuesta diseñada en el software CAD, Figura 17. Donde se utilizó equipos de protección correspondientes y el material ya mencionado. Quedando como se muestra en la Figura 18 y Figura 19, respectivamente.

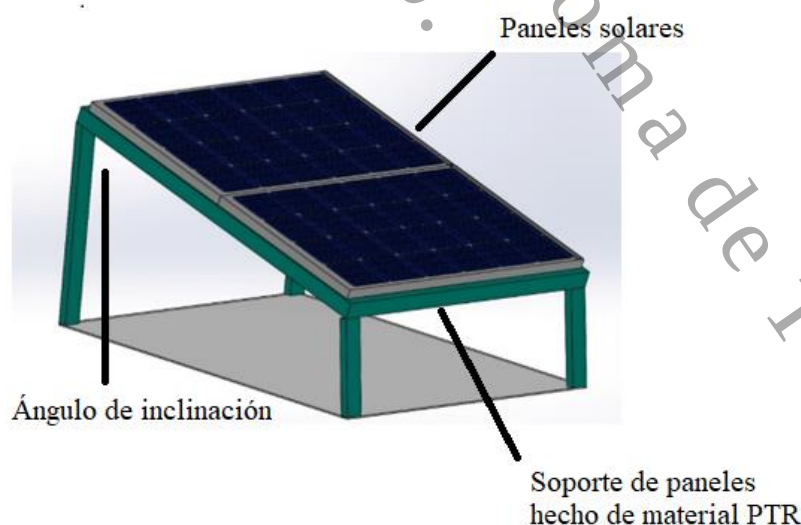


Figura 17. Diseño de soporte con panel solar.



*Figura 18. Elaboración de soporte de panel solar.*



*Figura 19. Diseño de soporte finalizado.*

### **3.3. Desarrollo e implementación de la instrumentación electrónica**

El monitoreo se llevó a cabo mediante el uso de sensores de corriente, sensor de voltaje y cámara térmica todo esto conectado a una tarjeta microcontroladora ESP32. Este es conectado a las salidas de los paneles solares y obteniendo mediciones en tiempo real y guardadas en la computadora. A continuación, se muestra la Figura 20 donde se puede ver el proceso de monitoreo de los paneles:

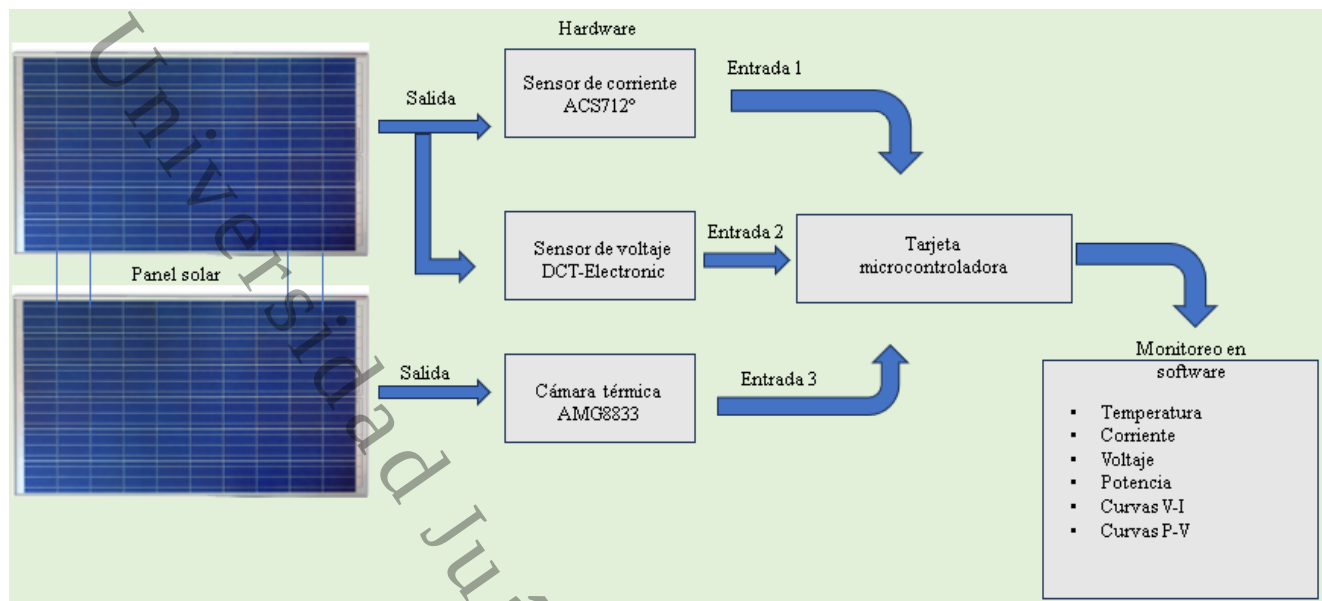


Figura 20. Diagrama de bloque del monitoreo de los paneles solares.

Este monitoreo tiene como finalidad observar el comportamiento de la corriente, voltaje y temperatura en diferentes situaciones y observar las gráficas de eficiencia cuando se presentan disminuciones o aumento de esta.

### 3.3.1. Análisis de irradiancia

El análisis de irradiancia o radiación solar como ya se mencionó anteriormente se llevó a cabo mediante el uso de la cámara térmica AMG8833 pero se compararon los resultados obtenidos con la ayuda de un pirómetro industrial notando que las variaciones de temperatura coincidían, después de tomar las mediciones durante una semana con ambos instrumentos donde se analizó los paneles en diferentes situaciones como por ejemplo: un panel instalado sin mantenimiento, uno con solamente el sistema de enfriamiento y otro con el sistema automatizado de limpieza y enfriamiento. Y se pudo notar que se presentaban aumentos y disminuciones de temperatura donde se podía apreciar mejoría en los paneles solares. Estos valores obtenidos fueron promediados para disminuir el exceso de valores y obtener los más importantes durante cierto lapso en el día que fueron mediciones tomadas durante las 08:00 de la mañana hasta las 17:00 horas. Los cálculos hechos con temperaturas fueron resueltos con las fórmulas de

promedio que ya conocemos para hacer una estimación de estos valores dados en grados Celsius. Las ecuaciones usadas fueron:

$$T_{Promedio} = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_N}{N_t} \quad (11)$$

Donde N son los valores de temperatura durante toda la semana y  $N_t$  es el numero total de valores obtenidos así promediar y obtener estimaciones promedio durante una semana cubriendo los diferentes horarios del día medidos cada media hora.

### 3.3.2. Análisis de potencia, energía generada y eficiencia.

Como bien sabemos la potencia en un panel solar está dada bajo la siguiente ecuación:

$$P_{generada} = V_{NOMINAL} * I_{NOMINAL} \quad (12)$$

Así que para empezar tomamos los valores dados por el fabricante y vistos en la ficha técnica y sustituimos en la ecuación obteniendo como resultado:

$$P_{generada} = 17.70 \text{ V} * 5.74 \text{ A} = 101.599 \text{ W} \quad (13)$$

Este valor de potencia está dado en vatios y sería obtenido en condiciones óptimas, pero como se presentan variaciones de voltaje y corriente es ahí donde tenemos valores diferentes en potencia que simplemente sería sustituir dichos valores en la ecuación ya mencionada.

Ahora bien, para calcular la energía generada se toma los siguientes valores (Capacidad del panel en kW, radiación solar en kWh/m<sup>2</sup>/día, la eficiencia del panel y los días que integran el año. Quedando como resultado la siguiente ecuación:

$$E_{generada} = P_{MAX} * Rad_{solar} * EF * 365 \quad (14)$$

Que al sustituir los valores podemos obtener un resultado dado en kWh al año, ahora bien, actualmente en los paneles solares comerciales su eficiencia presenta una variación que ronda entre el 15% y el 20%. Pero para saber el resultado exacto podemos calcularlo mediante la ecuación siguiente:



$$EF = \left( \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \right) * 100\% \quad (15)$$

Donde la potencia de salida está dada por la cantidad de energía eléctrica que el panel produce. Esto se mide en vatios (W). Y la potencia de entrada está dada por la energía solar que el panel capta. Esto se mide en vatios por metro cuadrado (W/m²). Por ejemplo, en un día soleado al mediodía, la cantidad de energía solar que la superficie de la tierra tiene es de promedio de 1000 W/m². Se aclara esto porque al sustituir en la ecuación nuestra potencia de salida sería los 1000 W/m² por las medidas de nuestro panel solar.

Y al sustituir estos valores obtendríamos lo siguiente:

$$EF = \frac{100 \text{ w}}{(0.6834 \text{ m}^2 * 1000 \text{ W/m}^2)} * 100 \quad (16)$$

$$EF = \frac{100}{683.4} = 0.14630 * 100\% \quad (17)$$

$$EF = 14.63\% \approx 15\% \text{ en eficiencia} \quad (18)$$

Ahora bien, teniendo la eficiencia solar ya podemos retomar la ecuación de energía generada y sustituir los valores obteniendo lo siguiente:

$$E_{\text{Gen}} = 0.10 \text{ kW} * 5.5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.15 * 366 = 30.12 \text{ kWh al año} \quad (19)$$

Estos valores son un estimado de un panel de 100 W vatios incluyendo factores óptimos es decir no tomando en cuenta el ángulo de inclinación, las condiciones atmosféricas, el polvo acumulado, la temperatura y mantenimiento del panel.

O bien una ecuación generalizada para obtener la eficiencia que el panel fotovoltaico brinde mediante las situaciones presentadas está dada mediante:

$$n = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{S * A_c} \quad (20)$$

Donde  $V_{mp}$  es el voltaje máximo potencia  $I_{mp}$  es la corriente máxima en potencia,  $A_c$  es el área superficial de la celda dada en  $\text{m}^2$  y  $S$  es la irradiación dada en  $\text{W/m}^2$ .

### 3.4. Diseño mecánico de la propuesta en SolidWorks®

#### 3.4.1. Diseño de los paneles solares, mecanismo e implementación

El diseño mecánico que se hizo para la propuesta fue creado en un software SolidWorks® donde se diseñó las piezas que compondrían este mecanismo partiendo de la base o estructura del panel solar con las medidas acordes a las placas solares que fueron representadas como se muestra en la Figura 21.

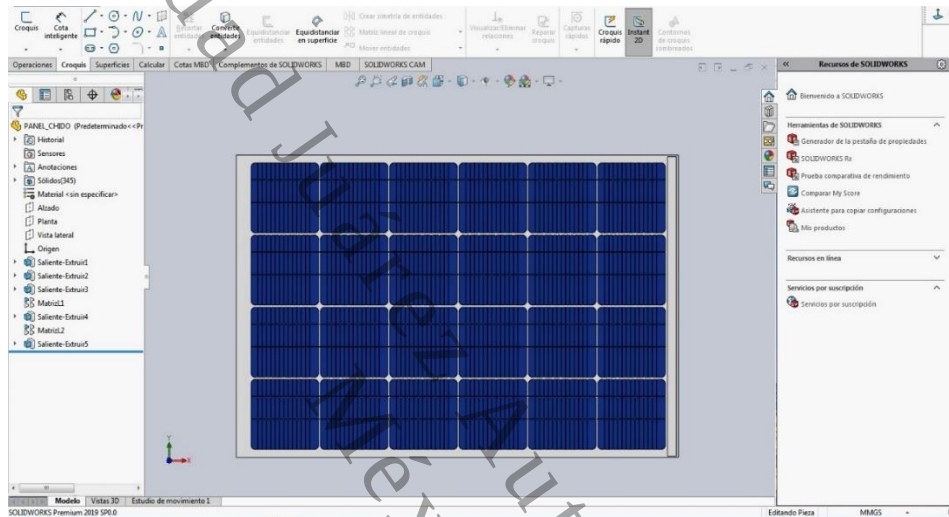
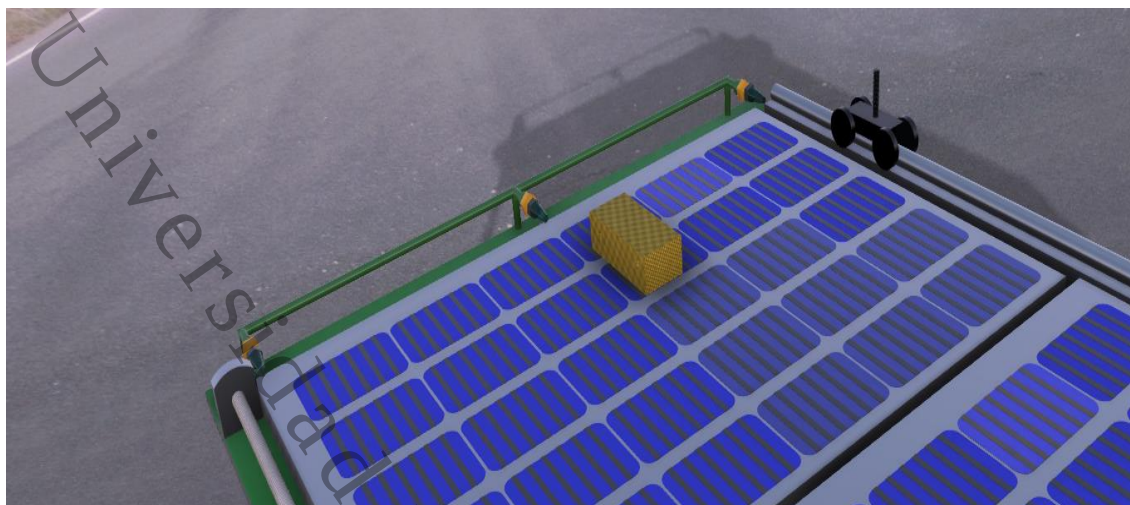


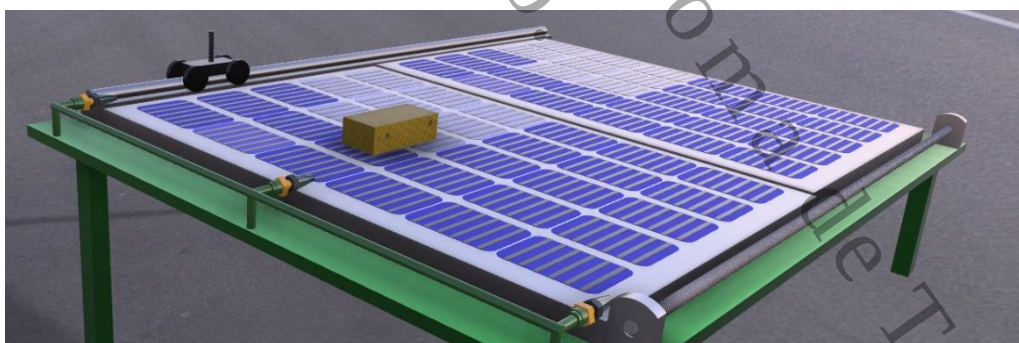
Figura 21. Diseño de panel solar en software CAD.

Para continuar se diseñó el sistema de limpieza que está constituido por dos carros de movimiento que serían instalados en la parte superior de la estructura ensamblado a un eje cuadrangular donde tendría una guía para su movimiento horizontal, así como se muestra en la Figura 22.



*Figura 22. Diseño de propuesta mecanismo sobre la estructura de panel solar.*

Este mecanismo se haría accionar cuando la bomba de agua haya concluido su labor de riego y donde quedaría montado como se muestra en la Figura 23. Dando movimiento mecánico con dos grados de libertad y accionado mediante un controlador con el objetivo de proporcionar una limpieza homogénea en todo el panel así evitar acumulación de polvo que provoca pérdidas en el sistema y a su vez se evitaría empañamiento de agua donde esta provoca igual que se caliente partes diferentes de los paneles.



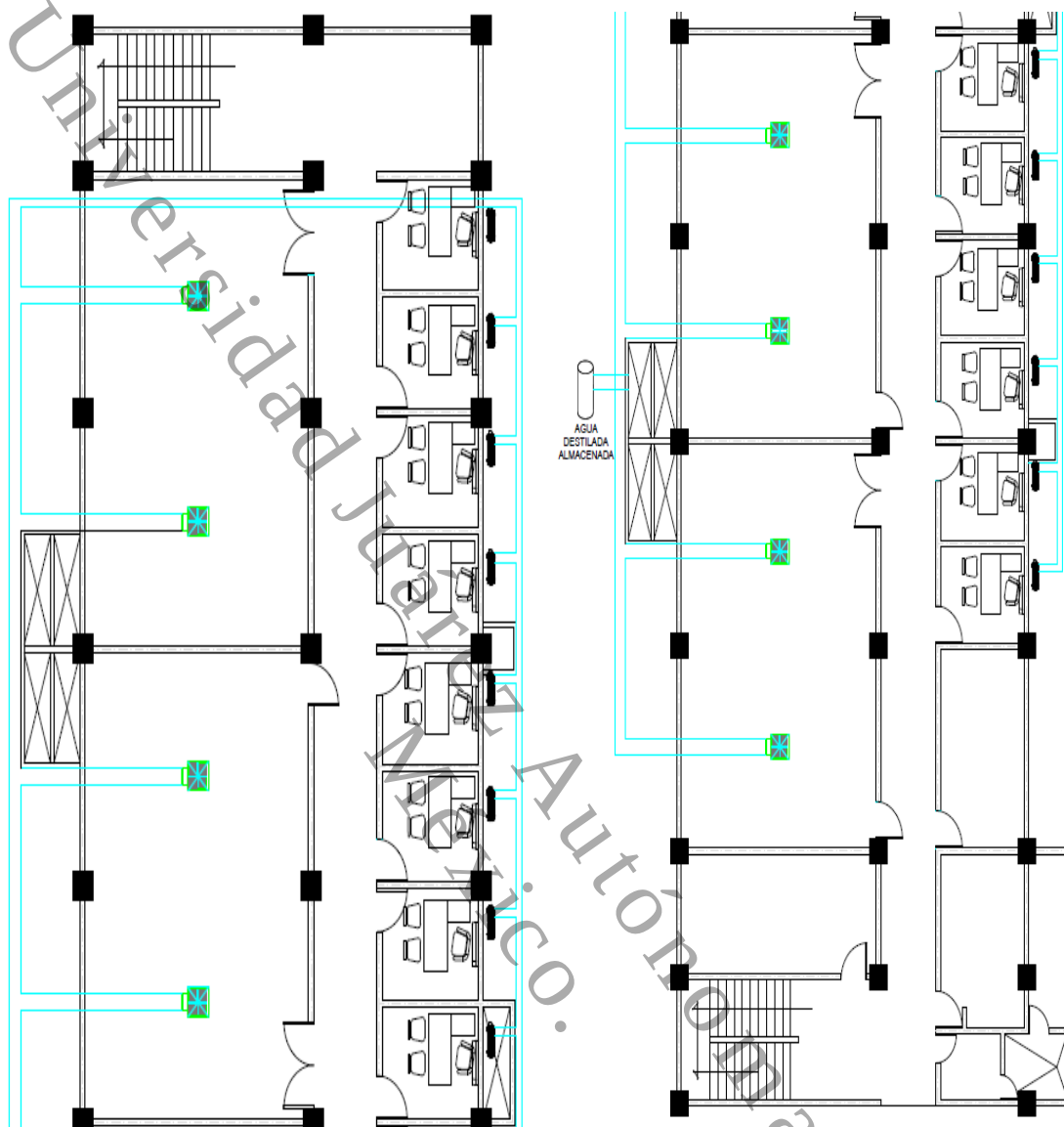
*Figura 23. Diseño de propuesta de mecanismo para limpieza.*

### **3.4.2. Sistema de distribución de agua para enfriamiento**

Este sistema está integrado por dos sistemas de distribución, suministro de un depósito auxiliar y además, del condensado de los aires acondicionados del edificio de laboratorios

eléctricos y electrónicos de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, como se ilustra en el diagrama de la Figura 24, en donde se aprecia que las líneas azules es la tubería (Tubo plus) que conecta los aires acondicionados para el sistema de distribución del agua destilada que será usada para la limpieza del panel solar esta a su vez es almacenada en un contenedor.

En este se propone conectar con tubo plus todos los condensadores que suministran los laboratorios y cubículos y así llevarse a un tanque de almacenamiento donde será reutilizada esa agua y aportar un cuidado al medio ambiente sin desperdiciar tanta agua potable esto con el fin de que dicha agua proporcionada por los condensadores sale a temperaturas entre 16°C y 20°C, el agua condensada proviene de las instalaciones de los aires acondicionados del edificio donde se encuentran cerca de los paneles solares como se muestra en la figura 23. Por una parte, la capacidad de acumulación de los condensadores está sujeta al uso de los aires acondicionados teniendo en cuenta que recauda entre 1 y 3 litros de agua por hora y que en caso de no obtener dicha capacidad se usaría un tanque de reserva que estaría proporcionado por agua potable esto ya en casos extremos. En la Figura 25 podemos observar un diagrama referente a las instalaciones de suministros y los componentes usados, por otra parte, el agua condesada nos ayudaría a enfriar de manera intermitente los paneles solares aportando a dos problemas presentados en la universidad (Evitar el exceso de agua condesada aprovechándola debido al uso diario de estos equipos de aires acondicionados y aporte al mejoramiento de eficiencia de un panel solar). Esta conexión del tubo plus se eligió debido a que este material en tubería mantiene la temperatura de agua estable sin importar la temperatura ambiente, donde con la ayuda de un software CAD (AutoCAD) se diseñó para representación de este sistema y donde se podría almacenar para su uso.



*Figura 24. Plano elaborado en AutoCAD de la instalación de agua destilada de los aires acondicionados instalado en el edificio.*

A continuación, se presenta un diagrama en la Figura 25, referente a las conexiones que se proponen para el suministro de agua teniendo en cuenta que se usaran dos bombas una de auxiliar cuando no se tenga el suministro por medio del agua destilada proveniente de los aires acondicionados es por ello que se tendría un depósito auxiliar donde se almacenaría agua potable cabe mencionar que sería solo en cuestiones de

emergencia y que al ser de agua potable se usaría un filtro para eliminar los sedimentos o minerales que el agua presente.

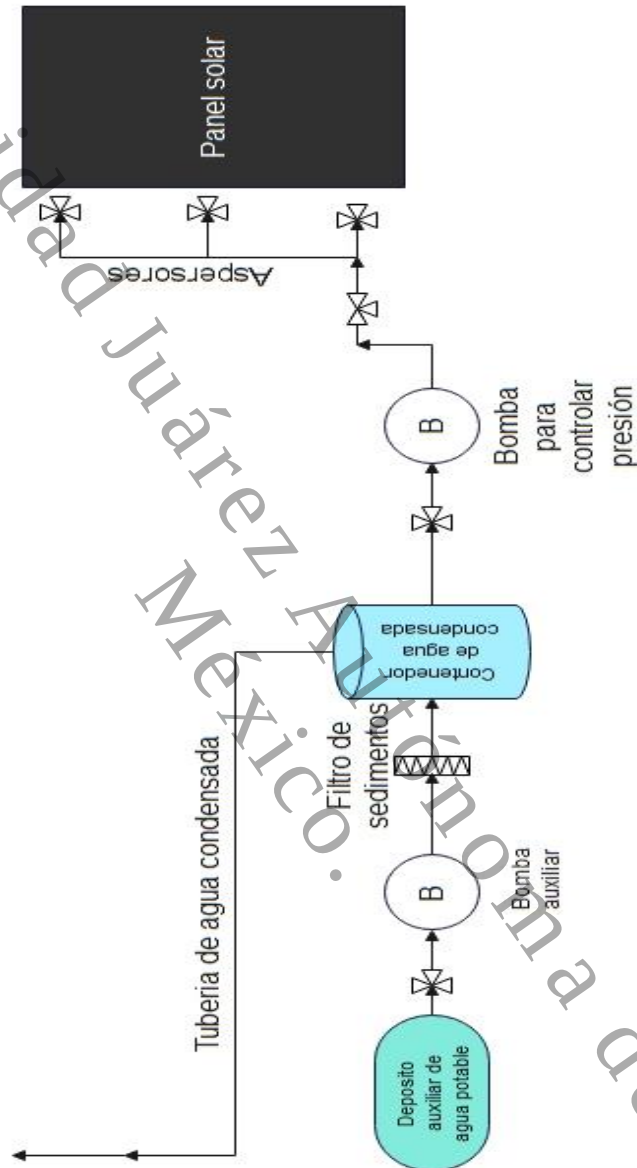


Figura 25. Diagrama de suministro de agua para limpieza y enfriamiento.



# Capítulo 4.

## Resultados experimentales

En este capítulo se mostrará todo lo relacionado a los resultados experimentales en los paneles solares incluyendo los resultados de fabricación, el análisis de los paneles solares instrumentados electrónicamente con los sensores, las gráficas obtenidas para comparación y los resultados en base a las curvas V-I y P-V para obtener su eficiencia y su factor de llenado mediante las ecuaciones.

### 4.1. Resultados de fabricación de la estructura

Para realizar las pruebas de los paneles solares se montaron cerca del edificio de eléctrica-electrónica, mecánica- eléctrica y manufactura como se muestra en la Figura 26 donde se llevó a cabo el monitoreo de estos.



*Figura 26. Instalación de soporte y panel solar en la DAIA.*

Estas medidas de los soportes fueron acordes a los paneles solares y la instalación se basó en el espacio disponible que fue brindado por la Universidad Juárez Autónoma De Tabasco.

#### 4.2. Análisis de resultados del panel solar instrumentado

Los resultados que se presentan a continuación están dados bajo el monitoreo de los paneles solares en diferentes condiciones. Los primeros resultados mostrados son de un panel en condición ambiente de temperaturas que rondaban entre los 29° C y los 48°C, en estas condiciones que se presentaban durante una semana desde las 08:00 en el municipio de Cunduacán hasta las 16:00 horas podemos observar que la gráfica correspondiente a valores de voltaje-temperatura tiene una pequeña caída de voltaje cuando se presentan una temperatura de 46°C, así como se muestra en la Tabla 3. Se puede observar se encuentran valores de corriente entre 3.5 A y 4.1 A en un panel con la cubierta superior sucia.

Tabla 3 Valores de Temperatura de un panel con suciedad.

| Hora  | Temperatura °C | Voltaje Voc (V) | Corriente Isc (A) |
|-------|----------------|-----------------|-------------------|
| 08:00 | 36.2           | 19.1            | 3.5               |
| 08:30 | 37.8           | 19.15           | 3.5               |
| 09:00 | 41.5           | 19.17           | 3.51              |
| 09:30 | 42.4           | 19.89           | 3.55              |
| 10:00 | 43.7           | 19.74           | 3.81              |
| 10:30 | 44.1           | 19.76           | 3.94              |
| 11:00 | 50.8           | 19.87           | 3.81              |
| 11:30 | 52.5           | 19.85           | 3.85              |
| 12:00 | 53.2           | 19.86           | 4.2               |
| 12:30 | 53.5           | 19.84           | 4.1               |
| 01:00 | 55.2           | 19.82           | 4.2               |
| 01:30 | 55.3           | 19.73           | 4.2               |
| 02:00 | 55.4           | 19.72           | 3.9               |
| 02:30 | 55.3           | 19.71           | 3.8               |
| 03:00 | 55.3           | 19.84           | 3.85              |
| 03:30 | 54.2           | 19.85           | 3.87              |
| 04:00 | 54.2           | 19.87           | 3.78              |



En la Tabla 4 podemos observar los valores obtenidos y promediados durante una semana de monitoreo en los distintos lapsos de tiempo partiendo de la 8:00 horas de la mañana hasta las 16:00 horas del día que sería el fin de las horas pico. Cabe mencionar que estos valores obtenidos se promediaron para tener un estimado y no tener cantidades excesivas de temperatura, voltaje y corriente.

*Tabla 4 Valores de un panel en limpieza y enfriamiento intermitente.*

| Hora  | Temperatura °C | Voltaje Voc (V) | Corriente Isc (A) |
|-------|----------------|-----------------|-------------------|
| 08:00 | 35.2           | 19.98           | 4.1               |
| 08:30 | 37.1           | 19.94           | 4.13              |
| 09:00 | 41.7           | 19.95           | 4.19              |
| 09:30 | 42.4           | 19.96           | 4.25              |
| 10:00 | 50.2           | 20.1            | 4.25              |
| 10:30 | 50.5           | 20.12           | 5.1               |
| 11:00 | 51.3           | 20.18           | 5.05              |
| 11:30 | 37.6           | 20.19           | 5.1               |
| 12:00 | 39.6           | 20.2            | 5.1               |
| 12:30 | 41.2           | 19.95           | 4.8               |
| 01:00 | 41.3           | 19.98           | 4.7               |
| 01:30 | 39.6           | 20.3            | 5.1               |
| 02:00 | 39.5           | 20.4            | 4.6               |
| 02:30 | 40.6           | 19.94           | 4.5               |
| 03:00 | 39.7           | 20.1            | 4.12              |
| 03:30 | 39.5           | 20.13           | 4.5               |
| 04:00 | 41.8           | 19.75           | 4.1               |

Con la ayuda de estos valores obtenidos y promediados se pudieron graficar su comportamiento y así compararlos como se muestran en la figura 27, 28 y 29 respectivamente. Se observó el comportamiento de los paneles monitoreados, al cual a uno se le dio limpieza y enfriamiento simulando el sistema de limpieza y al otro se dejó como suele hacerse. Los parámetros comparados son de temperatura, corriente y voltaje notando en las tres graficas que si el panel está sometido a limpieza y enfriamiento hay una mejora en dichos parámetros a diferencia que cuando el panel no se le brinda dicho mantenimiento.

En la figura 27 se observa el comportamiento de las temperaturas, donde el panel presenta una temperatura mejorada en el transcurso de las 11 horas del día debido a

que se somete a limpieza y enfriamiento intermitente cada media hora manteniendo una temperatura regulada situada entre los 37 °C y 45°C a diferencia del panel sucio (PS) que su temperatura esta siempre por encima de los 50 °C en el transcurso de esas horas.

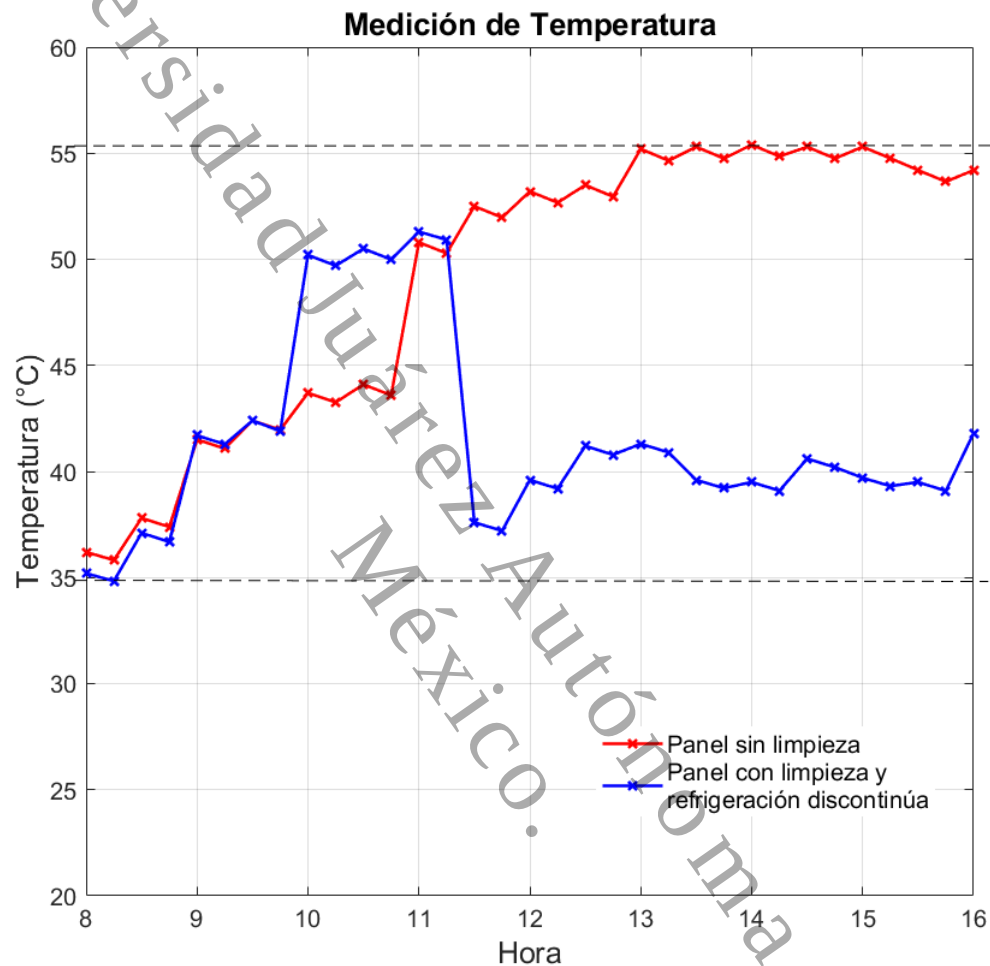


Figura 27. Comparativa de temperaturas en situaciones diferentes.

En la Figura 28 se observa cuando se presenta una limpieza en el panel solar la corriente aumenta a diferencia cuando el panel se cubre de polvo (PS) se crea un efecto sombra y calentamiento excesivo en solo algunas partes del panel produciendo pérdidas de corriente.

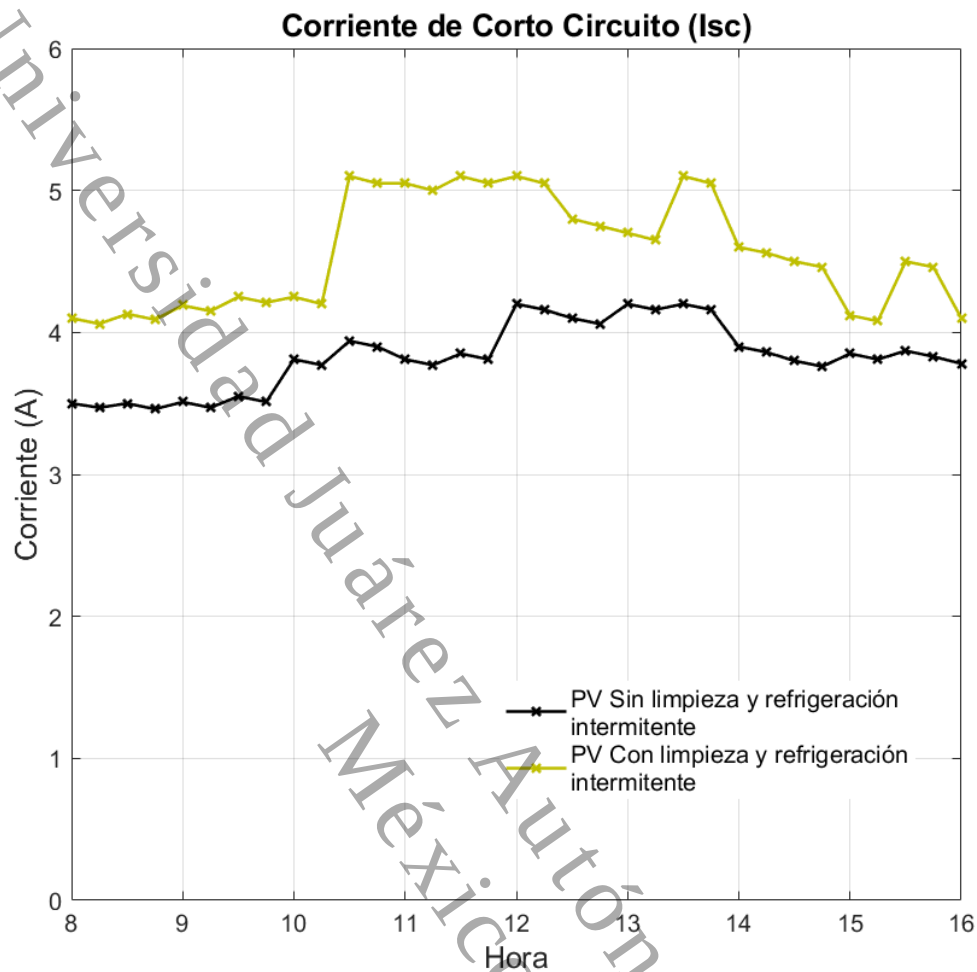


Figura 28. Comparativa de corriente en diferentes paneles.

En la Figura 29 se nota que el voltaje se mantiene más eficiente con un sistema de limpieza en un panel aproximándose a los valores que el fabricante nos informa. Ya que se mantiene en voltajes por encima de 20 V y en un panel sucio (PS) está por debajo de este valor.

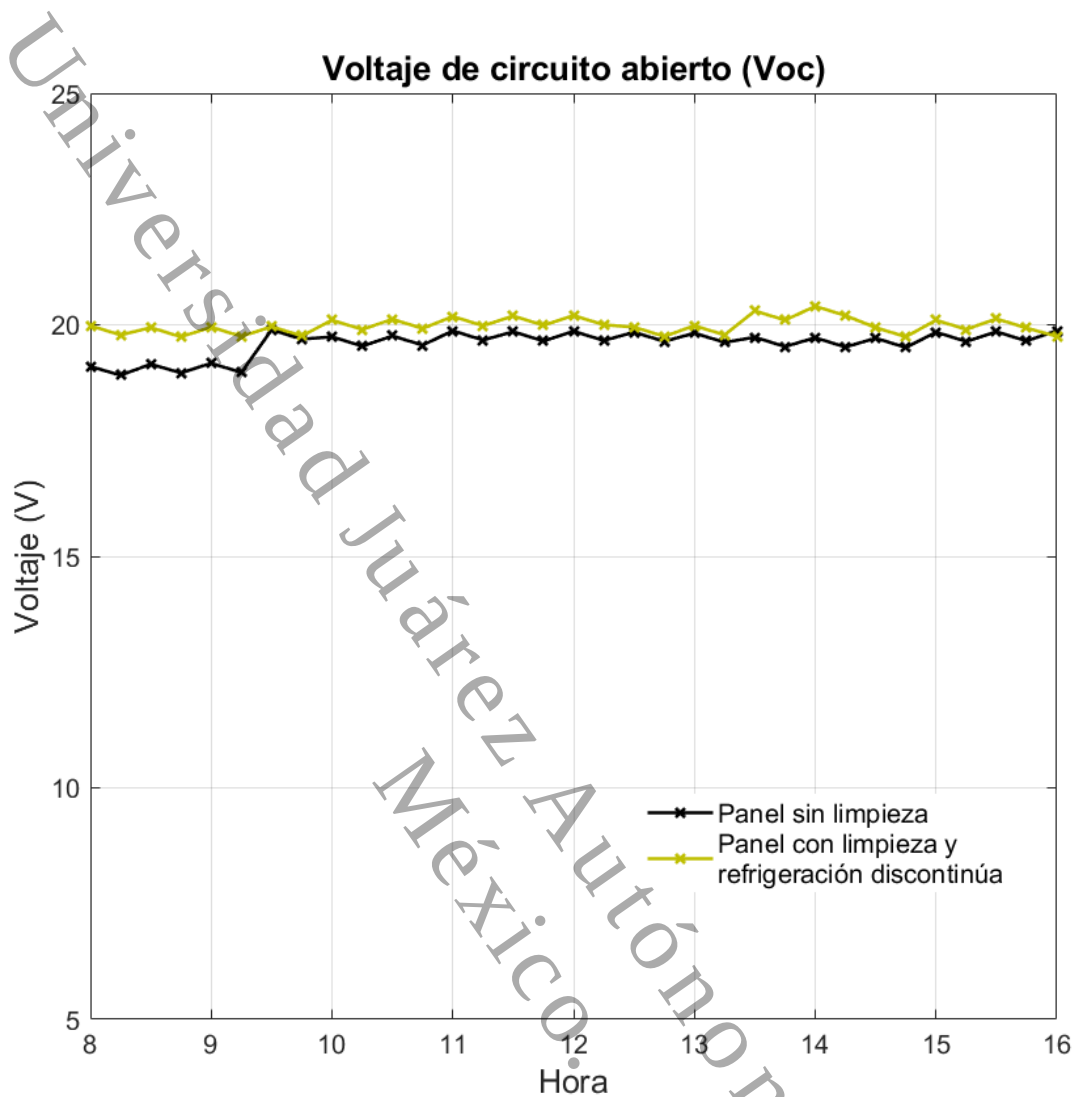


Figura 29. Comparativa de voltajes en situaciones diferentes.

En la Figura 30 se muestra la potencia de los paneles dando carga eléctrica a un componente y con los valores de  $V_{mp}$  sin el sistema de limpieza y refrigeración (PS) y con el sistema. Notando un aumento de potencia con respecto a las situaciones en las que se encuentra el panel fotovoltaico, estos valores están dados en Watts.

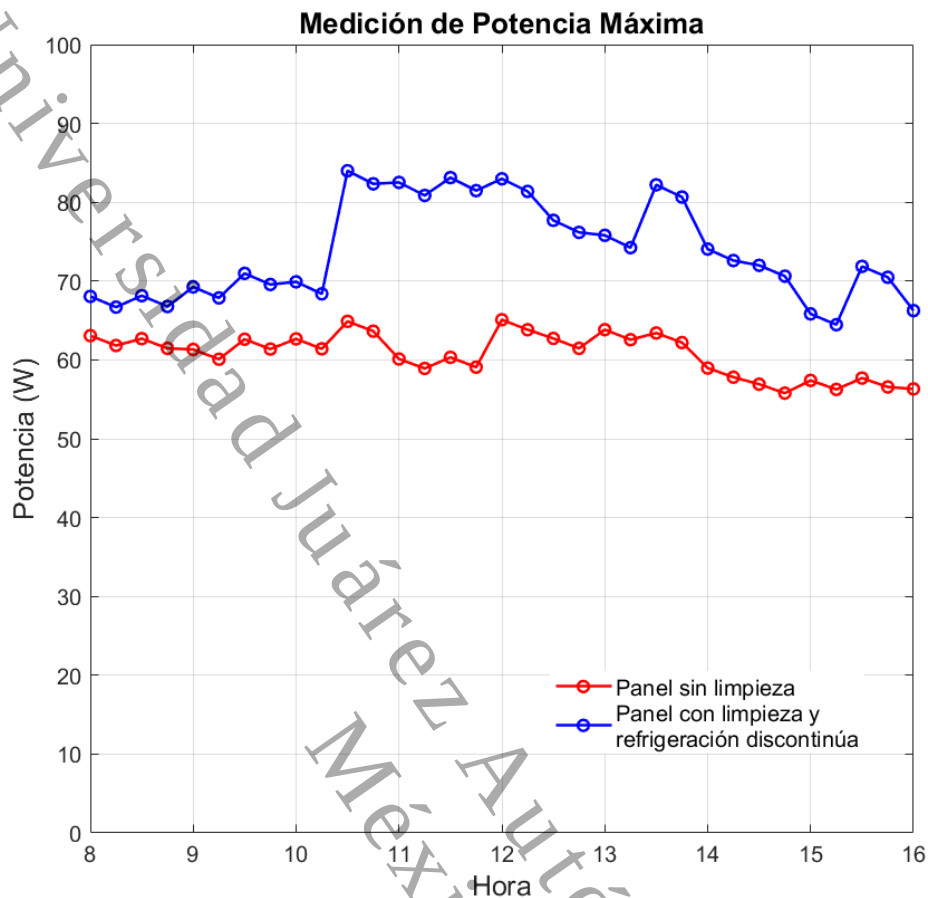


Figura 30. Comparación de potencia en paneles con diferentes situaciones.

Podemos observar la mejora de eficiencia de un panel solar en su potencia con respecto al sistema y sin él. Donde podemos notar que la eficiencia ha mejorado un 15%.

Ya que debemos recordad que el panel nos debería brindar una potencia de 100 W si se tuviera en condiciones óptimas.

Al encontrarse en un clima con exceso de temperatura y sin mantenimiento obtenemos potencia promedio de 75.39 W, ya con un sistema automatizado de limpieza y enfriamiento podemos obtener potencia promedio de 89.0 W. Es por ello por lo que obtenemos un aumento en la mejora de eficiencia con la ayuda del sistema.

### Curvas (I- V)

Para terminar los resultados obtenidos, estos se compararon en las curvas I – V y P – V ya que son características de los paneles fotovoltaicos y se obtuvieron para saber las situaciones en que se encuentran los PV. Los valores obtenidos para la gráfica de curvas I – V fueron ( $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ ) obteniendo resultado como se muestra en la Figura 31, donde podemos notar que si los paneles están en mantenimiento y enfriamiento podemos obtener una curva I-V con mayor eficiencia. A comparación de la curva de un panel fotovoltaico sin dicho mantenimiento.

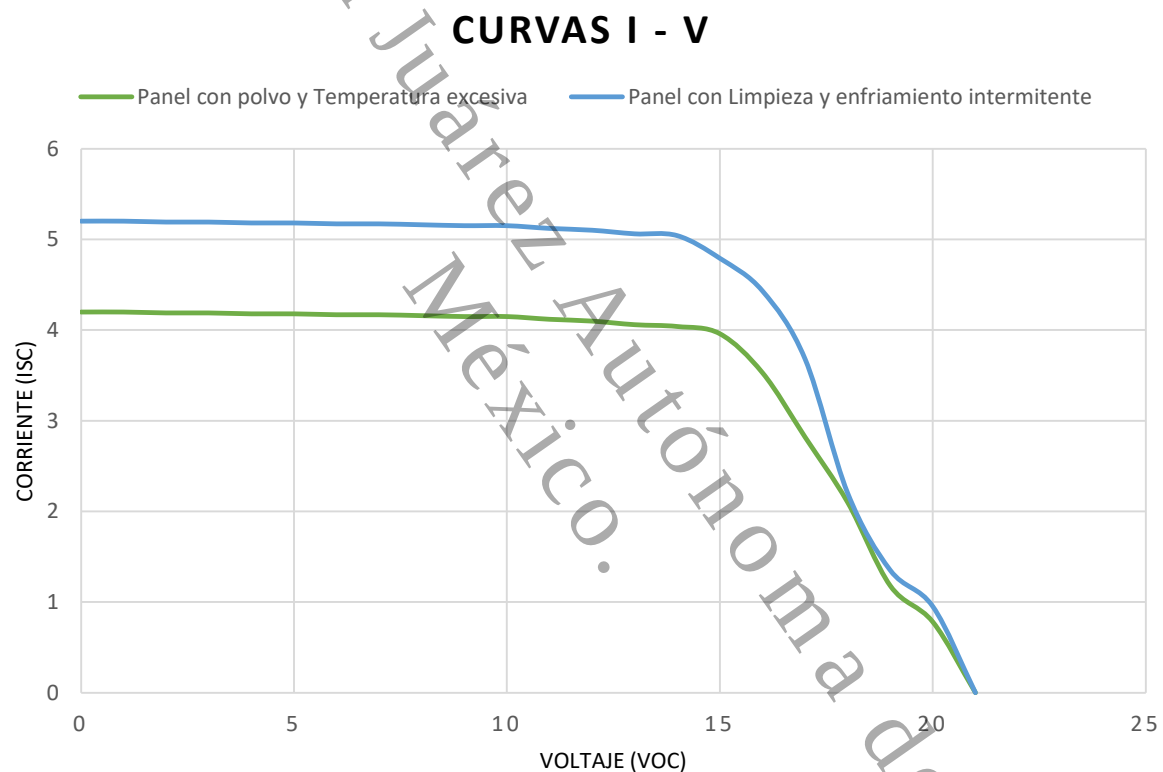


Figura 31. Curva I - V de paneles en diferentes escenarios.

### Curvas (P – V)

Para la curva P – V se obtuvo mediante los valores de ( $P_{max}$  y  $V_{mp}$ ) de los paneles fotovoltaicos y se realizó ya que esta curva es útil para encontrar o localizar el voltaje  $V_{mp}$  y así nos permite identificar la corriente (el punto máximo de potencia  $I_{mp}$ ). Donde podamos notar que existe mejor comportamiento de potencia en situaciones de limpieza y enfriamiento, como se muestra en la Figura 32.

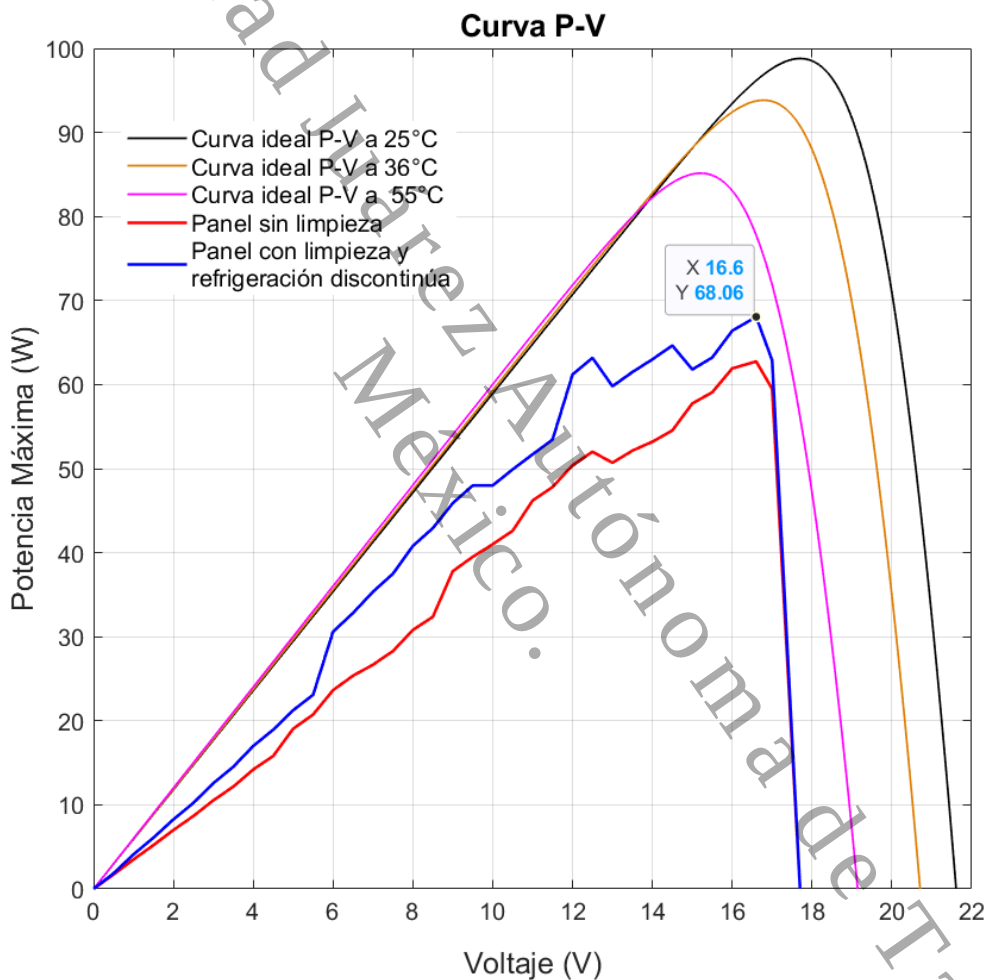


Figura 32. Curvas P - V de paneles en diferentes escenarios.

Dado dichos resultados podemos obtener la eficiencia de cada uno mediante la ecuación (20), que para obtener los valores de las ecuaciones se promediaron para tener un valor estimado y así obtener los siguientes resultados donde la eficiencia obtenida fue:

Para panel sin sistema automatizado

$$n = \frac{15.65 \text{ V} * 4.19 \text{ A}}{1000 \text{ W/m}^2 * 0.6834 \text{ m}^2} = \frac{64.17}{683.4} = 9.39 \% \quad (21)$$

Para un panel con sistema automatizado

$$n = \frac{16.27 \text{ V} * 4.93 \text{ A}}{1000 \text{ W/m}^2 * 0.6834 \text{ m}^2} = \frac{80.21}{683.4} = 11.73\% \quad (22)$$

Obteniendo una mejora de eficiencia en el sistema automatizado de limpieza y enfriamiento de 2.34 %.

Ahora bien, obtenemos que el factor de llenado de ambos paneles solares es proporcionado por la ecuación (7) y sustituimos los valores obtenidos quedando:

Para panel sin sistema automatizado

$$FF = \frac{15.65 \text{ V} * 3.89 \text{ A}}{19.68 \text{ V} * 5.61 \text{ A}} = \frac{60.88}{110.40} = 0.55 \quad (23)$$

Para un panel con sistema automatizado

$$FF = \frac{16.27 \text{ V} * 4.53 \text{ A}}{20.06 \text{ V} * 5.61 \text{ A}} = \frac{73.71}{112.53} = 0.65 \quad (24)$$

Notando una mejora considerable de 0.10 en el factor de llenado (FF) de los paneles solares a lo cual con sistema automatizado de limpieza y enfriamiento determina una mejor potencia máxima en conjunto con los parámetros tomados.



### 4.3. Ensamblaje del Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente

Donde en el software CAD quedaría implementado todo el sistema de la siguiente de manera como se muestra en la Figura 33, respectivamente.

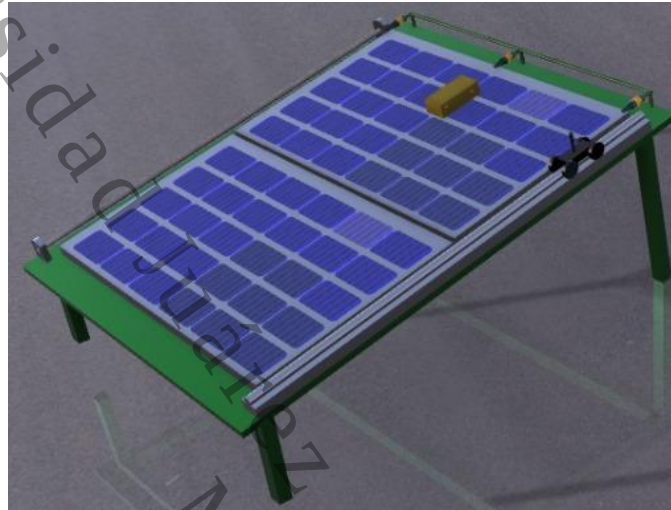


Figura 33. Propuesta de sistema de limpieza y conexiones de riego de agua.



Figura 34. Sistema de limpieza y conexiones de riego en base a lo diseñado.

En la figura 34 podemos ver los componentes del sistema donde:

- A) Es el almacenaje de agua.
- B) Sistema de bombeo.
- C) Sistema de riego mediante aspersores.
- D) Panel solar limpio con ayuda del sistema de riego.
- E) Panel solar cubierto con una capa de polvo.

Todo esto fue diseñado en software CAD y llevado a su instalación respectivamente.

## Conclusiones

Con base en la información de la literatura, se demostró que un panel fotovoltaico puede aportar en la disminución del alto consumo de energía eléctrica y al cambio climático debido a que es una alternativa fuerte para solucionar estos problemas. Cuando se encuentran en escenarios donde la temperatura es muy excesiva, escasez de lluvias, falta de mantenimiento adecuado, y pérdidas en el sistema tanto en factores de corriente como de potencia eléctrica. Esto provoca que la eficiencia del panel solar disminuya y por consecuencia no brinde lo que la ficha técnica nos presenta. Al igual cuando se presenta suciedad en la capa del panel, provoca una especie de efecto sombra evitando que se alcance la corriente establecida.

Con todo lo antes mencionado, se llevó a cabo la fabricación e instalación de los paneles solares y la estructura con base en la ubicación y orientación geográfica del edificio de los Laboratorios de Eléctrica-Electrónica, Mecánica-Eléctrica y Manufactura. Posteriormente, se implementó la instrumentación electrónica adecuada con mayor precisión para medir los parámetros de potencia y temperatura. Se realizaron las pruebas experimentales con el análisis de los resultados mediante las curvas I-V y P-V de los paneles, lo que nos muestra el punto máximo de potencia con corriente y comparación de voltaje – corriente de los paneles obteniendo una mejora de eficiencia en el sistema automatizado de limpieza y enfriamiento de 2.34 %.

Al observar estos resultados favorables, se propuso el diseño en CAD de un sistema automatizado de limpieza y de enfriamiento intermitente que podría mejorar en los parámetros como el aumento de voltaje, la mejora de corriente y, por ende, ayudar a la potencia eléctrica. Así como la temperatura que al tener este sistema podríamos mantener temporalmente parámetros de temperatura entre 36°C y 47°C utilizando agua proporcionada por los sistemas de aires acondicionados de los edificios cercano a los paneles, ya que al usarse a temperaturas altas estos presentan mayor condensación y nos brindan aguas en temperaturas de 20°C aproximadamente, ayudando a enfriar los paneles fotovoltaicos, aprovechando este tipo de agua y aportando al cuidado del medio ambiente.

Finalmente, este sistema puede diseñarse con instrumentos electrónicos, elementos mecánicos de bajo costo y estos se encuentran al alcance de todos en el mercado de materiales, aportando económicamente al sector público y, así dar funcionamiento en muchos lugares del estado de Tabasco, ya que el sistema es viable en su uso, por lo tanto, aportando mejoramiento a este proyecto. Cabe recordar que la energía solar es una fuente de energía práctica e inagotable debido a que no contamina y ayuda al cambio climático.

## Anexos A. Lenguaje de programación de los sensores de voltaje y corriente.

La paquetería que se utilizó para la programación de la cámara térmica AMG8833 en lenguaje Arduino es la que se anexa a esta sección:

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_AMG88xx.h>

Adafruit_AMG88xx amg;

float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE];

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("AMG88xx pixels"));
  bool status;
  // default settings
  status = amg.begin();
  if (!status) {
    Serial.println("Could not find a valid AMG88xx sensor, check wiring!");
    while (1);
  }
  Serial.println("-- Pixels Test --");

  Serial.println();
  delay(100); // let sensor boot up
}

void loop() {
```

```
//read all the pixels
amg.readPixels(pixels);
Serial.print("[");
for(int i=1; i<=AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE; i++){
  Serial.print(pixels[i-1]);
  Serial.print(", ");
  if( i%8 == 0 ) Serial.println();
}
Serial.println("]");
Serial.println();
//delay a second
delay(1000);
}
```

A continuación, se anexa el lenguaje que se utilizó para la programación del sensor del voltaje usando lenguaje de programación Arduino con un filtrado para obtener valores más cercanos a lo real sin tanto ruido:

```
#include <Arduino.h>

#include "SingleEMAFilterLib.h"

#define alpha 0.4 //Alpha

float adc_filtrado = 0;
float adc_raw = 0;

//SingleEMAFilter<float> singleEMAFilter(0.4);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  adc_raw = analogRead(A0);

  //adc_filtrado = singleEMAFilter.AddValue(adc_raw); //filtro valor analógico

  adc_filtrado = (alpha*adc_raw) + ((1-alpha)*adc_filtrado);

  float voltaje = (float)25*adc_filtrado/1023;

  Serial.print(",");
  Serial.println(adc_raw);

  Serial.print(",");
  Serial.println(adc_filtrado);

  Serial.print("Voltaje medido = ");
  Serial.println(voltaje);

  delay(1000);
}
```

A continuación, se anexa el lenguaje que se utilizó para la programación del sensor de corriente usando lenguaje de programación Arduino para obtener valores de corriente en CD en tiempo real:

```
/* Programación para corriente DC */

float Sensibilidad=0.066; /* en (V/A) Según las especificaciones de
este sensor*/

void setup() {
  Serial.begin(11600);
  /* Establecemos la comunicación serial a 11600 baudios */
}

void loop() {
  /* obtenemos la corriente promedio de 50 muestras */
  float I=obten_corriente(50);
  Serial.print("Corriente DC: ");
  Serial.println(I,3);
  delay(100);
}

float obten_corriente(int n_muestras)
{
```



```

float CorrienteSensor;

float V0 = 2.460; //corriente en OUT cuando la corriente a medir
es 0A

float corriente=0;

for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
    CorrienteSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);

    corriente=corriente+(CorrienteSensor-V0)/Sensibilidad; //Ecuación
para obtener la corriente
}

corriente=corriente/n_muestras;
return(corriente);
}

```

## Anexo B. Constancias de participaciones en concursos a nivel estatal



Figura 35. Constancia de participación del cuarto foro del edén con este proyecto.



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

SECRETARÍA  
DE INVESTIGACIÓN,  
POSGRADO Y  
VINCULACIÓN



Otorga la presente

## CONSTANCIA

A: **Jesús Manuel Hernández Ramos**

Por haber participado en el XIX Verano de la Investigación Científica UJAT 2023 realizado del 04 de julio al 24 de agosto del 2023, a través de la plataforma Microsoft Teams Aula Virtual de la UJAT.



ID VIC-2023-0263

Villahermosa, Tabasco a 24 de noviembre de 2023.

Dra. Karina Pérez Hernández

Directora de Investigación

SIPyV UJAT



"Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación, Sistema de Gestión de Calidad, certificado por American Trust Register, S.C.", Alcance de Certificación (Véase en el Manual de Calidad), Número de certificado ATR 0742 en base a (norma de referencia NMXC-0091-IMNC-2015), Vigencia de Certificación (11 de julio de 2025).



Figura 36. Constancia de participación de verano científico con este proyecto.



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

SECRETARÍA  
DE INVESTIGACIÓN,  
POSGRADO Y  
VINCULACIÓN



Otorga la presente

## CONSTANCIA

A **Jesús Manuel Hernández Ramos**

Asesorado por **Jesús López Gómez y Tenoch González Sánchez**

Por haber participado en el área de conocimiento **VIII. Ingenierías y Desarrollo Tecnológico** con el trabajo: **Sistema automatizado de limpieza y refrigeración de paneles solares para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión solar a eléctrica**, en el marco del Cuarto Foro el Edén de la Ciencia realizado el día 27 de octubre del 2023, a través del Aula Virtual UJAT.



ID PARTICIPANTE-FEC-2023-0011

Dra. Karina Pérez Hernández

Directora de Investigación

SIPyV UJAT

Villahermosa, Tabasco a 27 de octubre de 2023.



"Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación, Sistema de Gestión de Calidad, certificado por American Trust Register, S.C.", Alcance de Certificación (Visado en el Manual de Calidad), Número de certificado: ATR 0742 en base a (norma de referencia NMX-CG-5001-IMNC-2015), Vigencia de Certificación (11 de julio de 2025).



Figura 37. Constancia de participación en el área de ingenierías y desarrollo tecnológico.

## ANEXO C. DATOS DE LA TESIS

Tabla 5. Tabla de datos de la tesis.

| ALOJAMIENTO DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSITUCIONAL |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Título de tesis:                                       | Sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de paneles solares para el mejoramiento de la eficiencia en la conversión solar a eléctrica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Autor de la tesis:                                     | Jesús Manuel Hernández Ramos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ORCID:                                                 | 0009-0006-3726-7050                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Resumen de la tesis:                                   | En la actualidad los paneles solares han dado respuesta a la problemática que se presenta con el alto consumo de energía eléctrica, así como ha aportado una solución a la problemática de la contaminación del medio ambiente ya que esta es una energía limpia que se puede aprovechar debido a que está al alcance de todos. En este trabajo se estableció como objetivo primordial el diseño de la propuesta de un sistema automatizado de limpieza y enfriamiento intermitente de los paneles solares para aportar una mejora de eficiencia en la conversión de la energía solar a eléctrica. |
| Palabras claves de la tesis:                           | Energía Solar; Limpieza Fotovoltaica; Enfriamiento Fotovoltaico; Paneles Fotovoltaicos; Energía Renovables; Eficiencia Fotovoltaica; Conversión Solar a Eléctrica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Referencia citada:                                     | <p>27, A. D. (26 de Agosto de 2023). <i>Alibre Design</i> 27. Obtenido de 7 mejores programas CAD: <a href="https://www.alibre.com/es/blog/7-best-cad-software-for-2023/">https://www.alibre.com/es/blog/7-best-cad-software-for-2023/</a></p> <p>A. Balaguera et al. (2022). <i>Diseño e implementación de software para describir el comportamiento de un generador fotovoltaico</i>. Bogotá: Science Direct.</p> <p>Aliaga Vargas, B. P. (2021). <i>Automatización de proceso industriales</i>. Universidad de Talca, 6.</p>                                                                    |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Arati Mahadev Dhobale et al. (2023). Automatic Solar Panel Cleaning System. <i>International Journal Of Advance Research In Science, Communication and Technology</i>, 5.</p> <p>Bausa Aragones, G. G. (2016). <i>Sensores de temperatura</i>. Buenos Aires: Universidad Tecnologica Nacional.</p> <p>C. Ghenai et al. (2020). Performance enhancement and infra-red (IR) thermography of solar photovoltaic panel using back cooling from the waste air of building centralized air conditioning system. <i>El sevier</i>, 12.</p> <p>C., Y. (2022). <i>Analisis de propagación de perturbaciones ante fallas internas en sistemas fotovoltaicos</i>. Ciudad de México: Universidad Nacional Autonoma de México (UNAM).</p> <p>Campos Diaz, B. R. (2019). Tabasco, México la familia. <i>INECOL</i>, 6.</p> <p>Componentes de una instalación solar fotovoltaica. (2013). En M. hill, <i>Paneles Solares</i> (pág. 24). España: Mcgraw hill.</p> <p>D. Lopez, P. e. (2022). Expeterimental characterization of a geothermal cooling system fot enhancement of the efficiency of solar photovoltaic panel. <i>El sevier</i>, 8.</p> <p>27, A. D. (26 de agosto de 2023). Alibre Design 27. Obtenido de 7 mejores programas CAD: <a href="https://www.alibre.com/es/blog/7-best-cad-software-for-2023/">https://www.alibre.com/es/blog/7-best-cad-software-for-2023/</a></p> <p>A. Balaguera et al. (2022). Diseño e implementación de software para describir el comportamiento de un generador fotovoltaico. Bogotá: Science Direct.</p> <p>Aliaga Vargas, B. P. (2021). Automatización de proceso industriales. Universidad de Talca, 6.</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Arati Mahadev Dhobale et al. (2023). Automatic Solar Panel Cleaning System. International Journal Of Advance Research In Science, Communication and Technology, 5.</p> <p>Bausa Aragones, G. G. (2016). Sensores de temperatura. Buenos Aires: Universidad Tecnologica Nacional.</p> <p>C. Ghenai et al. (2020). Performance enhancement and infra-red (IR) thermography of solar photovoltaic panel using back cooling from the waste air of building centralized air conditioning system. El sevier, 12.</p> <p>C., Y. (2022). Analisis de propagación de perturbaciones ante fallas internas en sistemas fotovoltaicos. Ciudad de México: Universidad Nacional Autonoma de México (UNAM).</p> <p>Campos Diaz, B. R. (2019). Tabasco, México la familia. INECOL, 6.</p> <p>Componentes de una instalación solar fotovoltaica. (2013). En M. hill, Paneles Solares (pág. 24). España: Mcgraw hill.</p> <p>D. Lopez, P. e. (2022). Expeterimental characterization of a geothermal cooling system fot enhancement of the efficiency of solar photovoltaic panel. El sevier, 8.</p> <p>Durán, E. O. (2018). Historia, Desarrollo y actualidad de las celdas solares. Con Ciencia, 6.</p> <p>Energy, D. N. (2019). Cómo calcular el angulo coorrecto para los paneles solares en el sistema fotovoltaico. Hangzhou, China.</p> <p>Energy, I. S. (2019). En Manual de Diseño e Instalación de Sistemas FV (pág. 13).</p> <p>Energy, S. (2020). Suministros solares. Monterrey, México.</p> <p>Engineering, O. (2023). Pirometros y sus tipos. Obtenido de <a href="https://mx.omega.com/vhpm/">https://mx.omega.com/vhpm/</a></p> |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Experts, I. I. (2023). Ansys Discovery Live. Obtenido de <a href="https://integralplm.com/ansys-discovery-aim/">https://integralplm.com/ansys-discovery-aim/</a></p> <p>German Lopez, S. M. (2003). Introducción al funcionamiento básico de microcontroladores PIC. 25.</p> <p>Guadalupe, D. C. (2018). Instalaciones Solar Fotovoltaicas. España: McGraw Hill.</p> <p>H.S Arunkumar et al. (2023). Exergy and economic analysis of a photovoltaic panel cooling with air bubble induced water jacket. Solar Energy, 9.</p> <p>International, S. E. (2013). Manual de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos.</p> <p>International, S. E. (2019). En Fotovoltaica Manual De Diseño e Instalación (pág. 13). SEI.</p> <p>Jaimes Calvete, Y. H. (2022). Principios Basicos de Circuitos Electricos. Bucaramanga: Universidad Autonoma de Bucaramanga.</p> <p>Jothi Venkatesh K et al.,. (2023). Solar panel cleaning robot. IJSREM, 4.</p> <p>K. Bilen, I. E. (2023). Effects of cooling on performance of photovoltaic/Thermal (PV/T) solar panels. El sevier, 35.</p> <p>K. Terashima, H. T. (2023). Solar panel for supplying redential demands of heating/cooling and hot water with a lower environmental thermal load. El sevier, 13.</p> <p>L. Champhavong et al. (2022). Enhancement of performance and exergy analysis of water-cooling solar photovoltaic panel. Environment Research Themes, 7.</p> <p>Marina, F. (2022). Como podemos reutilizar el agua del aire acondicionado. Buenos Aires: Meteored.</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Marquez Garcia, C. E. (2021). FPGA- based accuracy mechatronics of a feef-drive system with ball screw. 18th International Conference on Electrical Engineering, 6.</p> <p>Mohammed Ridha, H. e. (2021). A novel theoretical and Practical methodology for extracting the parameters of the single and double diode photovoltaic models. IEEE , 28.</p> <p>Portillo, A. L. (2017). Energía Solar en México: su potencial y aprovechamiento. Puebla, México: CIEP.</p> <p>Rodríguez Rosales et al. (2020). Energía solar fotovoltaica. Queretaro: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).</p> <p>Salazar Peralta et al. (2016). La energía solar una alternativa para la generación de energía renovable. Revista de Investigación y desarrollo, 10.</p> <p>Secretaría de Economía, P. C. (2017). La industria solar fotovoltaica y fototermica en México. Ciudad de México: ISBN.</p> <p>Sierra Aguilera, M. G. (2019). Propuesta de un sistema de monitoreo y detección de fallas en un sistema fotovoltaico. Tegucigalpa: UNITEC.</p> <p>Solar Ayllu, (. E. (2018). Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas. En Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas (pág. 24). Chile: Gobierno de Chile.</p> <p>Solargis. (2023). Datos Meteorológicos y software para invertir en enería solar. Bratislava.</p> <p>Taylor, H. (22 de Marzo de 2022). Makerguides. Obtenido de <a href="https://www.makerguides.com/es/esp32-vs-arduino-speed-comparison/">https://www.makerguides.com/es/esp32-vs-arduino-speed-comparison/</a></p> <p>W. Salameh et al. (2023). Numerical study of cooling photovoltaic panels with air exhausted from indutrial system: comparisons and</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>innovative configurations. Internantional Journal Of Thermofluids, 10.</p> <p>Yarince, C. S. (2022). Analisis de propagación de perturbaciones ante fallas internas en sistemas fotovoltaicos. Ciudad de México: F. I UNAM.</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

## Referencias

- 27, A. D. (26 de Agosto de 2023). *Alibre Design* 27. Obtenido de 7 mejores programas CAD: <https://www.alibre.com/es/blog/7-best-cad-software-for-2023/>
- A. Balaguera et al. (2022). *Diseño e implementación de software para describir el comportamiento de un generador fotovoltaico*. Bogotá: Science Direct.
- Aliaga Vargas, B. P. (2021). Automatización de proceso industriales. *Universidad de Talca*, 6.
- Arati Mahadev Dhobale et al. (2023). Automatic Solar Panel Cleaning System. *International Journal Of Advance Research In Science, Communication and Technology*, 5.
- Bausa Aragonés, G. G. (2016). *Sensores de temperatura*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.
- C. Ghenai et al. (2020). Performance enhancement and infra-red (IR) thermography of solar photovoltaic panel using back cooling from the waste air of building centralized air conditioning system. *El sevier*, 12.
- C., Y. (2022). *Análisis de propagación de perturbaciones ante fallas internas en sistemas fotovoltaicos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Campos Díaz, B. R. (2019). Tabasco, México la familia. *INECOL*, 6.
- Componentes de una instalación solar fotovoltaica. (2013). En M. Hill, *Paneles Solares* (pág. 24). España: McGraw Hill.
- D. Lopez, P. e. (2022). Experimental characterization of a geothermal cooling system for enhancement of the efficiency of solar photovoltaic panel. *El sevier*, 8.
- Durán, E. O. (2018). Historia, Desarrollo y actualidad de las celdas solares. *Con Ciencia*, 6.

- Energy, D. N. (2019). *Cómo calcular el ángulo coorrecto para los paneles solares en el sistema fotovoltaico*. Hangzhou, China.
- Energy, I. S. (2019). En *Manual de Diseño e Instalación de Sistemas FV* (pág. 13).
- Energy, S. (2020). *Suministros solares*. Monterrey, México.
- Engineering, O. (2023). *Pirometros y sus tipos*. Obtenido de <https://mx.omega.com/vhpm/>
- Experts, I. I. (2023). *Ansys Discovery Live*. Obtenido de <https://integralplm.com/ansys-discovery-aim/>
- German Lopez, S. M. (2003). Introducción al funcionamiento básico de microcontroladores PIC. 25.
- Guadalupe, D. C. (2018). *Instalaciones Solar Fotovoltáicas*. España: Mcgraw Hill.
- H.S Arunkumar et al. (2023). Exergy and economic analysis of a photovoltaic panel cooling with air bubble induced water jacket. *Solar Energy*, 9.
- International, S. E. (2013). *Manual de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos*.
- International, S. E. (2019). En *Fotovoltaica Manual De Diseño e Instalación* (pág. 13). SEI.
- Jaimes Calvete, Y. H. (2022). *Principios Basicos de Circuitos Electricos*. Bucaramanga: Universidad Autonoma de Bucaramanga.
- Jothi Venkatesh K et al.,. (2023). Solar panel cleaning robot. *IJSREM*, 4.
- K. Bilen, I. E. (2023). Effects of cooling on performance of photovoltaic/Thermal (PV/T) solar panels. *El sevier*, 35.
- K. Terashima, H. T. (2023). Solar panel for supplying redential demands of heating/cooling and hot water with a lower environmental thermal load. *El sevier*, 13.

- L. Champhavong et al. (2022). Enhancement of performance and exergy analysis of water-cooling solar photovoltaic panel. *Environment Research Themes*, 7.
- Marina, F. (2022). *Como podemos reutilizar el agua del aire acondicionado*. Buenos Aires: Meteored.
- Marquez Garcia, C. E. (2021). FPGA- based accuracy mechatronics of a feed-drive system with ball screw. *18th International Conference on Electrical Engineering*, 6.
- Mohammed Ridha, H. e. (2021). A novel theoretical and Practical methodology for extracting the parameters of the single and double diode photovoltaic models. *IEEE* , 28.
- Portillo, A. L. (2017). *Energía Solar en México: su potencial y aprovechamiento*. Puebla, México: CIEP.
- Rodríguez Rosales et al. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. Queretaro: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).
- Salazar Peralta et al. (2016). La energía solar una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y desarrollo*, 10.
- Secretaria de Economía, P. C. (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototermica en México*. Ciudad de México: ISBN.
- Sierra Aguilera, M. G. (2019). *Propuesta de un sistema de monitoreo y detección de fallas en un sistema fotovoltaico*. Tegucigalpa: UNITEC.
- Solar Ayllu, (. E. (2018). Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas. En *Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas* (pág. 24). Chile: Gobierno de Chile.
- Solargis. (2023). *Datos Meteorológicos y software para invertir en energía solar*. Bratislava.
- Taylor, H. (22 de Marzo de 2022). *Makerguides*. Obtenido de <https://www.makerguides.com/es/esp32-vs-arduino-speed-comparison/>

W. Salameh et al. (2023). Numerical study of cooling photovoltaic panels with air exhausted from industrial system: comparisons and innovative configurations. *International Journal Of Thermofluids*, 10.

Yarince, C. S. (2022). *Analisis de propagación de perturbaciones ante fallas internas en sistemas fotovoltaicos*. Ciudad de México: F. I UNAM.