



UNIVERSIDAD DE IXTLAHUCA CUI, A. C.

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES, SISTEMAS Y ELECTRÓNICA

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Clave 8968-66

Diseño de un sistema de monitoreo con IoT para la
caracterización de paneles solares en la zona norte del
Estado de México.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES, SISTEMAS Y
ELECTRÓNICA

PRESENTA

ULISES MOCIÑO SANCHEZ

ASESOR: M. en C. JORGE EDMUNDO MASTACHE MASTACHE

IXTLAHUACA, MÉXICO. SEPTIEMBRE 2022.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

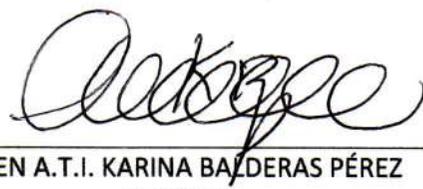
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

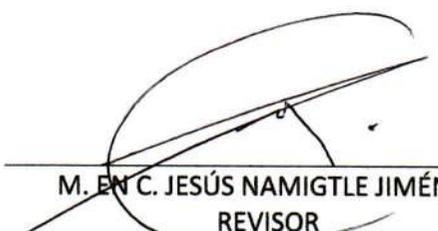
REVISORES



M. EN C. JORGE EDMUNDO MASTACHE
MASTACHE
ASESOR



M. EN A.T.I. KARINA BALDERAS PÉREZ
REVISOR



M. EN C. JESÚS NAMIGTLE JIMÉNEZ
REVISOR



DR. EN C. LUIS ANTONIO MIER QUIROGA
REVISOR



ING. E.M. HUGO ÁNGELES CRUZ
REVISOR

CONTENIDO

CONTENIDO	<i>i</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>iv</i>
ÍNDICE TABLAS	<i>vi</i>
ÍNDICE DE GRÁFICAS	<i>vii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>ix</i>
RESUMEN	<i>x</i>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN	1
1.1 Introducción	2
1.2 Propuesta	4
1.3 Justificación	5
1.4 Antecedentes	6
1.5 Hipótesis	8
1.6 Objetivo general	9
1.7 Objetivos específicos	10
1.8 Metodología	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Ixtlahuaca de Rayón	14
2.1.1 Temperatura promedio	14
2.1.2 Condiciones de nubosidad	15
2.1.3 Condiciones de sol	16
2.1.4 Energía solar	16
2.1.5 Promedio climático, Año 2019	17
2.2 Celda fotovoltaica	18
2.2.1 Materiales semiconductores para la celda fotovoltaica.	18
2.2.2 Tipos de celdas fotovoltaicas	19
2.2.3 Electrones de valencia de las celdas fotovoltaicas	19
2.3 Paneles solares	20
2.3.1 Arquitectura del panel solar.	20
2.3.1.1 Borde de aluminio.	21
2.3.1.2 Cubierta de vidrio.	21
2.3.1.3 Capa EVA.	21
2.3.1.4 Celdas solares.	21
2.3.1.5 Diodos.	22
2.3.1.6 Junction Box.	22
2.3.3 Tipos de paneles solares.	22
2.3.3.1 Paneles solares fotovoltaicos	22

2.3.3.2	Paneles solares híbridos.	23
2.3.4	Curvas características.	24
2.3.4.1	Curva tensión, intensidad y potencia.	25
2.3.4.2	Características eléctricas de los paneles solares	26
2.4	Efecto Hall.	28
2.5	Irradiancia solar	29
2.5.1	Tipos de Irradiancia Solar.	29
2.5.1.1	La irradiancia solar total	30
2.5.1.2	La irradiancia normal directa	30
2.5.1.3	La irradiancia horizontal difusa o de cielo difuso	31
2.5.1.4	La irradiancia horizontal global	31
2.5.2	Medidor de irradiancia solar Fluke FLK-IRR1-SOL	31
2.6	Voltaje	33
2.7	Temperatura ambiental	34
2.8	Identificación de sistemas	34
2.8.1	Tipos de modelos	35
3.	<i>DISEÑO Y SIMULACIONES</i>	37
3.1	Diagrama Representativo del Sistema	38
3.2	Sistema de Adquisición de Datos	38
3.3	Selección de Paneles Solares	39
3.3	Diseño y Evaluación del SFV con módulo Solar en PSIM	40
3.3.1	Estimación de los valores de los parámetros Eg, A, Rsh y Ks	41
3.3.2	Simulación del panel DS-A18-20 en PSIM	41
3.4	Diseño eléctrico del Sistema de monitoreo	44
3.4.1	Diseño sistema de adquisición de Voltaje	45
3.4.1.1	Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de Voltaje	46
3.4.2	Diseño sistema de adquisición de Corriente	47
3.4.2.1	Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de corriente	49
3.4.3	Diseño sistema de adquisición de temperatura ambiental	49
3.4.3.1	Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de temperatura ambiental	50
3.4.4	Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de Potencia	51
3.4.5	Diseño sistema de comunicación I2C Maestro-Esclavo	51
3.4.5.1	Diagrama de flujo de programación del sistema de comunicación I2C	52
3.4.6	ESP32	53
3.4.6.1	ThingSpeak	53
3.4.7	ESP32 CAM	55
3.4.7.1	Google Drive	55
4.	<i>RESULTADOS</i>	59
4.1	Sistema físico de monitorización de un sistema fotovoltaico	60
4.1.1	Sistema de recuperación de energía	61
4.1.1	Sistema físico para la obtención de voltaje	62
4.1.3	Sistema físico para la obtención de corriente	62
4.1.4	Sistema físico para la obtención de temperatura ambiental	63

4.1.4 Sistema físico para la obtención de irradiancia, temperatura del panel y corriente	63
4.2 Pruebas de funcionalidad	64
4.2.1 CASO 1	64
4.2.1.1 Vaciado de datos en Excel	65
4.2.1.2 Simulador del SFV en PSIM 9.1.4	69
4.2.1.3 Funciones obtenidas con Matlab, caso 1	75
4.2.2 CASO 2	88
4.2.2.1 Vaciado de datos en Excel	88
4.2.2.2 Simulación de SFV PSIM, caso 2	93
4.2.2.3 Funciones Obtenidas con Matlab Caso 2	97
4.2.3 Caso 3	109
4.2.3.1 Vaciado de datos en Excel	109
4.2.3.2 Simulador PSIM 9.1.4	113
4.2.3.3 Funciones obtenidas con Matlab, caso 3	117
6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	130
REFERENCIAS	131
Anexo	136

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Temperatura máxima y mínima promedio en Ixtlahuaca de Rayón</i>	15
<i>Figura 2 Nubosidad en Ixtlahuaca de Rayón</i>	16
<i>Figura 3 Horas sol en Ixtlahuaca de Rayón.</i>	16
<i>Figura 4 Energía solar en Ixtlahuaca de Rayón.</i>	17
<i>Figura 5 Celda Fotovoltaica .</i>	18
<i>Figura 6 Unión de material P y N.</i>	19
<i>Figura 7 Eficiencia para cada tipo de panel solar.</i>	20
<i>Figura 8 Estructura de un sistema fotovoltaico.</i>	21
<i>Figura 9 Paneles solares fotovoltaicos.</i>	23
<i>Figura 10 Panel solar híbrido.</i>	24
<i>Figura 11 Curva IV.</i>	25
<i>Figura 12 Curva IV y Potencia.</i>	26
<i>Figura 13 Curva IV con diferentes irradiancias.</i>	27
<i>Figura 14 Curvas IV, con diferentes temperaturas.</i>	28
<i>Figura 15 Efecto Hall.</i>	28
<i>Figura 16 Sensor ACS712-30A.</i>	29
<i>Figura 17 Tipos de Irradiancia solar.</i>	30
<i>Figura 18 Mapa de la radiación solar diaria promedio anual en México.</i>	31
<i>Figura 19 Medidor Fluke.</i>	32
<i>Figura 20 Colocación del medidor Fluke.</i>	32
<i>Figura 21 Inclinación y orientación del panel.</i>	33
<i>Figura 22 Sensor de voltaje FZ0430.</i>	34
<i>Figura 23 Pines del DTH11.</i>	34
<i>Figura 24 Proceso de identificación sobre un sistema para la obtención de un modelo matemático</i>	35
<i>Figura 25 Diagrama general del sistema de monitoreo.</i>	38
<i>Figura 26 Simulación de un panel DS-A18-20.</i>	41
<i>Figura 27 Parámetros curvas I-V y P-V.</i>	42
<i>Figura 28 Simulación de 2 paneles.</i>	43
<i>Figura 29 Parámetros curvas I-V y P-V de 2 paneles en serie.</i>	44
<i>Figura 30 Diseño eléctrico del Sistema de monitoreo.</i>	45
<i>Figura 31 Conexión sensor de voltaje con Panel solar.</i>	46
<i>Figura 32 Conexión sensor de voltaje a Arduino.</i>	46
<i>Figura 33 Diagrama de flujo para obtención de Voltaje.</i>	47
<i>Figura 34 Conexión de sensor de Efecto Hall con carga y panel solar.</i>	48
<i>Figura 35 Conexión de sensor de efecto Hall con Arduino UNO.</i>	48
<i>Figura 36 Diagrama de flujo para la obtención de la corriente.</i>	49
<i>Figura 37 Conexión de sensor de temperatura a Arduino.</i>	50
<i>Figura 38 Diagrama de flujo para la obtención de temperatura ambiental.</i>	50
<i>Figura 39 Diagrama de flujo para la obtención de Potencia.</i>	51
<i>Figura 40 Conexión I2C Maestro-esclavo.</i>	51
<i>Figura 41 Diagrama de flujo de comunicación Maestro-Esclavo.</i>	52

<i>Figura 42 Creación de apartados.</i>	53
<i>Figura 43 Visualización de la plataforma de ThingSpeak.</i>	54
<i>Figura 44 Canal y llave de acceso a la plataforma.</i>	54
<i>Figura 45 Pasos para crear script de Google.</i>	55
<i>Figura 46 Visualización del código en Google apps.</i>	56
<i>Figura 47 Publicación del proyecto.</i>	57
<i>Figura 48 Correo admin y permisos de acceso a otros.</i>	57
<i>Figura 49 Permiso de acceso a Google Drive.</i>	58
<i>Figura 50 URL de acceso a la ESP32 CAM.</i>	58
<i>Figura 51 Sistema físico de monitorización.</i>	60
<i>Figura 52 Sistema físico de monitorización seccionado.</i>	61
<i>Figura 53 Paneles conectados en serie.</i>	62
<i>Figura 54 Sistema físico para la obtención de voltaje.</i>	62
<i>Figura 55 Sistema de adquisición de corriente.</i>	63
<i>Figura 56 Sistema de adquisición de temperatura ambiental.</i>	63
<i>Figura 57 Sistema de adquisición de irradiancia, temperatura del panel y corriente.</i>	64
<i>Figura 58 ESP32 CAM.</i>	64
<i>Figura 59 Visualización de los datos subidos a ThingSpeak.</i>	65
<i>Figura 60 Captura de foto por la ESP32 CAM.</i>	65
<i>Figura 61 Simulación en PSIM de un SFV.</i>	69
<i>Figura 62 Datos ingresados a la simulación del panel.</i>	69
<i>Figura 63 Simulador de parámetros.</i>	70
<i>Figura 64 Funciones en ToolBox, caso 1.</i>	75
<i>Figura 65 Diagrama general en Matlab.</i>	78
<i>Figura 66 Creación de funciones, caso 2.</i>	97
<i>Figura 67 Funciones en ToolBox, caso 3.</i>	117

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1 Promedio general del clima en el año 2019 en Ixtlahuaca de Rayón</i>	17
<i>Tabla 2 Características físicas y eléctricas del panel DS-A18.20A.</i>	39
<i>Tabla 3 Pines conectados a Arduino UNO.</i>	46
<i>Tabla 4 Pines de conexión sensor de efecto Hall con Arduino UNO</i>	48
<i>Tabla 5 Pines conectados para la obtención de temperatura.</i>	50
<i>Tabla 6 Funciones de transferencia, caso 1.</i>	76
<i>Tabla 7 Funciones de transferencia, caso 2.</i>	98
<i>Tabla 8 Funciones de transferencia, caso 3.</i>	118

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Irradiancia sensada, caso 1.	67
Gráfica 2 Temperatura del panel y ambiental sensada, caso 1.	67
Gráfica 3 Corriente y efecto Hall sensada, caso 1.	67
Gráfica 4 Voltaje sentido, caso 1.	68
Gráfica 5 Potencia sensada, caso 1.	68
Gráfica 6 Irradiancia simulada en PSIM, Caso 1.	72
Gráfica 7 Temperatura del panel simulada en PSIM, caso 1.	72
Gráfica 8 Corriente y efecto Hall simulada en PSIM, caso 1.	73
Gráfica 9 Voltaje simulado en PSIM, caso 1.	73
Gráfica 10 Potencia simulada en PSIM, caso 1.	74
Gráfica 11 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 1.	79
Gráfica 12 Comparación de corriente real con a) función de corriente, b) función efecto Hall y c) corriente simulada en PSIM, caso 1.	80
Gráfica 13 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 1.	81
Gráfica 14 Comparación de efecto Hall con a) función de corriente, b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 1.	82
Gráfica 15 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 1.	83
Gráfica 16 Comparativa de señales de voltaje sentido con a) voltaje simulado y b) función de voltaje, caso 1.	84
Gráfica 17 Unión de voltaje sentido, simulado y función, caso 1.	84
Gráfica 19 Unión de potencias, caso 1.	86
Gráfica 18 Comparación de Potencia sensada con a) Función de potencia, b) Función de voltaje*Función de efecto Hall, c) Función de voltaje*Función de corriente, potencia simulada PSIM, caso 1.	87
Gráfica 20 Irradiancia sensada, caso 2.	90
Gráfica 21 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensadas, caso 2.	90
Gráfica 22 Corriente y efecto Hall sentidos, caso 2.	91
Gráfica 23 Voltaje sentido, caso 2.	91
Gráfica 24 Potencia sensada, caso 2.	92
Gráfica 25 Irradiancia simulada en PSIM, caso 2.	94
Gráfica 26 Temperatura simulada en PSIM, caso 2.	94
Gráfica 27 Corriente y efecto Hall simulado en PSIM, caso 2.	95
Gráfica 28 Voltaje simulado en PSIM, caso 2.	95
Gráfica 29 Potencia simulada en PSIM, caso 2.	96
Gráfica 30 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 2.	101
Gráfica 31 Comparación entre Corriente real con a) Función de corriente, b) corriente simulada en PSIM c) función efecto Hall, caso 2.	102
Gráfica 32 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 2.	103
Gráfica 33 Comparativa entre el efecto Hall con a) Función de corriente b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 2.	104
Gráfica 34 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 2.	104

Gráfica 35 Comparación de señales de voltaje sensado con a) voltaje simulado en PSIM, y b) Función de transferencia de voltaje, caso 2. _____	105
Gráfica 36 Unión de voltaje sensado, simulado en PSIM y función de transferencia, caso 2. _____	106
Gráfica 37 Comparación de Potencia sensada con a) Función de potencia, b) funciones de voltaje*efecto Hall, c) funciones de voltaje*corriente, potencia simulada PSIM, caso2. _____	108
Gráfica 38 Unión de potencias, caso 2. _____	107
Grafica 39 Irradiancia sensada, caso 3. _____	111
Gráfica 40 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensadas, caso 3. _____	111
Gráfica 41 Corriente y efecto Hall sensadas, caso 3. _____	112
Gráfica 42 Voltaje sensado, caso 3. _____	112
Gráfica 43 Potencia sensada, caso 3. _____	112
Gráfica 44 Irradiancia en PSIM, caso 3 _____	114
Gráfica 45 Temperatura en PSIM, caso 3. _____	114
Gráfica 46 Corriente simulada PSIM, caso 3. _____	115
Grafica 47 Voltaje simulado PSIM, caso 3. _____	115
Grafica 48 Potencia simulada PSIM, caso 3. _____	116
Grafica 49 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 3. _____	120
Grafica 50 Gráficas compartidas entre corriente real con a) Función de corriente, b) Función efecto Hall y c) Corriente simulada en PSIM, caso 3. _____	122
Grafica 51 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 3. _____	123
Gráfica 52 Comparativa entre el efecto Hall con a) Función de corriente, b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 3. _____	124
Gráfica 53 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 3. _____	125
Gráfica 54 Comparación de señales de voltaje sensado con a) Voltaje simulado, b) Función, caso 3. _____	126
Grafica 55 Unión de voltaje sensado, simulado y función, caso 3. _____	127
Gráfica 56 Comparación de Potencia sensada con a) Potencia en función, b) PSIM, c) voltaje*corriente, d) voltaje*efecto Hall, caso 3. _____	128
Grafica 57 Unión de potencias, caso 3. _____	129

AGRADECIMIENTOS

Mi infinita gratitud a DIOS por la vida, la salud y la protección ante toda situación que he sorteado hasta este momento, quien me ha dado la fuerza, la voluntad y la victoria, y en cada obstáculo sobrevenido ha estado conmigo sin dejarme caer.

Agradezco de antemano a mis padres quienes me han infundido sus valores, conocimientos y experiencias de vida para ser un hombre de bien. Gracias a ellos he llegado al momento de titularme como ingeniero con este trabajo. Carmen, José, gracias por preocuparse por mí en toda situación que he pasado como persona y como estudiante, viendo por mí en todo momento, por su solidaridad en mis desvelos y su constante cariño. Les dedico esta tesis que con gran esfuerzo y sacrificio he terminado gracias a DIOS y a ustedes, soy bendecido y afortunado.

Con gran respeto y admiración agradezco también a mi tutor M. en C. Jorge Edmundo Mastache Mastache, porque me concedió la oportunidad de ser su tesista y por confiar en mí a pesar de no ser un brillante alumno. Maestro Mastache, me obsequió parte de su tiempo para invertirlo en el desarrollo de este proyecto lleno de sus conocimientos, me dirigió con su guianza y me brindó su confianza, incluso en las materias impartidas en mi carrera de ingeniería.

Agradezco también a la ingeniera Guillermina por su dedicación y acertadas soluciones de eventualidades presentadas durante el desarrollo de este trabajo; por el impulso constante y preocupación para que pudiera terminarlo. Guille, con el corazón, gracias.

Gracias a todos los docentes que me compartieron sus conocimientos teóricos y prácticos en cada clase a lo largo de esta carrera; me dieron la base para desarrollar diferentes aspectos de esta tesis.

Gracias a la universidad de Ixtlahuaca CUI que me permitió ser parte de la comunidad Jaguar dándonos a mí y a más jóvenes la oportunidad de prepararnos para la vida laboral, inspirados en el fundamento de la calidad y confianza de esta institución.

RESUMEN

El factor energético se ha ganado un puesto muy importante en las actividades de producción, tecnología, casa habitación, industrias, entre otros. El consumo energético ha incrementado considerablemente a paso de los años lo que nos ha impulsado a crear tecnologías relacionadas con las energías limpias y naturales ya que tienen una tendencia baja, pero en constante evolución para trabajar con éstas.

Una de las energías limpias y alternativas es la energía solar, la más rica y abundante en México y en todo el mundo, está presente en la mayor parte del día y sin ninguna acción o reacción satisface las necesidades de las personas.

En el presente trabajo se desarrolló un sistema de monitoreo fotovoltaico conectado a internet captando irradiancia, temperatura del panel, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia mediante la energía solar haciendo un sensado de estos valores en diferentes días, posteriormente se hizo una simulación y creación de funciones de transferencia de las mismas; todos estos datos obtenidos por sensores, almacenados y subidos a la nube en las plataformas de ThingSpeak y Google Drive por medio de un maestro esclavo entre un Arduino UNO, ESP32 y una ESP32 CAM.

Con datos sensados utilizando el software de PSIM se realizó una simulación de un sistema fotovoltaico teniendo 2 entradas reales como son la irradiancia y la temperatura del panel y una carga simulada como una resistencia, graficando valores simulados de voltaje, corriente, efecto Hall y potencia que son dependientes de las entradas.

De igual manera con el software Matlab se utilizaron los datos sensados del SFV para obtener las funciones de transferencia de las variables de irradiancia, corriente, efecto Hall, voltaje y potencia obtenidas con la herramienta de ToolBox.

Se realizaron las comparaciones de las señales reales sensadas con las simuladas y las señales de las funciones de transferencia con el objetivo de ver cuál de ellas se aproximan más a lo real.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se presenta un estudio poniendo en contexto la energía eléctrica en todo el país hasta el 2022, se muestra que el consumo eléctrico en el Estado de México es sustentado por las energías limpias tomando para este trabajo la energía más rica y abundante, la solar que está presente y en grandes condiciones óptimas para trabajar con ella lo que hace que nuestro país México sea uno de los más privilegiados a nivel mundial al tener recurso solar en máxima potencia.

Por lo que en este capítulo se plantea un sistema de monitoreo fotovoltaico conectado a IoT monitorizando al norte del Estado de México; esta propuesta ayuda a obtener una caracterización de la zona de Ixtlahuaca de Rayón haciendo la comparativa entre datos reales, sensados y datos de función de transferencia para visualizar las diferencias entre las señales.

1.1 Introducción

El consumo energético alrededor del mundo ha involucrado muchas actividades en el área de producción, mantenimiento y forma de vivir tanto de empresas como casas habitacionales en el ámbito de la comodidad y satisfacción de estas, trayendo consigo el calentamiento global y contaminación de nuestro planeta.

Como consecuencia, en los últimos años la producción de energía renovable a nivel mundial ha crecido sustancialmente, esto derivado de las políticas públicas que los países han adoptado para incrementar la participación de las “energías limpias” en su sector energético con el objetivo de disminuir el daño causado al planeta.

Hoy en día la mayor parte del consumo energético en México es sustentable gracias a las energías limpias, por ejemplo, la eólica, hidráulica o hidroeléctrica, solar, biomasa, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, bioetanol.

Para el desarrollo de este trabajo se retoma la energía solar que es una de las más ricas y abundantes, ya que por medio de las celdas fotovoltaicas que en conjunto forman un panel solar, se recupera energía, la transforma y se almacena en baterías para abastecer un espacio determinado.

Estudios realizados por GROUP ENERGY, RER mencionan que el 85% del territorio mexicano tiene las condiciones óptimas de radiación solar, lo que convierte a México en uno de los países más privilegiados a nivel mundial en términos de recursos solares. Por esta razón, instituciones internacionales como la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) en el 2018 incluyó a México dentro de los 15 países más importantes en generación de energía fotovoltaica, y recientemente, en 2021 a nuestro país se le considera una de las 70 naciones con excelentes condiciones para este tipo de energía de acuerdo con el Banco Mundial. Según la Asociación Mexicana de Energía Solar (Asolmex) la capacidad instalada de las centrales eléctricas de energía solar en nuestro país sumó 5,510 megawatts (Mw) representando un incremento anual del 87%. Esto al cierre del mes de marzo de 2020 [1].

A principios del año 2021 El Milenio, en su portal, menciona Yeshua Ordaz que alrededor de 70 países cuentan con excelentes condiciones para la energía solar fotovoltaica, donde la producción diaria promedio supera los 4.5 kilovatios hora por kilovatio de capacidad instalado, entre estos se encuentra México. De acuerdo con el Banco Mundial, los países de alto potencial tienden a tener una baja estacionalidad en la producción solar fotovoltaica, lo que significa que el recurso es relativamente constante entre los diferentes meses del año [2].

IoT es especialmente bueno en lograr que sistemas situados en lugares distantes se comuniquen entre sí e interactúen como si fueran una unidad. En este sentido, IoT permite controlar la red de sistemas de almacenaje de manera centralizada,

como solución al desequilibrio de suministro que genera la variabilidad del almacenaje de energías. Así, cada panel solar o turbina eólica podrá monitorizarse y controlarse de forma remota a través de sensores, permitiendo así un mayor ahorro de consumo, además de una predicción de las reparaciones de maquinaria que sean necesarias, para evitar el desperdicio energético [3].

En la actualidad hay muchos casos exitosos donde el IoT con las energías renovables como Steffes Corp, Florida Power and Light o Telefónica donde demuestran la verdadera importancia y el gran potencial que produce el IoT, ya que es fundamental para el desarrollo y consolidación de las energías renovables.

En esta era de la industrialización digital las empresas han comenzado a incrementar sus inversiones en herramientas y soluciones para que sus procesos, sistemas de cómputo, trabajadores y productos se integren a una sola cadena de recolección y análisis de datos, por lo cual esto puede ser aplicado a los sistemas de potencia para tener un control y manejo de la recuperación de energía en las empresas y hogares, en donde el monitoreo a distancia genere una base de datos para el manejo y optimización de los procesos industriales.

La base inicial de la digitalización de una empresa son las redes de los dispositivos, algo que también es llamado Internet de las Cosas (IoT). Jorge García dice, la intervención de IoT en la aplicación de energías renovables responde a la necesidad de atender de manera inteligente las exigencias que trae consigo el empleo de esta tecnología sustentable, es decir, el registro, análisis y gestión de grandes cantidades de datos para conocer en tiempo real y de manera automatizada las variables a las que se enfrenta minuto a minuto la fuente de energía renovable de que se trate. Por lo demás, el uso de IoT en el funcionamiento de fuentes de energía renovable está permitiendo que energías limpias y no contaminantes hagan cada vez más, acto de presencia de manera viable y eficaz, por lo que la tecnología Inteligente de IoT lejos de dejar de ecologizar la relación hombre-naturaleza, la está posibilitando.

La irradiancia y la temperatura en los paneles solares son las principales variables de entrada para el funcionamiento y comportamiento de los paneles solares ya que en condiciones reales la irradiancia puede llegar de 0 a 1000 W/m^2 así como la temperatura en el panel puede llegar a más de 50° C mayor que la temperatura ambiental dependiendo de la zona y la fecha, ya que en cada estación del año se coloca el panel en un ángulo y dirección distinto para la mayor captación de energía.

1.2 Propuesta

El presente trabajo aborda el tema de la energía solar con los sistemas fotovoltaicos al norte del Estado de México, en el municipio de Ixtlahuaca de Rayón, donde se parte de la entrada de temperatura e irradiancia en los paneles solares a una inclinación y orientación adecuada para el completo funcionamiento, las salidas a monitorear son el voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia, por medio de sensores, los datos a obtener serán almacenados en la plataforma ThingSpeak con la comunicación I2C (maestro-esclavo) para la irradiancia, temperatura del panel y corriente se almacenarán en Google Drive por medio de una fotografía con la tarjeta ESP32 CAM; el maestro-esclavo y la ESP32 CAM estarán conectados al internet para su completo funcionamiento de monitoreo en tiempo real.

Para obtener los datos mencionados se realizarán pruebas en tiempo real teniendo en cuenta que se presentará el sol y la nubosidad; por lo cual, las gráficas a obtener tendrán subidas y bajadas de valores de salida y al final de cada día se observará el comportamiento que tuvo para asimilar lo más parecido a una gráfica de campana o mejor conocido campana de Gauss; se trata de una representación gráfica de la distribución normal de un conjunto de datos, los cuales se reparten en valores bajos, medios y altos y crean un gráfico de forma acampanada y simétrica. El punto máximo de la curva indica el promedio y tiene dos puntos de inflexión simétricos a derecha e izquierda [4], estos datos obtenidos y graficados en Excel se comprobarán en el software de PSIM, el cual se usará una conexión de paneles solares, se graficarán estos datos para compararlos con los obtenidos en Excel y así demostrar que en vida real como en simulación, las gráficas son iguales.

Obtenida la comparación de gráficas en el simulador se pasará al software de Matlab donde se harán las funciones SISO, que es única entrada, única salida; nuestras entradas para estos sistemas serán la irradiancia y temperatura del panel; las salidas serán voltaje, corriente o potencia. Dadas estas funciones SISO, se creará la función MISO, múltiple entrada, única salida donde las entradas serán las funciones SISO de irradiancia y temperatura para así obtener potencia, voltaje, corriente, efecto Hall o potencia.

1.3 Justificación

El presente trabajo servirá de base para próximos proyectos en la Universidad de Ixtlahuaca relacionados con paneles solares para obtener una caracterización de la zona haciendo un sensado de voltaje, corriente, potencia, temperatura, así como la irradiancia solar, que posibiliten el desarrollo de sistemas de control y potencia bajo condiciones reales y características de la zona, con posible aplicación para poder comparar valores equivalentes con otras zonas de México ya que cada estado tiene diferente incidencia de los efectos solares, por sus condiciones geográficas.

El sistema llevará a cabo la implantación de sensado de los paneles solares dentro de la zona de Ixtlahuaca de Rayón para poder validar la viabilidad y la integración de circuitos de control, crear convertidores de potencia ajustados en corriente y voltaje que se obtenga de la recuperación de energía del SFV.

El monitoreo para el SFV estará compuesto de sensores de corriente, voltaje, temperatura y medidor de irradiancia solar, cada uno tendrá funciones diferentes y configurado de distinta manera para que cada sensor obtenga y arroje valores lo más exactos posibles ya que se hará una prueba de comparación con multímetros para así corroborar que los sensores arrojan datos verídicos. Esta evaluación se considerará como punto de partida para subir a la nube la información por medio de la ESP32, más adelante serán comparados con los datos obtenidos del software de simulación de PSIM 9.1.1 donde se configurará con los parámetros de la zona de Ixtlahuaca de Rayón que tendrá nuestro panel solar real; con estas dos series de datos se podrá hacer la caracterización del panel solar.

1.4 Antecedentes

En las referencias consultadas de la caracterización de los paneles solares se presentan trabajos relacionados a modelos matemáticos basados en las ecuaciones que describen el comportamiento de los paneles como, el modelado basado en la ecuación de Shockley de la celda fotovoltaica, los crecimientos para obtener dispositivos completos, principalmente celdas solares, posteriormente se caracteriza su respuesta eléctrica así también como caracterización de mini paneles solares.

Roberto Herrera Salcedo en su tesis Modelado y caracterización de paneles fotovoltaicos presenta una investigación aplicada que utiliza el modelo matemático basado en la ecuación de Shockley de la celda fotovoltaica, para estimar el comportamiento bajo condiciones de irradiancia y temperatura variables en un programa de instrumentación virtual, demostrando las curvas de voltaje contra corriente de la celda fotovoltaica, utilizan dos plataformas de modelado matemático Matlab - Simulink y LabView, resultando la simulación de paneles fotovoltaicos bajo condiciones de pruebas estándar de laboratorio, y condiciones de operaciones de trabajo bajo temperaturas e irradiancia variables [5].

Esta investigación tiene un gran apego con el proyecto descrito ya que obtendrá datos de voltaje, corriente, temperatura e irradiancia solar para posteriormente hacer las gráficas, se obtiene sin estar conectado al internet, todo es de manera local; en cambio, mi trabajo se diferencia de aquél porque será local y remoto para así poder consultar los datos en cualquier momento y lugar, también se hará una simulación en el software de PSIM9.1.1.

En el proyecto presentado en la Universidad de Antioquia UdeA, Colombia, los autores describieron el desempeño de paneles solares en condiciones reales de funcionamiento, se diseñó e implementó un prototipo electrónico que permitió obtener la curva V-I a través de la carga de un circuito capacitivo. La adquisición de señales de voltaje y corriente se hizo con la tarjeta de la National Instruments NI-DAQ-USB6009, la cual fue controlada a través de un programa desarrollado en LabView, estas señales fueron ajustadas al modelo de un diodo para filtrar el ruido eléctrico. Los resultados del prototipo fueron comparados con los obtenidos por el analizador solar AMPROBE-SOLAR600 in Situ en 3 paneles, dos de 10W con características similares y otro de 55W, encontrándose que, en condiciones de irradiancia uniformes, ambos dispositivos presentaron un desempeño similar en cuanto a la curva V-I, tensión de circuito abierto, corriente de corto circuito, entre otras. Sin embargo, el prototipo, al emplear menos tiempo en la adquisición, es menos sensible a las variaciones transitorias de irradiancia ocasionadas por las nubes [6].

Este trabajo de la Universidad de Antioquia UdeA hablado anteriormente tiene un parecido con este proyecto por el diseño de un sistema de monitoreo con IoT el cual tendrá un sensado con una curva V-I con la potencia, pero con un simulador diferente que es LabView y en comparación con el de la investigación, éste integra 3 paneles solares y en el proyecto que se está trabajando sólo se trabajará con 1 panel solar conectado a la red por la que se hará un monitoreo, tanto local como remoto para visualizar los datos de voltaje, corriente, temperatura, potencia e irradiancia solar que permitan obtener una caracterización de los datos

El proyecto hecho en la Universidad Politécnica Nacional en la facultad de ingeniería eléctrica aborda temáticas relacionadas con la generación eléctrica fotovoltaica, que convergen en el desarrollo de un módulo didáctico para la caracterización de paneles solares de hasta 100W y 12V para el Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia Energética de la Facultad de Ingeniería Mecánica, que permitirá contrastar y complementar los conocimientos acerca del funcionamiento de estos dispositivos fotovoltaicos. El correcto funcionamiento del caracterizador de paneles solares se basa en la utilización de una resistencia electrónica, que se consigue mediante el control lineal de MOSFETs, cuyo nivel de apertura emula una determinada resistencia. Al exponer un panel solar a una variación de resistencia controlada desde cero hasta infinito, se obtienen todos los valores necesarios tanto de voltaje como de corriente para graficar la curva característica I-V a las condiciones ambientales en el instante de la caracterización. Las variables a considerar para cada curva característica generada son la temperatura y el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el panel fotovoltaico, para lo cual se implementa un módulo con el acondicionamiento necesario para la medición de la temperatura del panel solar y un dispositivo de rastreo solar con dos grados de libertad que permite el seguimiento del sol durante el día y así la determinación del ángulo de la radiación emitida. Los datos generados en el caracterizador son transferidos a un ordenador para el almacenamiento, visualización y análisis de las curvas características I-V, mediante una interfaz gráfica de tipo didáctica desarrollada en el software LabVIEW de National Instruments, donde se tiene acceso sencillo a toda la base de datos generada para comparar las características de todos los módulos fotovoltaicos caracterizados ante distintas condiciones ambientales [7].

El proyecto realizado en la Universidad Politécnica Nacional de Quito se relaciona con el presente proyecto de sistema de monitoreo de paneles solares utilizando IoT para caracterización de sistemas fotovoltaicos puesto que tiene la monitorización del SFV recabando datos de este en tiempo real haciendo después una comparación con un simulador para así realizar una caracterización del SFV en dicha zona.

1.5 Hipótesis

Se podrá diseñar un sistema de monitoreo con IoT para la caracterización de paneles solares en la zona norte del Estado de México, realizando la comparación entre los datos obtenidos por las señales reales, valores simulados en un software y la valoración de un modelo matemático, en donde el comportamiento eléctrico del panel pueda representarse en funciones para su uso de sistemas de control.

1.6 Objetivo general

Diseñar un sistema de monitoreo con IoT para la caracterización de paneles solares en la zona norte del Estado de México.

1.7 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de monitoreo de medición de Voltaje, Corriente, Temperatura, Potencia e Irradiancia solar en un sistema fotovoltaico.
- Implementar el diseño en físico del sistema de monitoreo.
- Conectar el sistema de medición a la nube.
- Implementar el sistema en situaciones reales.
- Almacenar los datos recabados de varios días.
- Realizar simulación del sistema de medición en PSIM 9.1.1.
- Realizar la caracterización del panel solar con los datos obtenidos.

1.8 Metodología

El presente trabajo propone el desarrollo de un sistema de monitoreo basado en la adquisición de información de un SFV bajo condiciones reales, a través de sensores de corriente, voltaje, potencia y temperatura conectados con IoT.

Fase 1: Desarrollar el estado del arte de los sistemas fotovoltaicos.

En esta fase se desarrolla la búsqueda de antecedentes sobre los sistemas fotovoltaicos, en el cual se consultarán publicaciones, artículos, sitios de internet y revistas científicas cuyo contenido aborde el tema de monitoreo y comunicación inalámbrica de paneles solares para el estudio y comportamiento en su entorno.

Fase 2: Diseñar el sistema de monitoreo para el sensado de mediciones eléctricas en los paneles solares.

Las variables que intervienen para la recuperación de energía es la temperatura, ya que esta variable modifica el voltaje, corriente que entrega el panel e irradiancia solar.

Fase 3: Adquisición de señales

Se evaluarán los sensores de corriente, voltaje, temperatura, irradiancia solar, para hacer una base de datos que registre el comportamiento del SFV bajo condiciones de prueba, haciendo una impresión de estos valores en un determinado periodo de tiempo.

Fase 4: Configuración y comunicación con sistemas embebidos

Establecer el algoritmo que pueda vincular un microcontrolador Arduino UNO que servirá como adquisición de información a través de los valores sensados para posteriormente enlazar por conexión I2C a la ESP32 que se encargará de recibir estos datos enviados por el Arduino UNO, se utilizará la plataforma ThingSpeak para llevar el registro de la información y se enlazará con el sistema embebido ESP32 y la base de datos para tener un control de la información para su uso en la nube.

FASE 5: Diseñar y configurar una interfaz.

El monitoreo de la información se depositará en dos plataformas ThingSpeak y Blink, en la primera se recabarán los datos de voltaje, corriente, potencia, así como la temperatura, estas serán enviadas a la ESP32 que las recibirá por medio del Arduino UNO recopilados con los sensores. En la segunda plataforma se almacenarán los datos tomados por la ESP32 CAM al medidor de irradiancia solar.

FASE 6: Construcción física del prototipo.

Se realizará la conexión física por medio de la PCB generada por el software Proteus 8 Profesional donde se harán las pistas para la conexión de los módulos hacia los sensores.

Se realizará la conexión física del módulo de sensado, desarrollando a través de la construcción de un PCB que integrará los elementos de control y adquisición de señales generados por el software Proteus 8 Profesional, se plotearán las pistas en vinil para así tener una mejor comunicación entre los sensores de voltaje, corriente, temperatura, potencia, irradiancia solar, módulos de programación como la ESP32, el Arduino UNO y monitoreo como la ESP32 CAM al medidor de irradiancia.

FASE 7: Evaluación y pruebas de funcionamiento.

En esta fase se evaluará el sistema de monitoreo bajo condiciones reales, expuesto a ciertas horas donde la irradiancia es mayor y a otras horas en que es menor; el horario produce cambios en la temperatura por la incidencia del sol debido a la nubosidad que se presente en el momento del monitoreo a distancia, haciendo conexión a internet en todo momento.

FASE 8: Desarrollar un perfil solar de la zona.

Con los datos obtenidos de los sensores se realizará la caracterización comparando los valores de Voltaje, corriente, potencia, temperatura e irradiancia solar con los valores obtenidos físicamente y se desarrollará una comparativa con los datos recabados a través del software de simulación de PSIM 9.1.1 y el software de Matlab creando funciones de transferencia de dichas variables y así hacer una comparación entre los valores reales sensados, valores simulados y valores dados por funciones de transferencia para hacer así la caracterización del SFV en la zona de Ixtlahuaca de Rayón.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los fundamentos teóricos sobre la zona de Ixtlahuaca de Rayón, las celdas solares, paneles solares, curvas características de los paneles solares y la energía solar para el entendimiento y creación del sistema de monitorización conectado a IoT.

2.1 Ixtlahuaca de Rayón

El municipio de Ixtlahuaca se localiza en la parte noroccidental del Estado de México, al norte de la ciudad de Toluca, sus coordenadas son: 19°28'06" al 19°44'03" latitud norte y 99°40'43" al 99°54'59" longitud oeste.

Limita al norte con el municipio de Jocotitlán; al oriente con los municipios de Jiquipilco y Temoaya; al sur con Almoloya de Juárez; al poniente con los municipios de San Felipe del Progreso y Villa Victoria. Su distancia aproximada a la capital del Estado de México es de 32 kilómetros.

El valle de Ixtlahuaca está rodeado por una cadena de montañas que empieza en el cerro de Santa Cruz Tepexpan del municipio de Jiquipilco, sigue por el cerro de la Campana, la Guadalupeana y continúa por el municipio de San Felipe del progreso, alcanzando la cima una altura que va de los 2,917 a los 3,327 msnm (metros sobre el nivel del mar). La mayor parte de su terreno se encuentra a una altura de 2,500 msnm [8].

Dada la geografía de la zona de Ixtlahuaca de Rayón mencionado anteriormente, se prosigue a hablar de la Universidad de Ixtlahuaca en donde se realizaron las pruebas para este proyecto porque cuenta con espacios óptimos libres y áreas verdes para colocar paneles solares y hacer un sensado para la caracterización de la zona.

2.1.1 Temperatura promedio

Weather Spark menciona en sus estudios climatológicos que la temporada del 28 de marzo al 8 de junio tiene una temperatura máxima promedio diaria de más de 23 °C. El mes más cálido del año en Ixtlahuaca de Rayón es mayo, con una temperatura máxima promedio de 24 °C y mínima de 9 °C. La temporada del 4 de diciembre al 4 de febrero tiene una temperatura máxima promedio diaria es menos de 20 °C. El mes más frío del año en Ixtlahuaca de Rayón es enero, con una temperatura mínima promedio de 1 °C y máxima de 19 °C [9].

En la primavera, Weather Spark menciona que las temperaturas máximas diarias son alrededor de 23°C, rara vez bajan a menos de 18 °C o exceden 27°C. La temperatura máxima promedio diaria es 24°C el 11 de mayo. Las temperaturas mínimas diarias aumentan 6°C de 3°C a 9°C y rara vez bajan a menos de 0°C o exceden 12°C. Como referencia, el 10 de mayo, el día más caluroso del año, las temperaturas en Ixtlahuaca de Rayón generalmente varían de 8°C a 24°C, mientras que el 8 de enero, el día más frío del año, varían de 1°C a 19°C [10].

En el verano, Weather Spark menciona que las temperaturas máximas diarias disminuyen 2°C, de 23°C a 21°C y rara vez bajan a menos de 18°C o exceden 27°C. La temperatura mínima promedio diaria es 21°C el 8 de julio. Las temperaturas mínimas diarias son alrededor de 10°C, rara vez bajan a menos de 7°C o exceden 12°C. A temperatura baja promedio diario más alta es 10°C el 22 de junio [11].

En el otoño, Weather Spark menciona que las temperaturas máximas diarias son alrededor de 21 °C, rara vez bajan a menos de 17 °C o exceden 24 °C. Las temperaturas mínimas diarias disminuyen 8 °C de 10 °C a 3 °C y rara vez bajan a menos de -0 °C o exceden 12 °C. A temperatura baja promedio diario más alta es 10 °C el 3 de septiembre [12].

Para invierno, Weather Spark menciona que las temperaturas máximas diarias son alrededor de 20 °C, rara vez bajan a menos de 16 °C o exceden 24 °C. La temperatura mínima promedio diaria es 19 °C el 7 de enero. Las temperaturas mínimas diarias son alrededor de 2 °C, rara vez bajan a menos de -2 °C o exceden 6 °C. La temperatura mínima promedio diaria es 1 °C el 9 de enero [13].

En la figura 1 la temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) como se mencionó anteriormente la temperatura máxima del año 2019 es en mayo con 24°C el cual se muestra en la figura 1, para la mínima de temperatura es de 1°C que corresponde al mes de enero que es el mes más frío del año en la zona de Ixtlahuaca de Rayón. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

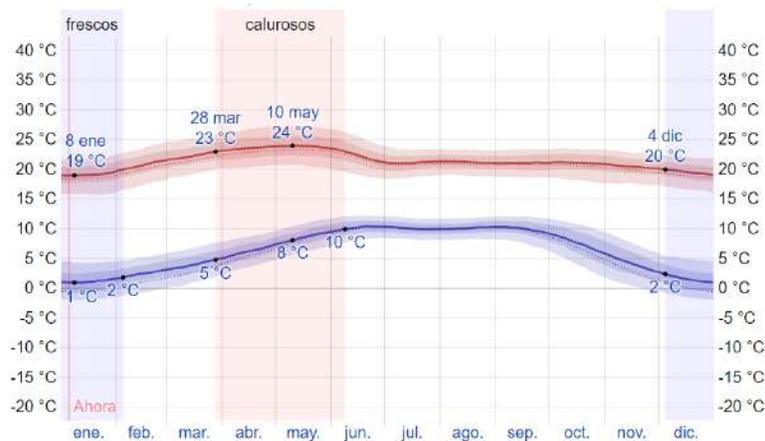


Figura 1 Temperatura máxima y mínima promedio en Ixtlahuaca de Rayón [13].

2.1.2 Condiciones de nubosidad

En Ixtlahuaca de Rayón, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año como se muestra en la figura 2.

La parte más despejada del año en Ixtlahuaca de Rayón comienza aproximadamente el 31 de octubre; dura 7.1 meses y se termina aproximadamente el 3 de junio. Según Weather Spark el mes más despejado del año en Ixtlahuaca de Rayón es febrero, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 65 % del tiempo. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 3 de junio; dura 4.9 meses y se termina aproximadamente el 31 de octubre. El mes más nublado del año en Ixtlahuaca de

Rayón es septiembre, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 88 % del tiempo [14].

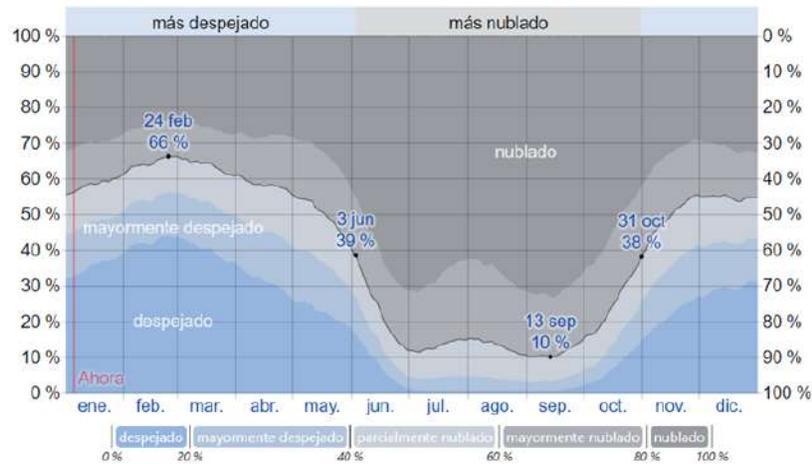


Figura 2 Nubosidad en Ixtlahuaca de Rayón [14].

2.1.3 Condiciones de sol

La duración del día en Ixtlahuaca de Rayón varía durante el año. En 2021, el día más corto es el 21 de diciembre con 10 horas y 57 minutos de luz natural; el día más largo es el 20 de junio con 13 horas y 19 minutos de luz natural. En la ilustración 13 se muestra la cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total [15].



Figura 3 Horas sol en Ixtlahuaca de Rayón [15].

2.1.4 Energía solar

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2.7 meses, del 9 de marzo al 31 de mayo, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 6.9 kWh. El mes más resplandeciente del año en Ixtlahuaca de Rayón es abril con un promedio de 7.3 kWh. El periodo más obscuro del año dura 2.7 meses, del 2 de noviembre al 25 de enero con una energía de onda corta incidente

diario promedio por metro cuadrado de menos de 5.4 kWh. El mes más oscuro del año en Ixtlahuaca de Rayón es diciembre con un promedio de 5.0 kWh. En la figura 14 muestra la energía solar de onda corta promedio diario que llega a la tierra por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25º a 75º y 10º a 90º [16].

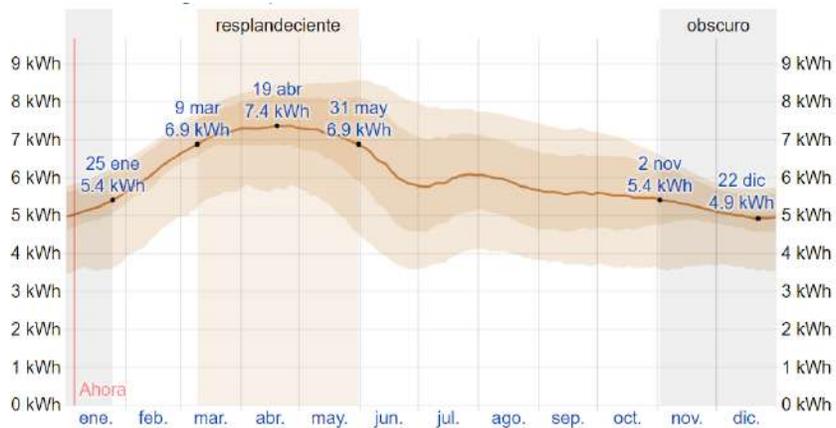


Figura 4 Energía solar en Ixtlahuaca de Rayón [16].

2.1.5 Promedio climático, Año 2019

En la tabla 1 se aprecia el promedio total obtenido de cada mes realizado por Weather Spark durante el año 2019 [17], donde se muestra la temperatura media el cual en Mayo es la mayor con 15.6°C y con menor a 10.6°C para el mes de enero, para la mínima en temperatura es el mes de enero con una temperatura de 5.2°C en promedio y la de mayor es para junio con una temperatura mínima promedio de 10.3°C, para la temperatura máxima en el mes de Abril tuvo un promedio , precipitación, humedad, días que llovieron y las horas sol de promedio al día.

Tabla 1 Promedio general del clima en el año 2019 en Ixtlahuaca de Rayón [17].

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Juni	Juli	Agosto	Septie mbre	Octu bre	Novie mbre	Dicie mbre
Temperatura media (°C)	10.6	12	13.4	15.2	15.6	14.8	13.6	13.8	13.4	12.7	11.5	11
Temperatura min. (°C)	5.2	6	6.7	8.2	9.5	10.3	9.7	9.9	9.8	8.3	6.6	5.8
Temperatura máx. (°C)	17.9	19.8	21.5	23.2	22.8	20.5	18.9	19	18.5	18.2	17.9	17.9
Precipitación (mm)	24	25	27	50	120	220	275	248	217	102	35	13
Humedad (%)	58%	51%	46%	46%	56%	71%	81%	81%	82%	75%	68%	60%
Días lluviosos (días)	3	4	5	7	11	15	20	19	17	10	5	2
Horas de sol (horas)	8.5	9.4	10.2	10.6	9.7	7.4	6.2	6.1	5.4	6.2	7.4	8.5

2.2 Celda fotovoltaica

Las células fotovoltaicas como se muestra en la figura 5, son mecanismos o dispositivos eléctricos que consiguen transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Dicho de otro modo, son dispositivos que producen electricidad cuando la luz solar les alcanza o recae sobre ellos [18].



Figura 5 Celda Fotovoltaica [18].

2.2.1 Materiales semiconductores para la celda fotovoltaica.

A continuación, se muestran 6 de los materiales con los cuales se construye una celda fotovoltaica. [18].

- **Arseniuro Galio (GaAs):** es otro material que actúa como semiconductor que se utiliza para la fabricación de celdas FV, celdas con una gran eficiencia energética. En relación a este material, cabe señalar que ya existen investigaciones que han determinado que son capaces de alcanzar un 25% de eficiencia.
- **Silicio Amorfo (a-Si):** esta estructura no es cristalina. Actualmente este material constituye más del 10% de toda la producción internacional ya que también se ha demostrado que es muy eficiente, pudiendo alcanzar el 10% de eficiencia.
- **Teluro de Cadmio (CdTe):** es un material policristalino. Con este material se ha llegado a alcanzar el 16% de eficiencia, unas cifras que no dejan indiferente a ningún laboratorio.
- **Diseleniuro de Cobre Indio (CuInSe₂, o CIS):** es otro de los materiales policristalinos capaces de alcanzar un porcentaje muy elevado de eficiencia, casi del 20%. Teniendo en cuenta a otros materiales, este proporciona una gran eficiencia y ser flexibles. No obstante, su uso es limitado porque resulta complicado la fabricación, utiliza elementos químicos raros y controvertidos como el cadmio conocido por producir cáncer.

También hay otros sistemas, principalmente ópticos para aumentar la eficiencia de una célula sea del material que sea, como:

- **Concentradores:** los concentradores son sistemas ópticos que utilizan las lentes que construyen paneles o celdas solares para mejorar la eficiencia

de conversión, con metas que alcanzan más del 30% de eficiencia, al concentrar más luz en un punto.

- **Reflectores:** los reflectores son otra de las técnicas utilizadas en la construcción de módulos o celdas solares. A diferencia de los concentradores que son lentes, los reflectores suelen ser espejos, usados para aumentar la intensidad lumínica sobre la célula y no suelen tener un poder de concentración superior al X4.

2.2.2 Tipos de celdas fotovoltaicas

Existen 2 tipos de celdas fotovoltaicas las de silicio cristalino y policristalino, a continuación, se describe cada una de ellas [18].

- **Celdas fotovoltaicas de silicio cristalino:** estas celdas tienen un coste económico elevado con respecto a otro tipo de celdas fotovoltaicas y por ello su uso suele ser menos habitual. Su rendimiento es mayor y por lo tanto se aumenta su relación Wp/m^2 .
- **Celdas fotovoltaicas de silicio policristalino:** el rendimiento de las celdas fotovoltaicas de silicio policristalino es bueno, aunque ligeramente más bajo que el de las celdas de silicio cristalino, sobre todo en condiciones de iluminación baja. No obstante, este tipo de celdas son más económicas que las anteriores y su eficiencia de conversión sigue siendo buena, gracias a los múltiples avances que ha sufrido este tipo de célula en los últimos 5 años.

2.2.3 Electrones de valencia de las celdas fotovoltaicas

Internamente las celdas solares tienen dos regiones dentro del semiconductor, una región tipo P dopada normalmente con Galio, el cual tiene tres electrones de valencia (uno menos que el Germanio) como se observa en la figura 5, provocando una región con alta concentración de huecos. La otra región tipo N se obtiene al dopar al semiconductor convencionalmente con Germanio y Fósforo, el cual tiene cinco electrones de valencia (uno más que el Germanio) provocando una región con alta concentración de electrones. La diferencia de concentración entre electrones y huecos, entre ambas regiones provoca un campo eléctrico permanente que se encarga de separar los electrones y huecos adicionales que aparecen cuando la celda es iluminada con la luz del sol [19].

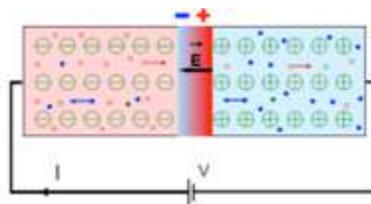


Figura 6 Unión de material P y N [19].

2.3 Paneles solares

Se define como el conjunto acoplado de elementos denominados celdas solares o celdas fotovoltaicas, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica.

2.3.1 Arquitectura del panel solar.

La eficiencia del panel está determinada por el tamaño total del panel, el tamaño individual de la celda y su diseño como se muestra en la figura 7. También influye el número y tipo de celdas utilizadas, el diseño del bus bar, la distancia entre las celdas y la interconexión de ellas. Incluso, aunque no lo parezca, el color de la lámina posterior protectora del panel puede afectar la eficiencia, ya que una lámina posterior negra absorbe más calor, lo que reduce la eficiencia de la celda. Los paneles con células IBC son generalmente los más eficientes, seguidos de las células monocristalinas tipo half-cell y de múltiples bus bars, las células mono shingled y finalmente las células estándar mono de 60 células (4-5 barras). Los paneles policristalinos comunes de 60 celdas son generalmente los paneles menos eficientes, pero de menor costo. Hay que tener en cuenta que la eficiencia que se indica en el datasheet del panel solar debe ser la eficiencia del panel solar, no la eficiencia de la celda, que será mayor [20].



Figura 7 Eficiencia para cada tipo de panel solar [20].

A continuación, en la figura 8 se muestran las características físicas para la construcción e identificación de un panel solar: [21].



Figura 8 Estructura de un sistema fotovoltaico [21].

2.3.1.1 Borde de aluminio.

Alrededor del panel hay un borde de metal o aluminio anodizado que sirve para proteger toda la estructura y las células, asimismo funciona para poder montar la estructura, es decir la instalación, además de la corrosión por las situaciones climatológicas por las que pasa el panel.

El anodizado es una protección que se le aplica a los metales para que esté protegido de la abrasión y la corrosión.

2.3.1.2 Cubierta de vidrio.

Este vidrio protege al panel solar, dado que está en el exterior, lo protege de la lluvia, el viento, polvo y todas estas condiciones climatológicas, además de que mejora la transmisión de luz.

2.3.1.3 Capa EVA.

Se le conoce así por la abreviación de Etileno Vinil Acetato, el cual se encarga de unir las células solares con la cubierta de vidrio, además de sellarlas y evitar que se infiltre polvo, la humedad o cualquier basura que pueda dañar a los paneles solares. Y gracias a su composición permite que la radiación pase sin ningún problema.

2.3.1.4 Celdas solares.

La celda fotovoltaica es la que se encarga de convertir la radiación solar que se obtiene para convertirla en corriente continua, que se pueda utilizar y a pesar que es la parte más pequeña del módulo solar, es una de las más importantes.

Existen dos tipos de celdas solares, la monocristalina y la policristalina, ambas tienen sus propias ventajas y aportan gran cantidad de energía.

2.3.1.5 Diodos.

Los diodos van colocados en la parte trasera de un panel, y evitan que se produzcan efectos negativos en el rendimiento del panel solar a causa del sombreado, estos diodos se almacenan en una caja que se le llama Junction Box.

2.3.1.6 Junction Box.

La junction box o la caja de conexiones tiene una función sencilla, pero importante, y es la de mantener unidos los cables que se conectan detrás de los diodos y de tal manera que cuando haya un área sombreada, la junction box mantiene el flujo de la energía que se genera en una sola dirección.

Estas son las partes que conforman los paneles solares, que es una parte del sistema fotovoltaico, y la suma de sus partes que producen la energía eléctrica que se puede utilizar y suministrar a los hogares.

2.3.3 Tipos de paneles solares.

A día de hoy, de manera general, existen 3 tipos de paneles solares: [22].

- Paneles solares fotovoltaicos
- Paneles solares térmicos
- Paneles solares híbridos (fotovoltaico + térmico)

2.3.3.1 Paneles solares fotovoltaicos

Es el encargado de transformar la energía procedente del sol en electricidad. También este tipo de panel es el que se encontraba sujeto al llamado impuesto al sol y sobre el que giraba toda la controversia sobre la legislación al respecto.

Los módulos fotovoltaicos se presentan como una gran alternativa limpia para generar la electricidad (o parte de ella) en nuestras casas, hospitales, comercios, escuelas, etc.

Por lo general, este tipo de paneles están compuestos por células fotovoltaicas de silicio que, a través de un proceso llamado efecto fotoeléctrico, permiten transformar la energía lumínica en energía eléctrica.

De igual manera, dentro de los paneles solares fotovoltaicos existen varios tipos, en función de cómo estén compuestas las células fotovoltaicas. En la figura 9 se muestran los paneles solares fotovoltaicos más comunes que son:

- Monocristalinos (silicio)
- Policristalinos (silicio)
- Otros no compuestos por silicio como Thin Film o los Orgánicos.

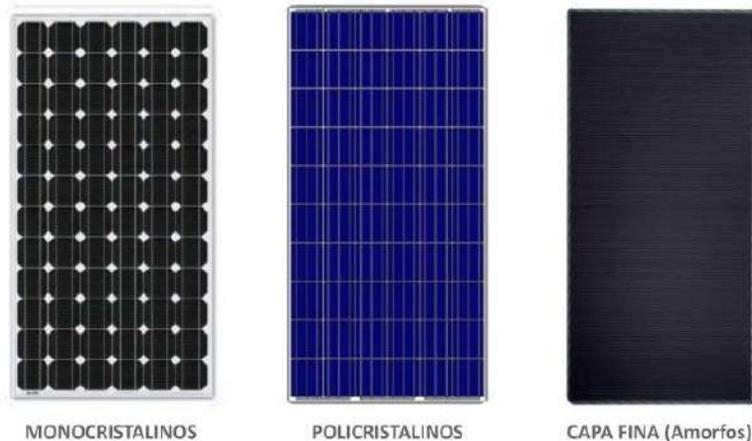


Figura 9 Paneles solares fotovoltaicos [22].

2.3.3.1.1 Monocrystalinos.

Presentan un color de un azul más oscuro e incluso negro o gris oscuro uniforme. Si te fijas en sus láminas, verás que éstas presentan bordes redondeados. El principal componente de estos paneles es el silicio monocristalino. En este tipo de paneles, el silicio monocristalino se genera en bloque y se corta en láminas finas, que luego pasarán a ser la célula fotovoltaica del panel solar. Durante su fabricación, se les da tiempo para enfriar a las células monocristalinas, de forma lenta y sin apurar el proceso. Gracias a la alta pureza de sus cristales, este tipo de paneles presentan un mayor rendimiento, en comparación con los paneles policristalinos, así como un precio más elevado [23].

2.3.3.1.2 Policristalinos.

A nivel físico, presentan un azul más claro. Se fabrican de forma diferente a la de los paneles monocristalinos: tras fundirse el silicio en bruto, este se vierte en un molde. Una vez se enfría y se endurece el silicio derretido, se cristaliza y se va cortando en láminas perfectamente cuadradas. De esta forma, la cantidad de material desperdiciado es menor y los costes de fabricación más económicos [23].

2.3.3.1.3 Thin Film u Orgánicos.

Las células fotovoltaicas orgánicas (OPV) se basan generalmente en mezclas de heterounión en masa (BHJ), que se obtienen mezclando polímeros semiconductores orgánicos ricos en electrones con fullerenos en un disolvente orgánico, y los fullerenos se reducen fácilmente. Esta mezcla de donante-aceptor de electrones que se ha colocado en una celda solar es fotoactiva y, cuando recibe radiación solar, produce un estado excitado llamado excitón, que está formado por pares de huecos y electrones [24].

2.3.3.2 Paneles solares híbridos.

El panel solar híbrido no es más que una mezcla de un panel fotovoltaico junto a uno térmico como se muestra en la figura 10. Con las 2 tecnologías aunadas en un

sólo panel, este tipo de tecnología permite producir electricidad y calor simultáneamente.

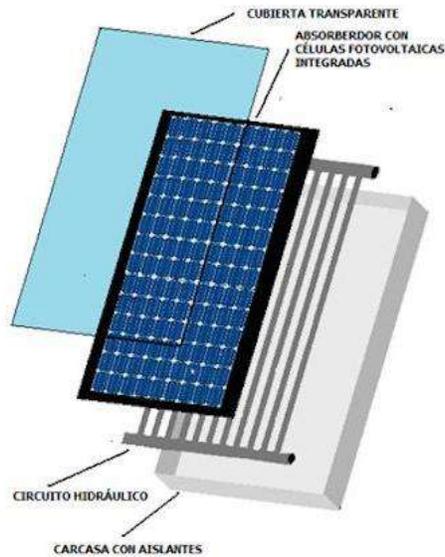


Figura 10 Panel solar híbrido [24].

La principal ventaja que estos paneles presentan es la reducción del espacio necesario para aprovechar la energía solar; el reunir dos paneles en sólo uno, hace que el espacio donde se colocan los paneles sea la mitad. Por ello, este tipo de paneles se presenta como la alternativa perfecta para todos aquellos lugares donde el agua caliente sanitaria, el espacio en cubierta sea reducido como, por ejemplo, un hotel, una piscina climatizada o una residencia, entre otros.

2.3.4 Curvas características.

Los parámetros característicos de un panel, vienen medidos por los fabricantes en condiciones estándar (STC, Standard Test Condition): para una irradiancia de 1000 W/m^2 , una temperatura de célula de 25° y una distribución espectral de AM 1,5G.

Los paneles solares fotovoltaicos se componen de un conjunto de células conectadas convenientemente unas a otras, de tal forma que reúnan unas condiciones óptimas para su posterior utilización en sistemas de generación de energía, convirtiendo la luz solar en energía eléctrica. Por ejemplo, los paneles de 12V se componen de 36 células, los paneles de 24V por 72 células y los llamados de "conexión a red" por 60 células [25].

El comportamiento de una célula fotovoltaica viene definido por la curva Intensidad-Tensión (I-V) representada en la figura 11.

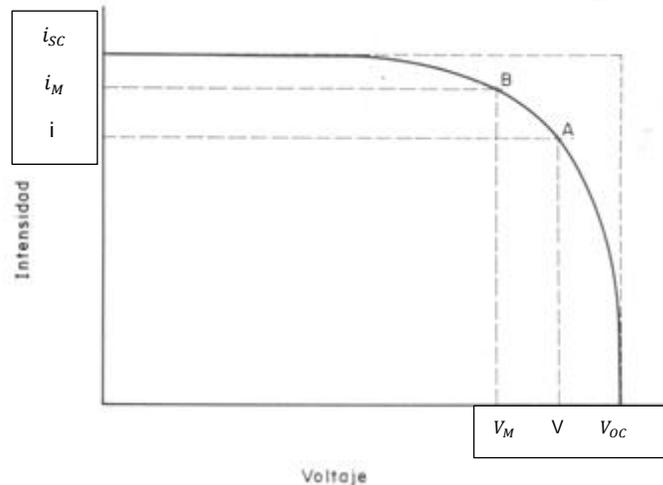


Figura 11 Curva IV [25].

La curva IV representa los valores de tensión y corriente, medidos experimentalmente, de un típico panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de insolación y temperatura. Variando la resistencia externa desde cero a infinito, se pueden medir diversos valores de pares (I-V), que interpolándolos forman la curva característica.

El punto A es un punto cualquiera que representa el funcionamiento del panel en unas condiciones (determinadas por la resistencia o "carga" exterior) de Intensidad y Tensión. El panel desarrolla cierta potencia IV, que geoméricamente coincide con el área del rectángulo cuyo vértice superior derecho es el punto A.

Si el punto A se "moviera" hacia la derecha, bajando por la curva, se ve que el área de dicho rectángulo, al decrecer i muy rápidamente, se haría más y más pequeña. Lo mismo sucedería si dicho punto se trasladará hacia la izquierda, aproximándose al eje de coordenadas, ya que en este caso lo que se haría muy pequeño sería el valor de V .

Existirá un cierto punto intermedio B que haga que el área del rectángulo sea la mayor posible. Dicho punto B es el punto de máxima potencia El Factor de Forma (FF) es el cociente del área del rectángulo definido por el punto B y el rectángulo exterior a la curva, cuyos lados son I_{sc} y V_{oc} [26].

2.3.4.1 Curva tensión, intensidad y potencia.

Todo panel solar fotovoltaico tiene dos curvas características, conocidas como curvas de intensidad-voltaje (I-V) y curva de potencia-voltaje (P-V). En ellas podemos observar el comportamiento del panel y sus valores de tensión e intensidad de salida cuando el panel trabaja en unas condiciones ambientales determinadas. Generalmente viene dada para condiciones STC (Standard Test Condition). En la figura 12 podemos observar ambas curvas, la I-V (línea discontinua verde) y la P-V (línea discontinua azul). Como es lógico, si observamos la curva I-V

encontramos el valor de tensión en circuito abierto (U_{oc}) en el eje “x” de la gráfica cuando la corriente es igual a cero, puesto que por un circuito abierto no circulan amperios. En el eje “y” de la izquierda encontramos el valor de intensidad de cortocircuito (I_{sc}) puesto que cuando el panel se encuentra en cortocircuito el voltaje es igual a cero. Otro punto importante de la curva I-V es el punto de potencia máxima del panel solar (P_{mp}) que como podemos ver se da cuando los valores de voltaje y corriente son los de máxima potencia (U_{mp} e I_{mp} respectivamente) [27].

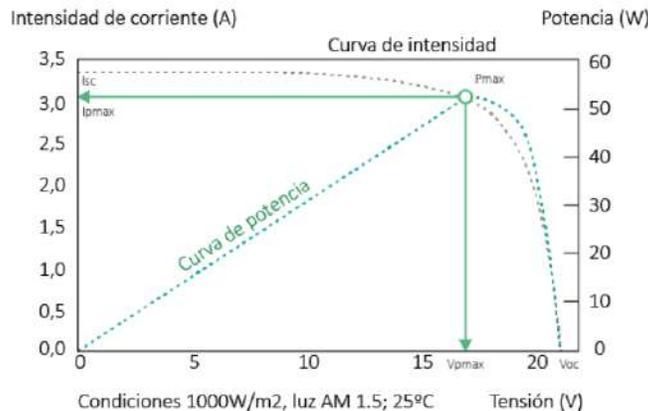


Figura 12 Curva IV y Potencia [27].

2.3.4.2 Características eléctricas de los paneles solares

- Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}): es aquella que se produce a tensión 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor variará en función de las condiciones atmosféricas de medida.
- Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}): es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, su valor variará en función de las condiciones atmosféricas.
- Potencia máxima (P_{max}), medida en vatios pico (W_p): es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}): es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- Eficiencia (%): este parámetro nos define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.
- Rendimiento o eficiencia = $\frac{W_p}{W_r}$. Donde W_r es la potencia de radiación incidente sobre el panel solar.

- Tolerancia (%): en el proceso de fabricación no todos los paneles solares son idénticos, presentan una pequeña dispersión. En general los fabricantes garantizan que la potencia del módulo P^* está dentro de una banda; 63%, 65, 0+3%.
- También lo ideal es buscar paneles con tolerancias sólo positivas, así el fabricante nos garantiza cómo mínimo la potencia del panel declarada en la ficha de características.
- TONC ($^{\circ}\text{C}$), temperatura nominal de operación de la célula: es la temperatura que alcanzan las células cuando se le somete a una irradiancia de $800\text{W}/\text{m}^2$, temperatura ambiente de 20°C , una velocidad del viento de 1m/s y una distribución espectral AM 1,5.
- Efecto de la intensidad de iluminación (Irradiancia): La corriente que suministra un panel es proporcional a la intensidad de la radiación y la superficie de células del panel. En la figura 13 se observa en diferentes irradiancias a temperatura constante, para mostrar cómo varía la intensidad, a mayor radiación incidente, mayor intensidad.

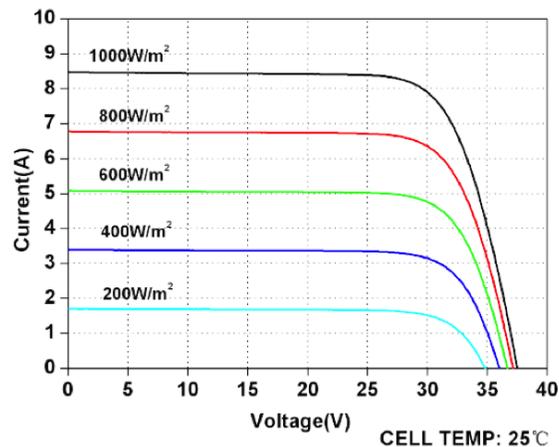


Figura 13 Curva IV con diferentes irradiancias [26].

- Los paneles presentan pérdidas por aumento de la temperatura de operación, por norma general oscilan por cada 10°C de incremento en un 4%. En la figura 14 se muestra que la tensión proporcionada por un panel varía en función de la temperatura. A mayor temperatura menor tensión.

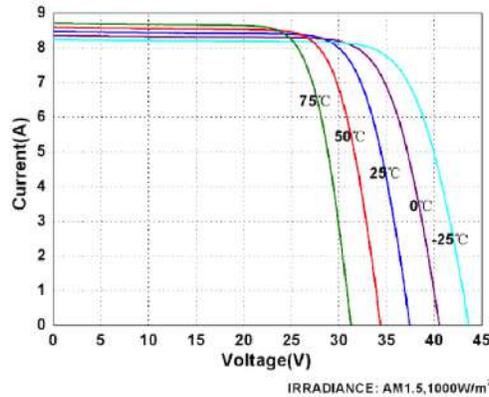


Figura 14 Curvas IV, con diferentes temperaturas [26].

2.4 Efecto Hall.

Para poder caracterizar un panel solar es necesario medir tanto el voltaje como la corriente de funcionamiento del panel con carga, por lo cual una de las maneras de estimar el paso de corriente en el circuito es el efecto Hall, el cual se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un cable por el que circulan cargas [28].

El efecto Hall de manera general se ha utilizado para investigar la conducción eléctrica en diversos materiales: conductores, semiconductores y también en las soluciones electrolíticas. El campo magnético tiende a separar las cargas positivas de las negativas en sentidos opuestos. El equilibrio se restaura cuando la fuerza que ejerce el campo eléctrico generado por la distribución de cargas se opone a la fuerza que ejerce el campo magnético. Una situación similar se produce cuando una varilla se mueve en el seno de un campo magnético uniforme perpendicular a la dirección de su movimiento y que da origen a una fem [29].

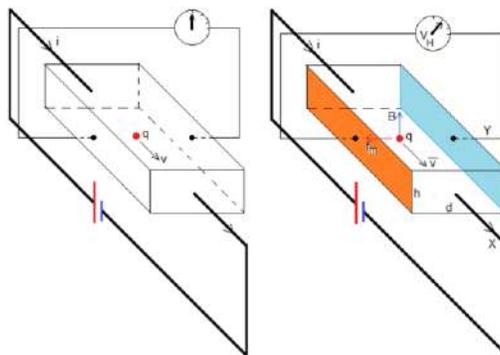


Figura 15 Efecto Hall [29].

En la figura 15 se muestra una lámina de material que conduce una corriente de intensidad (I) cuando sus extremos se conectan a una batería. Si medimos la diferencia de potencial entre los lados opuestos, el medidor nos dará cero, tal como se muestra en la figura de la izquierda. La situación cambia cuando se aplica un

campo magnético B perpendicular a la corriente en la lámina, veremos que aparece una diferencia de potencial VH muy pequeña entre los lados opuestos tal como se muestra en la figura de la derecha.

El sensor de corriente de efecto Hall que utilizaremos en este trabajo es el ACS712 mostrado en la figura 16, el cual nos ayuda a medir la corriente con carga del circuito con paneles solares, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, dependiendo la aplicación podemos usar el ACS712-05A, ACS712-20A o el ACS712-30A, para rangos de 5, 20 o 30 amperes respectivamente [30].

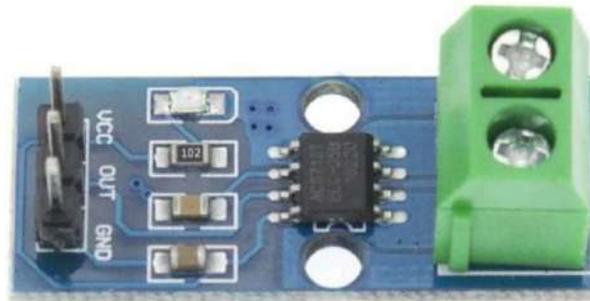


Figura 16 Sensor ACS712-30A [30].

2.5 Irradiancia solar

La irradiancia es un factor indispensable para la transformación de energía en los paneles solares, la cual se define como la potencia de la radiación solar por unidad de área. En el sistema internacional de unidades se mide en (W/m_2).

2.5.1 Tipos de Irradiancia Solar.

Existen diferentes tipos de irradiancia solar, la figura 17 se muestra gráficamente los tipos y a continuación se habla de los tipos de irradiancia como son los siguientes:[31].

- La irradiancia solar total
- La irradiancia normal directa
- La irradiancia horizontal difusa o de cielo difuso
- La irradiancia horizontal global

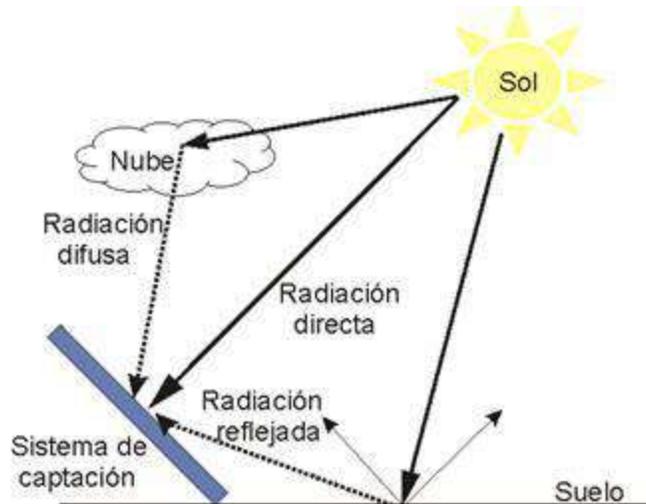


Figura 17 Tipos de Irradiancia solar [31].

2.5.1.1 La irradiancia solar total

La irradiación solar total es una medida de la potencia solar en todas las longitudes de onda por unidad de área incidente en la atmósfera superior de la Tierra. Se mide la perpendicular a la luz solar entrante.

2.5.1.2 La irradiancia normal directa

La irradiación normal directa, o radiación de haz, se mide en la superficie de la Tierra en una ubicación dada con un elemento de superficie perpendicular al Sol. Este tipo de irradiación excluye la radiación solar difusa.

La irradiancia directa es igual a la irradiancia en el exterior de la atmósfera terrestre menos las pérdidas atmosféricas debidas a la absorción y dispersión. Las pérdidas dependen principalmente de:

1. La hora del día (longitud de la trayectoria de la luz a través de la atmósfera según el ángulo de elevación solar)
2. La cantidad de nubes en el cielo.
3. La humedad.
4. Otros aspectos como: aerosoles, moléculas de ozono, vapor de agua, etc.

La irradiancia sobre la atmósfera también varía con la época del año (debido a que la distancia al sol varía), aunque este efecto es generalmente menos significativo en comparación con el efecto de las pérdidas en la radiación directa.

La manera de medir el potencial de energía solar que un territorio tiene, es a través de la radiación solar. Según la International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015), México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, $5.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (la unidad de medición de radiación solar). En la figura 18 se observa que el noroeste del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede

los 8 Kwh/m² en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE [32].



Figura 18 Mapa de la radiación solar diaria promedio anual en México [32].

2.5.1.3 La irradiancia horizontal difusa o de cielo difuso

La irradiación horizontal difusa o la radiación de cielo difuso es la radiación en la superficie de la Tierra a partir de la luz dispersada por la atmósfera. Se mide en una superficie horizontal con radiación proveniente de todos los puntos del cielo, excluyendo la radiación solar proveniente del disco solar.

Si no hubiera atmósfera, la irradiación horizontal difusa sería prácticamente nula.

2.5.1.4 La irradiancia horizontal global

La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y también la radiación celeste difusa dispersa al atravesar la atmósfera.

La irradiancia horizontal global es la irradiancia total del sol sobre una superficie horizontal en la Tierra. Es la suma de la irradiancia directa (después de tener en cuenta el ángulo cenital solar del Sol) y la irradiancia horizontal difusa.

2.5.2 Medidor de irradiancia solar Fluke FLK-IRR1-SOL

Para poder caracterizar paneles solares, es necesario la medición de la irradiancia que es factor principal para que un panel esté en funcionamiento, para ello se utiliza el medidor de irradiación Fluke IRR1-SOL (el medidor) como se observa en la figura 19, el cual proporciona lecturas digitales relacionadas con los paneles fotovoltaicos (PV) [33].

El medidor de irradiancia Fluke IRR1-SOL proporciona 4 mediciones esenciales necesarias para la inspección, instalación, realización de tareas de mantenimiento o comprobación del rendimiento de paneles solares o sistemas fotovoltaicos en el cual se puede realizar mediciones instantáneas para determinar los vatios por metro cuadrado de irradiación solar, requeridos por la norma IEC 62446-1, también proporciona la temperatura colocando el medidor directamente en el panel o

conectando la sonda externa, determinar la dirección cardinal con la brújula verificando la inclinación del techo o del panel con la función de inclinación, obtener todas las mediciones fotovoltaicas esenciales necesarias para una instalación, verificación y generar informes sobre el rendimiento de un sistema fotovoltaico en un solo instrumento [34]. A continuación, se muestran los 4 puntos de medición de manera específica:

- Irradiación solar (W/m^2) en la superficie de un panel fotovoltaico (PV)
- Temperatura ($^{\circ}F$ o $^{\circ}C$) en la superficie de un panel fotovoltaico (PV)
- Inclinación (grados) de un panel fotovoltaico (PV)
- Grados cardinales con la función de brújula



Figura 19 Medidor Fluke [33].

Para la medición de irradiancia y temperatura simplemente se coloca el medidor directamente sobre el panel fotovoltaico como se muestra en la figura 20. El sensor conductor interno en la parte posterior del medidor tomará automáticamente la lectura de temperatura. La temperatura también se puede tomar a través de la sonda de temperatura externa.



Figura 20 Colocación del medidor Fluke [34].

Para la inclinación y dirección del panel se coloca el medidor directamente sobre el panel fotovoltaico para obtener una inclinación precisa. Para superficies de techos con inclinaciones diferentes a 0° , se presiona el botón ZERO durante 2 segundos

para restablecer el ángulo y medir la inclinación real de un panel solar como se muestra en la figura 21.

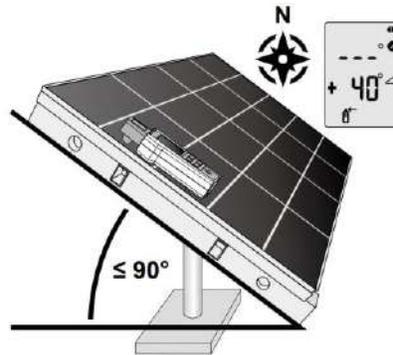


Figura 21 Inclinación y orientación del panel [34].

La medición de la brújula requerirá un proceso de dos pasos para obtener una dirección cardinal precisa.

Paso 1: Realizar mediciones de irradiación, temperatura e inclinación con el medidor colocado y alineado con el panel fotovoltaico. La función de brújula mostrará "---" cuando el ángulo de inclinación sea superior a 20 grados. Con un ángulo de inclinación inferior a 20 grados, cualquier lectura de la brújula mostrada será imprecisa debido a la influencia de los objetos metálicos circundantes.

Paso 2: Realizar la medición de la brújula lejos del panel fotovoltaico sosteniendo el medidor o colocándolo en una superficie horizontal (inclinación de 0 a 20 grados) apuntando la punta de dicho medidor en la dirección hacia la que está orientado el panel fotovoltaico. Manténgase alejado de cualquier objeto metálico.

2.6 Voltaje

Para la caracterización de los paneles solares es necesario la medición de corriente como voltaje dada una carga que varía con respecto a la irradiancia solar ya que subirá y bajará el voltaje, magnitud que da cuenta de la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos determinados. También llamado diferencia de potencial eléctrico o tensión eléctrica, es el trabajo por unidad de carga eléctrica que ejerce sobre una partícula un campo eléctrico, para lograr moverla entre dos puntos determinados [35].

El módulo de voltaje, sensor de voltaje FZ0430 mostrado en la figura 19, es un módulo bastante simple, el cual consiste en un divisor de tensión conformado por dos resistores uno de 7.5K y uno de 30K, con el cual podremos ser capaces de reducir el voltaje medido en una razón de 0.2 y por lo tanto seremos capaces de medir una tensión máxima de 25V con procesador de 5V y 16.5V con un procesador de 3.3V [36].



Figura 22 Sensor de voltaje FZ0430 [36].

2.7 Temperatura ambiental

Para la caracterización de los paneles solares es necesario medir la temperatura ambiental ya que es un factor indispensable para los paneles solares el cual es una de las entradas para que un panel solar funcione, así como la irradiancia

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). [37].

En la figura 23 se muestra los pines de la versión con PCB del DHT11 son:

- GND: Conexión con tierra.
- DATA: Transmisión de datos.
- VCC: Alimentación.



Figura 23 Pines del DHT11 [37].

2.8 Identificación de sistemas

Podemos definir la identificación de sistemas, como los estudios de técnicas que persiguen la obtención de modelos matemáticos de sistemas dinámicos a partir de mediciones realizadas en el proceso: entradas o variables de control, salidas o variables controladas y perturbaciones como se muestra en la figura 24. El enfoque de la identificación se puede realizar en función de la estructura del modelo, y del comportamiento físico o no del mismo. Los métodos de identificación tienen la tarea de encontrar un modelo matemático que nos relacione las recopilaciones de muestras de salidas sensadas con respecto a las de entradas [38].

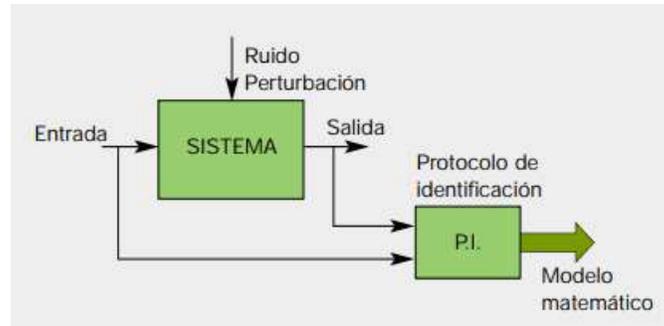


Figura 24 Proceso de identificación sobre un sistema para la obtención de un modelo matemático.[38]

2.8.1 Tipos de modelos

Para la distribución de los modelos matemáticos [Ljung, 99]: dinámicos o estáticos, lineales o no lineales, deterministas o estocásticos, de parámetros distribuidos o concentrados, y de tiempo continuo o tiempo discreto; i.e.: [38]

Modelos mentales: Sin formalismo matemático.

Modelos no paramétricos: Se identifican mediante gráficas, diagramas o representaciones de las propiedades dinámicas mediante un número no finito de parámetros, i.e., respuesta al impulso, al escalón unitario, o en frecuencia.

Modelos paramétricos o matemáticos: Describen las relaciones entre las variables del sistema mediante expresiones matemáticas.

Los autores Javier Sedano y Ramon Villar mencionan que el proceso de identificación consta de una serie de pautas y decisiones, con el objeto de que el modelo final sea representativo del modelo identificado.

Los autores también mencionan que la selección de las señales se hará teniendo en cuenta: [38].

1. Las propiedades asintóticas de la estima (bias y variance) sólo dependen del espectro de entrada y no de la forma de onda de la señal. $\text{Error} = \text{bias} + \text{variance}$.
 - Bias (desvío): errores sistemáticos causados por características de la señal de entrada, elección de la estructura de modelo (complejidad de la representación) y modo de operación (lazo cerrado o lazo abierto).
 - Variance (varianza): errores aleatorios introducidos por la presencia de ruido en los datos, que impiden que el modelo reproduzca exactamente la salida. Está afectado por los siguientes factores: número de parámetros del modelo, duración del experimento de identificación, relación señal-ruido.
2. La entrada debe de estar limitada en amplitud.
3. El orden de la señal, persistentemente excitada, tiene que ser mayor o igual al número de parámetros que van a ser estimados.

4. Las señales periódicas tienen ciertas ventajas. Tipos de entradas: ruido blanco gaussiano, tiene un valor medio igual a cero y varianza 2; ruido blanco gaussiano filtrado; señal binaria aleatoria, de nivel deseado; señal binaria pseudo aleatoria (PRBS), señal periódica determinista con las propiedades del ruido blanco; señal multisenos, formada por una suma de senoides, persistentemente excitada de orden $2n$.

3. DISEÑO Y SIMULACIONES

En este capítulo se presenta el desarrollo del diseño para la construcción del sistema de monitoreo para el SFV conectado a IoT, se utilizó el software PSIM para la simulación de un panel solar y dos paneles conectados en serie como también la configuración de parámetros de la simulación para el SFV, también la configuración de las plataformas para el almacenamiento de los datos a sensar en tiempo real.

3.1 Diagrama Representativo del Sistema

En la figura 25, se muestra el diagrama general del sistema de monitoreo eléctrico de un sistema fotovoltaico, en donde se muestra la conexión entre los sensores de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental, irradiancia, temperatura del panel y corriente al panel, así como a las placas de programación ESP32 con Arduino UNO y la ESP32 CAM que nos ayudan para poder adquirir los datos e imagen en la nube utilizando IoT.

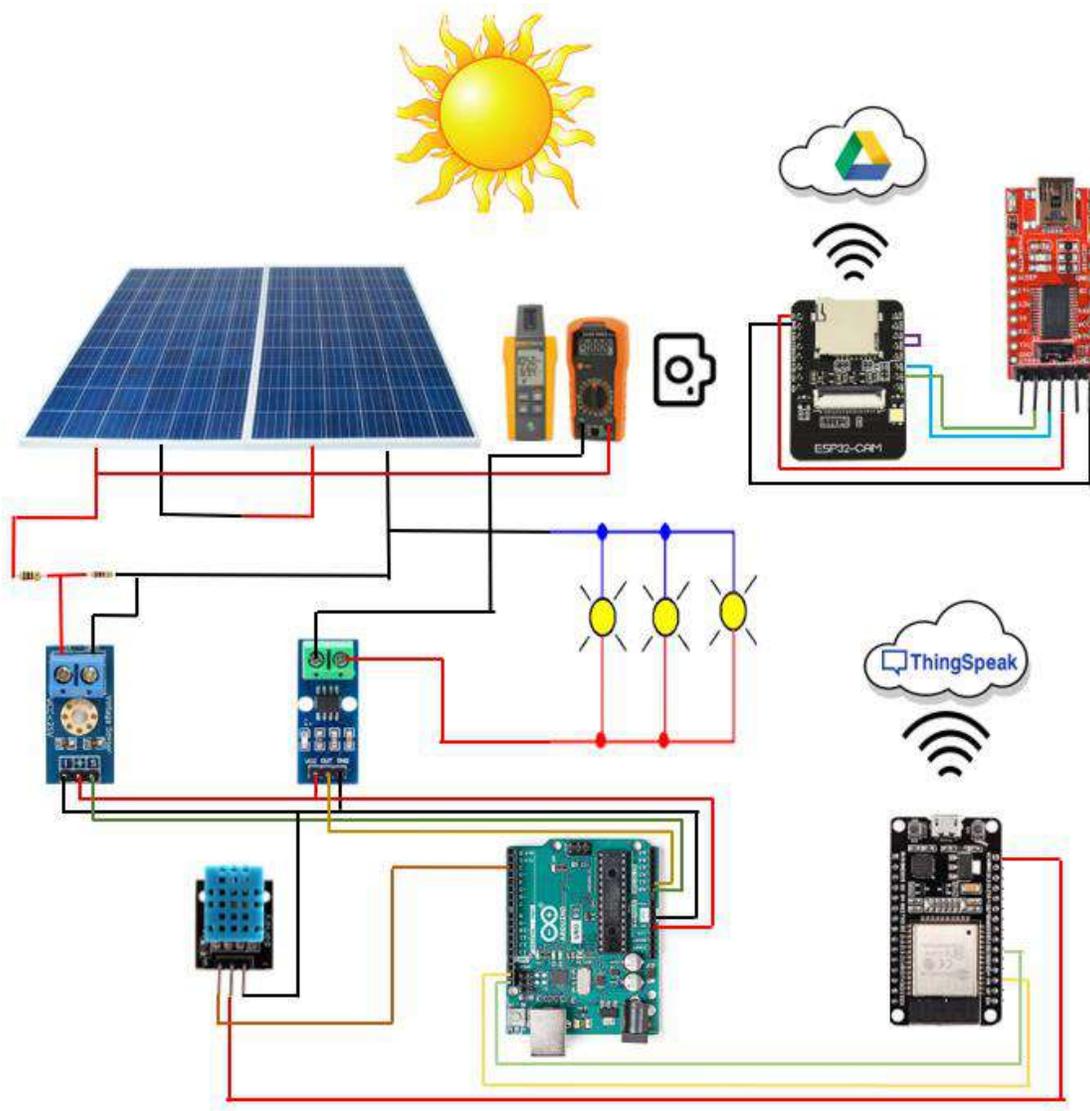


Figura 25 Diagrama general del sistema de monitoreo. Fuente propia.

3.2 Sistema de Adquisición de Datos

Como se muestra en la figura 24, se planteó una conexión entre el Arduino UNO y la ESP32 haciendo una comunicación maestro-esclavo, comunicados entre sí a través del protocolo I2C, maestro-esclavo, en el cual el Arduino UNO recopila los datos arrojados por los sensores de voltaje con un ADC y corriente con el sensor de

efecto Hall, posteriormente se utilizan para estimar la potencia que es producto de éstos, asimismo se sensa la temperatura ambiental y la temperatura medida en el panel, recopilado los datos que posteriormente se mandan al circuito maestro, en nuestro caso el ESP32 el cual se encarga de subirlo a la plataforma ThingSpeak donde se deposita la información después de ser procesado en su apartado correspondiente para poder descargar los datos sensados al final del día.

Los valores de irradiancia, temperatura del panel y corriente, fueron capturados por la ESP32 CAM, debido a que el equipo de medición de irradiancia Fluke y el multímetro no están habilitados para conectarse directamente al internet como los demás sensores usados en la comunicación maestro-esclavo. Los datos capturados por la ESP32 CAM son tomados cada minuto y posteriormente subidos a Google Drive.

3.3 Selección de Paneles Solares

Para este trabajo se utilizaron dos paneles tipo DS-A18-20 de la empresa ENESOL conectados en serie, aumentando el voltaje del SFV y manteniendo la corriente de los paneles individuales, en la tabla 2 se muestran sus características físicas y eléctricas.

Tabla 2 Características físicas y eléctricas del panel DS-A18.20A.

    <p>Made_by_DASOL Solar Energy</p>		
Model Number	DS-A18-20	
Rated Maximum Power	(Pmax)	20W
Current at Pmax	(Imp)	1.11A
Voltage al Pmax	(Vmp)	18.0V
Short-Circuit Voltage	(Isc)	1,21A
Open_Circuit Voltage	(Voc)	22.3V
Power Tolerance		±10%
Weight: 2.2KG	Size: 520x350x25mm	
Maximum System Voltage		715V
Maximum Series Fuse Rating		2A
All technical data standard test condition AM1.5 R=1000^W/_{m²} T=25°C		

Los paneles DS-A18-20 son fabricados por ENESOL, los cuales proporcionan una potencia máxima de 20W, que en conjunto los dos paneles dan una potencia máxima de 40W con carga máxima. Estos paneles nos proporcionan una corriente máxima de 1.11 A, y aun conectados en serie la corriente es la misma. El voltaje máximo que nos proporciona cada panel con carga es de 18V y sumados en serie

nos da un valor de 36V. Cuando se llega a hacer el ejercicio de evaluación de corto circuito, el arreglo fotovoltaico nos proporciona una corriente de 1.21 A, esto se da cuando el voltaje llega a cero en una celda solar en la búsqueda de compensar el requerimiento de corriente compensando con el voltaje del panel. En el ejercicio de evaluación de circuito abierto para cada panel es de 22.3V que en serie nos proporcionan 44.3V el cual se considerara como nuestro voltaje máximo en su máxima irradiancia. En el anexo 1 se muestra la datasheet del panel DS-A18-20 en el cual se muestra la información más específica de nuestro panel.

3.3 Diseño y Evaluación del SFV con módulo Solar en PSIM

Se usó el software PSIM, se trata de un simulador que cuenta con un módulo solar que emula el comportamiento del sistema fotovoltaico real para definir un modelo físico y estimar el comportamiento de estos paneles solares interconectados a través de sus gráficas de IV y Potencia, proporcionadas con los datos técnicos de operación del panel.

Para el diseño del SFV se requiere la introducción de los parámetros eléctricos del fabricante; algunos de estos parámetros pueden obtenerse de las hojas de datos técnicos, mientras que otros, de estimaciones o cálculos relacionados a su operación física.

A continuación, se presentan los parámetros eléctricos relacionados al panel físico para emular el comportamiento del sistema fotovoltaico, que se utilizó en las pruebas de campo:

- **Número de células Ns:** Número de células solares en serie en un módulo solar
- **Intensidad luminosa estándar S0:** Intensidad luminosa en condiciones de prueba estándar, en W/m^2 . Este valor es normalmente de $1000 W/m^2$,
- **Ref. Temperatura Tref:** Temperatura en condiciones estándar de ensayo, en °C.
- **Resistencia en serie Rs:** Resistencia en serie de cada célula solar, en Ohm.
- **Resistencia en derivación Rsh:** Resistencia en derivación de cada célula solar, en Ohm.
- **Corriente de cortocircuito Isc0:** Corriente de cortocircuito del módulo solar a la temperatura de referencia de referencia, en A.
- **Corriente de saturación Is0:** Corriente de saturación del diodo en el modelo, en A
- **Energía de banda Eg:** Energía de banda de cada célula solar, en eV.
- **Factor de idealidad A:** Factor de idealidad, también llamado coeficiente de emisión, del diodo en el modelo.
- **Coeficiente de temperatura Ct:** Coeficiente de temperatura, en A/K .
- **Coeficiente Ks:** Coeficiente que define cómo afecta la intensidad de la luz a la temperatura de la célula solar

3.3.1 Estimación de los valores de los parámetros E_g , A , R_{sh} y K_s

Estos cuatro parámetros que no suelen aparecer en la hoja de datos del fabricante, son la energía de banda E_g , factor de idealidad A , resistencia de derivación R_{sh} y coeficiente K_s .

- **La energía de banda E_g :** Es de 1.12 eV para el silicio cristalino, y de 2 eV para el silicio amorfo.
- **El factor de idealidad A :** Se sitúa en torno a 2 para el silicio cristalino, y es inferior a 2 para el para el silicio amorfo.
- **La resistencia de derivación R_{sh} :** Es de varios miles de ohmios que en lo general es 1000.
- **K_s :** N , puede fijarse en 0.

3.3.2 Simulación del panel DS-A18-20 en PSIM

Para la simulación del panel DS-A18-20 se utilizó el software PSIM en la versión 9.1.4 que es un programa de simulación de circuitos electrónicos, en el cual se implementó el modelo físico del módulo solar considerando las variaciones de entrada como son la irradiancia y temperatura ambiental.

En la figura 26 se observa la simulación de una conexión de un panel solar en el software PSIM en el cual se coloca como entradas fuentes variables de irradiancia que emularon el comportamiento de la irradiancia vista por el panel y los cambios en la temperatura, los cuales típicamente se manejaron de 1000 W/m^2 y una temperatura de 25°C .

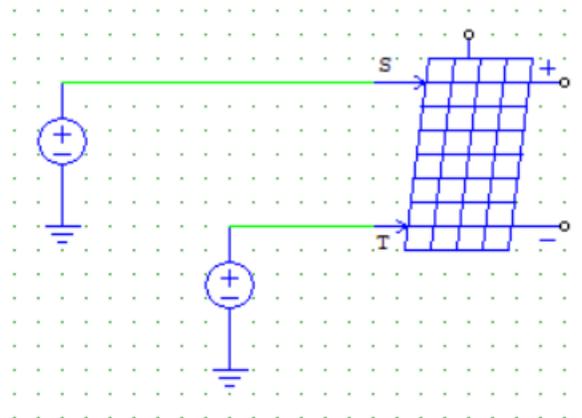


Figura 26 Simulación de un panel DS-A18-20. Fuente propia.

Dadas las entradas para nuestro panel solar, en la figura 27 se muestran las gráficas de IV que representan los valores de tensión y corriente; en la gráfica siguiente se muestra la curva de potencia del panel solar, evaluando el punto de máxima potencia estándar con los datos convencionales a la entrada de 1000 W/m^2 y con 25°C con los valores físicos en el panel solar DS-A18-20. En ésta se observa el

valor de la corriente con respecto al voltaje en la primera gráfica la corriente máxima es de 1.2A con respecto a un voltaje máximo de 37V y en la segunda gráfica de potencia con respecto al voltaje tiene 38W de potencia como máxima y voltaje máximo de 37V en donde las dos gráficas sufren un doblamiento en la señal de la corriente y potencia, porque la intensidad y potencia se ven modificadas por el factor de la iluminación.

Los valores finales de los parámetros y las curvas I-V y P-V se muestran en la figura 26.

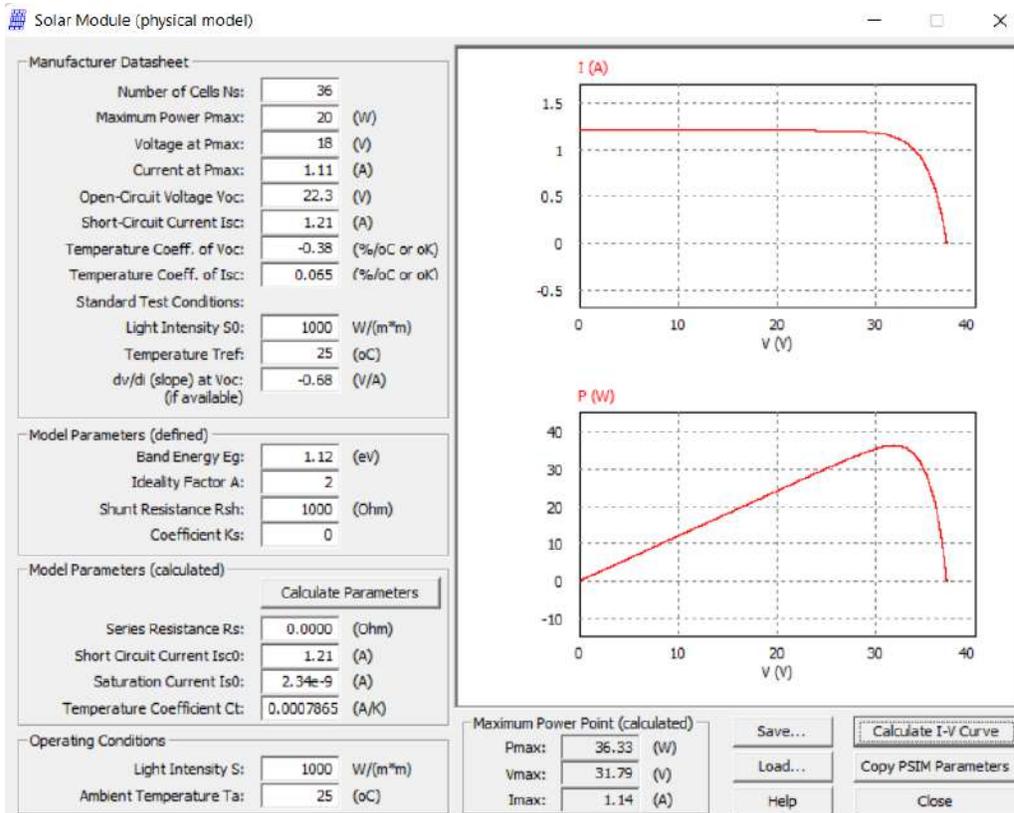


Figura 27 Parámetros curvas I-V y P-V. Fuente propia.

A continuación, en la figura 28 se muestra del lado izquierdo la conexión de dos paneles DS-A18-20 en serie y del lado derecho es un panel cuya configuración emula el comportamiento de los dos paneles en serie, sustituyendo la cantidad de

celdas, en lugar de poner 36 se colocan 72 haciendo referencia a dos paneles solares.

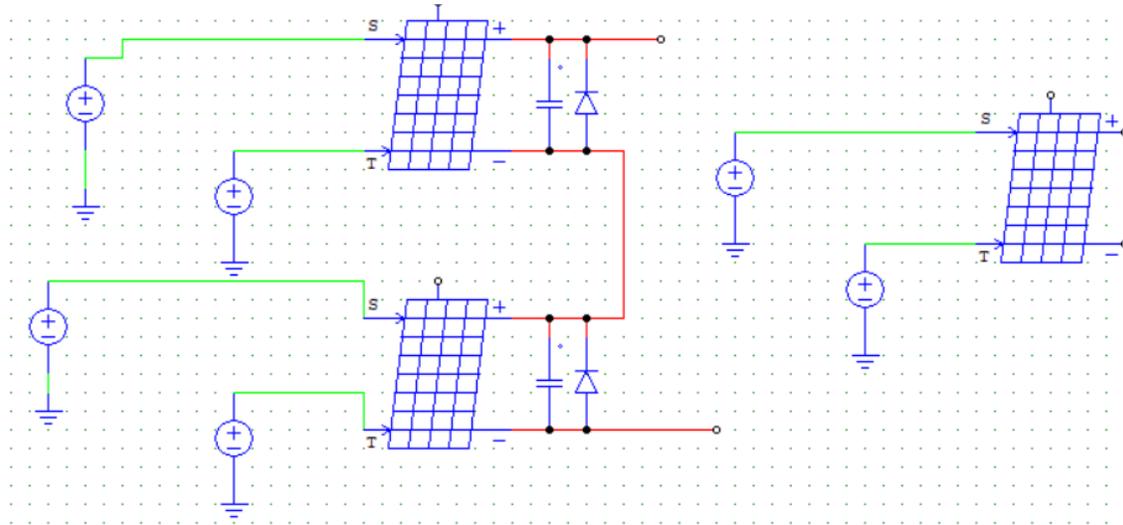


Figura 28 Simulación de 2 paneles. Fuente propia.

Dadas las entradas para nuestro panel solar, en la figura 29 se muestran las gráficas de IV que representan los valores de tensión y corriente; en la gráfica siguiente se muestra la curva de potencia del panel solar, evaluando el punto de máxima potencia estándar con los datos convencionales a la entrada de 1000 W/m^2 y con 25°C con los valores físicos en el panel solar DS-A18-20. En ésta se observa el valor de la corriente con respecto al voltaje, en la primera gráfica la corriente máxima es de 1.2A con un voltaje máximo de 77V, y en la segunda gráfica de potencia acorde al voltaje tiene 75W de potencia como máxima y voltaje máximo de 77V; las dos gráficas sufren un doblamiento en la señal de la corriente y potencia debido a que la intensidad y potencia se ven modificadas por el factor de la iluminación.

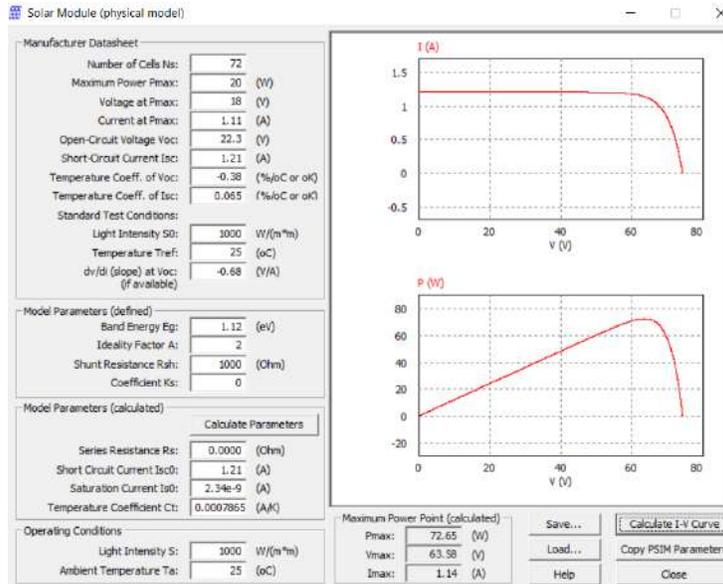


Figura 29 Parámetros curvas I-V y P-V de 2 paneles en serie. Fuente propia.

3.4 Diseño eléctrico del Sistema de monitoreo

En la figura 30, se muestra el diagrama esquemático desarrollado en software Multisim para representar el sistema de monitoreo eléctrico de un sistema fotovoltaico, en donde se muestra la conexión entre los sensores de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental, irradiancia, temperatura del panel y corriente al panel así como a las placas de programación ESP32 con Arduino UNO conectadas en configuración maestro-esclavo, así como la tarjeta de adquisición ESP32 CAM, utilizadas en este trabajo para poder adquirir los datos e imagen, para posteriormente almacenarlos en la nube utilizando IoT.

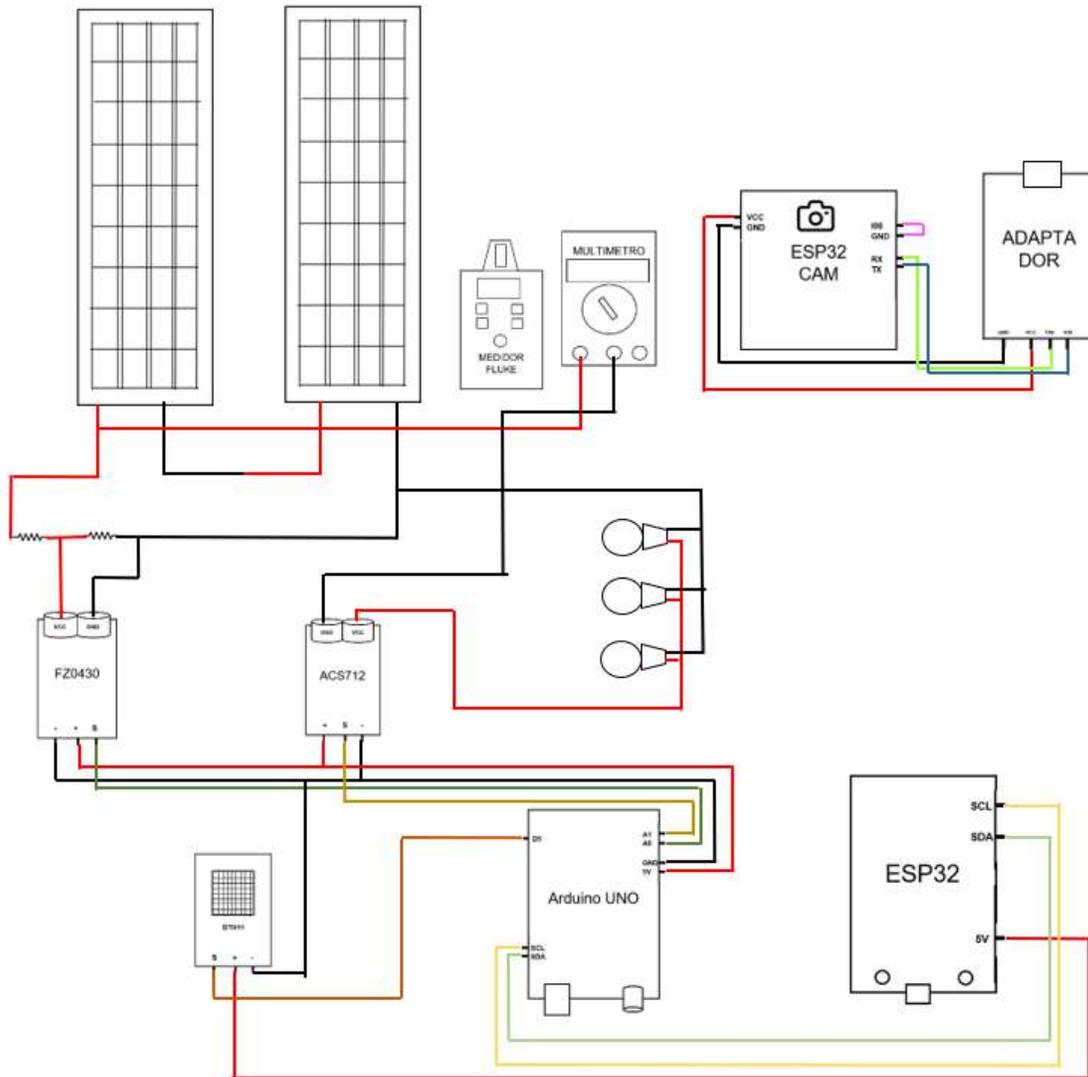


Figura 30 Diseño eléctrico del Sistema de monitoreo. Fuente propia.

3.4.1 Diseño sistema de adquisición de Voltaje

Se utilizó el sensor FZ0430 que fue conectado a la salida de los paneles solares, asistiéndonos de un transductor de señales por medio de un divisor de voltaje compuesto por dos resistencias como se muestra en la figura 31, que captan el voltaje arrojado por los paneles solares y atenúan la tensión de salida para ser acopladas al sistema digital de adquisición de señales en un rango de 0 a 25 volts dependiendo de la irradiancia y sombreado parcial que se tenga en el día, considerando el voltaje máximo de operación del sensor.

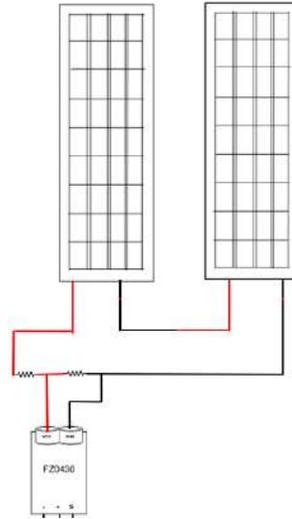


Figura 31 Conexión sensor de voltaje con Panel solar. Fuente propia.

En la tabla 3 se observan las conexiones del sensor de voltaje FZ0430; en la figura 32 se muestra de forma esquemática la conexión en el que el Arduino UNO que obtiene los datos de voltaje, proporciona a la salida los paneles interconectados.

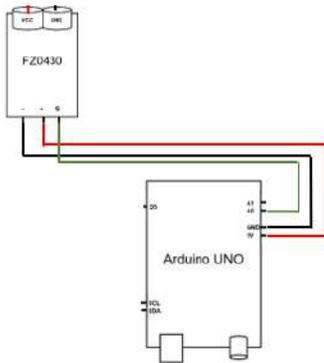


Tabla 3 Pines conectados a Arduino UNO.

FZ0430	Arduino UNO
VCC	5V
GND	GND
OUT	A0

Figura 32 Conexión sensor de voltaje a Arduino. Fuente propia.

3.4.1.1 Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de Voltaje

En la figura 33 se observa el diagrama de flujo para la obtención de la variable del voltaje, en donde la entrada de voltaje que entra al arduino y es procesada de manera analógica, como primera acción ejecuta el ciclo de lectura y conversión de datos analógicos a digitales; con esto, el dato de voltaje se encuentra dividido,

posteriormente se hace una suma de dos veces el voltaje para obtener el valor real del panel solar que se procesará digitalmente.

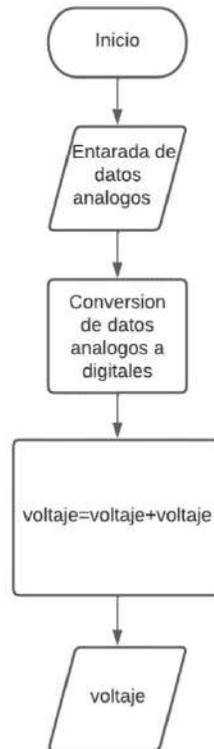


Figura 33 Diagrama de flujo para obtención de Voltaje. Fuente propia.

3.4.2 Diseño sistema de adquisición de Corriente

Se utilizaron sensores de corriente basados en el efecto Hall producido por un campo magnético sobre un cable por el cual circula una carga.

El sensor de efecto Hall ACS712 mostrado en la figura 34 fue conectado de la parte positiva a la carga compuesta por 3 focos de 100W conectados en paralelo para obtener un mayor consumo de corriente, por el otro lado de la carga se conectan a tierra los paneles solares y en la parte negativa de nuestro sensor se abre el circuito conectándolo a un multímetro para estabilizar los datos y la otra parte del multímetro conecta al panel solar obteniendo el valor de la corriente en un rango de de 0 a 1.2A

dependiendo de la irradiancia y sombreado parcial que se tenga en el día, considerando la corriente máxima de operación del sensor.

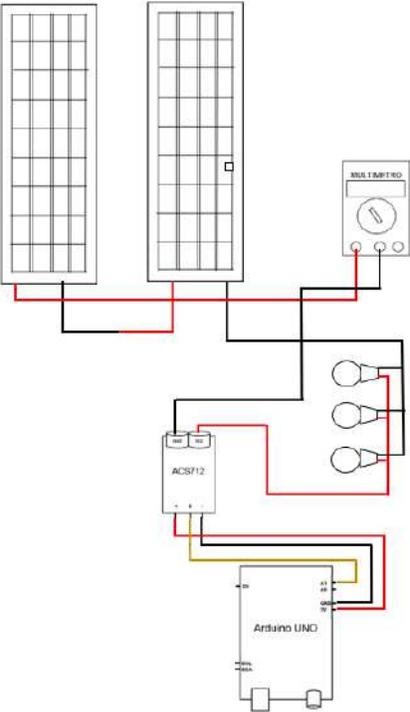
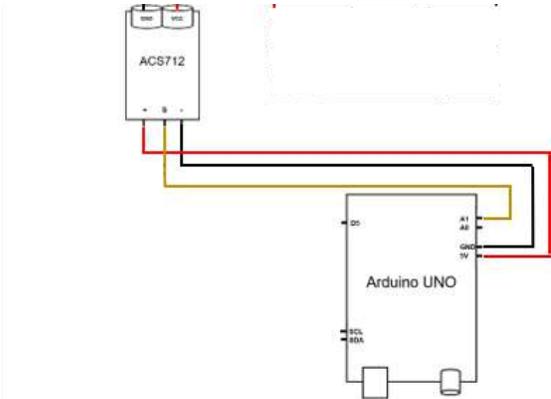


Figura 34 Conexión de sensor de Efecto Hall con carga y panel solar. Fuente propia.

En la tabla 4 se observan las conexiones del sensor de corriente ACS712, así mismo en la figura 35 se muestra de forma esquemática la conexión en el que el Arduino UNO que obtiene los datos de corriente que proporciona la carga dada por el voltaje de los paneles interconectados.

Tabla 4 Pines de conexión sensor de efecto Hall con Arduino UNO.



ACS712	Arduino UNO
VCC	5V
GND	GND
OUT	A1

Figura 35 Conexión de sensor de efecto Hall con Arduino UNO. Fuente propia.

3.4.2.1 Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de corriente

En la figura 36 se observa el diagrama de flujo para la obtención de la variable de corriente, en donde la entrada de corriente entra al arduino y es procesada de manera analógica, como primera acción se ejecuta el ciclo de lectura y conversión de datos analógicos a digitales; con esto se obtiene el dato de voltaje, dato digital multiplicado por la operación de 5 entre 1023, en donde el dato 5 es el valor de la tensión que el Arduino UNO le aplica al sensor ACS712 y el 1023 son los bits a que responde nuestro sensor que es $2^{10} - 1$; obteniendo el valor de voltaje se le resta 2.51V que es el voltaje que consume nuestro sensor, todo esto dividido entre la sensibilidad que corresponde a 0.071 posteriormente nuestro valor de corriente se hace un promedio para obtener el valor real de la carga conectado al panel solar que se procesará digitalmente.

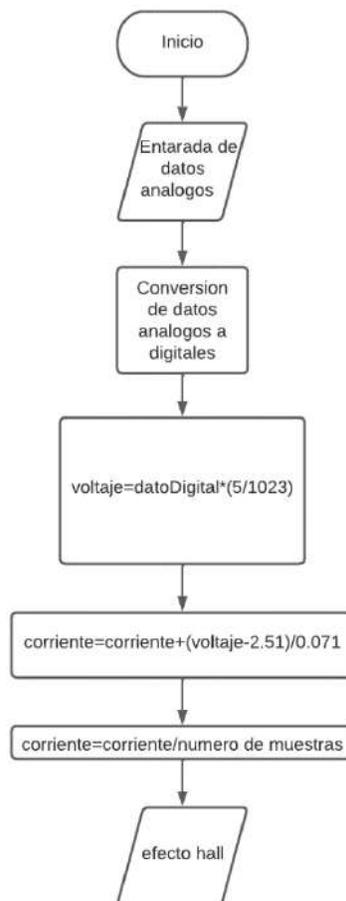


Figura 36 Diagrama de flujo para la obtención de la corriente. Fuente propia.

3.4.3 Diseño sistema de adquisición de temperatura ambiental

En la figura 37 se observa la colocación del sensor de temperatura DTH11 en el cual no se requiere una conexión física hacia los paneles, por lo que se colocara el sensor al ángulo de inclinación que tengan los paneles solares.

En la tabla 5 se observa las conexiones del sensor de temperatura DTH11, así mismo en la figura 36 se muestra de forma esquemática la conexión en el que el Arduino UNO que obtiene los datos de temperatura proporciona al clima.

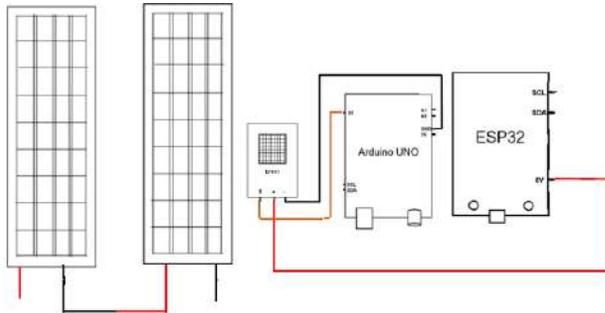


Tabla 5 Pines conectados para la obtención de temperatura.

DTH11	Arduino UNO	ESP32
VCC	--	5V
GND	GND	--
OUT	A0	--

Figura 37 Conexión de sensor de temperatura a Arduino. Fuente propia.

3.4.3.1 Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de temperatura ambiental

En la figura 38 se observa el diagrama de flujo para la obtención de la variable de temperatura, en la cual la entrada de temperatura que entra al arduino y es procesada de manera analógica, como primera acción se ejecuta el ciclo de lectura y conversión de datos analógicos a digitales, con esto el dato de temperatura esta listo para ser procesada digitalmente.



Figura 38 Diagrama de flujo para la obtención de temperatura ambiental. Fuente propia.

3.4.4 Diagrama de flujo de programación del sistema de adquisición de Potencia

La potencia es la cantidad de energía eléctrica que es obtenida por una fuente en este caso los paneles solares, en la figura 39 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de la potencia y sea recopilada por el Arduino UNO, teniendo el valor de voltaje y corriente obtenidas por los sensores ACS712 y el AZ0430 se multiplican estos dos valores teniendo como producto la potencia.

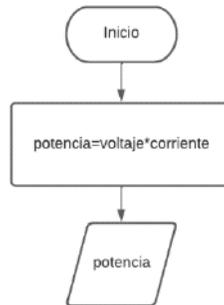


Figura 39 Diagrama de flujo para la obtención de Potencia. Fuente propia.

3.4.5 Diseño sistema de comunicación I2C Maestro-Esclavo

La comunicación I2C es fundamental en este trabajo porque ayuda a hacer la comunicación entre los sensores de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia que es producto de voltaje con efecto Hall hacia la red. Gracias a esta comunicación podemos conectar, monitorear y controlar su comportamiento de manera local y remotamente en donde el maestro es la ESP32 y el esclavo el Arduino UNO, en la figura 40 se observa la conexión entre estos por los puertos SDA que es el encargado de llevar la señal de reloj y SDL cuya función es llevar los datos; con estas conexiones se da la comunicación I2C, maestro esclavo entre ESP32 y Arduino UNO.

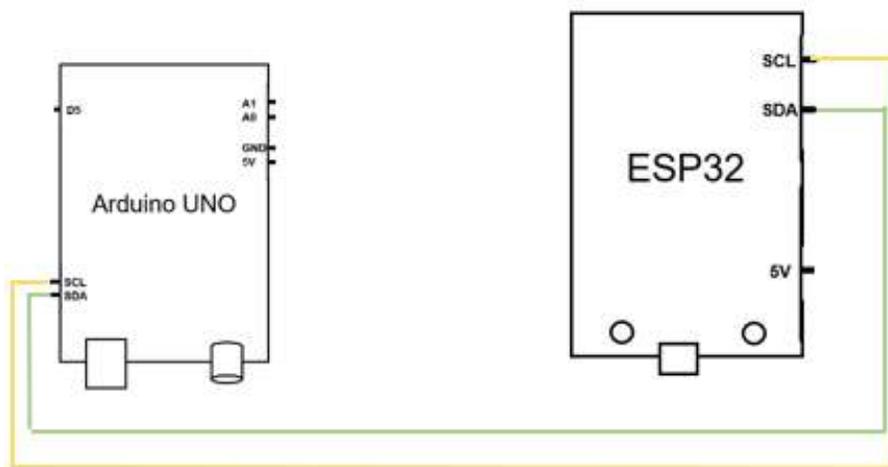


Figura 40 Conexión I2C Maestro-esclavo. Fuente propia.

3.4.5.1 Diagrama de flujo de programación del sistema de comunicación I2C

En la figura 41 se muestra el diagrama de flujo de solicitud y recepción de datos entre la ESP32 y el Arduino UNO, en donde la ESP32 manda una solicitud de envío de datos, posteriormente el Arduino recibe la solicitud, hace una recepción y empieza a guardar los datos en variables de v, c, t y p, posteriormente almacena todos estos valores en una variable K, se guarda en una sola variable porque solo hay un solo canal de envío y recepción, al estar el canal por donde se enviarán los datos disponibles, el arduino inicia el envío de los datos uno por uno teniendo un orden de voltaje, corriente, temperatura y potencia, conforme a ese orden la ESP32 los guarda en su correspondiente lugar ya que sabe que el primer dato enviado por el Arduino UNO es voltaje, el segundo es corriente, el tercero es temperatura y el último es potencia; recibidos los 4 datos la ESP32 manda un mensaje de datos recibidos y el Arduino manda un mensaje de datos enviados y hace todo este proceso cada que la ESP32 pida datos.

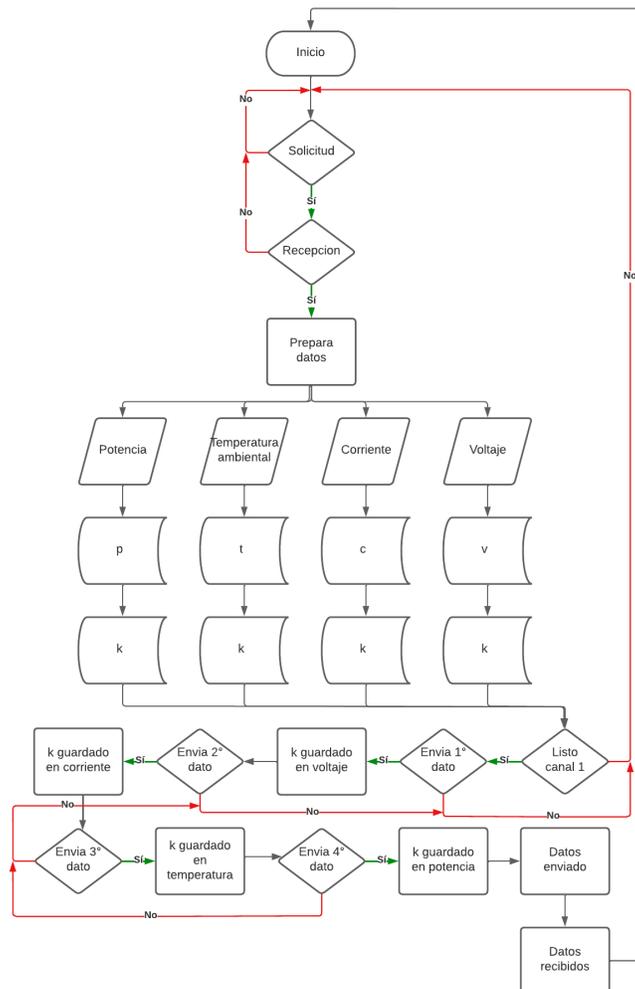


Figura 41 Diagrama de flujo de comunicación Maestro-Eslavo. Fuente propia.

3.4.6 ESP32

La placa de programación de WIFI & Bluetooth nos ayuda a la conexión de los datos hacia con la nube siendo recopilados anteriormente por el Arduino UNO, estos datos enviados por la ESP32 se guardarán en la nube en la plataforma de ThingSpeak subiendo datos cada minuto para así tener un mejor control de estos.

3.4.6.1 ThingSpeak

A continuación, se hará la configuración en la plataforma de ThingSpeak el cual es una API “interfaz de programación de aplicaciones” y aplicación de código abierto para el Internet de las Cosas que permite almacenar y recopilar datos de objetos conectados a través del protocolo HTTP a través de Internet o de una red local; sabiendo esto, continuaremos con la configuración de nuestro almacenamiento de datos de los sensores de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia.

Ya creada e iniciada nuestra sesión en ThingSpeak le damos en New Channel y se mostrará la figura 42 en donde colocaremos nuestro nombre de nuestro proyecto, una descripción de lo que se almacenará y en los Field colocaremos los apartados de cada uno de nuestros sensores, colocado ya nuestros apartados deslizamos hasta abajo y le damos en Save Channel.

The image shows a 'New Channel' form with the following elements:

- Name:** A text input field.
- Description:** A larger text input field.
- Field 1:** A text input field containing 'Field Label 1' and a checked checkbox.
- Field 2:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 3:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 4:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 5:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 6:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 7:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.
- Field 8:** A greyed-out text input field and an unchecked checkbox.

Figura 42 Creación de apartados. Fuente propia.

Listo esto se mostrará nuestro lugar de trabajo donde se depositarán todos los datos como se ve en la figura 43.

Panel solar

Channel ID: 1871176
Author: mwa000025499031
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Add Visualizations Add Widgets Export recent data

MATLAB Analysis

MATLAB Visualization

Channel 3 of 3 < >

Channel Stats

Created: 2 minutes ago
Entries: 0

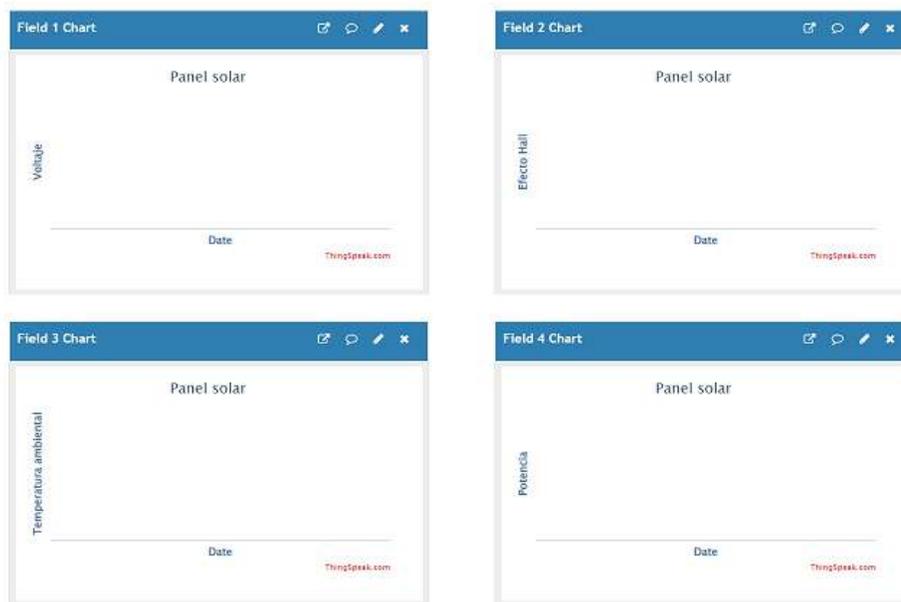


Figura 43 Visualización de la plataforma de ThingSpeak. Fuente propia.

Damos click en el apartado de API Keys, nos mostrará nuestro Channel ID y la llave de acceso para poder depositar los datos enviados por la ESP32 que son copiados y colocados en nuestro código de Arduino mostrado en la figura 44.

Proyecto Panel solar

Channel ID: 1728887
Author: mwa000025499031
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys

Write API Key

Key R9353LZLQY37AB53

Figura 44 Canal y llave de acceso a la plataforma. Fuente propia.

3.4.7 ESP32 CAM

La ESP32 CAM al igual que la ESP32 ayuda a enviar datos a la nube de una manera gráfica gracias a la cámara que tiene incluida, dándonos una solución a tomar datos de manera gráfica, estos dispositivos no se pueden conectar directamente al internet como es el medidor de irradiancia y el multímetro, pero tomado estas fotografías cada cierto tiempo se pueden subir a varias plataformas estas imágenes, para este proyecto se subirán a la plataforma de Google Drive.

3.4.7.1 Google Drive

Posteriormente pasamos al apartado en donde se almacenará los datos de nuestro medidor de irradiancia, temperatura del panel y la corriente de nuestro sistema, el cual se utilizó la plataforma de Google Drive en donde se almacenarán fotografías tomadas cada minuto de tiempo con la ayuda de la ESP32 CAM.

A continuación, explicaremos la creación de nuestro apartado en Google Drive para almacenar nuestras fotos en donde daremos en Nuevo, posteriormente nos vamos al apartado más y damos en Google Apss Scrip como se muestra en la figura 45.

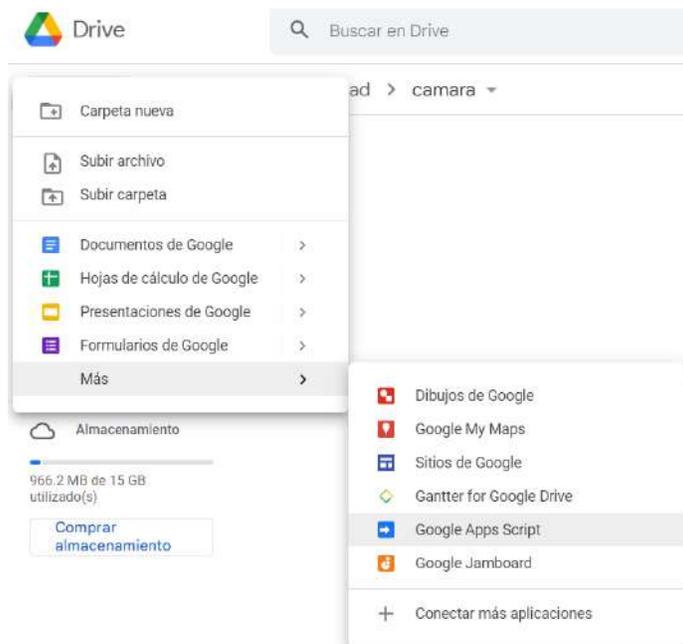


Figura 45 Pasos para crear script de Google. Fuente propia.

Se abrirá una nueva ventana en donde se borrará lo que contenga el script mostrado y se colocará el siguiente código:

```
function doPost(e) {
```

```

var data = Utilities.base64Decode(e.parameters.data);

var nombreArchivo = Utilities.formatDate(new Date(), "GMT-3",
"yyyyMMdd_HHmms")+".jpg";

var blob = Utilities.newBlob(data, e.parameters.mimetype, nombreArchivo );

var folder, folders = DriveApp.getFoldersByName("ESP32-CAM");

if (folders.hasNext()) {

    folder = folders.next();

} else {

    folder = DriveApp.createFolder("ESP32-CAM");

}

var file = folder.createFile(blob);

return ContentService.createTextOutput("Completo.")

}

```

Posteriormente a esto, nuestra pantalla quedará como se muestra en la figura 46. En este mismo apartado le cambiamos el nombre de nuestro proyecto y guardamos y publicamos.

```

1 function doPost(e) {
2   var data = Utilities.base64Decode(e.parameters.data);
3   var nombreArchivo = Utilities.formatDate(new Date(), "GMT-3", "yyyyMMdd_HHmms")+".jpg";
4   var blob = Utilities.newBlob(data, e.parameters.mimetype, nombreArchivo );
5
6
7   var folder, folders = DriveApp.getFoldersByName("ESP32-CAM");
8   if (folders.hasNext()) {
9     folder = folders.next();
10  } else {
11    folder = DriveApp.createFolder("ESP32-CAM");
12  }
13  var file = folder.createFile(blob);
14
15  return ContentService.createTextOutput("Completo.")
16 }

```

Figura 46 Visualización del código en Google apps. Fuente propia.

Al publicar seleccionamos el apartado de implementar como aplicación web como se muestra en la figura 47.

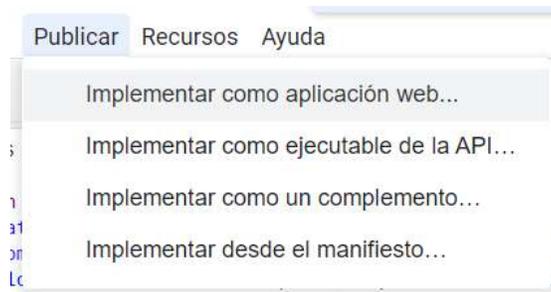


Figura 47 Publicación del proyecto. Fuente propia.

Después de esto se mostrará en la figura 48 el siguiente apartado el cual la sección de Execute the app as: colocaremos nuestro correo que significa que solo nosotros tenemos el control de las fotos y únicamente ahí se guardarán dichas fotos, en el siguiente apartado de Who has Access to the app: daremos en Anyone, even anonymous el cual es que cualquier persona incluso los anónimos tengan acceso a la aplicación para visualizar, después de esto de damos en Deploy.

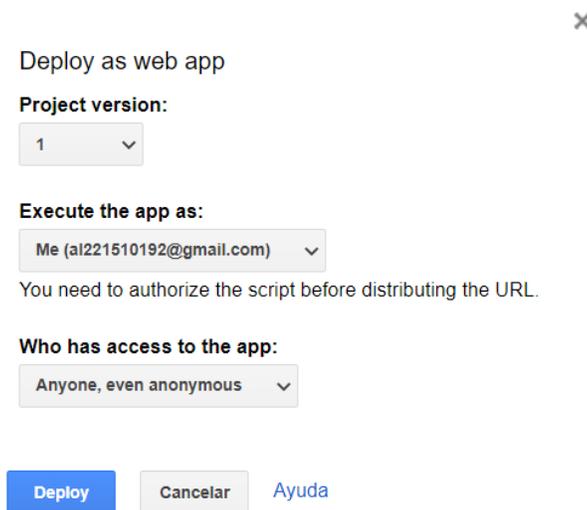


Figura 48 Correo admin y permisos de acceso a otros. Fuente propia.

En la figura 49 le damos clic en nuestra cuenta y le damos permitir para que tenga acceso nuestra cámara a nuestro drive.

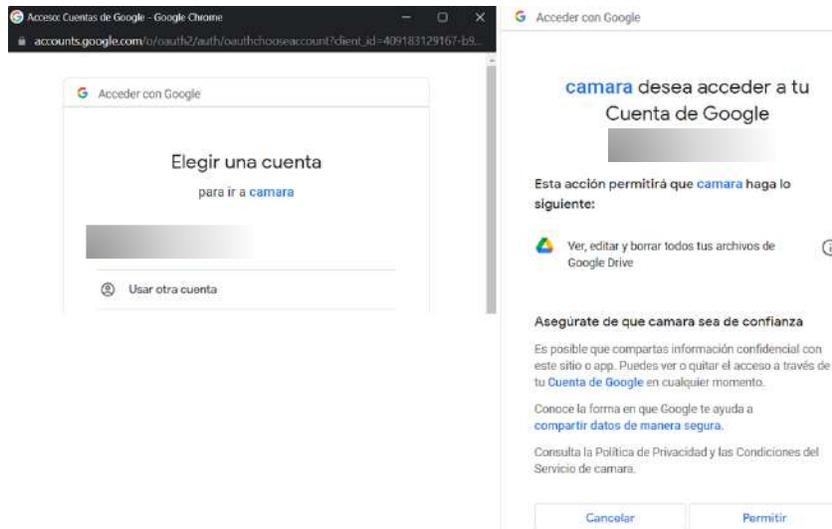


Figura 49 Permiso de acceso a Google Drive. Fuente propia.

Dado los permisos en la figura 50 se muestra que nos direcciona a una ventana en donde nos arroja un link el cual copiaremos y se colocara en nuestro código de Arduino ya que este link lo leerá nuestra ESP32 CAM y enviara las fotos tomadas por la misma a esa dirección que nuestra carpeta de drive tiene, copiado el link le damos aceptar y se cerrará está ventana y se culmina la configuración de nuestro Google Drive conectado a la ESP32 CAM.

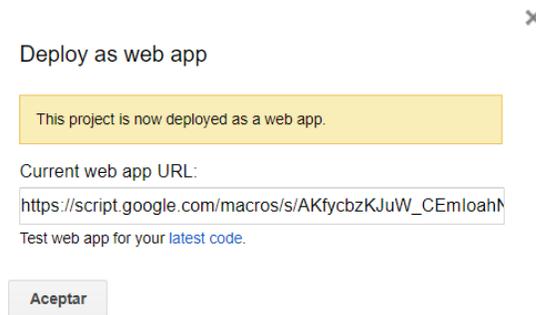


Figura 50 URL de acceso a la ESP32 CAM. Fuente propia.

El siguiente link generado anteriormente por la plataforma de Google es la llave de acceso para la ESP32 CAM y suba fotografías a Google Drive, este link es colocado en el código de la ESP32 CAM.

https://script.google.com/macros/s/AKfycbzKJuW_CEmloahNqapwPhPzS1WjNF4ZdTQMhPWESvbQJLWUj-Ra/exec

4. RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta el diseño final del SFV conectado a IoT, todas las gráficas obtenidas del sensado del día 20, 25 y 27 de mayo del 2022, gráficas del simulador PSIM teniendo las entradas reales de irradiancia y temperatura del panel de cada día, la creación de las funciones de transferencia de los datos obtenidos del día sensado y la comparación entre lo real, lo simulado y matemáticamente creados por las funciones de transferencia.

4.1 Sistema físico de monitorización de un sistema fotovoltaico

En la figura 51, se muestra el sistema general de monitoreo de un sistema fotovoltaico, en donde se puede observar la conexión entre los sensores de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental, irradiancia, temperatura del panel, corriente y carga al panel, así como a las placas de programación ESP32 con Arduino UNO y la ESP32 CAM que posibilitan la adquisición de datos e imagen en la nube utilizando IoT.



Figura 51 Sistema físico de monitorización. Fuente propia.

A continuación, se describen los recuadros de diferentes colores en la figura 52 seccionando el sistema físico de la monitorización para su representación completa dentro del capítulo.

- Negro: Paneles solares.
- Azul rey: Sistema de la ESP32 CAM.
- Naranja: Sensor de temperatura.
- Verde: Medidor de irradiancia y temperatura del panel.
- Morado: Multímetro.
- Amarillo: Carga.
- Verde pistache: Sensor efecto Hall.
- Rosa: Sensor de voltaje.
- Rojo: Divisor de voltaje.
- Azul: Maestro-Esclavo.

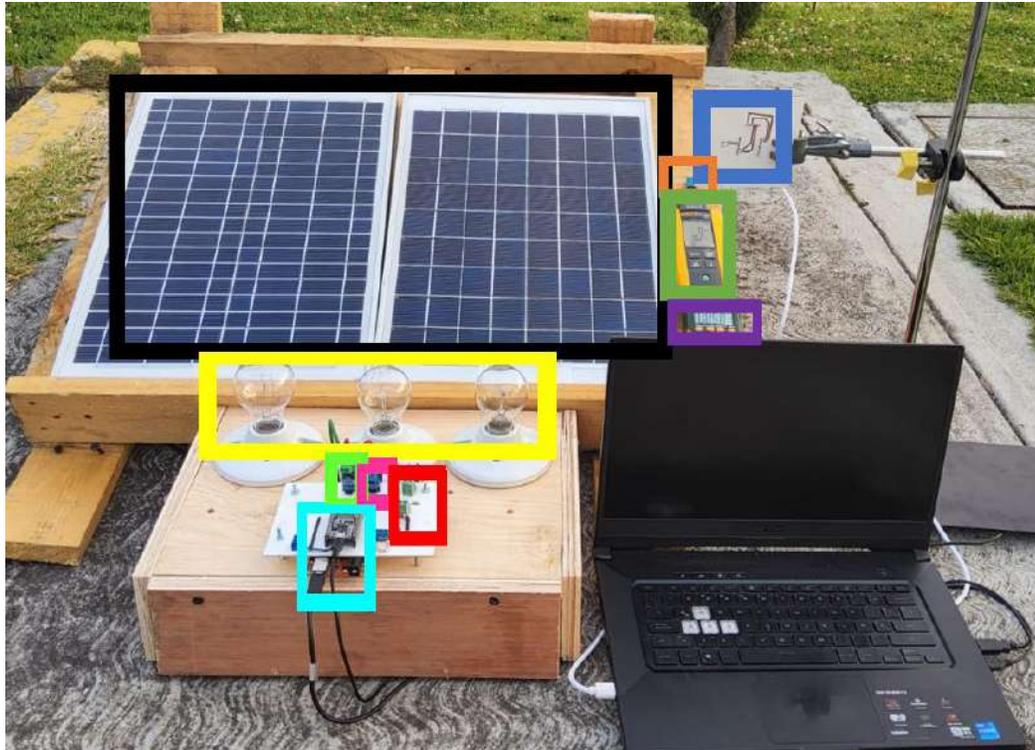


Figura 52 Sistema físico de monitorización seccionado. Fuente propia.

4.1.1 Sistema de recuperación de energía

5. En la figura 53 se observa la conexión de dos paneles DS-A18-20 conectados en serie teniendo un ángulo de inclinación de $17^{\circ}4'8''$ estando en la estación de primavera. En la página Energy-VM se muestra la fórmula para obtener el ángulo de inclinación de los paneles solares en cada estación del año y son las siguientes: [39].
 - **Invierno:** Grados de latitud x 0,9 y a eso le sumamos 29 grados para la cifra final.
 - **Verano:** Grados de latitud x 0,9 y a eso le restamos 23,5 grados para la cifra final.
 - **Primavera y Otoño:** Grados de latitud menos 2,5 grados.

Los grados de latitud de Ixtlahuaca de Rayón es de $19^{\circ} 34' 8''$, obtenido este dato los resultados para cada estación son las siguientes:

- **Invierno:** $(19^{\circ} 34' 8'' \times 0.9) + 29^{\circ} = 46^{\circ}36'43.2''$
- **Verano:** $(19^{\circ} 34' 8'' \times 0,9) - 23.5^{\circ} = -5.88^{\circ}$
- **Primavera y Otoño:** $19^{\circ} 34' 8'' - 2.5^{\circ} = 17^{\circ}4'8''$



Figura 53 Paneles conectados en serie. Fuente propia.

5.1.1 Sistema físico para la obtención de voltaje

Se utilizó el sensor FZ0430 el cual fue conectado a la salida de los paneles solares, asistiéndonos de un transductor de señales por medio de un divisor de voltaje compuesto por dos resistencias de 1K Ohm como se muestra en la figura 54, las cuales captan el voltaje arrojado por los paneles solares y atenúan la tensión de salida para ser acopladas al sistema digital de adquisición de señales en un rango de 0 a 25 volts dependiendo de la irradiancia y sombreado parcial que se tenga en el día, considerando el voltaje máximo de operación del sensor.



Figura 54 Sistema físico para la obtención de voltaje. Fuente propia.

4.1.3 Sistema físico para la obtención de corriente

En la figura 55 se observa el sistema físico de adquisición de corriente conectado a una carga de 3 focos de 100W los cuales consumen en promedio 500 mA en el estado de conducción, teniendo así una mayor demanda de corriente para poder forzar el requerimiento máximo del panel bajo condiciones de esfuerzo, así mismo se conectó al sistema de adquisición de señales el sensor ACS712 y un multímetro en modo corriente abriendo el circuito para medir intensidad de forma síncrona.



Figura 55 Sistema de adquisición de corriente. Fuente propia.

4.1.4 Sistema físico para la obtención de temperatura ambiental

En la figura 56 se muestra la colocación del sensor de temperatura ambiental DTH11, que nos dará un parámetro de operación en el ambiente en donde están operando los paneles y condiciones reales del sistema en el instante en que se adquieren las señales, colocado al sensor en un mismo ángulo de inclinación de los paneles solares.



Figura 56 Sistema de adquisición de temperatura ambiental. Fuente propia.

4.1.4 Sistema físico para la obtención de irradiancia, temperatura del panel y corriente

En la figura 57 se observa la colocación de los dispositivos de medición de irradiancia y temperatura del panel obtenidas con el dispositivo Fluke IRR1-SOL, el cual nos mostrará datos con respecto a las condiciones climáticas que se presente en el sensado, también se requiere está misma señal con un multímetro para la medición de corriente, dichos dispositivos mencionados operan en la adquisición de valores al mismo ángulo de inclinación de los paneles solares en condiciones reales.



Figura 57 Sistema de adquisición de irradiancia, temperatura del panel y corriente. Fuente propia.

En la figura 58 se observa el módulo de la ESP32 CAM para la adquisición de imágenes en tiempo real colocado en una posición que permita tener el mejor rango de visibilidad para los dispositivos Fluke IRR1-SOL y multímetro, los datos que muestren serán capturados por medio de fotografías en tiempo real, éstas se subirán a la nube en la plataforma de Google Drive ya que estos dispositivos no pueden enviar datos a la nube directamente por analógicos.

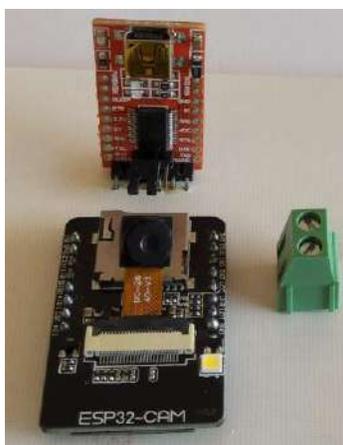


Figura 58 ESP32 CAM. Fuente propia.

4.2 Pruebas de funcionalidad

4.2.1 CASO 1

Se realizó un sensado el día 27 de mayo del 2022 desde las 07:51 hasta las 20:00 horas; tiempo en que se presentó un clima con una temperatura máxima de 35.2°C y una mínima de 13.4°C; asimismo, se registró una irradiancia máxima de 994 W/m^2 teniendo un clima apto para el sensado del SFV; cabe destacar que en la mayoría del día se presentaron muchas ráfagas de viento teniendo una menor irradiancia por esta causa.

Se realizó el sensado cada minuto subiendo los datos de voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia; que son subidos a la nube utilizando la plataforma de ThingSpeak como se muestra en la figura 59.

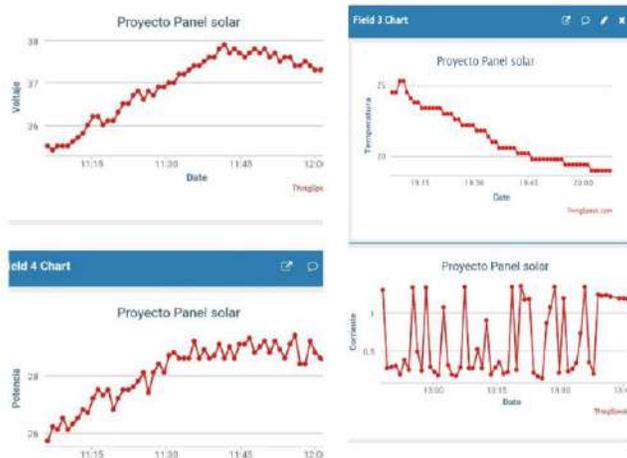


Figura 59 Visualización de los datos subidos a ThingSpeak. Fuente propia.

Para el sensado de irradiancia y temperatura ambiental y corriente, estos valores fueron tomadas por la ESP32 CAM y subidas por el mismo a Google Drive como se muestra en la figura 60.



Figura 60 Captura de foto por la ESP32 CAM. Fuente propia.

4.2.1.1 Vaciado de datos en Excel

Al final del día se hace un vaciado de estos datos medidos y recopilados por las diferentes herramientas y enviados a la nube correspondiente. A continuación, se muestran las gráficas en el software Microsoft Excel de los valores de irradiancia, temperatura ambiental, corriente, voltaje, efecto Hall, potencia y temperatura ambiental del día 27 de mayo del 2022:

4.2.1.1.1 Irradiancia sensada, caso 1.

La irradiancia en este día se presentó de una manera continúa teniendo muy pocas alteraciones de la señal presentándose al inicio del día provocadas por la presencia de nubes, posteriormente en la gráfica se observa un cielo despejado dando así una irradiancia mayor de 994 W/m^2 y así formar una campana de Gauss mostrada en la gráfica 60 correspondiente a una irradiancia típica de un día soleado en la zona norte del Estado de México.

4.2.1.1.2 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensada, caso 1.

Se continúa con el muestreo de registros de las temperaturas del panel y temperatura ambiental adquiridas a lo largo del día del caso 1. En la gráfica 1, la gráfica de color azul corresponde a la temperatura del panel medido por el dispositivo Fluke IRR1-SOL y la gráfica color rojo pertenece a la temperatura ambiental medida por el sensor DTH11, las señales muestran los diferentes valores arrojados por los dispositivos de medición, con una diferencia al inicio del día debido a la presencia de nubes parciales que producen una discrepancia entre las gráficas provocando variaciones de señales en las gráficas, posteriormente de ese lapso sin nubosidad las gráficas se asemejan en las señales medidas durante el resto del día.

4.2.1.1.3 Efecto Hall y corriente sensada, caso 1.

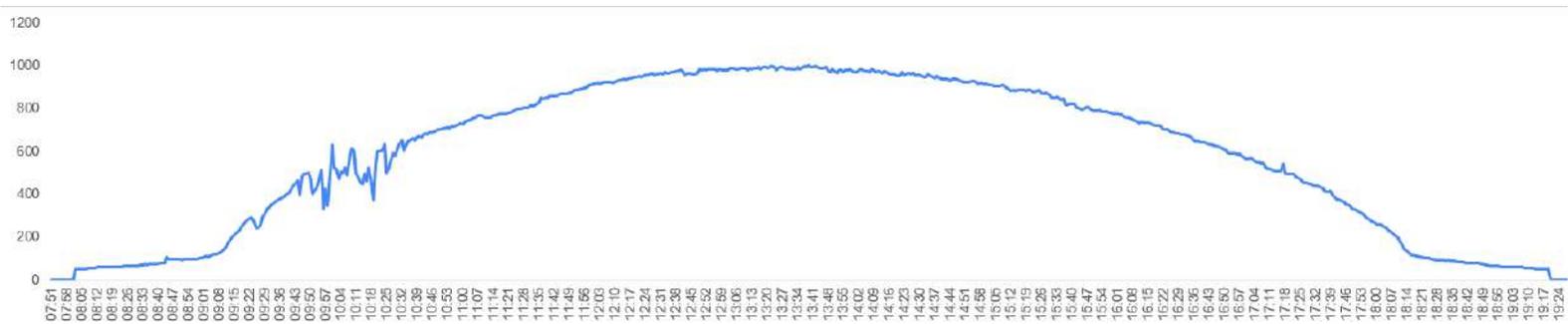
Enseguida, se muestran los registros de las corrientes de efecto Hall y corriente del multímetro adquiridas a lo largo del día del caso 1. En la gráfica 2, la gráfica de color azul corresponde a la corriente del multímetro y la gráfica de color rojo pertenece a la corriente del efecto Hall medida por el sensor ACS712, las señales muestran un comportamiento de valores muy semejantes por los dispositivos de medición, tienen una discrepancia entre las gráficas provocando variaciones en las señales al inicio del día debido a la presencia de nubes parciales, después de ese lapso sin nubosidad las gráficas se asemejan llegando a un punto de igualdad de 1.07A a las 11:49 horas del día, posteriormente en las señales se observa que el sensor de efecto Hall empieza a tomar valores menores que al del multímetro llegando así a un valor de 0.2A que se mantiene constante por un tiempo mientras que el valor del multímetro tenía un valor de 0.57A, dado ese lapso de que el efecto Hall se entabló en 0.2A los dos dispositivos llegan a 0A al mismo tiempo.

4.2.1.1.4 Voltaje sensada, caso 1.

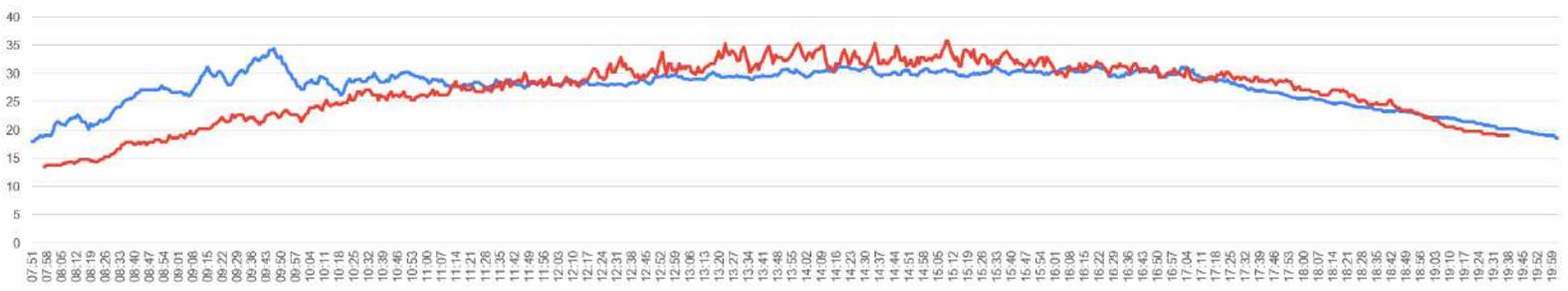
En la gráfica 3 se muestra el registro de voltaje dada por el sensor FZ0430, en la gráfica se aprecia una clara forma de la campana de Gauss haciendo una representación gráfica de la distribución normal de un conjunto de datos, estos datos de voltaje se dividen en tres, bajos, medios y altos simétricos de derecha a izquierda formando así una campana de Gauss ya que hace la forma simétrica de está. El valor más alto de voltaje fue de 31.8V provocado por una irradiancia de 994 W/m^2 .

4.2.1.1.5 Potencia sensada, caso 1.

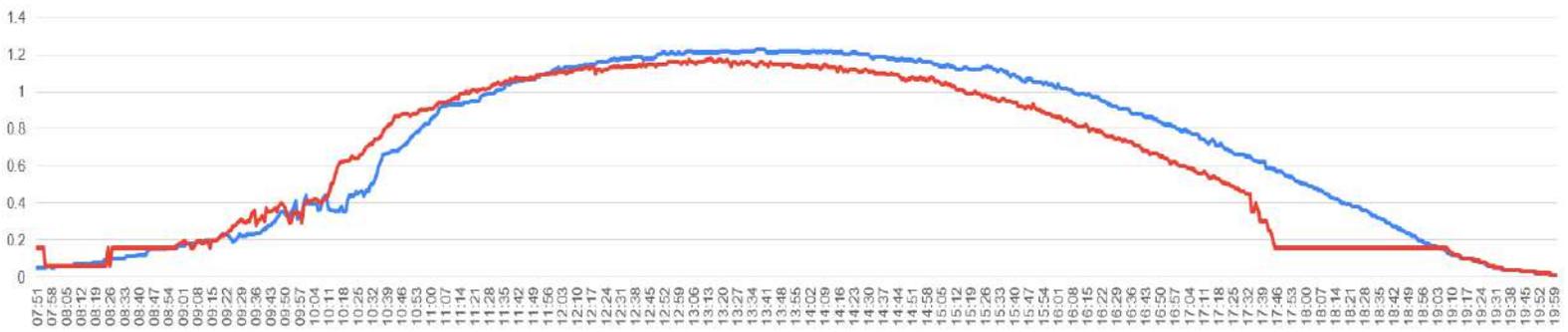
La potencia mostrada en la gráfica 4, es producto de efecto Hall proporcionado por el sensor ACS712 y voltaje dado por el sensor de FZ0430 teniendo con esto una potencia máxima de 37.20W a lo largo del día haciendo una simetría a la campana de Gauss debido al producto de los valores de voltaje y corriente arrojados por la plataforma ThingSpeak.



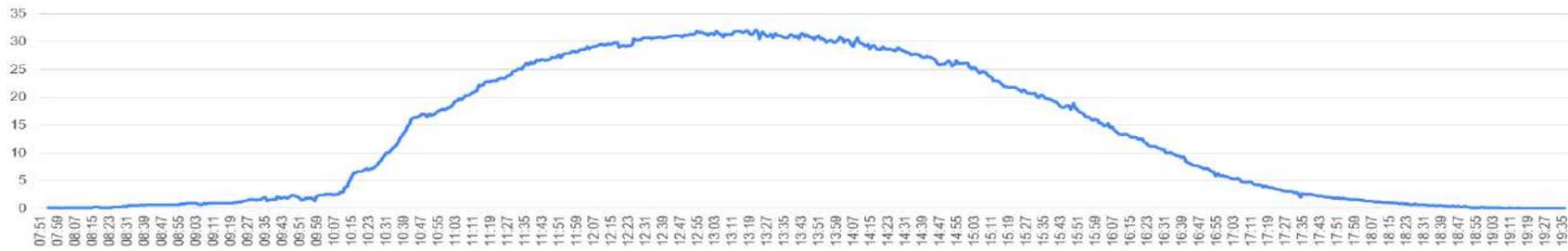
Gráfica 1 Irradiancia sensada, caso 1. Fuente propia.



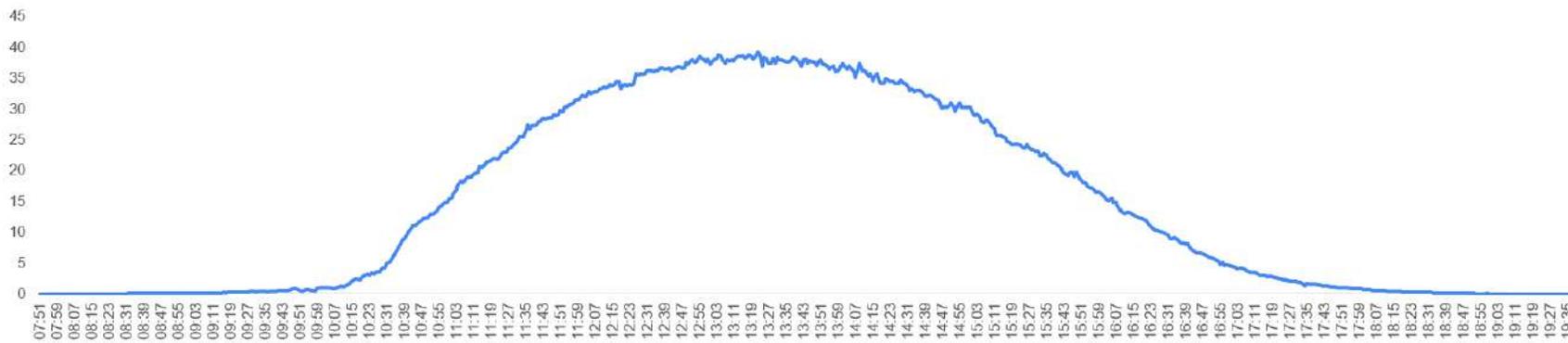
Gráfica 2 Temperatura del panel y ambiental sensada, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 3 Corriente y efecto Hall sensada, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 4 Voltaje sentido, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 5 Potencia sentido, caso 1. Fuente propia.

4.2.1.2 Simulador del SFV en PSIM 9.1.4

A continuación, en la figura 61 se muestra la simulación en el software de PSIM haciendo una representación a un SFV bajo condiciones reales ingresados por archivos TBL que es un archivo de texto delimitado a los Lookup Table, uno para irradiancia y otro para la temperatura del panel, las cuales representarán las condiciones del día del caso 1 obtenidos por el Fluke IRR1-SOL, después se conectan cada uno a las entradas de los paneles conectados en serie, dada la salida de los paneles se conecta del lado positivo el medidor de corriente haciendo simulación al multímetro, enseguida se conecta el sensor de efecto Hall haciendo pasar la carga de los focos en una resistencia de 26.09 Ohms para así poder obtener el valor de voltaje y corrientes correspondientes y hacer el producto de estos para obtener la potencia.

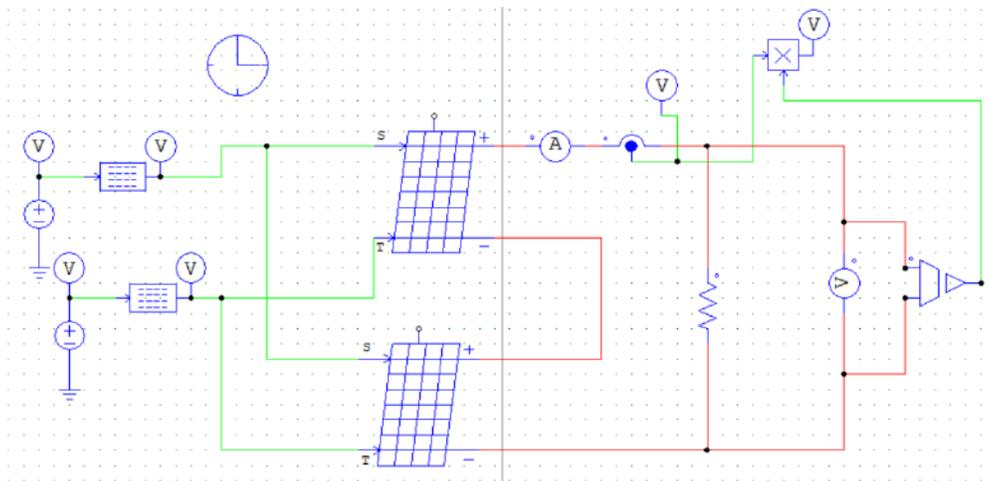


Figura 61 Simulación en PSIM de un SFV. Fuente propia.

En la figura 62 se muestran los valores ingresados a cada uno de los paneles solares sacados de las hojas de datos del panel DS-A18-20.

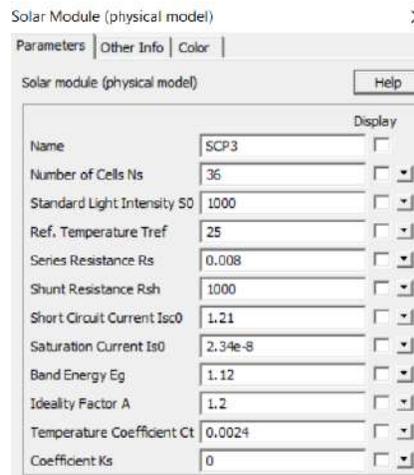


Figura 62 Datos ingresados a la simulación del panel. Fuente propia.

También existe otra forma que el mismo simulador de PSIM proporciona para obtener el valor de R_s , R_{sh} , E_g y K_s ; en la figura 63 en el recuadro superior se colocan los valores que se tienen en la hoja de datos o proporcionados de igual manera en la datasheet del mismo panel; proporcionados estos datos en el primer recuadro se pasa al tercero y se selecciona la opción de Calculate Parameters y así el mismo simulador arroja los datos R_s , R_{sh} , E_g y K_s .

Solar Module (physical model)

Manufacturer Datasheet	
Number of Cells N_s :	32
Maximum Power P_{max} :	50 (W)
Voltage at P_{max} :	17.1 (V)
Current at P_{max} :	3.5 (A)
Open-Circuit Voltage V_{oc} :	21.1 (V)
Short-Circuit Current I_{sc} :	3.8 (A)
Temperature Coeff. of V_{oc} :	-0.38 (%/oC or oK)
Temperature Coeff. of I_{sc} :	0.065 (%/oC or oK)
Standard Test Conditions:	
Light Intensity S_0 :	1000 W/(m ² m)
Temperature T_{ref} :	25 (oC)
dv/di (slope) at V_{oc} : (if available)	-0.68 (V/A)

Model Parameters (calculated)	
Series Resistance R_s :	0.008 (Ohm)
Short Circuit Current I_{sc0} :	3.8 (A)
Saturation Current I_{s0} :	2.16e-8 (A)
Temperature Coefficient C_t :	0.0024 (A/K)

Model Parameters (defined)	
Band Energy E_g :	1.12 (eV)
Ideality Factor A :	1.2
Shunt Resistance R_{sh} :	1000 (Ohm)
Coefficient K_s :	0

Operating Conditions	
Light Intensity S :	1000 W/(m ² m)
Ambient Temperature T_a :	25 (oC)

Figura 63 Simulador de parámetros. Fuente propia.

Para la simulación en el software de PSIM habiendo ya obtenido los valores del panel se procede a obtener las gráficas de irradiancia, temperatura del panel, corriente, voltaje, efecto Hall y potencia con respecto al tiempo, dadas por el algoritmo del propuesto por el propio simulador.

Las gráficas en PSIM, reflejan el comportamiento ideal de un panel solar, en donde se muestra en su eje x un dominio en el tiempo de 0 a 0.8s, esto debido a que en 0.75 segundos, PSIM hace la simulación con los datos de entrada de irradiancia y temperatura propuestos por el usuario y los transforma en datos corridos proporcionalmente con respecto al tiempo en un periodo de 1 segundo para obtener las gráficas simuladas deseadas de los datos obtenidos en la caracterización de un día en Ixtlahuaca, para así posteriormente hacer la comparativa entre los datos reales sensados con el sistema de monitoreo, los datos arrojados por el simulador y las funciones que se proponen en este trabajo en Matlab para distinguir y comparar las diferentes plataformas a trabajar.

4.2.1.2.1 Irradiancia simulada PSIM, caso 1

En la gráfica 6 se muestra la gráfica de la irradiancia obtenida de la simulación en el software de PSIM, en el cual se observa que los datos ingresados al módulo solar cuentan con la misma irradiancia que la sensada, ya que para obtener los datos de corriente, efecto Hall, voltaje y potencia simulados, es necesario ingresar como

parámetros de entrada la irradiancia y temperatura en función del tiempo que al entrar en los paneles, la simulación arroje los datos de comportamiento de los paneles solares y poder hacer la comparación entre lo real y lo simulado.

4.2.1.2.2 Temperatura simulada PSIM, caso 1

En la gráfica 7 se muestra la temperatura simulada en PSIM que son los mismos datos ingresados a la entrada del panel tomados de la temperatura del panel sensada el día 27 de mayo del 2022.

4.2.1.2.3 Efecto Hall y corriente simulada PSIM, caso 1

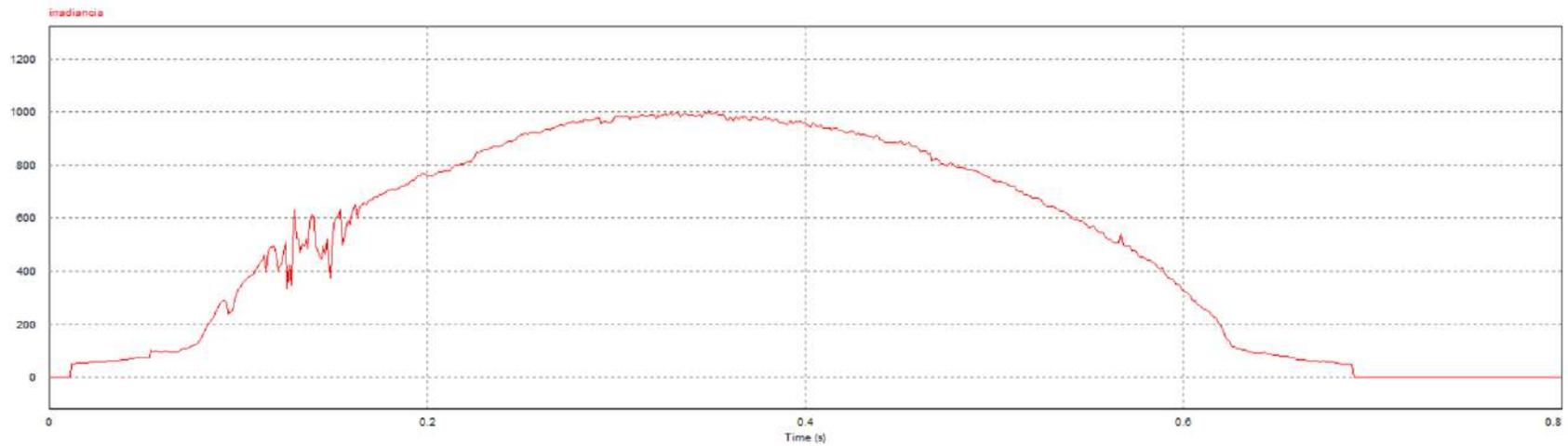
En la gráfica 8 se muestra la gráfica del resultado arrojado por el simulador de los valores de la corriente y efecto Hall simulados en PSIM en donde se aprecia que al inicio de la gráfica hay una variación de señal ya que está señal de corriente y efecto Hall dependen de la entrada de la irradiancia y temperatura del panel, en la simulación de igual forma se aprecia que la corriente máxima es de 1.2A con una entrada de irradiancia máxima sensada de 994 W/m^2 .

4.2.1.2.4 Voltaje simulada PSIM, caso 2

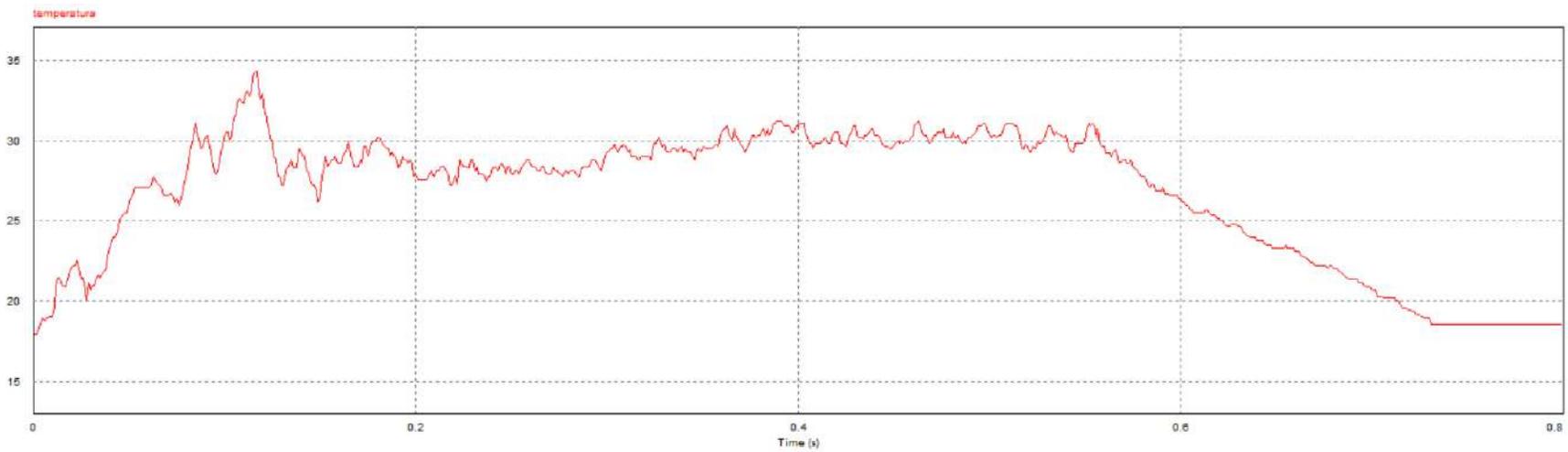
En la gráfica 9 se muestra la gráfica simulada en PSIM de Voltaje producida por la entrada de irradiancia y temperatura sensada del caso 1 proporcionan un voltaje máximo simulado en PSIM es de 31.89V, caso contrario en el voltaje sensado obtuvimos un voltaje que obtuvo 31.8V estos valores son dados por la entrada de irradiancia de 994 W/m^2 , con esto la simulación es muy parecida a lo real dando una simetría a la campana de Gauss y el mismo simulador hace la gráfica deseada a la campana de Gauss.

4.2.1.2.5 Potencia simulada PSIM, caso 1

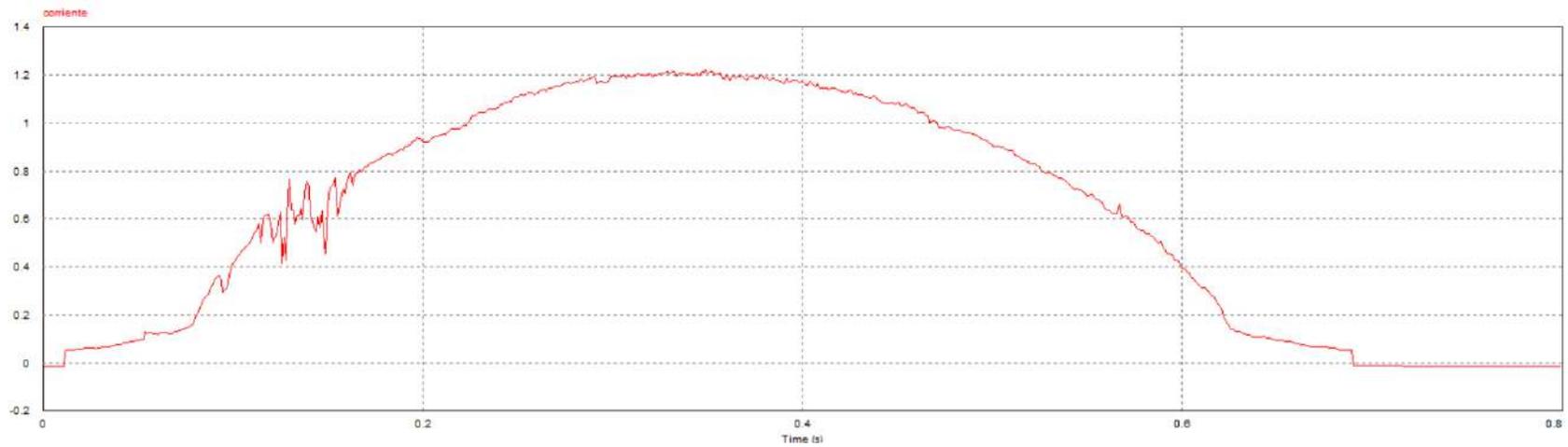
En la gráfica 10 se muestra la gráfica de potencia que es producto de los valores de los sensores de PSIM de efecto Hall y voltaje dando un valor máximo de 38.99W mientras que en la potencia sensada dada por un producto se produjo 39.16W en su punto más alto de la gráfica, dando así una relación entre lo simulado y lo real, para el caso 1, observando y resaltando que lo simulado concuerda solo ingresando las dos entradas reales como es la irradiancia y la temperatura.



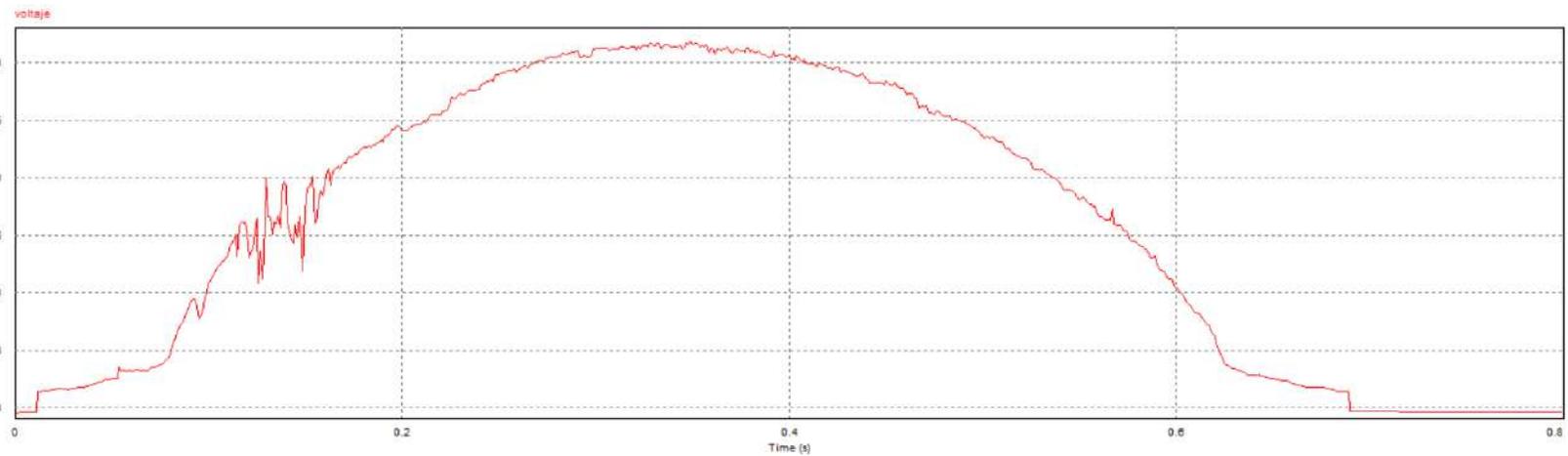
Gráfica 6 Irradiancia simulada en PSIM, Caso 1. Fuente propia.



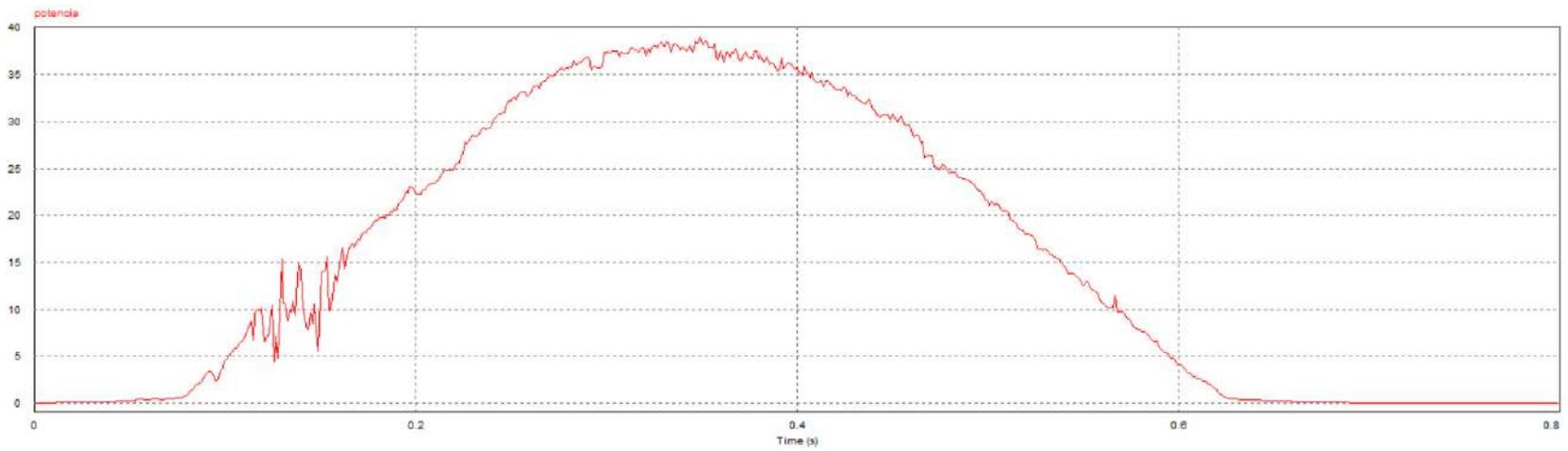
Gráfica 7 Temperatura del panel simulada en PSIM, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 8 Corriente y efecto Hall simulada en PSIM, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 9 Voltaje simulado en PSIM, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 10 Potencia simulada en PSIM, caso 1. Fuente propia.

4.2.1.3 Funciones obtenidas con Matlab, caso 1

Se usó el software de Matlab R2021a para obtener las funciones que describen el modelado matemático del sistema dinámico de los paneles solares utilizados, obteniendo una función de transferencia que interrelaciona entrada-salida de sistemas MISO con las cuales podamos representar el día sensado en la zona norte del Estado de México, y obtener la representación matemática de la irradiancia, corriente, voltaje, efecto Hall y potencia en función del tiempo.

Para crear estas funciones, primero se deben ingresar los datos de cada sensor físico en un formato procesable por el software de cada día sensado e identificarlo como una variable en el tiempo, para ello se usa el comando

```
NombreDeLaVariable=xlsread("NombreDelArchivo.xlsx","rangoinicial:rangoFinal");
```

Este comando se colocó para cada uno de las variables de tiempo, irradiancia, corriente, voltaje, efecto Hall y potencia, para enlazar los datos obtenidos con la plataforma de Matlab.

4.2.1.3.1 Identificación del panel solar DS-A18-20

Para la identificación del sistema del panel solar se utilizó la herramienta System Identification de Matlab, en donde se realizó un sensado previo de diferentes variables. El tiempo fue considerado como variable de entrada y la salida los valores sensados, los cuales se compararon con los resultados obtenidos en Excel y el software de PSIM, creando el modelo de las funciones de transferencia de cada valor sensado, como se mostrará en la figura 64.

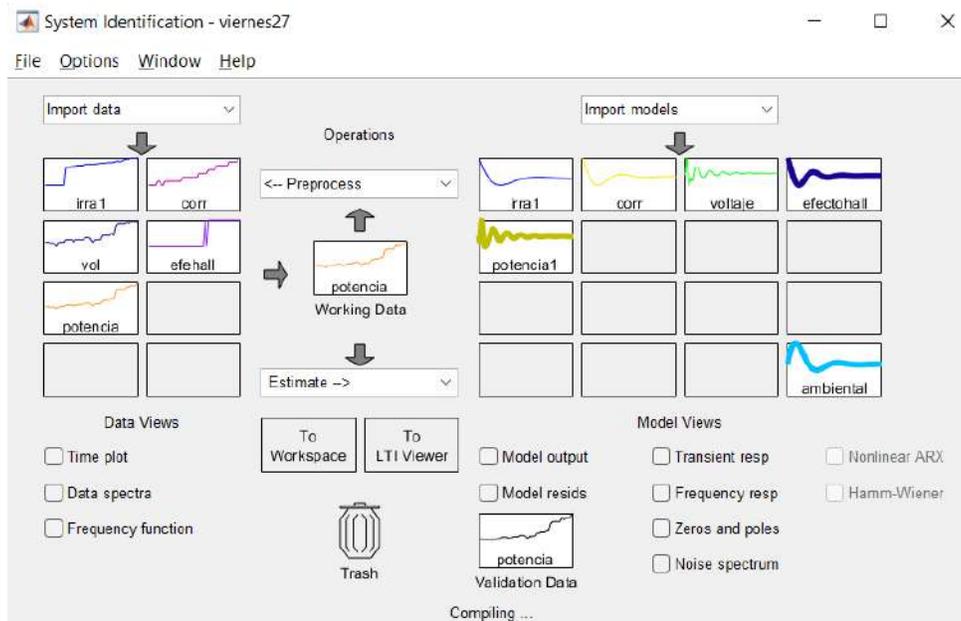


Figura 64 Funciones en Toolbox, caso 1. Fuente propia.

A continuación, en la tabla 6 se muestra las funciones de transferencias creadas en System Identification para cada variable de irradiancia, temperatura ambiental, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia.

Tabla 6 Funciones de transferencia, caso 1.

Variable	Función
Irradiancia.	$\frac{\text{irradiancia}}{\text{tiempo}} = \frac{0.08652s - 0.0001643}{s^2 + 0.008445s + 5.892e^{-05}}$
Corriente.	$\frac{\text{corriente}}{\text{tiempo}} = \frac{7.849e - 05 - 1.319s^{-07}}{s^2 + 0.005521s + 5.178e^{-05}}$
Voltaje.	$\frac{\text{voltaje}}{\text{tiempo}} = \frac{-4.206e^{-05}s^2 + 2.026e^{-06} - 1.426e^{-09}}{s^4 + 0.01011s^3 + 0.00111s^2 + 3.053e^{-06}s + 1.017e^{-07}}$
Efecto Hall.	$\frac{\text{efectoHall}}{\text{tiempo}} = \frac{8.462e^{-05}s - 1.043e^{-07}}{s^2 + 0.004747s + 7.585e^{-05}}$
Potencia.	$\frac{\text{potencia}}{\text{tiempo}} = \frac{-0.0001246s^2 + 2.883e^{-06}s - 2.327e^{-09}}{s^4 + 0.02037s^3 + 0.00114s^2 + 4.789e^{-06} + 1.191e^{-07}}$

4.2.1.3.2 Comparación de señales en Simulink, caso 1

En la figura 65 se evidencia el diagrama general del muestreo de las funciones de irradiancia, corriente, efecto Hall, voltaje y potencia, así también las entradas de Excel de los datos del simulador y de los datos sensados del 27 de mayo.

En la simulación de simulink las funciones creadas por medio de toolbox son alimentadas por medio de una señal de rampa para su completo funcionamiento. Las entradas de las gráficas extraídas de Excel se colocan en un From Workspace en donde se escribe el nombre de la variable a mostrar cargada anteriormente en la terminal de Matlab para posteriormente ser guardadas en el apartado de Workspace.

En el recuadro 1 se observa la comparativa entre las señales de irradiancia sensada y la función de la irradiancia obtenida de toolbox en donde la función de irradiancia fue colocada en un transfer function, que es una función con una eficiencia del 87.69% comparada con la señal de la irradiancia real, esta función de transferencia tiene 2 polos y un cero dando así una función con una eficiencia de exactitud comparada con la real. Las dos señales mencionadas son conectadas a un MUX que es un conector de múltiple entrada, una sola salida conectada a un Scope con el cual podemos visualizar la comparativa entre las señales.

En el segundo apartado corresponde a la comparativa de la corriente sensada con función de transferencia de la misma, corriente simulada y función de transferencia de efecto Hall. Las funciones de corriente y efecto Hall son colocadas en un transfer function, para la función de corriente se obtiene una eficiencia de 88.49% dada por dos polos y 1 cero donde el numerador es una ecuación de primer grado mientras que el denominador es de segundo grado posteriormente la función de efecto Hall es una función igual a la de corriente, pero con una eficiencia de 79.88%; los datos de la corriente real sensada y la corriente simulada en PSIM cargadas desde Excel colocan en un from Workspace para cada uno. Se hace la comparación entre estas 4 señales conectadas por medio de un MUX y de manera individual donde se hacen comparación con respecto a la corriente real.

En el tercer apartado está la comparación entre el efecto Hall con respecto a su función de transferencia, simulada y función de transferencia de la corriente, a diferencia con el apartado 2 de la corriente este apartado incluye la función del efecto Hall.

En el cuarto apartado se muestran la comparativa entre el voltaje sensado real con respecto a la función simulada del mismo en donde la función de voltaje tiene una eficiencia de 94.74% teniendo esta función 4 polos y 2 ceros, en donde el denominador de esta función es de segundo orden y el denominador de cuarto orden. Para la comparativa de estas señales de voltaje se hacen la comparación entre voltaje sensado con función de voltaje y voltaje sensado con voltaje simulado y al final la unión de estos 3 voltajes con un MUX.

En el quinto apartado se muestra las conexiones haciendo la comparación entre las potencias obtenidas con respecto a la potencia real dada por el producto de voltaje y efecto Hall sensados el día 27 de mayo. Las demás potencias es la función de la potencia real, potencia simulada, potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-corriente y por último la potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-efecto Hall. La función de potencia la obtenemos con 4 polos y 2 ceros teniendo una eficiencia de señal de 94.33% comparado con la función real.

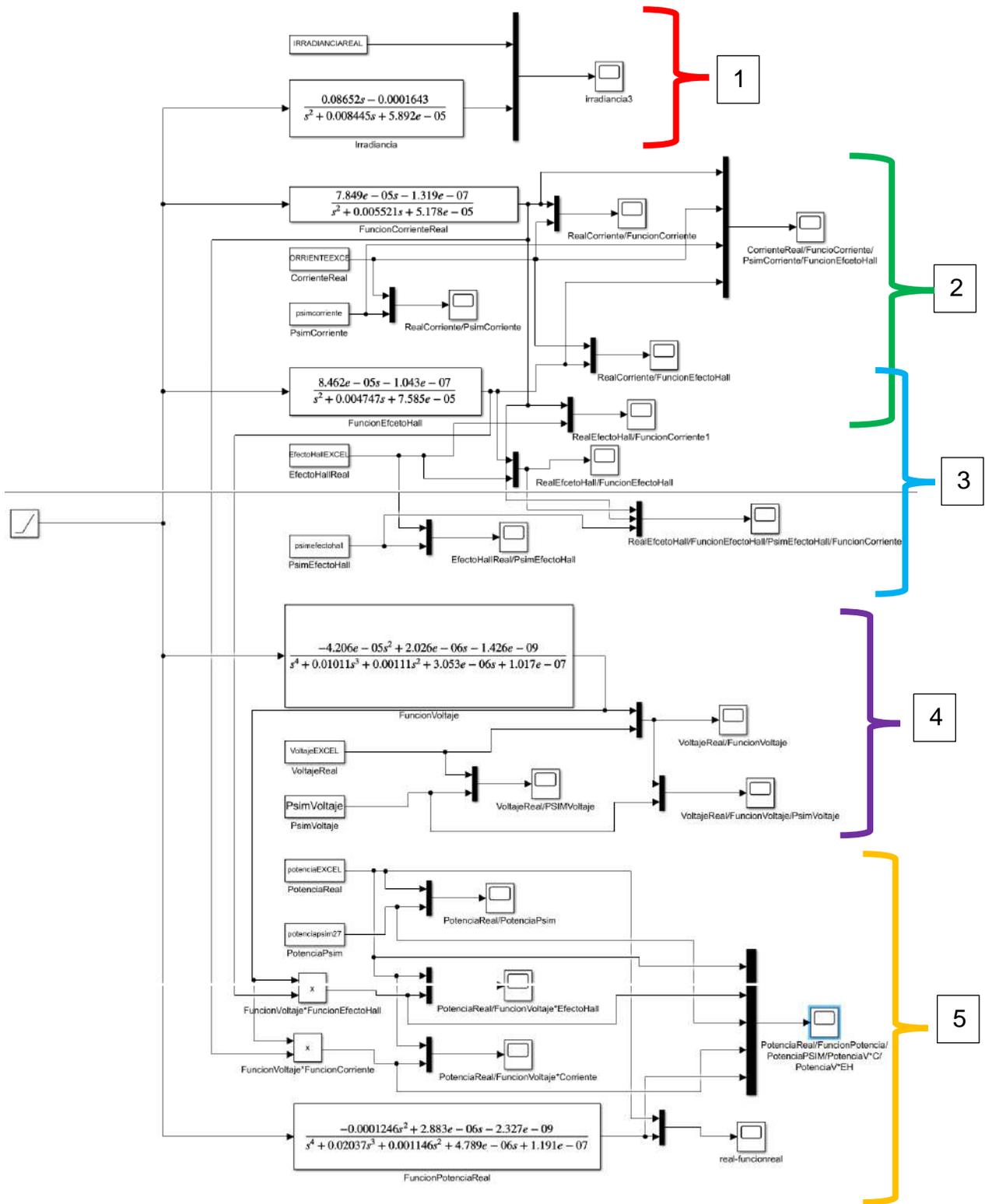
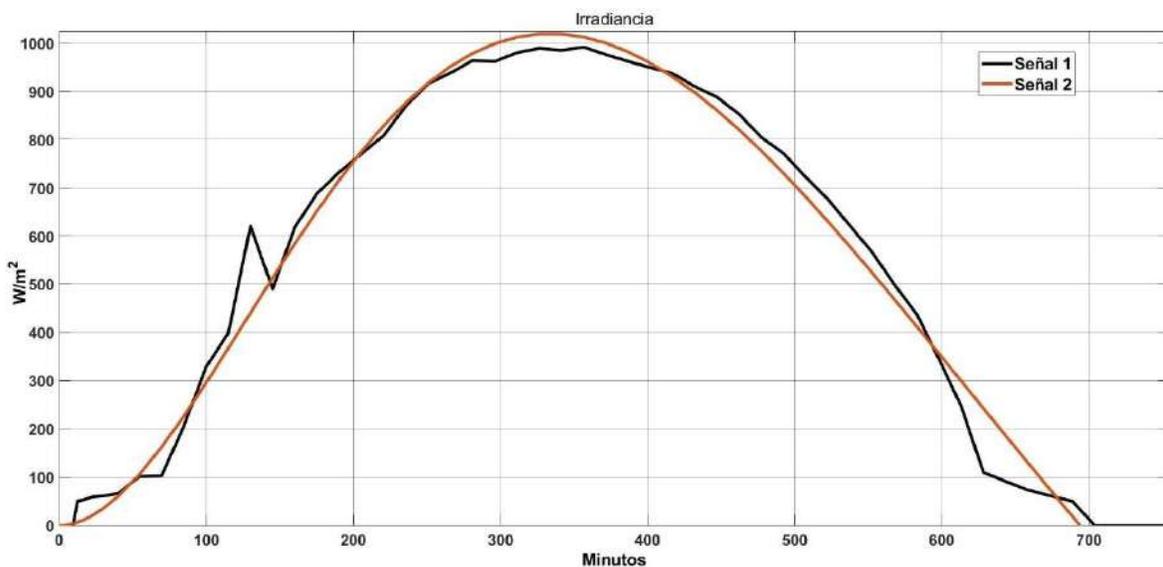


Figura 65 Diagrama general en Matlab. Fuente propia.

4.2.1.3.2.1 Resultados de comparativa de Irradiancia en Simulink, caso 1

En la gráfica 11 se muestra la gráfica comparativa entre la irradiancia sensada y la función de la irradiancia obtenida por Toolbox, la señal 1 corresponde a la irradiancia obtenida en el sensado del día 27 de mayo y la señal 2 corresponde a la función de la irradiancia sensada.

En la señal 2 se muestra una gráfica ideal a la campana de Gauss teniendo una irradiancia de 1025 W/m^2 , teniendo un incremento de 31 W/m^2 que estadísticamente corresponde a 3.12% mayor de irradiancia con respecto a la real sensada el día 27 de mayo del 2022.



Gráfica 11 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 1. Fuente propia.

4.2.1.3.2.2 Resultados de comparativa Corriente en Simulink, caso 1

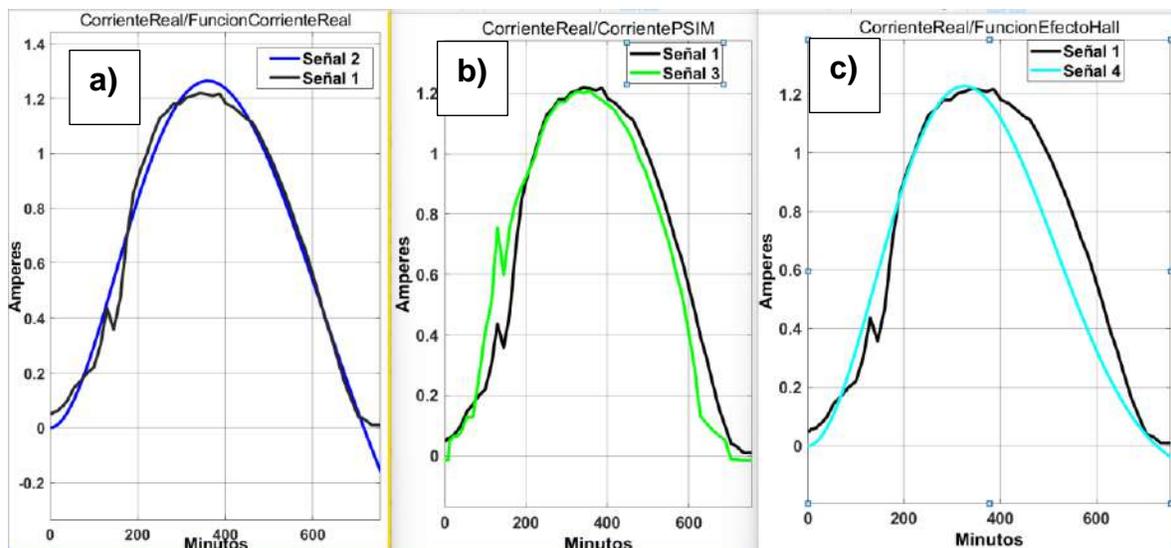
En la gráfica 12 se muestra la comparación entre 3 series de gráficas en el cual la señal 1 de las 3 gráficas corresponde a la corriente sensada, la señal 2 es la señal de la función de corriente sensada creada en Toolbox, la señal 3 corresponde a la señal de la corriente simulada en el software de PSIM y por último la señal 4 es la señal del efecto Hall convertida en función también realizada en Toolbox.

En la gráfica 12a, la señal de función de transferencia de corriente comparada con la señal de corriente real sensada del 27 de mayo es mayor con una corriente de 50mA que corresponde a 4.1% de diferencia en su punto máximo de éstas. Por otro lado, la señal 1 y la señal 2 son muy parecidas en los valores sin contemplar los

puntos máximos de cada corriente, por lo tanto, las funciones creadas nos pueden ayudar a hacer una caracterización de esta zona solo con tener las funciones ya que los valores arrojados por la función para la traficación se asemejan a lo real.

La gráfica 12b hacemos la comparativa entre las señales de la corriente sensada y la corriente simulada en PSIM, como mencionamos anteriormente la corriente sensada tiene 1.22A como máxima mientras que en la corriente simulada nos da un valor de 1.21A que es 10mA menor a la corriente sensada que es a 0.81% menor.

En la gráfica 12c se indican las señales de corriente sensada y función con respecto al efecto Hall sensado el 27 de mayo, tiene su valor máximo de corriente igual a la corriente sensada con la diferencia de que en la función en más corto tiempo los valores de la función efecto Hall empiezan a descender y dar valores menores a lo real; sin embargo, las señales 1 y 4 llegan al valor de 0A al mismo tiempo.



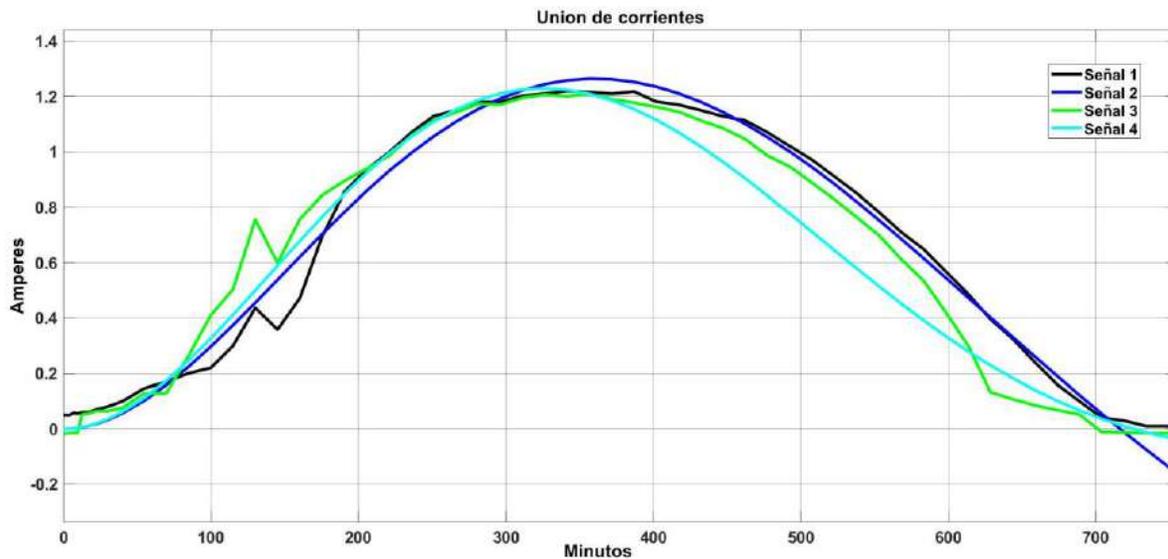
Gráfica 12 Comparación de corriente real con a) función de corriente, b) función efecto Hall y c) corriente simulada en PSIM, caso 1. Fuente propia.

En la gráfica 13 se marca la comparativa de las corrientes con respecto a la corriente sensada el día 27 de mayo en donde la señal 1 corresponde a la corriente sensada, la señal 2 es la función de la corriente sensada, la señal 3 es la corriente simulada en PSIM y la señal 4 pertenece a la función de efecto Hall.

En la comparativa de las señales con respecto a la corriente real sensada se evidencia que las señales 2 y 4 tienen un inicio lineal ya que pertenecen a funciones que aunque en lo sensado o simulado haya oscilaciones en la señal, las funciones de transferencia hacen que la respuesta salga limpia sin interrupciones de señal; en cambio, la señal 3 aunque sea simulada, tiende a obedecer los datos de irradiancia,

en este caso hay alteraciones en la señal como se muestra en la número 1 que es el modelo a seguir por ser la corriente real.

La señal 4 correspondiente a la función del efecto Hall tiende a descender en valores de corriente en menor tiempo ya que esta función tiene el 73.47% de igualdad a seguir con la señal 1 ya que esta señal de la función de efecto Hall debe asemejarse a la señal de efecto Hall en el cual se hablará más adelante, en seguida la señal de la corriente simulada empieza a mostrar valores menores a la señal a seguir, sin embargo la señal 2 es la más semejante a la señal 1 ya que tiene un porcentaje de semejanza del 88.41%.



Gráfica 13 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 1. Fuente propia.

4.2.1.3.2.3 Resultados de comparativa Efecto Hall en Simulink, caso 1

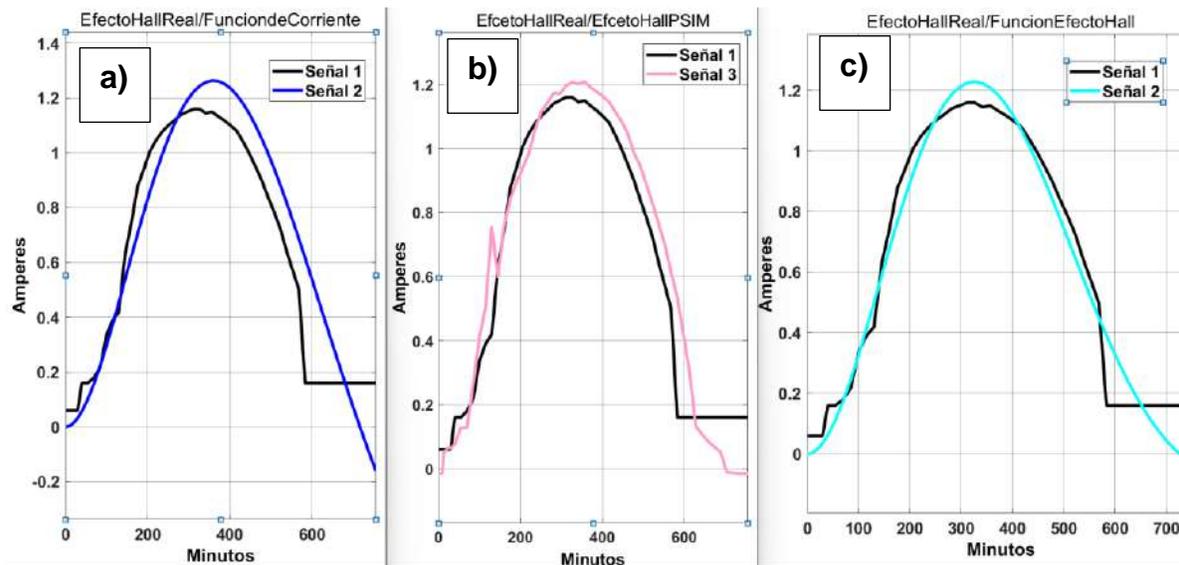
En la figura 80 se muestra la comparativa de corrientes de efecto Hall con la función de efecto Hall, efecto Hall simulado en PSIM y la función de corriente.

La señal 1 de cada gráfica que es el efecto Hall sensado el 27 de mayo se tuvo un corte de señal al final del día entablándose la señal en 0.16A por problemas de conexión a internet con el sensor de efecto Hall y la señal para la subida de datos.

En la gráfica 14a se hace la comparativa entre la señal 1 que es el efecto Hall sensado el 27 de mayo, con respecto a la señal 2 que corresponde a la función de la corriente, se aprecia que entre la señal 1 y 2, los valores de la función de efecto Hall son mucho mayores a los valores sensados ya que el efecto Hall tiene una corriente máxima de 1.17A, en tanto que en la función de corriente se obtiene una corriente mayor de 1.27A, con una diferencia de 60mA, igual a 8.6% mayor de corriente.

La gráfica 14b se denota la comparación entre la señal de efecto Hall que es la 1 y la señal 3 al efecto Hall simulado en PSIM que da una corriente máxima de 1.21A, es 40mA mayor a la sensada; sin embargo, las señales son muy parecidas como al inicio y al final de las señales tomando en cuenta la diferencia de corriente en su punto máximo que se diferencia de un 3.5% con relación a los datos reales sensados el 27 de mayo.

En la gráfica 14c se pone la comparativa entre la señal 1 que es el efecto Hall y la señal 4 la función de efecto Hall donde hay un porcentaje de diferencia de 5.3% ya que la función da una corriente mayor a 60mA con respecto a la sensada.



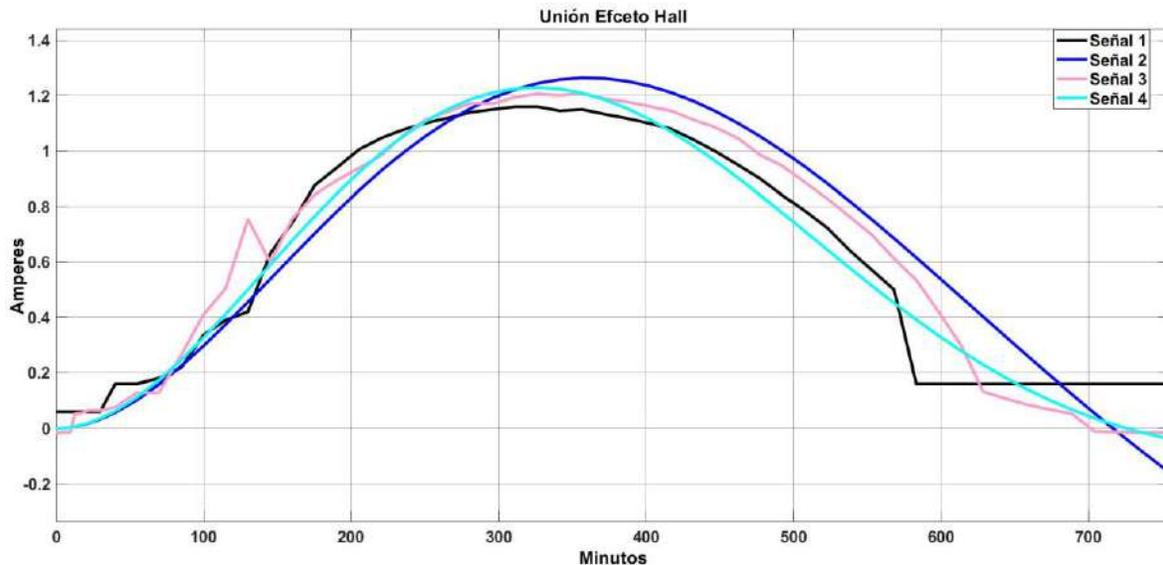
Gráfica 14 Comparación de efecto Hall con a) función de corriente, b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 1. Fuente propia.

En la gráfica 15 se muestra la gráfica haciendo la comparación de las corrientes con respecto al efecto Hall sensada el día 27 de mayo en donde la señal 1 corresponde al efecto Hall sensada, la señal 2 es la función de la corriente sensada, la señal 3 es la corriente simulada en PSIM y la señal 4 pertenece a la función de efecto Hall.

En la comparativa de las señales con respecto al efecto Hall real sensado se observa que las señales 2, 3 y 4 tienen un inicio muy semejante hacia con la real contemplando una pequeña distorsión de señal con la simulada ya que esta señal es dependiente del comportamiento de la irradiancia sensada ya que en ese momento hubo irregularidades de señal por condiciones climáticas.

La señal de función de corriente en este caso es mayormente diferente a la señal real, ya que esta función con respecto al efecto Hall tiene una semejanza de

61.72%, mientras que su función correspondiente al efecto Hall tiene una semejanza de señal de 79.48%.



Gráfica 15 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 1. Fuente propia.

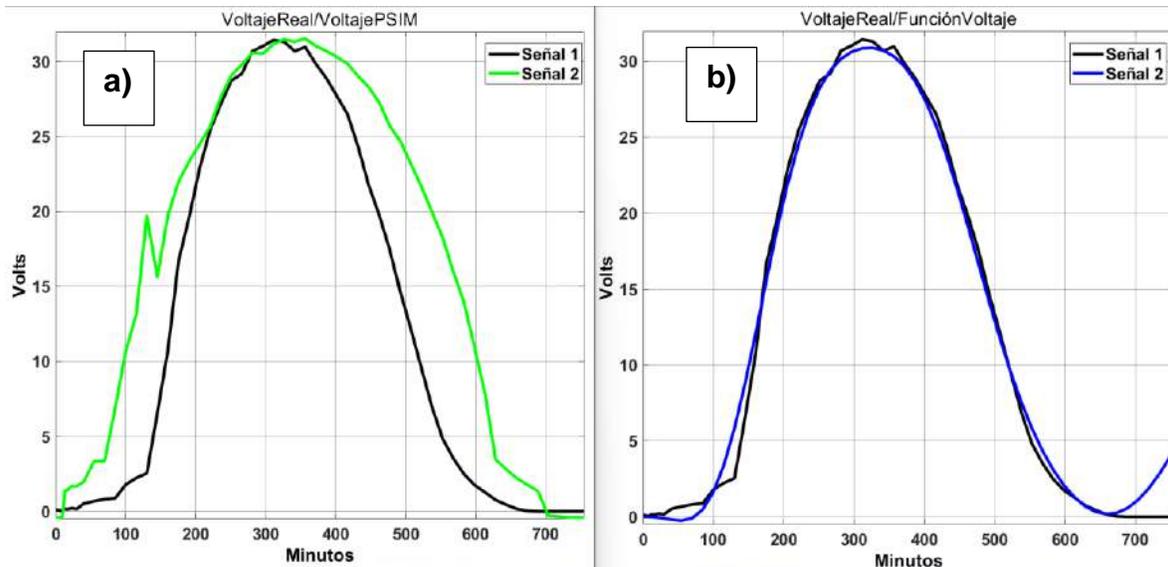
4.2.1.3.2.4 Resultados de comparativa Voltaje en Simulink, caso 1

En la gráfica 16 se muestra la comparativa entre los voltajes que son el voltaje sensado, voltaje simulado en PSIM y la función del voltaje sensado.

En las gráficas 16a y 16b la señal 1 corresponde a la señal de voltaje sensado mientras que la señal 2 es el voltaje simulado en PSIM, por otro lado, la señal 3 corresponde a la función del voltaje obtenido de ToolBox.

En la gráfica 16a se observa que la señal simulada del voltaje empieza a obtener valores más altos que la sensada en menor tiempo llegando a un punto máximo de voltaje de 31.8V igual que la sensada con la diferencia que el voltaje sensado en menor tiempo llega a su punto máximo sin embargo la señal sensada llega a 0V mientras que la simulada tiene un valor de 1.4V, después de unos minutos la simulada llega a 0V.

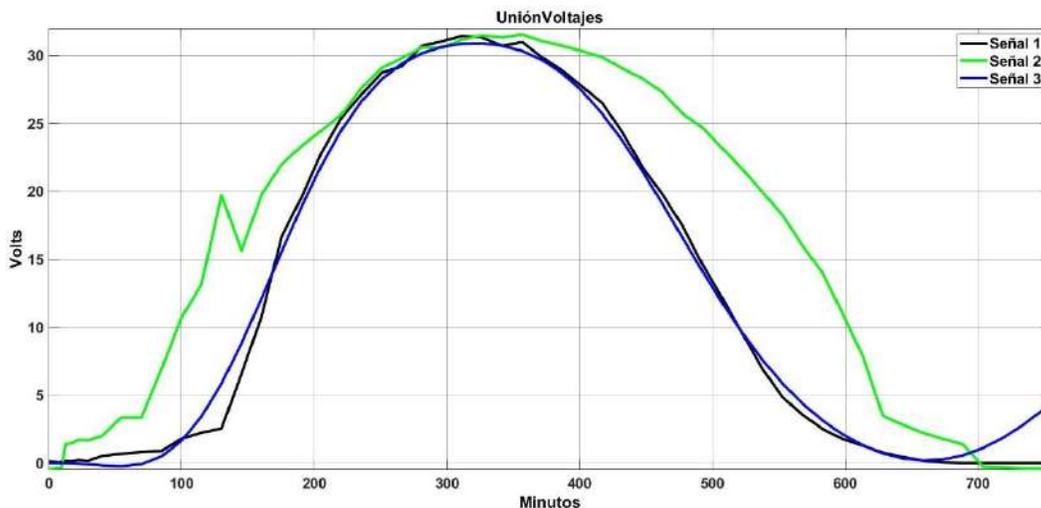
En la gráfica 16b se hace notar que las señales son muy idénticas con una pequeña diferencia de voltaje máximo de 31V teniendo un decremento de voltaje de 800mV, que es el 1.8% menor al voltaje sensado del 27 de mayo.



Gráfica 16 Comparativa de señales de voltaje sentido con a) voltaje simulado y b) función de voltaje, caso 1. Fuente propia.

En la gráfica 17 se muestra la gráfica haciendo la comparación de los voltajes con respecto al voltaje sentido el día 27 de mayo en donde la señal 1 corresponde al voltaje sentido, la señal 2 es el voltaje simulado en PSIM y la señal 3 pertenece a la función de voltaje.

Las señales 1 y 3 son de gran similitud, tienen una igualdad del 94.74% ya que es la señal real sentido con su propia función creada en ToolBox, con un inicio y un final de señal semejante; por otro lado, la señal 2 correspondiente a la simulada del mismo voltaje es de gran diferencia en la señal con respecto a la señal modelo a seguir, porque ésta depende en su totalidad de la irradiancia, pues para obtener estos valores en el simulador es indispensable ingresar los valores reales de irradiancia y temperatura del panel.



Gráfica 17 Unión de voltaje sentido, simulado y función, caso 1. Fuente propia.

4.2.1.3.2.3 Resultados de comparativa Potencia en Simulink, caso 1

En la gráfica 18 se muestra la comparativa entre las potencias, en donde la señal 1 de las 4 gráficas corresponde a la potencia simulada que fue producto del efecto Hall y voltaje sensados el día 27 de mayo, la señal 2 es la función de la potencia sensada, la señal 3 corresponde a la potencia simulada en PSIM, la señal 4 es la potencia por el producto de las funciones de voltaje y corriente y la señal 5 corresponde a la potencia del producto de la función de voltaje y efecto Hall.

En la gráfica 18a se observa que la señal de la función de potencia es muy parecida a la señal de potencia real sensada, su atributo es que sacando una función en ToolBox se obtienen una serie de valores tan parecido a los reales sensados.

En la gráfica 18b se presentan las señales, en donde la señal 3 que es la potencia simulada es muy diferente, ya que la señal en menor tiempo empieza a crecer progresivamente dando valores de potencia de 5W mientras que la sensada aún sigue en 0W, posteriormente cuando la potencia sensada tenía 5W la simulada tenía un valor de 17W. Las dos potencias en esta gráfica tienen un mismo valor de potencia máxima.

En la gráfica 18c las señales son muy idénticas teniendo la misma potencia máxima de 38W, aunque en la señal 1 se observa que los valores empiezan a descender en menor tiempo mientras que en la señal 4 dada por el producto de 2 funciones descende en mayor tiempo, aunque al final las dos señales terminan en 0W al mismo tiempo.

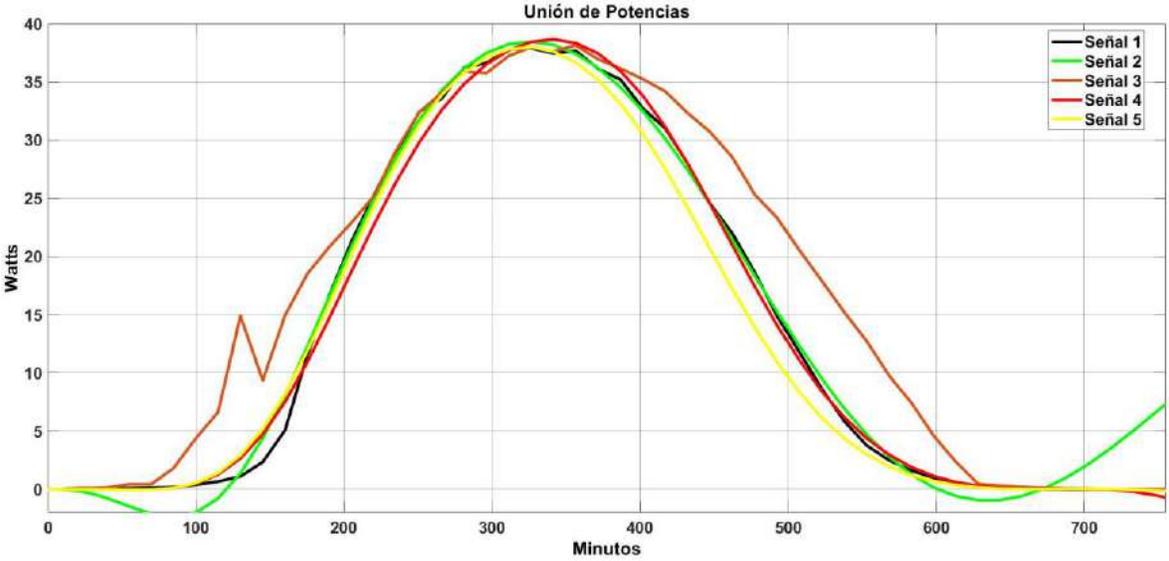
La gráfica 18d es en donde mejor se aprecia la similitud entre funciones de ToolBox y lo real ya que tienen casi los mismos valores tanto de inicio y final, en la potencia máxima, la señal 5 tiene 0.8mW mayor que la real dando con esto un 2.1% de incremento en potencia.

En la gráfica 19 se observa la unión de las potencias en donde la señal 1 corresponde a la potencia dada por el producto de voltaje y efecto Hall sensados el día 27 mayo, la señal 2 corresponde a la función de la potencia sensada, la señal 3 corresponde la potencia simulada en PSIM, la señal 4 corresponde a la potencia dada por el producto de las funciones de voltaje y efecto Hall y por último la potencia dada por el producto de las funciones de voltaje-corriente.

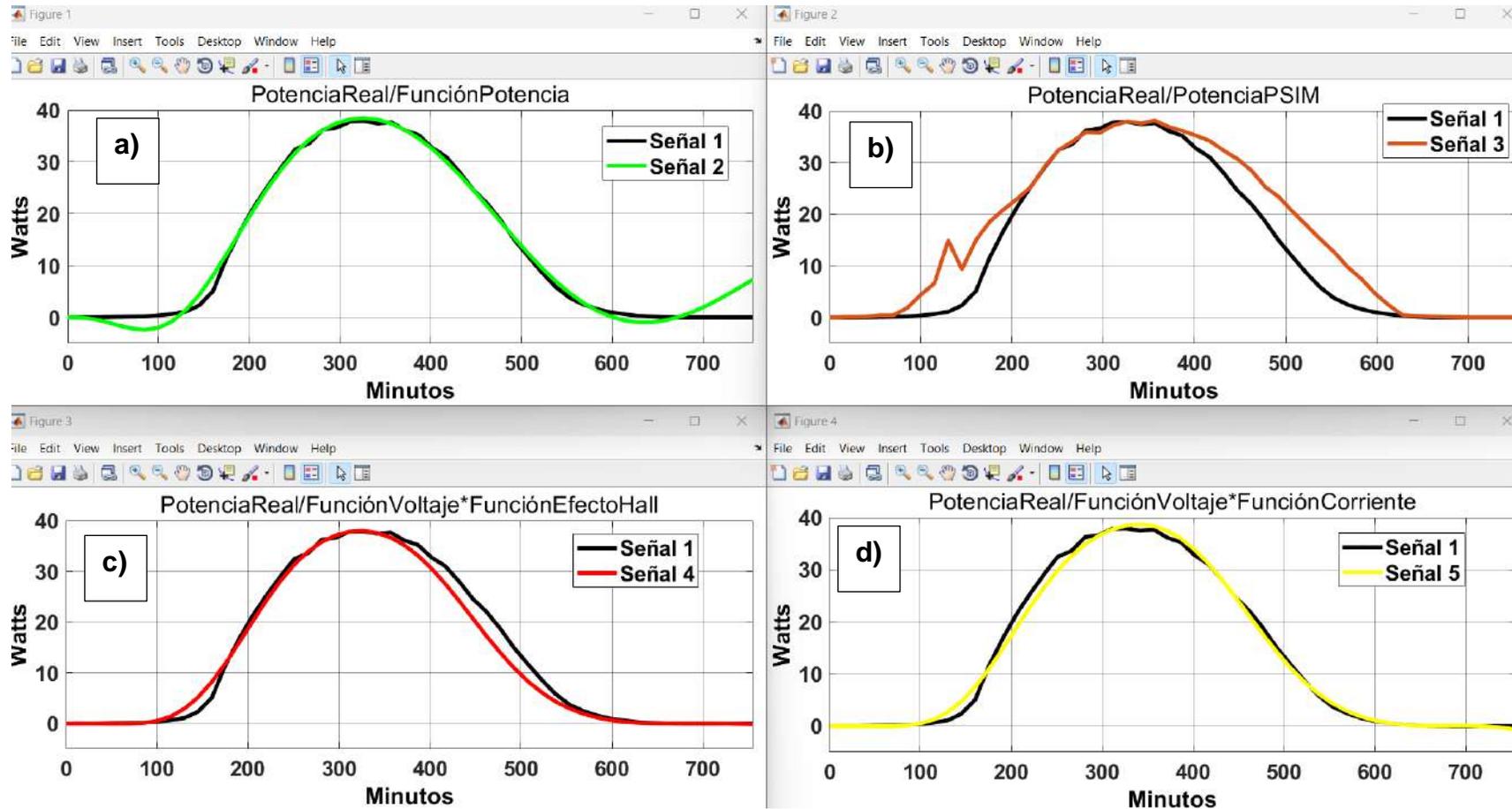
Las señales de potencia graficadas por funciones de transferencia tienen una gran similitud con respecto a la potencia real sensada, esto obedece al propósito de este trabajo pues busca que las funciones creadas sean muy semejantes a lo real.

Para la señal 4, es la primera en donde empieza a dar valores menores en menor tiempo mientras que la señal 1, 2 y 5 tienden a descender con valores iguales en el mismo tiempo; en cambio, la señal 3 correspondiente a la potencia simulada es muy

distinta ante las demás, inicia registrando valores más altos que las de más y descende en los valores en tiempo después de la señal real a seguir ya que esta señal simulada depende de su totalidad de la irradiancia ingresada desde un principio para el muestreo de su comportamiento. Al final de las señales las 5 mostradas llegan a 0W al mismo tiempo.



Gráfica 18 Unión de potencias, caso 1. Fuente propia.



Gráfica 19 Comparación de Potencia sensada con a) Función de potencia, b) Función de voltaje*Función de efecto Hall, c) Función de voltaje*Función de corriente, potencia simulada PSIM, caso 1. Fuente propia.

4.2.2 CASO 2

Se realizó un sensado el día 25 de mayo del 2022 con una hora inicial de las 07:30 horas y una hora final de las 20:00 horas, lapso en que se presentó un clima con mucha nubosidad alterando los valores sensado; en el día presentó una temperatura máxima de 41°C y una mínima de 9°C, también registró una irradiancia máxima de $1088 \text{ W}/\text{m}^2$ con un clima apto para el sensado del SFV.

4.2.2.1 Vaciado de datos en Excel

A continuación, se insertan las gráficas de los datos sensados de irradiancia, temperatura del panel, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia obtenidas de las plataformas de ThinkSpeak y Google Drive.

4.2.2.1.1 Irradiancia sensada, caso 2.

En la gráfica 20 se esquematiza la señal de los valores de irradiancia en donde el punto máximo fue de $1088 \text{ W}/\text{m}^2$; puede observarse que al inicio del día los valores van teniendo una ascendencia notable con el paso del tiempo, posteriormente se advierte que la gráfica empieza a tener variaciones de señal provocadas por la presencia de nubes que afectaron desde las 11:15 horas hasta el final del sensado, dando así discrepancias de señales arrojadas por el medidor de irradiancia Fluke IRR1-SOL.

4.2.2.1.2 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensada, caso 2

En la gráfica 21 se observan las señales entre la temperatura del panel obtenida por el Fluke IRR1-SOL y la temperatura ambiental dada por el sensor DHT11, se advierte que las temperaturas no se mantienen de manera ascendente o descendente linealmente, sino que las señales tienen muchas variaciones de señales, causadas por la presencia de muchas nubes que provocó el descenso en la temperatura y viceversa, subía la temperatura al no haber una nube. La temperatura máxima del panel fue de 41.1°C y la ambiental una máxima de 48.8°C

4.2.2.1.3 Corriente y efecto Hall sensado, caso 2

Las señales mostradas en la gráfica 22 son los registros obtenidos por el sensor ACS712 para los valores de efecto Hall, y un multímetro para los valores de la corriente. Las señales muestran un comportamiento similar ante la respuesta de la irradiancia ya que dependen en su totalidad de ella, para la corriente se obtuvo un máximo valor de 1.28A mientras que el efecto Hall alcanzó una corriente máxima de 1.15A teniendo una diferencia entre estas corrientes de 130mA. La señal de efecto Hall llega a una pérdida total de corriente a las 17:32 mientras que la corriente sensada por el multímetro a esa hora mostraba un valor de 0.26A.

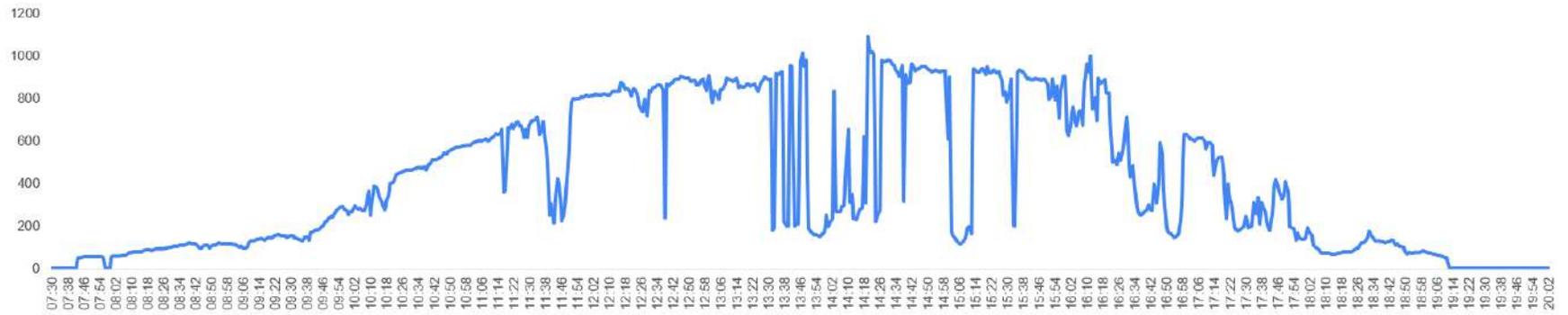
4.2.2.1.4 Voltaje sensado, caso 2

En la gráfica 23 se muestra el valor del voltaje durante todo el día recopilado por el sensor FZ0430, en donde la gráfica se comporta de una manera muy irregular por

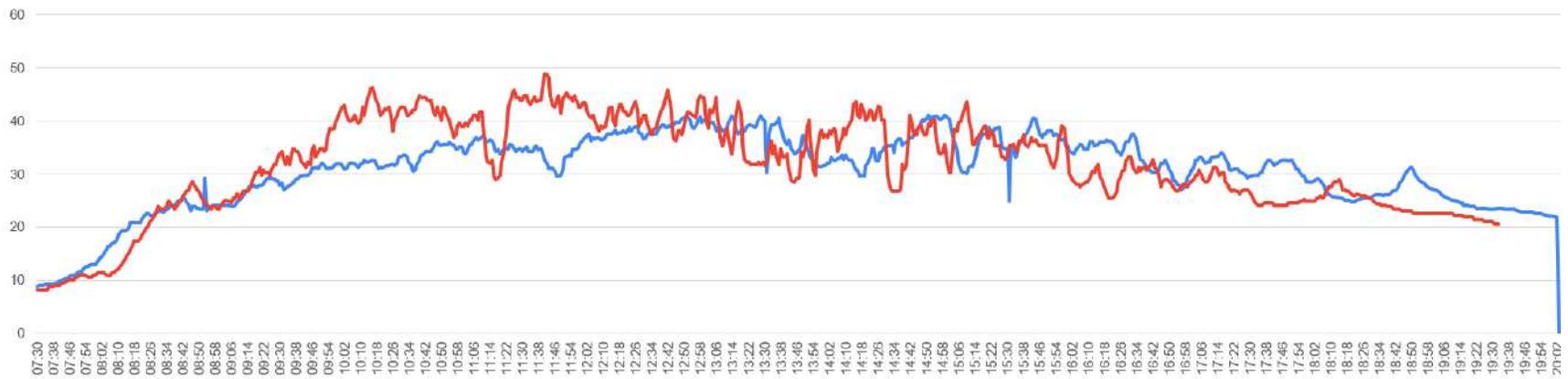
la aparición de nubes trayendo consigo está discrepancia de señal durante el día 25 de mayo teniendo un voltaje máximo de 36.2V alcanza por una irradiancia de 1088 W/m^2 que se presentó en ese día.

4.2.2.1.5 Potencia sensada, caso 2

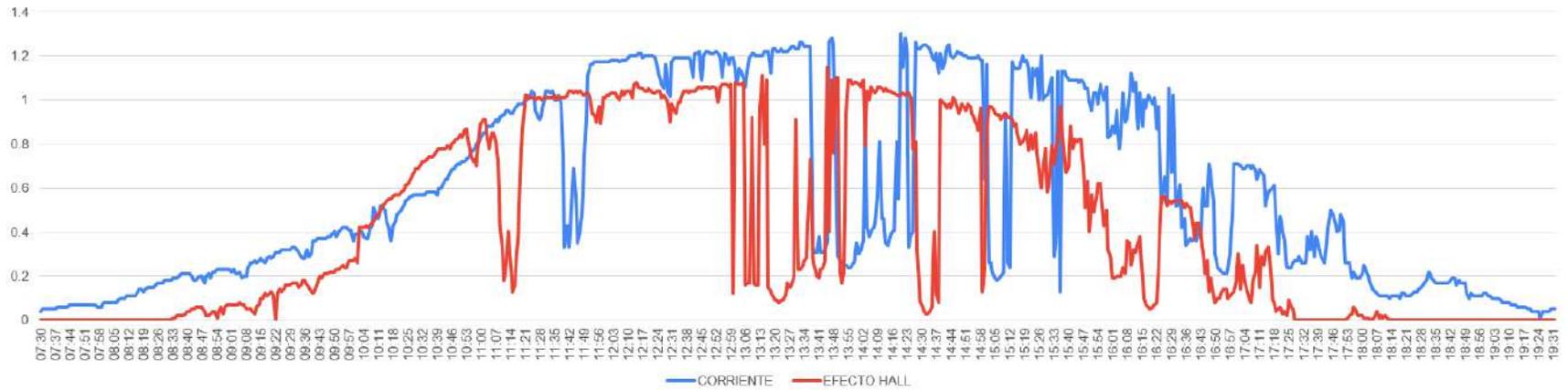
La potencia mostrada en la gráfica 24, es producto de los valores de los sensores FZ0430 y ACS712 que son los sensores de voltaje y efecto Hall teniendo una potencia máxima de estos de 47.14W dada por una irradiancia de 1088 W/m^2 la señal se presenta de una manera muy variable en los datos ya que depende de las condiciones del clima que presente el día del sensado.



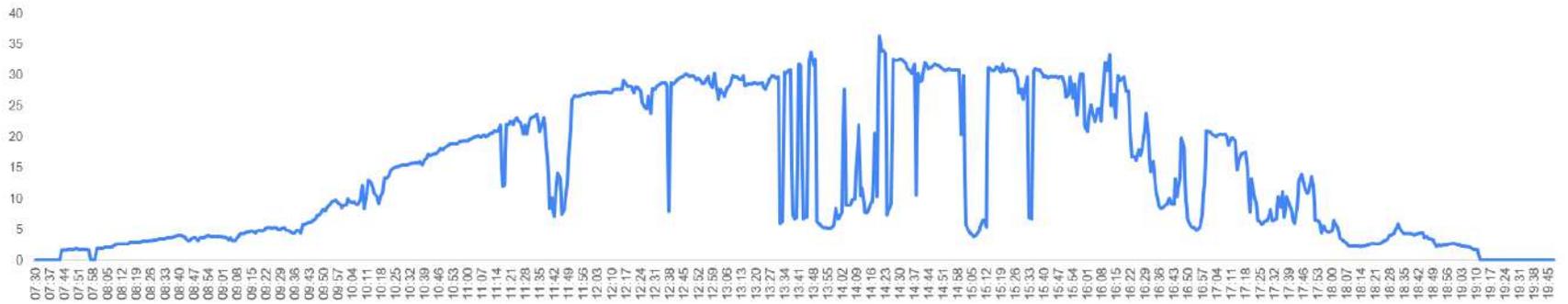
Gráfica 20 Irradiancia sensada, caso 2. Fuente propia.



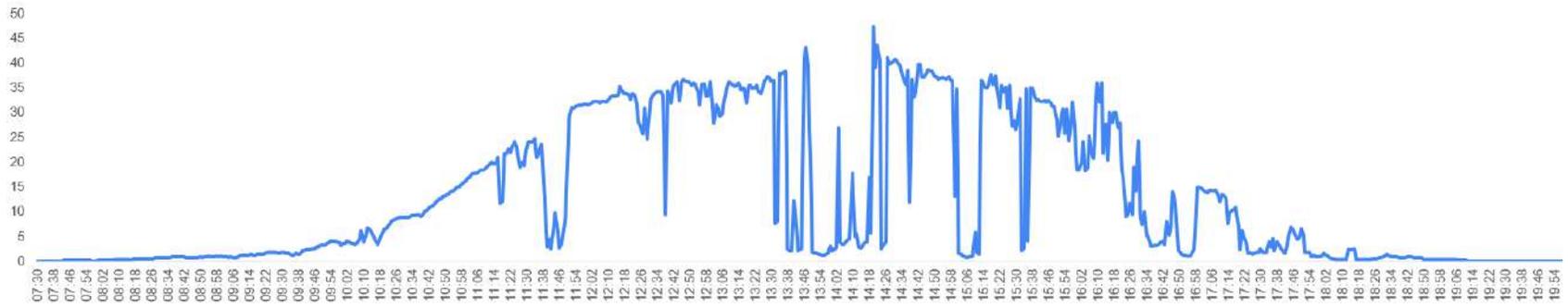
Gráfica 21 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensadas, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 22 Corriente y efecto Hall sensados, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 23 Voltaje sentido, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 24 Potencia sensada, caso 2. Fuente propia.

4.2.2.2 Simulación de SFV PSIM, caso 2

En este apartado se muestran las gráficas obtenidas en el simulador PSIM haciendo una representación gráfica de un SFV en condiciones reales con la entrada de irradiancia y temperatura del panel, para el sensado en este caso se pondrá una resistencia de 24.17Ohms para hacer la representación de la carga para esta simulación de valores para el caso 2.

4.2.2.2.1 Irradiancia simulada PSIM, caso 2

En la gráfica 25 se muestra la señal de la irradiancia obtenida del simulador de PSIM, en el cual se observa que los datos ingresados al SFV son los mismos a la irradiancia sensada ya que, para obtener los valores de voltaje, corriente, efecto Hall y potencia es necesario que los datos de entrada sean los mismos a los simulados para así obtener una mejor simulación parecida a lo real y más adelante tomar los resultados y compararlos entre lo real y lo simulado.

4.2.2.2.2 Temperatura simulada PSIM, caso 2

En la gráfica 26 se observa la señal de la temperatura simulada en PSIM, estos datos arrojados por el simulador son los mismos datos ingresados en la entrada del SFV, dichos datos fueron tomados de la temperatura del panel obtenidos por el Fluke IRR1-SOL el día 25 de mayo del 2022.

4.2.2.2.3 Corriente y efecto Hall simulados en PSIM, caso 2

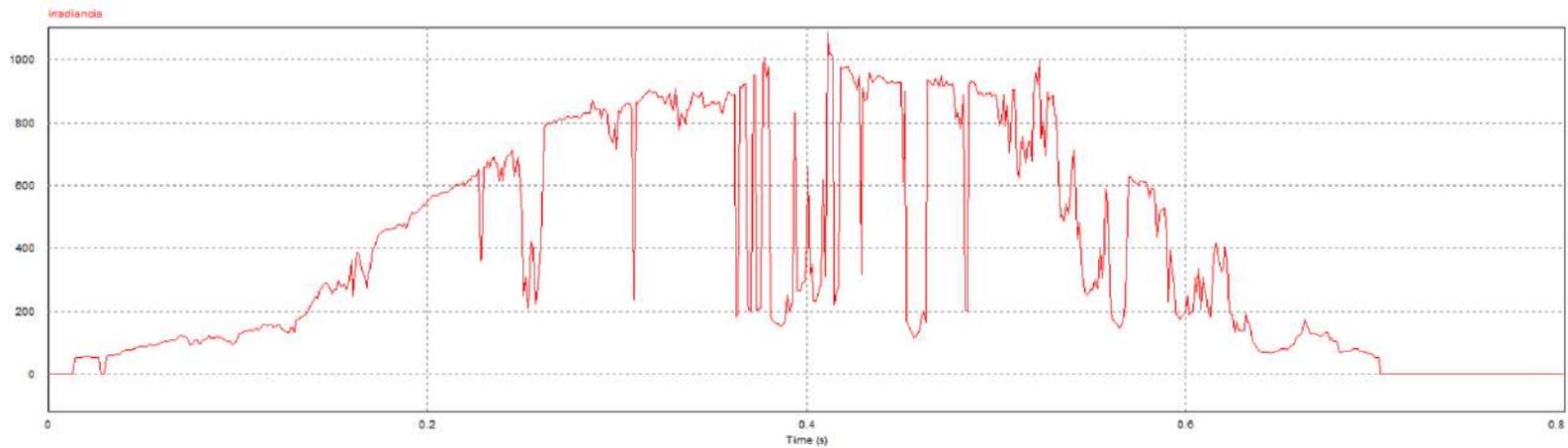
En la gráfica 27 se observa la señal resultante del simulador PSIM donde se muestra la señal de corriente y efecto Hall en donde se aprecia que al inicio de la simulación la gráfica va ascendiendo con alteraciones menores en la señal, después de ese lapso la señal empieza a tener mayor distorsión, estas distorsiones son provocadas por el efecto de la irradiancia que se censo y se colocó en una de las entradas del SFV para poder obtener estos valores en el cual se obtuvo una corriente máxima de 1.3A en donde la irradiancia se encontraba en 1088 W/m^2 .

4.2.2.2.4 Voltaje simulado PSIM, caso 2

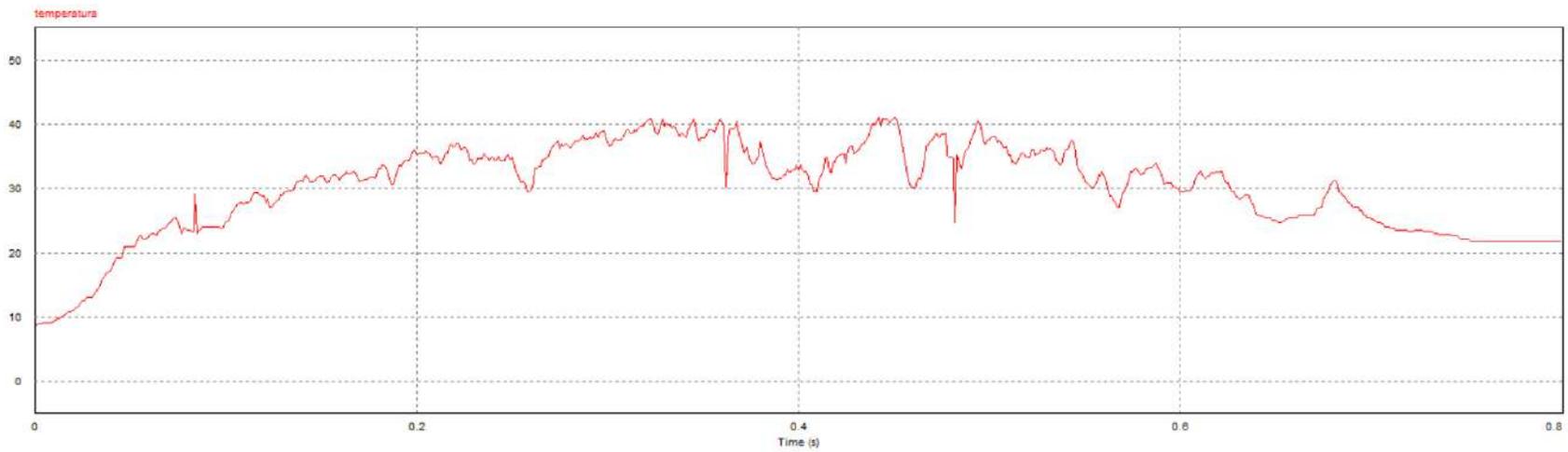
En la gráfica 27 se muestra la señal de voltaje simulado por el software de PSIM que fue producida por la entrada de la irradiancia y la temperatura sensada el día 25 de mayo en donde se presentó una irradiancia de 1088 W/m^2 en el cual el voltaje simulado en ese momento de irradiancia se simuló 32V, la simulación es muy parecido a lo real dando una simetría a la campana de Gauss con altas y bajas de señal, pero sin dejar a un lado la forma de una campana.

4.2.2.2.5 Potencia simulada PSIM, caso 2

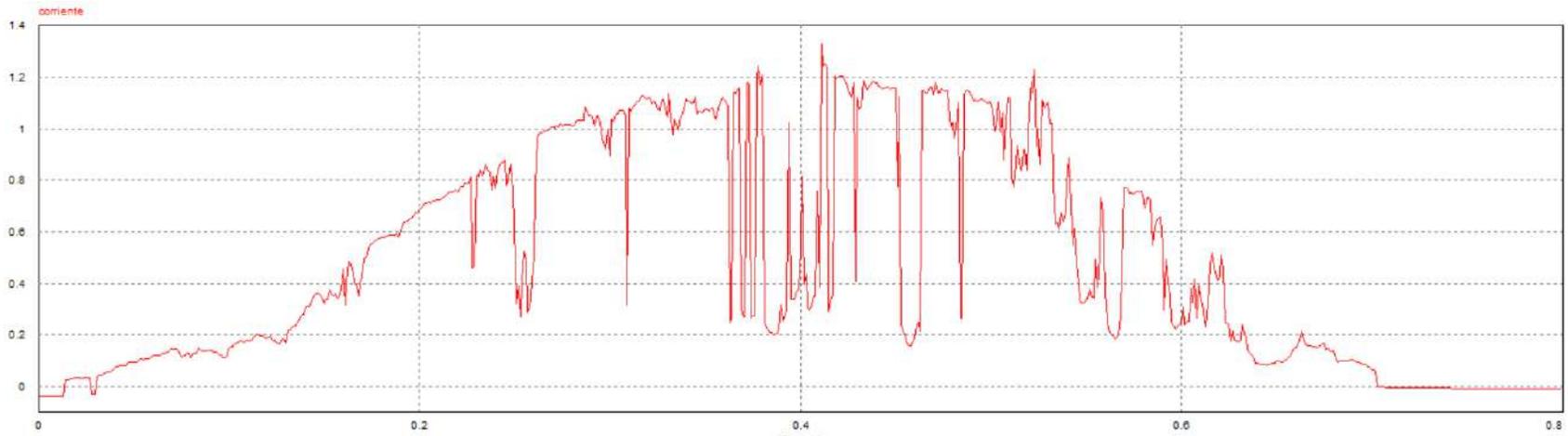
En la gráfica 29 se observa la señal de la potencia simulada en PSIM, la potencia es producto de los valores simulados de voltaje y efecto Hall dando una potencia máxima simulada de 42W adaptándose a la señal de la irradiancia y temperatura del panel ingresados al inicio para el completo funcionamiento de esta simulación del SFV.



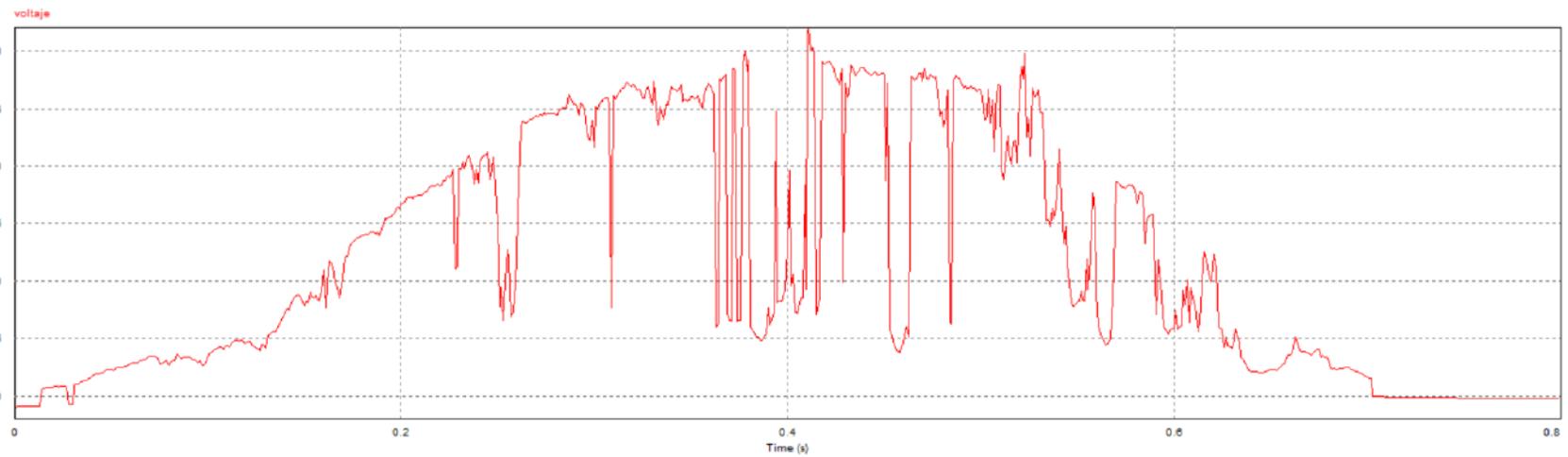
Gráfica 25 Irradiancia simulada en PSIM, caso 2. Fuente propia.



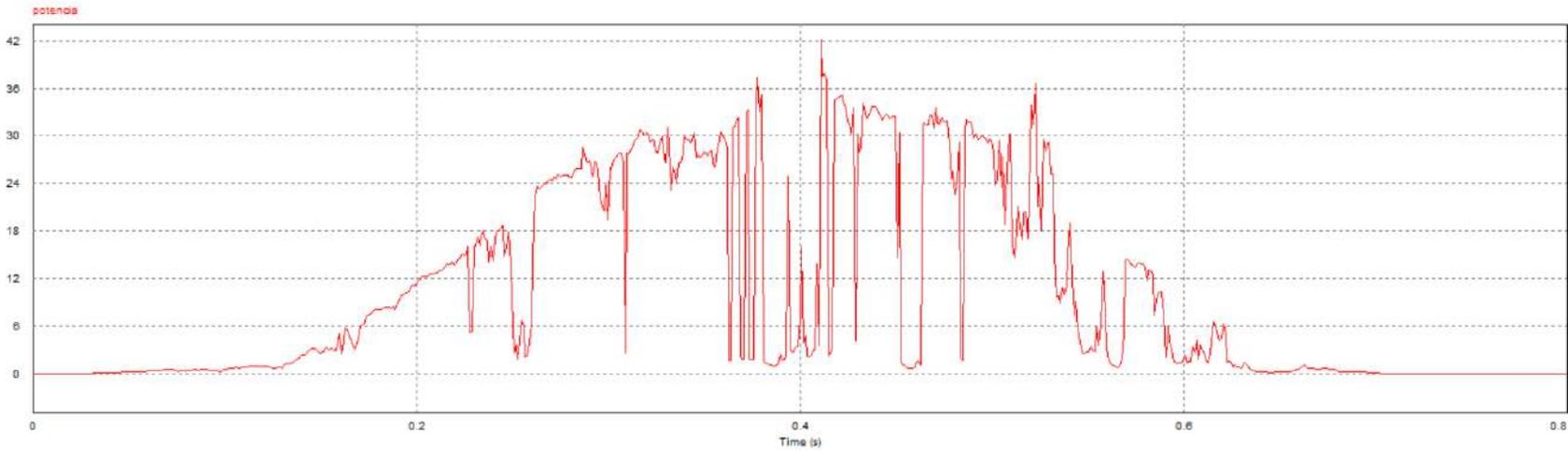
Gráfica 26 Temperatura simulada en PSIM, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 27 Corriente y efecto Hall simulado en PSIM, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 28 Voltaje simulado en PSIM, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 29 Potencia simulada en PSIM, caso 2. Fuente propia.

4.2.2.3 Funciones Obtenidas con Matlab Caso 2

En este apartado se trabajará con las herramientas de Matlab como es ToolBox y Simulink para la creación de funciones de transferencia y la visualización de la comparación de las señales reales, simuladas y creadas en funciones de transferencia.

4.2.2.3.1 Identificación del panel solar DS-A18-20

Para la identificación del sistema del panel solar se utilizó la herramienta System Identification de Matlab, en donde se realizó un sensado previo de diferentes variables. El tiempo fue considerado como variable de entrada y la salida los valores sensados, los cuales se compararon con los resultados obtenidos en Excel y el software de PSIM, creando el modelo de las funciones de transferencia de cada valor sensado, como se mostrará en la figura 66.

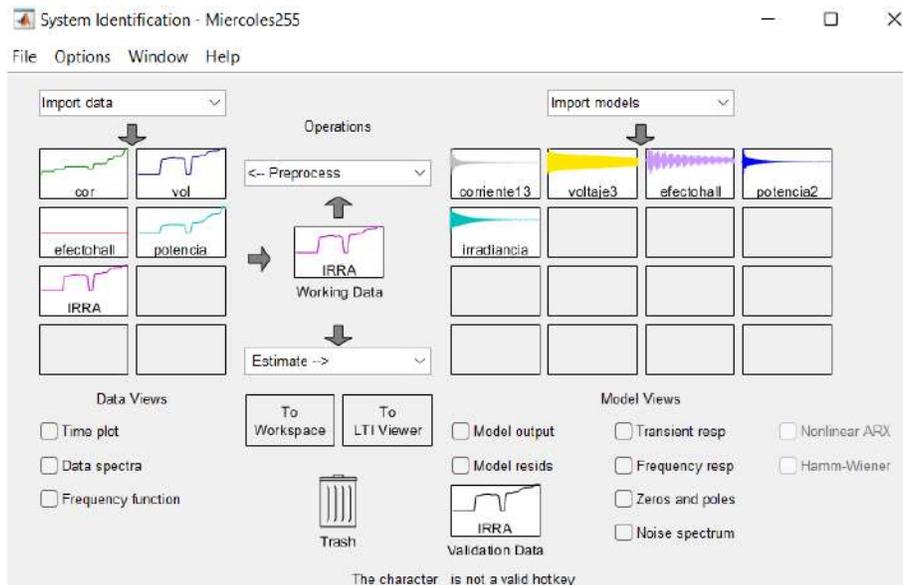


Figura 66 Creación de funciones, caso 2. Fuente propia.

A continuación, en la tabla 7 se muestra las funciones de transferencias para cada variable de irradiancia, temperatura ambiental, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia del caso 2.

Tabla 7 Funciones de transferencia, caso 2.

Variable	Función
Irradiancia.	$\frac{Irradiancia}{tiempo} = \frac{-0.02254s^{10} + 0.003702s^9 - 0.0004113s^8 + 4.293e^{-05}s^7 - 2.311e^{-06}s^6 + 1.529e^{-07}s^5 - 4.706e^{-09}s^4 + 1.812e^{-10}s^3 - 2.844e^{-12}s^2 + 5.766e^{-14}s - 1.466e^{-16}}}{s^{12} 0.05855s^{11} + 0.02019s^{10} 0.001072s^9 + 0.0001466s^8 + 7.053e^{-06}s^7 + 4.663e^{-07}s^6 + 2.031e^{-08}s^5 + 6.307e^{-10}s^4 + 2.487e^{-11}s^3 + 2.831e^{-13}s^2 + 1.001e^{-14}s + 9.512e^{-18}}$
Corriente.	$\frac{Corriente}{tiempo} = \frac{0.0003299s^{14} + 0.002141s^{13} - 0.000226s^{12} + 7.13e^{-05}s^{11} - 5.594e^{-06}s^{10} + 8.363e^{-07}s^9 - 4.767e^{-08}s^8 + 4.349e^{-09}s^7 - 1.735e^{-10}s^6 + 1.019e^{-11}s^5 - 2.614e^{-13}s^4 + 9.535e^{-15}s^3 - 1.3e^{-16}s^2 + 2.47e^{-18}s - 5.232e^{-21}}}{s^{14} + 0.09562s^{13} + 0.03292s^{12} + 0.002968s^{11} + 0.0004157s^{10} + 3.49e^{-05}s^9 + 2.545e^{-06}s^8 + 1.953e^{-07}s^7 + 7.856e^{-09}s^6 + 5.338e^{-10}s^5 + 1.146e^{-11}s^4 + 6.527e^{-13}s^3 + 6.484e^{-15}s^2 2.674e^{-16}s + 7.717e^{-19}}$
Voltaje.	$\frac{Voltaje}{tiempo} = \frac{0.1227s^{20} - 0.07639s^{19} + 0.0172s^{18} - 0.002485s^{17} + 0.0003196s^{16} + 5.594e^{-05}s^{15} - 8.68e^{-06}s^{14} + 3.579e^{-06}s^{13} - 3.577e^{-07}s^{12} + 6.334e^{-08}s^{11} - 4.728e^{-09}s^{10} + 5.356e^{-10}s^9 - 2.986e^{-11}s^8 + 2.324e^{-12}s^7 - 9.347e^{-14}s^6 + 4.955e^{-15}s^5 - 1.329e^{-16}s^4 + 4.441e^{-18}s^3 - 6.579e^{-20}s^2 + 1.17e^{-21}s - 3.033e^{-24}}}{s^{20} + 0.2216s^{19} + 0.1479s^{18} + 0.03049s^{17} + 0.007332s^{16} + 0.001332s^{15} + 0.0001759s^{14} + 2.797e^{-05}s^{13} + 2.325e^{-06}s^{12} + 3.233e^{-07}s^{11} + 1.773e^{-08}s^{10} + 2.156e^{-09}s^9 + 7.779e^{-11}s^8 + 8.258e^{-12}s^7 + 1.868e^{-13}s^6 + 1.726e^{-14}s^5 + 2.168e^{-16}s^4 + 1.744e^{-17}s^3 + 9.007e^{-20}s^2 + 6.267e^{-21}s + 3.333e^{-24}}$
Efecto Hall.	$\frac{EfectoHall}{tiempo} = \frac{5.162e^{-05}s^{10} - 4.265e^{-06}s^9 + 7.216e^{-07}s^8 - 4.165e^{-08}s^7 + 3.082e^{-09}s^6 - 1.149e^{-10}s^5 + 4.336e^{-12}s^4 - 8.721e^{-14}s^3 + 1.606e^{-15}s^2 - 2.472e^{-18}s + 8.301e^{-21}}}{s^{12} + 0.01613s^{11} + 0.01986s^{10} + 0.0002703s^9 + 0.0001423s^8 + 1.507e^{-06}s^7 + 4.484e^{-07}s^6 + 3.192e^{-09}s^5 + 5.984e^{-10}s^4 + 2.224e^{-12}s^3 + 2.627e^{-13}s^2 + 2.34e^{-16}s + 7.581e^{-18}}$
Potencia.	$\frac{Potencia}{tiempo} = \frac{-0.00138s^{12} 0.0001982 s^{11} - 4.192e^{-05}s^{10} + 4.11e^{-06}s^9 - 4.215e^{-07}s^8 + 2.872e^{-08}s^7 - 1.758e^{-09}s^6 + 8.111e^{-11}s^5 - 2.975e^{-12}s^4 + 8.391e^{-14}s^3 - 1.594e^{-15}s^2 + 2.136e^{-17}s - 4.474e^{-20}}}{s^{14} + 0.02983s^{13} + 0.03218s^{12} + 0.0008756s^{11} + 0.0003966s^{10} + 9.693e^{-06}s^9 + 2.358e^{-06}s^8 + 5.111e^{-08}s^7 + 6.996e^{-09}s^6 + 1.329e^{-10}s^5 + 9.64e^{-12}s^4 + 1.586e^{-13}s^3 + 4.911e^{-15}s^2 + 6.681e^{-17}s + 3.458e^{-19}}$

4.2.2.3.2 Comparación de señales en Simulink, caso 2

En la figura 64, al igual que en el caso 1 se muestra el diagrama general del muestreo, pero con diferentes funciones de transferencia de los valores de irradiancia, corriente, efecto Hall, voltaje y potencia del 25 de mayo, así también las entradas del Excel de los datos del simulador y de los datos sensados.

En la simulación de simulink las funciones creadas por medio de toolbox son alimentadas por medio de una señal de rampa para el completo funcionamiento de éstas. Las entradas de las gráficas extraídas de Excel se colocan en un From Workspace en donde se escribe el nombre de la variable a mostrar en el cual se cargó anteriormente en la terminal de Matlab para posteriormente ser guardadas en el apartado de Workspace.

En el recuadro 1 se observa la comparativa entre las señales de irradiancia sensada y la función de la irradiancia obtenida de toolbox en donde la función de irradiancia fue colocada en un transfer function que es una función con una eficiencia del 56.68% comparada con la señal de la irradiancia real. Tiene una eficiencia de este porcentaje ya que la señal real tiene muchas variaciones de señal y el software de Toolbox se le es difícil llegar a tener una eficiencia mucho mayor por las altas y bajas de señal sensadas el 25 de mayo del presente año, esta función de transferencia tiene 20 polos y 20 ceros dando así una función con una eficiencia de exactitud comparada con la real. Las dos señales mencionadas están conectadas a un MUX que es un conector de múltiple entrada, una sola salida conectada a un Scope con el cual podemos visualizar la comparativa entre las señales.

En el segundo apartado corresponde a la comparativa de la corriente sensada con función de transferencia de la misma, corriente simulada y función de transferencia de efecto Hall. Las funciones de corriente y efecto Hall son colocadas en un transfer function, para la función de corriente se obtiene una eficiencia de 59.2% dada por 14 polos y 14 ceros donde el numerador es una ecuación de catorceavo grado mientras que el denominador es igual de catorceavo grado posteriormente la función de efecto Hall es una función comparada con la señal de corriente, pero con una eficiencia de 29.52%; los datos de la corriente real sensada y la corriente simulada en PSIM cargadas desde Excel colocan en un from Workspace para cada uno. Se hace la comparación entre estas 4 señales conectadas por medio de un MUX y de manera individual donde se hacen comparación con respecto a la corriente real.

En el tercer apartado está la comparación entre el efecto Hall con respecto a su función de transferencia tiene una eficiencia del 60.74% teniendo consigo una función con 22 polos y 24 ceros siendo una ecuación en el numerador de veinteavo grado y una ecuación en el denominador de veintidosavo grado, simulada y función de transferencia de la corriente, a diferencia con el apartado 2 de la corriente este apartado incluye la función del efecto Hall.

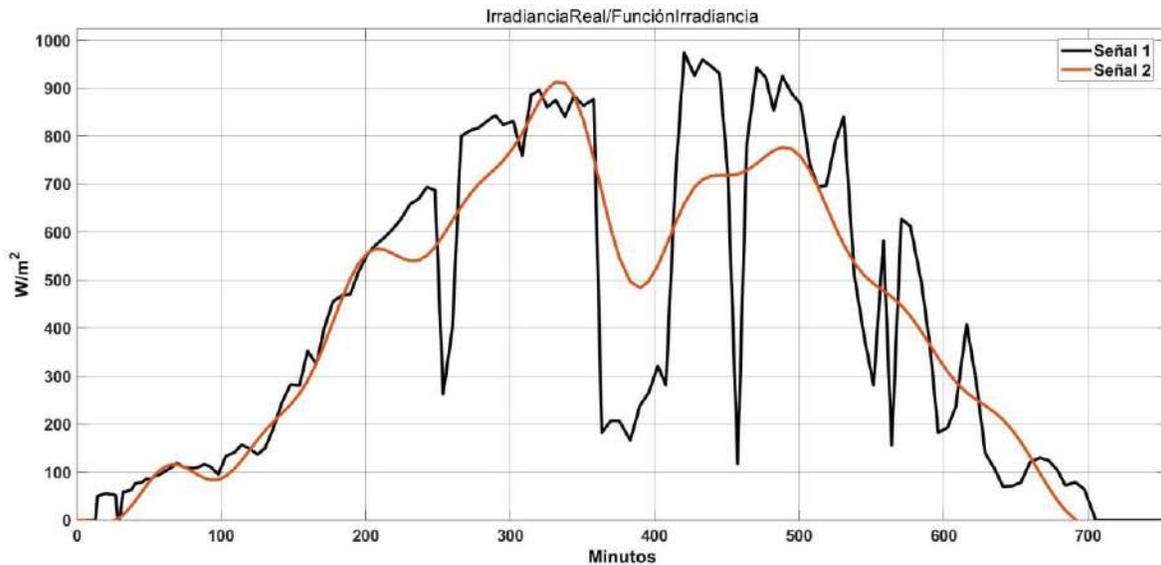
En el cuarto apartado se muestran la comparativa entre el voltaje sentido real con respecto a la función simulada del mismo en donde la función de voltaje tiene una eficiencia de 56.68% teniendo esta función 20 polos y 20 ceros, en donde el denominador de esta función es de veinteavo orden y el denominador de veinteavo orden. Para la comparativa de estas señales de voltaje se hacen la comparación entre voltaje sentido con función de voltaje y voltaje sentido con voltaje simulado y al final la unión de estos 3 voltajes con un MUX.

En el quinto apartado se muestra las conexiones haciendo la comparación entre las potencias obtenidas con respecto a la potencia real dada por el producto de voltaje y efecto Hall sentidos el día 27 de mayo. Las demás potencias es la función de la potencia real, potencia simulada, potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-corriente y por último la potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-efecto Hall. La función de potencia la obtenemos con 14 polos y 12 ceros teniendo una eficiencia de señal de 52.71% comparado con la función real.

4.2.2.3.2.1 Resultados de comparativa de Irradiancia en Simulink

En la gráfica 30 se observa el comportamiento entre la señal 1 que corresponde a la irradiancia real mientras que la señal 2 corresponde a la función de la irradiancia sensada.

Se observa que la señal de la función le es muy complicado asemejarse a la señal modelo a seguir ya que esta tiene varios picos de señal trayendo consigo una irregularidad hacia todo el sistema, la función de irradiancia tiene una eficiencia del 54.69% teniendo un valor pico de irradiancia de 918 W/m^2 comparada con la señal real tiene 170 W/m^2 que corresponde a 15.62% sin embargo la señal de la función trata de tener esas bajas y subidas de señales como la real pero solo un pequeño desnivel en cada subida y bajada de señal que tiene la real.



Gráfica 30 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 2. Fuente propia.

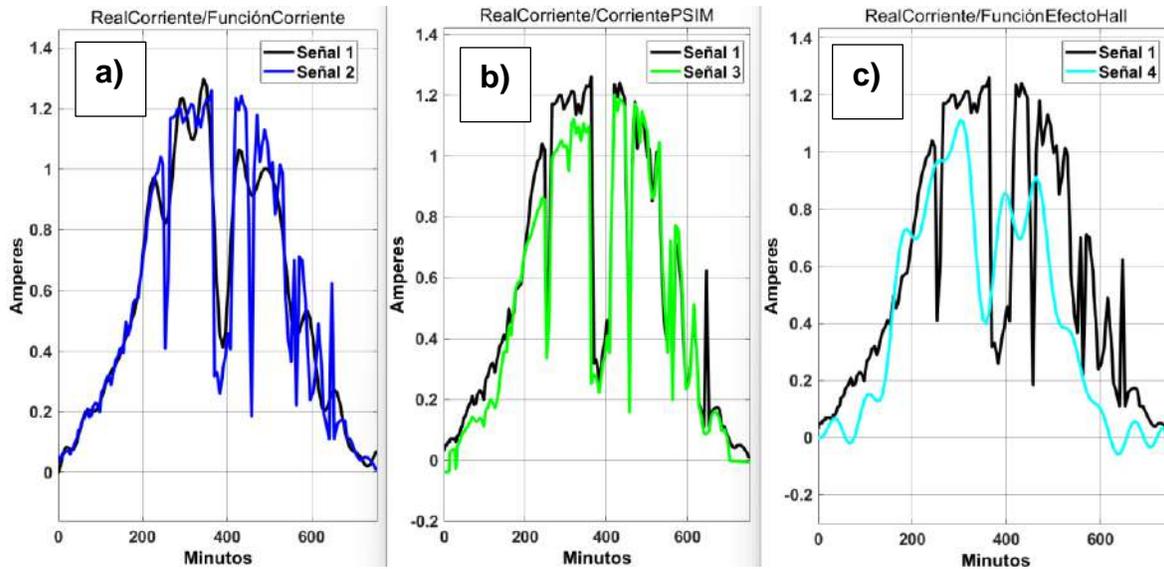
4.2.2.3.2 Resultados de comparativa de corriente en Simulink

En la gráfica 31 se muestra la comparativa entre las señales de corriente real perteneciente a la señal 1, la señal 2 es la función de transferencia de la corriente sensada, la señal 3 corresponde a corriente simulada en PSIM y por último la señal 4 la función de transferencia del efecto Hall sensado.

En la gráfica 31a la señal de la función es muy parecida a la señal real teniendo un 59.2% de igualdad asemejándose en un pequeño porcentaje a los desniveles de señal.

En la gráfica 31b se hace la comparación entre la corriente real y simulada en PSIM teniendo una corriente simulada máxima de 1.2 A teniendo 60mA menor a la real, está señal simulada se acerca mucho más a real igualando en las variaciones de señal que se obtuvo sensando el 25 de mayo por otro lado se registraron desniveles de señal en pico que el simulador solo hace una pequeña variación de señal.

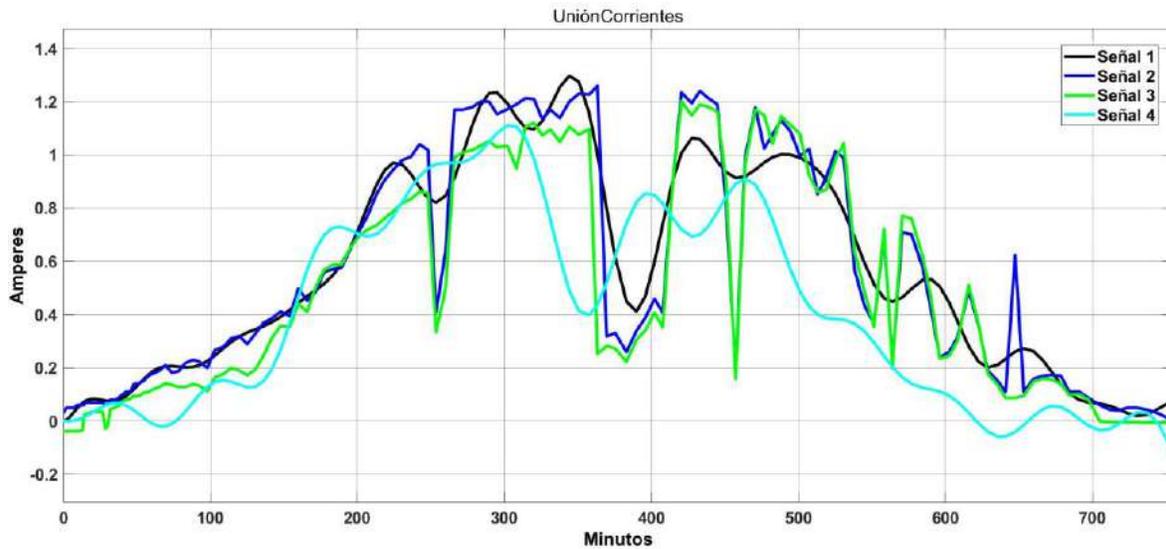
En la gráfica 31c la señal de la función de efecto Hall tiene mucha diferencia ante la real presentando grandes variaciones de señal comparado con la real ya que está señal depende los datos de efecto Hall sensado teniendo una diferencia de corriente máxima de 150mA que estadísticamente tiene una diferencia de corriente máxima de 11.9%.



Gráfica 31 Comparación entre Corriente real con a) Función de corriente, b) corriente simulada en PSIM c) función efecto Hall, caso 2. Fuente propia.

En la gráfica 32 se muestra la unión de las corrientes en el cual la señal 1 es la corriente real simulada, la señal 2 es la función de la corriente, la señal 3 es la corriente simulada en PSIM, y por último la señal 4 es la señal de función de efecto Hall.

Se observa que la señal 4 es la más distorsionada con respecto a la señal 1 que es la modelo a seguir en el cual la señal 3 y 4 tienen datos similares de inicio mientras que la señal 1 y 2 tiene el mismo inicio de valores, como va avanzando el tiempo las señales 3 y 4 se van diferenciando en los valores hasta que la señal de la corriente simulada empieza a igualarse a la señal real mientras la señal de función de corriente que inició igual con la real se diferencia mientras la señal simulada se iguala ya que estas señales dependen de la entrada de valores de irradiancia que al final del sensado deben de tener casi los mismos valores.



Gráfica 32 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 2. Fuente propia.

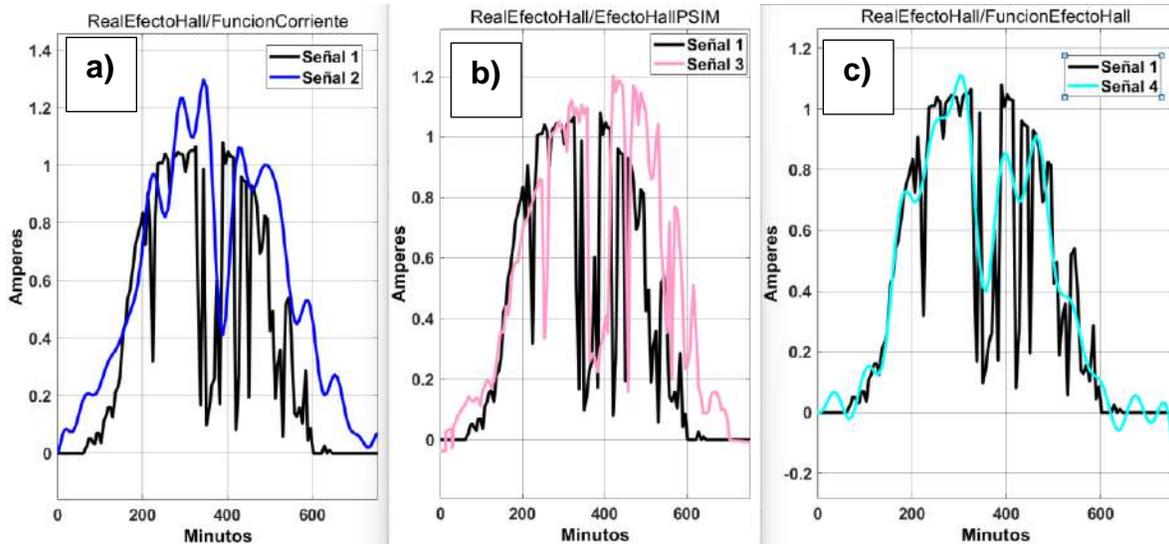
4.2.2.3.2.3 Resultados de comparativa de efecto Hall en Simulink

En la gráfica 33 se muestra la comparativa entre las corrientes con respecto al efecto Hall real que es la señal 1, la señal 2 es la función de corriente, la señal 3 el efecto Hall simulado y la señal 4 la función de efecto Hall.

En la gráfica 33a se muestra las señales de efecto Hall real y función de corriente en donde la señal 2 tiene muchas variaciones de valores de corriente con respecto a la señal 1, para la señal 2 desde un inicio empieza a mostrar valores de corriente mientras que la señal 1 empieza con valores nulos y más adelante muestra valores de corriente de efecto Hall.

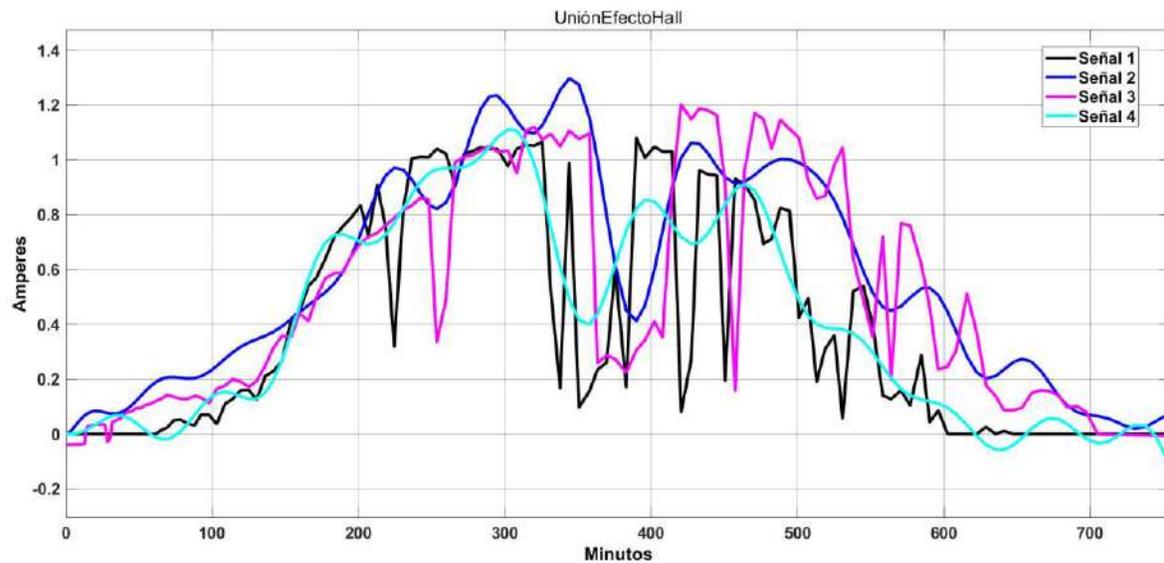
En la gráfica 33b se observa que la señal del efecto Hall simulado tiene un gran parecido a las formas de la señal modelo, solo que la simulada tiene la misma forma de señal, pero con valores más altos de corriente, registrando un descenso de valores en un tiempo más prolongado que la real, para el punto más alto de la simulada con respecto a la real tiene una diferencia de 150mA que estadísticamente es de 15% de incremento.

En la gráfica 33c se observa que las señales 1 y 4 son muy equitativas teniendo una diferencia de potencia máxima de 30mA que estadísticamente es el 2.8% de diferencia, al inicio como al final de la señal 4 presenta oscilaciones de señal dadas por la función.



Gráfica 33 Comparativa entre el efecto Hall con a) Función de corriente b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 2. Fuente propia.

En la gráfica 34 se observa la unión de las corrientes con respecto al efecto Hall en donde se observa que la señal más distorsionada con respecto a la señal 1 es la señal 2 teniendo mayor elevación de valores a comparar y la más similar a la real con valores más elevados, pero con la misma forma es la simulada en PSIM correspondiente a la señal 3 mientras que la señal 4 aunque es la función de transferencia de la real presenta variaciones de datos y señales significativas.



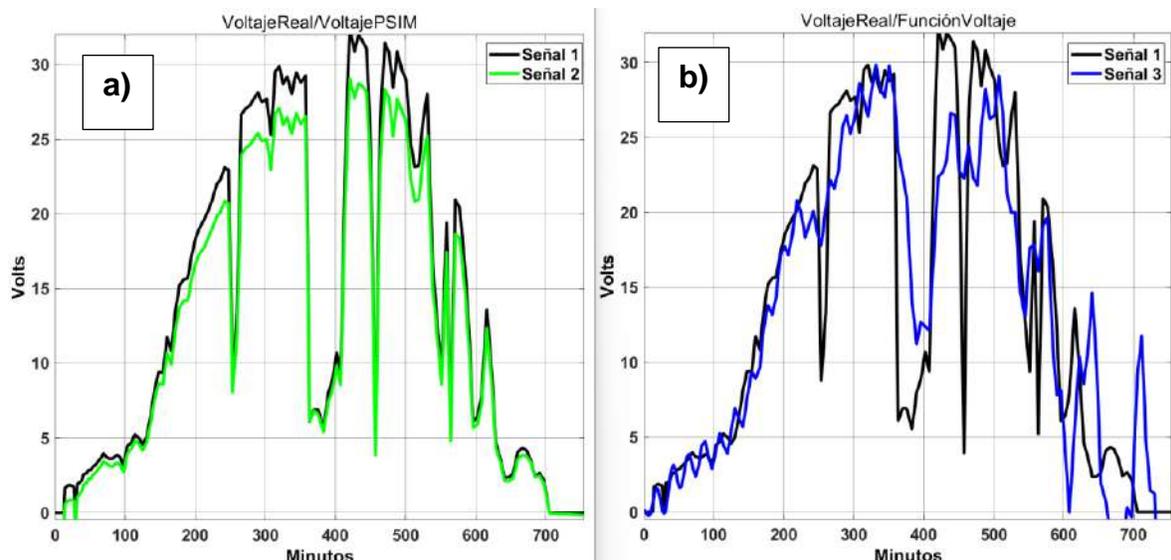
Gráfica 34 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 2. Fuente propia.

4.2.2.3.2.4 Resultados de comparativa de Voltaje en Simulink

En la gráfica 35 se muestra la comparación de las señales de voltaje simulado que es la señal 3 y función de voltaje la señal 2, con respecto al voltaje sentido correspondiente a la señal 1.

En la gráfica 35a se observa que la señal del voltaje simulado que en forma de la señal es igual a la real, pero con valores menores ya que alcanza un voltaje máximo de voltaje simulado de 29V que es 3.4V menor al real que estadísticamente es 10.2% de voltaje de diferencia. Las señales de está gráfica tienden a cero al mismo tiempo.

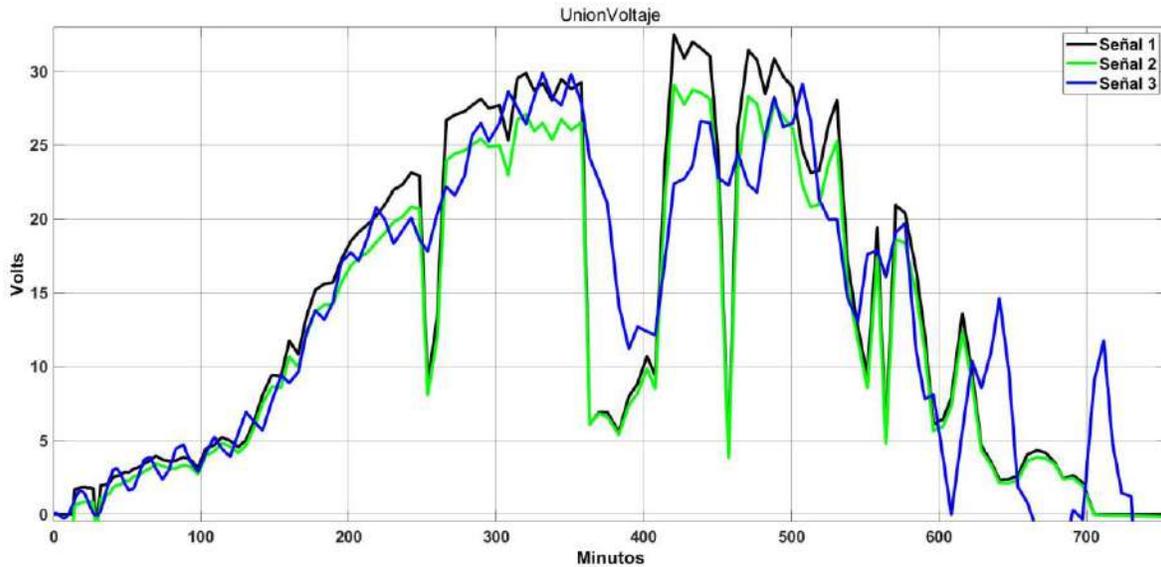
En la gráfica 35b se observa que la señal de la función de transferencia es muy similar en la dirección de la gráfica, pero con pequeñas oscilaciones, la señal de la función de transferencia de voltaje tiene una eficiencia del 56.68% en el cual se igual a la real en la forma de la señal, pero con valores menores ya que alcanza un voltaje máximo la función de 30V siendo menor a 2.5V que corresponde a 7.9%. el final de las señales se diferencia mucho teniendo valores muy altos la función dando valores nulos y con valor mientras que la real desciende hasta llegar a 0V



Gráfica 35 Comparación de señales de voltaje sentido con a) voltaje simulado en PSIM, y b) Función de transferencia de voltaje, caso 2. Fuente propia.

En la gráfica 36 se muestra la unión de las 3 señales de voltaje, en el cual la señal 1 corresponde al voltaje sentido real, la señal 2 corresponde al voltaje simulado y por último la señal 3 es la función de transferencia de voltaje.

La señal 1, 2 y 3 se muestran con un inicio proporcionalmente iguales, ya que con el paso del tiempo las señales se van separando hasta cuando la señal 1 y 2 se juntan mientras que la señal 3 se separa en un punto, posteriormente la señal 2 se va separando de la señal 1 con valores menores a la real para que al final está señal 2 se una a la 1 para terminar en valores de 0V al mismo tiempo.



Gráfica 36 Unión de voltaje sentido, simulado en PSIM y función de transferencia, caso 2. Fuente propia.

4.2.2.3.2.5 Resultado de comparativa de potencia en Simulink

En la figura 37 se muestra la comparación entre las potencias en donde la señal 1 para las 4 gráficas es la potencia simulada que fue producto de voltaje y efecto Hall sentidos, la señal 2 corresponde a la señal de potencia dada por el producto de la función de transferencia de voltaje y efecto Hall, la señal 3 corresponde a la señal del producto de las funciones de voltaje y corriente, la señal 4 corresponde a la potencia simulada en PSIM, por último la señal 5 corresponde a la potencia dada en función de transferencia.

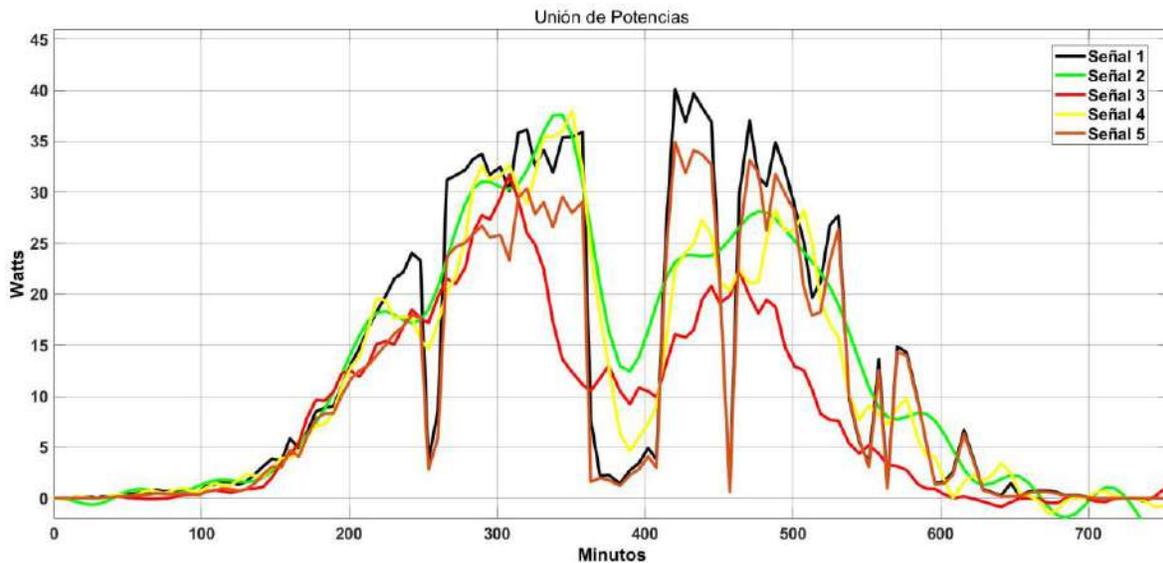
En la gráfica 37a se observa que la señal de la función de transferencia de la potencia con la real donde se muestra que la función da valores semejantes al inicio, pero como va pasando el tiempo de muestreo, las señales se van separando ya que la señal sensada empieza a tener discrepancias por las condiciones del clima presentadas en el día. La señal 2 trata de asemejarse con la señal real, pero por las distorsiones de señal le es complicado seguir la forma de la señal.

En la gráfica 37b la señal 2 tiene una gran distorsión en la señal con respecto a la señal modelo a seguir ya que está dada la señal 2 por el producto de las funciones de voltaje y de efecto Hall, sin dejar a un lado las señales 1 y 3 inician de una forma muy similar, pero al lapso de que el tiempo avanza las señales se van separando por las oscilaciones que presenta la señal real.

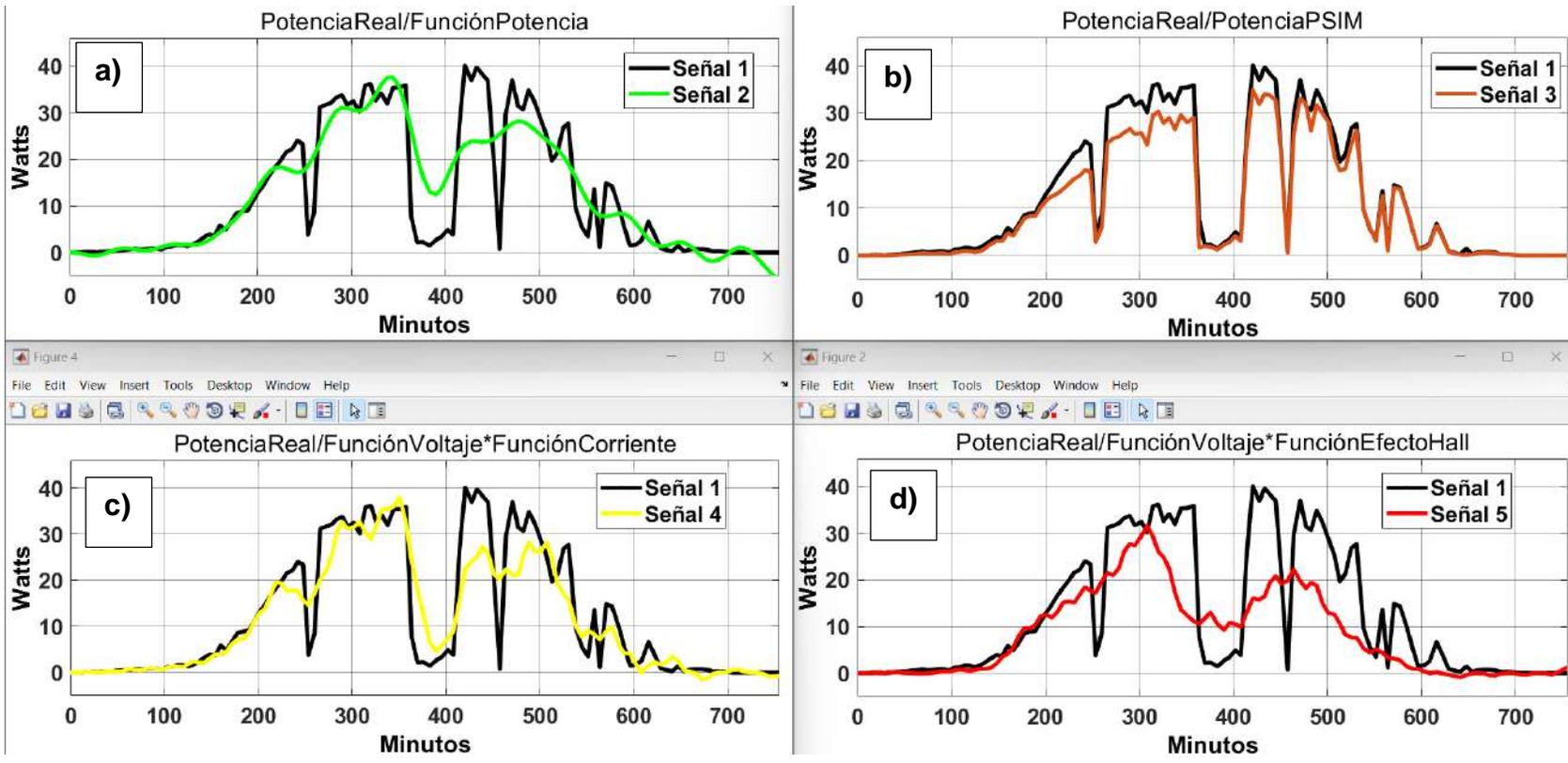
En la gráfica 37c, la señal 4 tiende a ser muy similar a la señal modelo que en este caso es producto de las funciones de voltaje y corriente sentidos que, aunque pase el tiempo de muestreo la señal 4 no se aleja de la real como las señales comparadas anteriormente tratando de igualarse a los valores, aunque no teniendo las mismas oscilaciones, pero si hace el cambio de valor como la real.

En la gráfica 37d la señal simulada correspondiente a la señal 5 tiene una mucha mayor similitud hacia la señal real a seguir ya que, aunque la señal modelo presente oscilaciones la señal simulada presenta la misma señal, pero con valores menores de potencia, pero sin dejar a un lado la forma de la señal real teniendo un inicio y un final de señal iguales.

En la gráfica 38 se observa todas las señales tiene un mismo inicio teniendo valores de potencia muy similares, al paso del tiempo las señales 2, 3 y 4 se van separando de la señal 1 que el modelo a seguir mientras que la señal 5 es la más próxima a la igualdad de señal teniendo valores mínimos comparada con la señal real sensada. Las señales 1, 3 y 5 tienden al final del sensado a terminar en valores similares



Gráfica 37 Unión de potencias, caso 2. Fuente propia.



Gráfica 38 Comparación de Potencia sensada con a) Función de potencia, b) funciones de voltaje*efecto Hall, c) funciones de voltaje*corriente, potencia simulada PSIM, caso2. Fuente propia.

4.2.3 Caso 3

Se realizó un sensado el día 25 de mayo del 2022 con una hora inicial de las 07:30 horas y una hora final de las 20:00 horas en el cual se presentó un clima con mucha presencia de nubosidad alterando con esto los valores sensados, el día presentó una temperatura máxima de 44.7°C y una mínima de 14.8°C, así mismo se registró una irradiancia máxima de 946 W/m^2 teniendo un clima apto para el sensado del SFV.

4.2.3.1 Vaciado de datos en Excel

A continuación, se muestran las gráficas de los datos sensados de irradiancia, temperatura del panel, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia obtenidas de las plataformas de ThinkSpeak y Google Drive.

4.2.3.1.1 Irradiancia sensada, caso 3

La irradiancia en este día se presentó de una manera continúa teniendo muy pocas alteraciones de la señal presentándose a mitad del sensado una variación de señal por la presencia de nubosidad, así como también al final del día. El día se presentó una irradiancia mayor de 946 W/m^2 y así formar una campana de Gauss mostrada en la gráfica 39 correspondiente a una irradiancia típica de un día soleado con una variación de señal a causa de nubes en la zona norte del Estado de México.

4.2.3.1.2 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensada, caso 3

A continuación, se muestran los registros de las temperaturas del panel y temperatura ambiental adquiridas a lo largo del día del caso 3. En la gráfica 40, la temperatura del panel medido por el dispositivo Fluke IRR1-SOL y la temperatura ambiental medida por el sensor DTH11, las señales muestran los diferentes valores arrojados por los dispositivos de medición, los cuales tienen una diferencia al inicio del día debido a la presencia de nubes parciales que producen una discrepancia entre las gráficas provocando variaciones de señales en las gráficas, posteriormente de ese lapso sin nubosidad las gráficas se asemejan en las señales medidas durante el resto del día.

4.2.3.1.3 Efecto Hall y corriente sensada, caso 3

A continuación, se muestran los registros de las corrientes de efecto Hall y corriente del multímetro adquiridas a lo largo del día del caso 3. En la gráfica 41, la corriente del multímetro y la corriente del efecto Hall medida por el sensor ACS712, las señales muestran un comportamiento de valores muy semejantes por los dispositivos de medición, los cuales tienen una discrepancia entre las gráficas provocando variaciones en las señales a mitad de la medición debido a la presencia de nubes parciales, posteriormente de ese lapso las gráficas se comportan de una forma casi lineal ya que no había presencia de nubosidad, no obstante nuevamente las nubes se hacen presente haciendo una alteración en las señales.

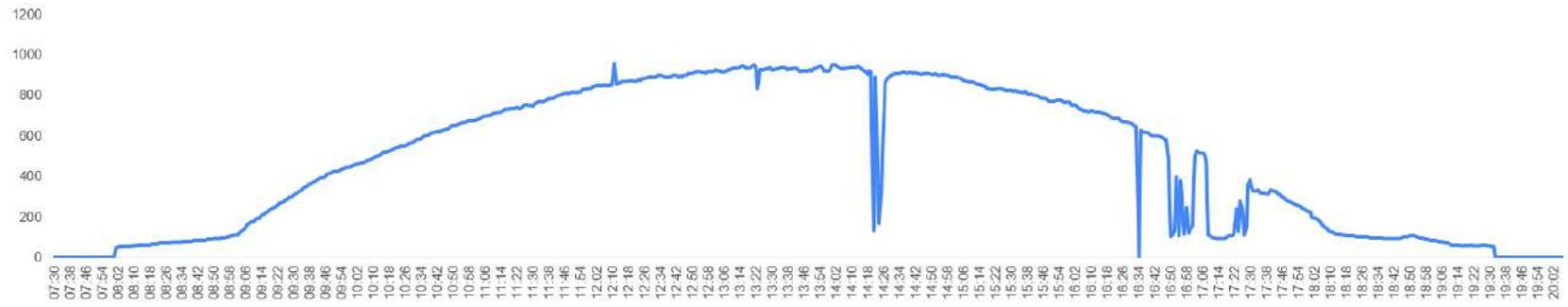
El punto más alto de las corrientes se verificó a las 14 horas y se alcanzaron corrientes máximas de 1.2A

4.2.3.1.4 Voltaje sentido, caso 3

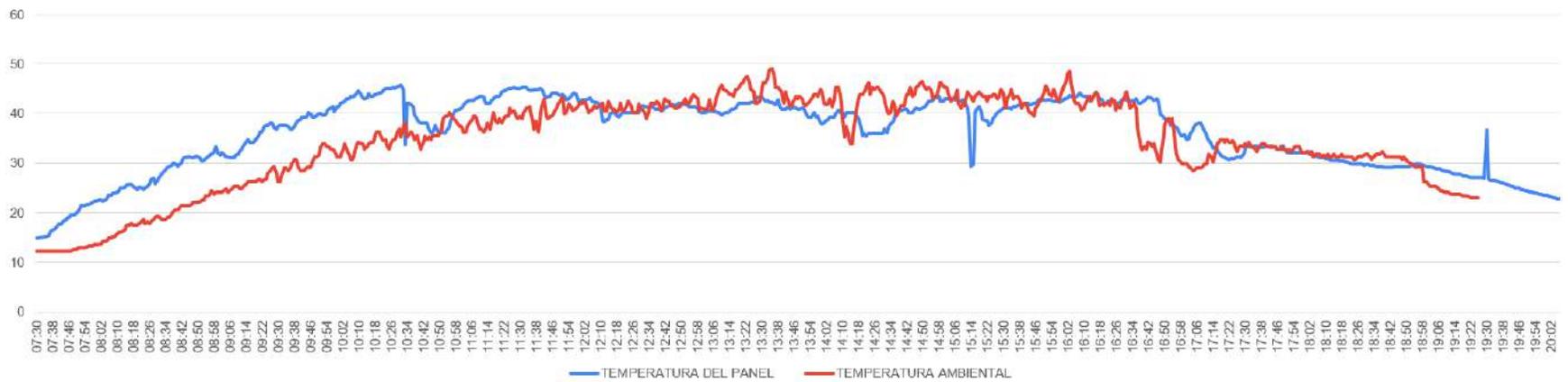
En la gráfica 42 se muestra el registro de voltaje dada por el sensor FZ0430, en la gráfica se aprecia que a mitad del día se presenta una discrepancia de señal a las 14:10 horas haciendo hacer el voltaje de 0.88V para después de la presencia de nubes vuelva la señal de voltaje a 29V, este voltaje máximo obtenido fue al punto en que la irradiancia solar alcanzó los 946 W/m^2 .

4.2.3.1.5 Potencia sentido, caso 3

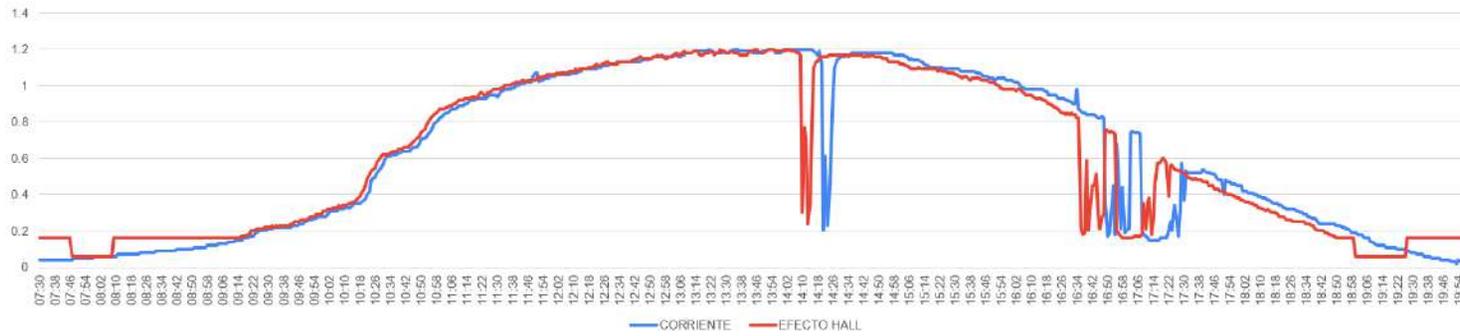
En la gráfica 42 se observa el sentido del día 20 de mayo con respecto a la potencia en el cual se observa que el valor más alto de potencia dada por la irradiancia y el producto de voltaje y efecto Hall obtenidos por los sensores ACS712 y el FZ0430 es de 36.72W trayendo consigo una gráfica haciendo una forma de campana de Gauss teniendo una deformación por la presencia de nubosidad que en efecto afecta a esta señal, así como a mitad del sentido y final del día.



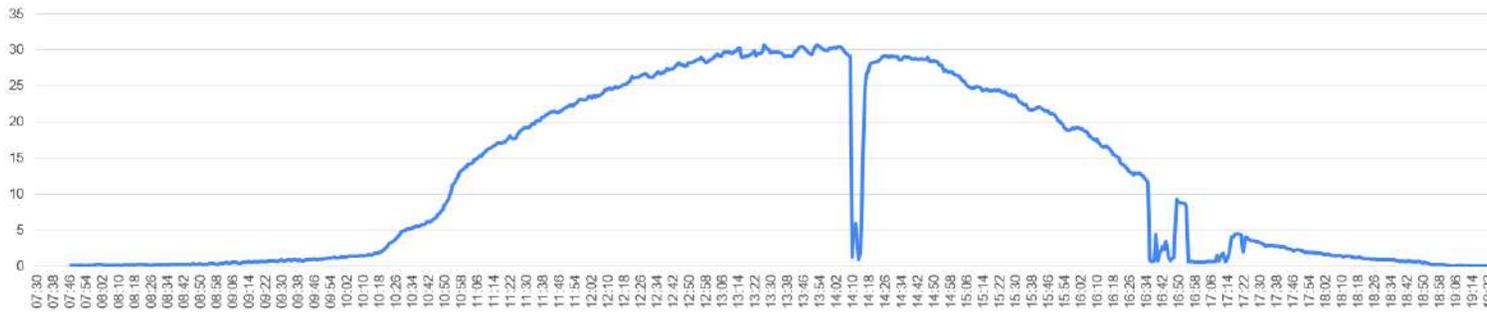
Gráfica 39 Irradiancia sensada, caso 3. Fuente propia.



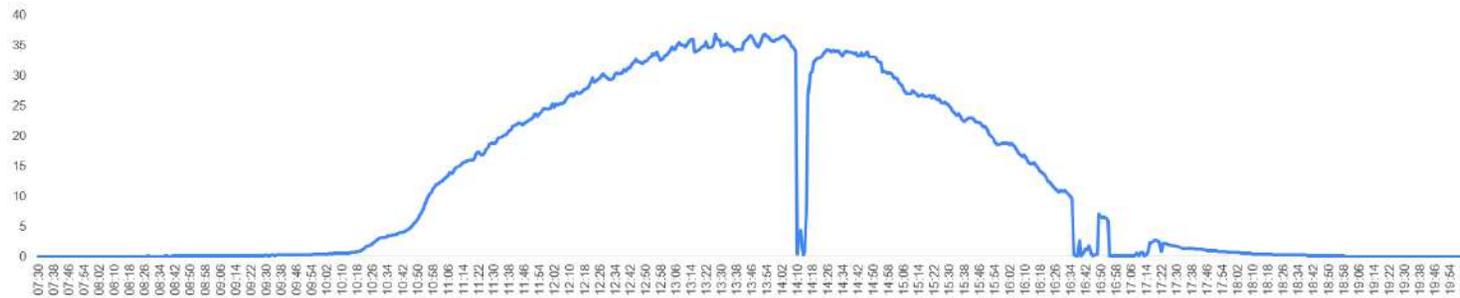
Gráfica 40 Temperatura del panel y temperatura ambiental sensadas, caso 3. Fuente propia.



Gráfica 41 Corriente y efecto Hall sensadas, caso 3. Fuente propia.



Gráfica 42 Voltaje sentido, caso 3. Fuente propia.



Gráfica 43 Potencia sensada, caso 3. Fuente propia.

4.2.3.2 Simulador PSIM 9.1.4

Tomando en cuenta el circuito de la figura 60 del caso 1, cambiando las entradas de irradiancia y temperatura del panel para este caso del día 20 de mayo del 2022 y haciendo el cambio de resistencia para hacer la simulación de la carga de los focos utilizados en el sensado.

4.2.3.2.1 Irradiancia simulada PSIM

En la gráfica 44 se muestra la señal de la irradiancia simulada en el software de PSIM que es la misma señal de los datos ingresados en el apartado de la irradiancia teniendo la misma forma y mismas oscilaciones presentadas anteriormente. Para el funcionamiento del simulador y la obtención de los valores de voltaje, corriente, efecto Hall y potencia, el SFV debe de tener una entrada de irradiancia, así como la temperatura del panel que son ingresados siendo los datos del sensado del caso 3.

4.2.3.2.2 Temperatura simulada PSIM

En gráfica 45 se muestra la señal de la temperatura del panel simulada en PSIM, se muestra que los valores de la gráfica deben de corresponder por igual a la sensada para que el SFV sea lo más igual a lo real en la señal.

4.2.3.2.3 Corriente simulada PSIM

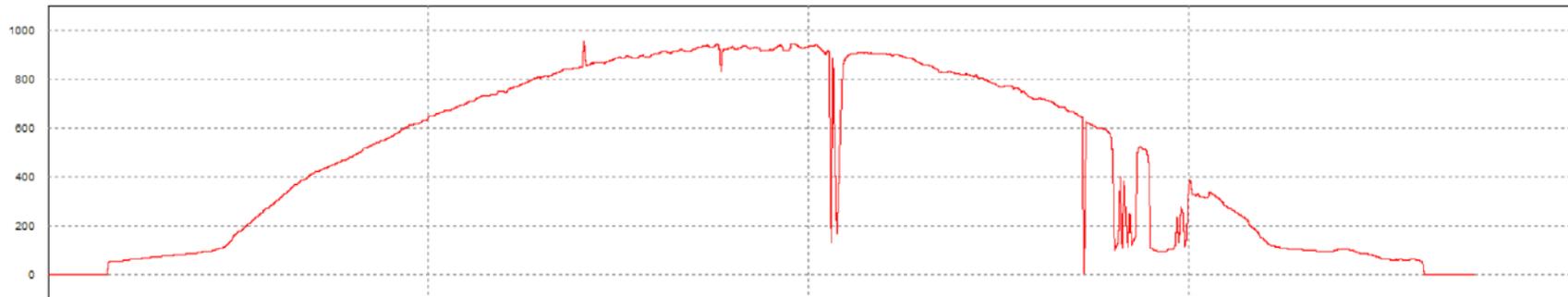
En la gráfica 46 se observa la señal de la corriente y efecto Hall simulados por las entradas de irradiancia y temperatura del panel, se aprecia que, al inicio, la señal avanza sin problema siendo continúa empezando con una forma simétrica a la campana de Gauss, posteriormente como estas señales dependen de las entradas, tendrán una forma parecida. El valor máximo de estas señales alcanzadas simuladamente es de 1.19A.

4.2.3.2.4 Voltaje simulado PSIM, caso 3

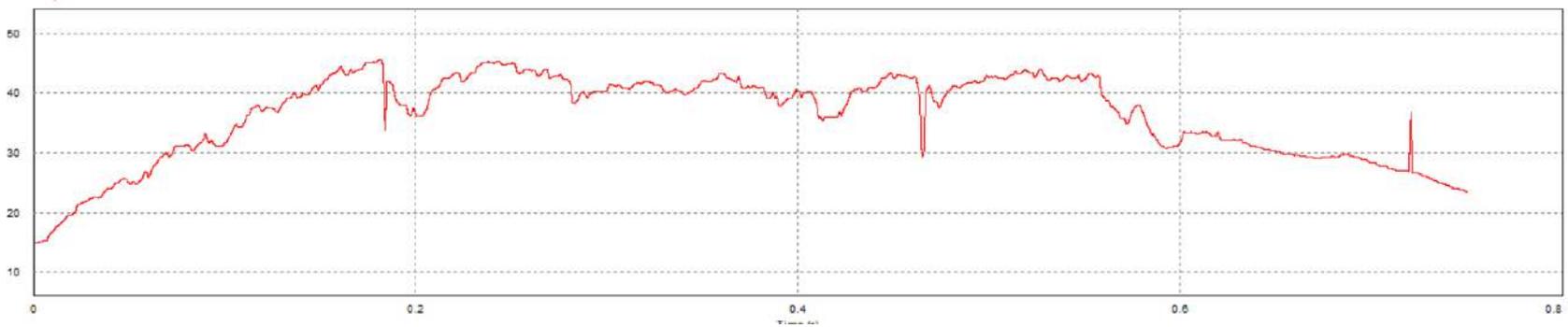
En la gráfica 47 se observa la señal del voltaje simulado en PSIM teniendo una señal simétrica a la campana de Gauss con pequeñas variaciones de señal antes de llegar a su voltaje máximo de 30V, posteriormente se observa una caída de señal por motivos de las entradas ya que sin en las entradas tiene un ascenso o descenso de señal el simulador optara de igual manera que lo que se está simulando tenga esa forma.

4.2.3.2.4 Potencia simulada PSIM, caso 3

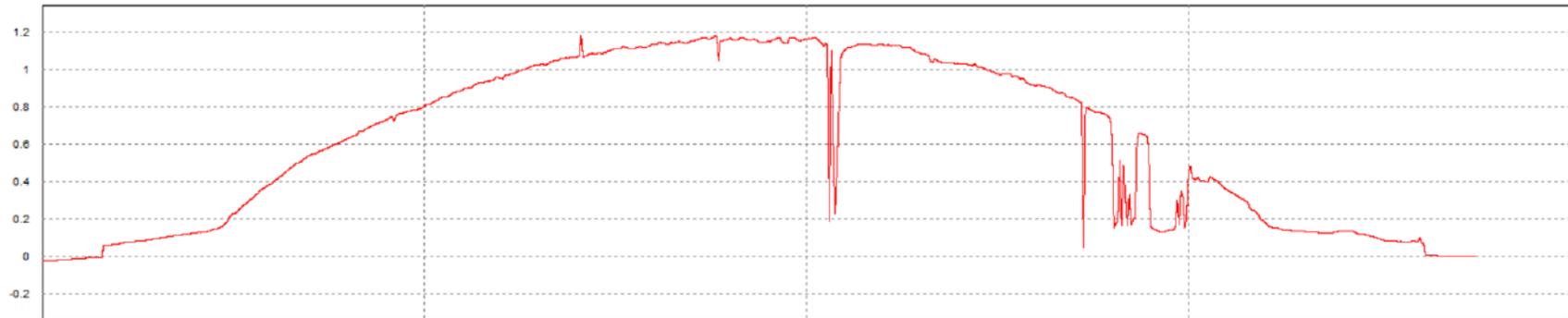
En gráfica 48 se observa la potencia simulada que es producto de voltaje y efecto Hall simulados en PSIM en donde las pequeñas oscilaciones presentes antes de llegar al punto máximo de potencia se observan que son más grandes ya que se hacen una multiplicación entre los valores de voltaje y efecto Hall. La potencia máxima obtenida del caso 3 simulado es de 36W para que después se presente una oscilación de señal llegando a una potencia 1W, después de esa discrepancia de señal la potencia sube y va descendiendo de una forma gradual hasta presentar nuevamente una discrepancia de señal dada por las entradas al SFV simulado.



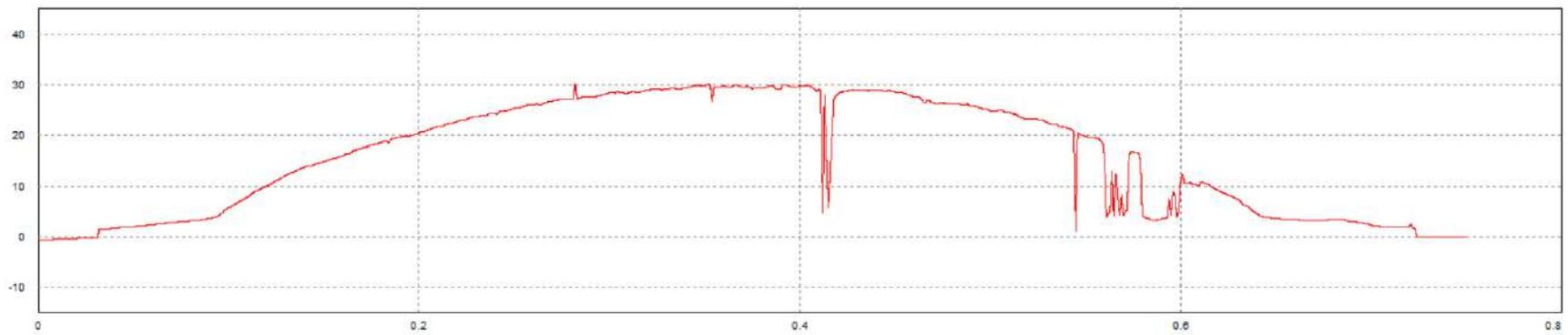
Gráfica 44 Irradiancia en PSIM, caso 3. Fuente propia.



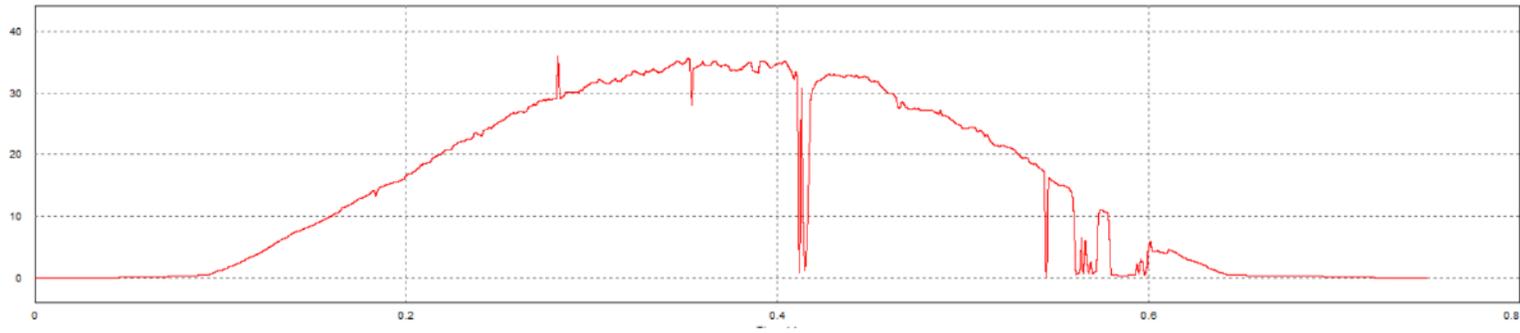
Gráfica 45 Temperatura en PSIM, caso 3. Fuente propia.



Gráfica 46 Corriente simulada PSIM, caso 3. Fuente propia.



Gráfica 47 Voltaje simulado PSIM, caso 3. Fuente propia.



Grafica 48 Potencia simulada PSIM, caso 3. Fuente propia.

4.2.3.3 Funciones obtenidas con Matlab, caso 3

En este apartado se trabajará con las herramientas de Matlab como es ToolBox y Simulink para la creación de funciones de transferencia y la visualización de la comparación de las señales reales, simuladas y creadas en funciones de transferencia.

4.2.3.3.1 Identificación del panel solar DS-A18-20

Para la identificación del sistema del panel solar se utilizó la herramienta System Identification de Matlab, en donde se realizó un sensado previo de diferentes variables. El tiempo fue considerado como variable de entrada y la salida los valores sensados, los cuales se compararon con los resultados obtenidos en Excel y el software de PSIM, creando el modelo de las funciones de transferencia de cada valor sensado, como se mostrará en la figura 67.

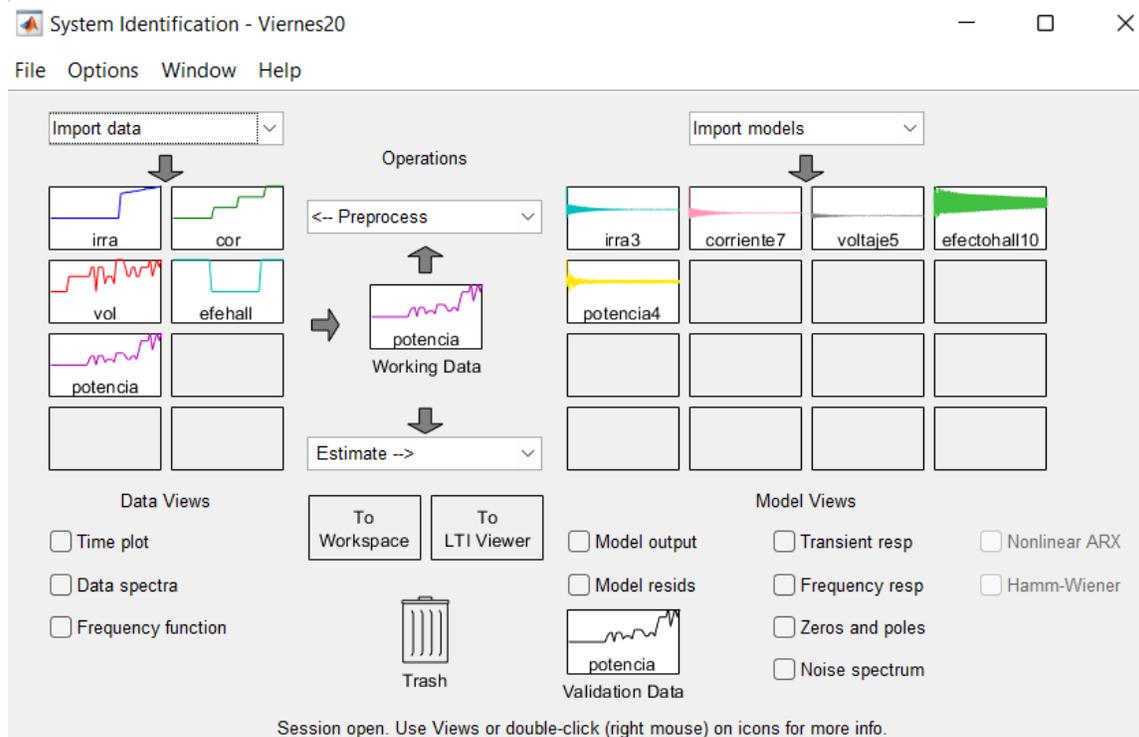


Figura 67 Funciones en ToolBox, caso 3. Fuente propia.

A continuación, en la tabla 8 se muestra las funciones de transferencias para cada variable de irradiancia, temperatura ambiental, corriente, voltaje, efecto Hall, temperatura ambiental y potencia del caso 2.

Tabla 8 Funciones de transferencia, caso 3.

Variable	Función
Irradiancia.	$\frac{Irradiancia}{tiempo} = \frac{-0.9728s^8 + 0.1353s^7 - 0.007001s^6 + 0.0005971s^5 - 1.126e^{-05}s^4 + 8.054e^{-07}s^3 - 4.751e^{-09}s^2 + 1.748e^{-10}s - 5.411e^{-14}}{s^8 + 0.02358s^7 + 0.008122s^6 + 0.0001592s^5 + 1.339e^{-05}s^4 + 1.623e^{-07}s^3 + 4.992e^{-09}s^2 + 1.124e^{-11}s + 3.012e^{-13}}$
Corriente.	$\frac{Corriente}{tiempo} = \frac{0.0001477s^{11} + 1.826e^{-07}s^{10} + 2.392e^{-06}s^9 - 9.532e^{-09}s^8 + 1.344e^{-08}s^7 - 1.05e^{-10}s^6 + 3.278e^{-11}s^5 - 3.272e^{-13}s^4 + 3.463e^{-14}s^3 - 3.31e^{-16}s^2 - 16.1475e^{-17}s - 1.564e^{-20}}{[s^{12} + 0.0364s^{11} + 0.02072s^{10} + 0.000543s^9 + 0.0001508s^8 + 2.702e^{-06}s^7 + 4.734e^{-07}s^6 + 5.297e^{-09}s^5 + 6.266e^{-10}s^4 + 3.987e^{-12}s^3 + 2.748e^{-13}s^2 + 8.656e^{-16}s + 1.481e^{-17}]}$
Voltaje.	$\frac{Voltaje}{tiempo} = \frac{-0.1297s^{16} + 0.02254s^{15} - 0.007045s^{14} + 0.0009294s^{13} - 0.0001454s^{12} + 1.471e^{-5}s^{11} - 1.473e^{-06}s^{10} + 1.134e^{-07}s^9 - 7.816e^{-09}s^8 + 4.473e^{-10}s^7 - 2.134e^{-11}s^6 + 8.701e^{-13}s^5 - 2.715e^{-14}s^4 + 7.33e^{-16}s^3 - 1.293e^{-17}s^2 + 1.718e^{-19}s - 9.811e^{-23}}{s^{16} + 0.02242s^{15} + 0.04963s^{14} + 0.0009154s^{13} + 0.0009728s^{12} + 1.425e^{-05}s^{11} + 9.653e^{-06}s^{10} + 1.074e^{-07}s^9 + 5.169e^{-08}s^8 + 4.124e^{-10}s^7 + 1.47e^{-10}s^6 + 7.716e^{-13}s^5 + 2.031e^{-13}s^4 + 6.078e^{-16}s^3 + 1.083e^{-16}s^2 + 1.549e^{-19}s + 9.481e^{-21}}$
Efecto Hall.	$\frac{EfectoHall}{tiempo} = \frac{-2.83e^{-05}s^{17} + 8.18e^{-06}s^{16} - 1.071e^{-06}s^{15} + 3.377e^{-07}s^{14} - 1.448e^{-08}s^{13} + 5.145e^{-09}s^{12} - 8.04e^{-11}s^{11} + 3.632e^{-11}s^{10} - 1.3e^{-13}s^9 + 1.248e^{-13}s^8 + 1.986e^{-16}s^7 + 2.035e^{-16} + 3.328e^{-19} + 1.524e^{-19} - 6.277e^{-22} + 5.5e^{-23} - 3.244e^{-26}}{[0.06887s^{17} + 0.07011s^{16} + 0.004262s^{15} + 0.001959s^{14} + 0.0001011s^{13} + 2.825e^{-05}s^{12} + 1.181e^{-06}s^{11} + 2.267e^{-07}s^{10} + 7.209e^{-09}s^9 + 1.017e^{-09}s^8 + 2.257e^{-11}s^7 + 2.438e^{-12}s^6 + 3.293e^{-14}s^5 + 2.791e^{-15}s^4 + 1.862e^{-17}s^3 + 1.156e^{-18}s^2 + 2.711e^{-21}s + 6.784e^{-23}]}$
Potencia.	$\frac{Potencia}{tiempo} = \frac{-0.1925s^{14} + 0.02981s^{13} - 0.007362s^{12} + 0.0008258s^{11} - 0.0001021s^{10} + 8.37e^{-06}s^9 - 6.507e^{-07}s^8 + 3.848e^{-08}s^7 - 1.977e^{-09}s^6 + 8.054e^{-11}s^5 - 2.641e^{-12}s^4 + 6.721e^{-14}s^3 - 1.214e^{-15}s^2 + 1.355e^{-17}s - 5.704e^{-21}}{s^{14} + 0.02802s^{13} + 0.03296s^{12} + 0.0007938s^{11} + 0.0004165s^{10} + 8.254e^{-06}s^9 + 2.561e^{-06}s^8 + 3.846e^{-08}s^7 + 7.993e^{-09}s^6 + 8.014e^{-11}s^5 + 1.195e^{-11}s^4 + 6.254e^{-14}s^3 + 7.067e^{-15}s^2 + 1.087e^{-17}s + 7.07e^{-19}}$

4.2.3.3.2 Comparación de señales en Simulink, caso 1

Tomando el mismo diagrama de la figura 64 de caso 1, cambiando valores para el funcionamiento del caso 3, se muestra el diagrama general del muestreo de las funciones de irradiancia, corriente, efecto Hall, voltaje y potencia, así también las entradas del Excel de los datos del simulador y de los datos sensados del 20 de mayo.

En la simulación de Simulink las funciones creadas por medio de ToolBox son alimentadas por medio de una señal de rampa para el completo funcionamiento de éstas. Las entradas de las gráficas extraídas de Excel se colocan en un From

Workspace en donde se escribe el nombre de la variable a mostrar cargada anteriormente en la terminal de Matlab para posteriormente ser guardadas en el apartado de Workspace.

En el recuadro 1 se observa la comparativa entre las señales de irradiancia sensada y la función de la irradiancia obtenida de toolbox en donde la función de irradiancia fue colocada en un transfer function que es una función con una eficiencia del 78.26% comparada con la señal de la irradiancia real, esta función de transferencia tiene 8 polos y 8 ceros dando así una función con una eficiencia de exactitud comparada con la real. Las dos señales mencionadas están conectadas a un MUX que es un conector de múltiple entrada, una sola salida conectada a un Scope con el cual podemos visualizar la comparativa entre las señales.

En el segundo apartado corresponde a la comparativa de la corriente sensada con función de transferencia de la misma, corriente simulada y función de transferencia de efecto Hall. Las funciones de corriente y efecto Hall son colocadas en un transfer function, para la función de corriente se obtiene una eficiencia de 78.08% dada por 12 polos y 11 ceros donde el numerador es una ecuación de onceavo grado mientras que el denominador es de doceavo grado posteriormente la función de efecto Hall es una función igual a la de corriente, pero con una eficiencia de 79.88%; los datos de la corriente real sensada y la corriente simulada en PSIM cargadas desde Excel colocan en un from Workspace para cada uno. Se hace la comparación entre éstas 4 señales conectadas por medio de un MUX y de manera individual donde se hacen comparación con respecto a la corriente real.

En el tercer apartado está la comparación entre el efecto Hall con respecto a su función de transferencia, simulada y función de transferencia de la corriente, a diferencia con el apartado 2 de la corriente este apartado incluye la función del efecto Hall.

En el cuarto apartado se muestran la comparativa entre el voltaje sensado real con respecto a la función simulada del mismo en donde la función de voltaje tiene una eficiencia de 80.92% teniendo esta función 16 polos y 16 ceros, en donde el denominador de esta función es de dieciseisavo orden y el denominador de igual manera dieciseisavo orden. Para la comparativa de estas señales de voltaje se

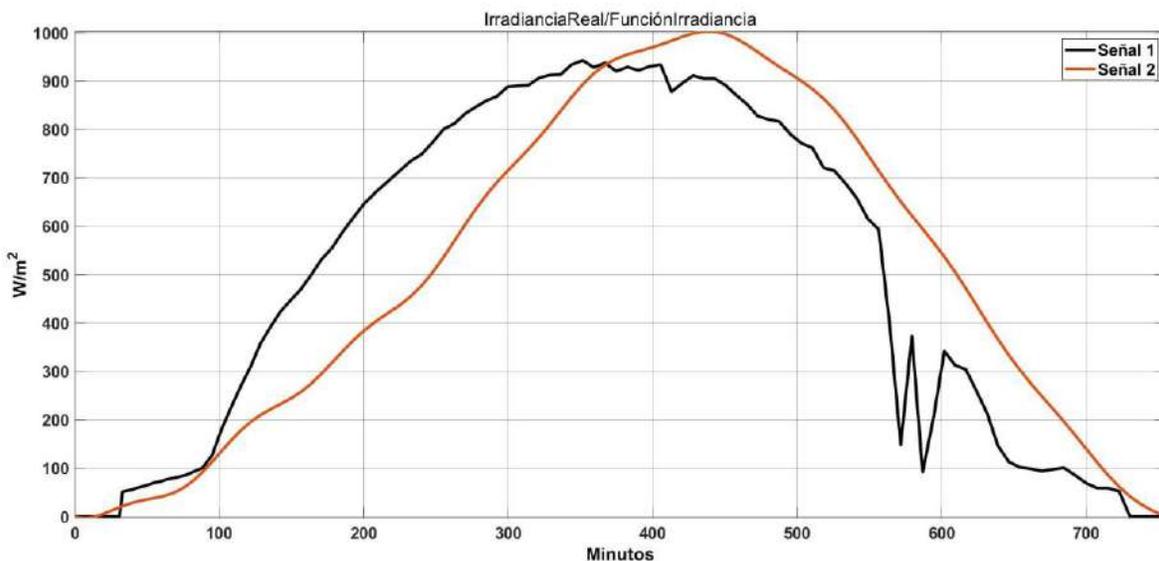
hacen la comparación entre voltaje sentido con función de voltaje y voltaje sentido con voltaje simulado y al final la unión de estos 3 voltajes con un MUX.

En el quinto apartado se muestra las conexiones haciendo la comparación entre las potencias obtenidas con respecto a la potencia real dada por el producto de voltaje y efecto Hall sentidos el día 27 de mayo. Las demás potencias es la función de la potencia real, potencia simulada, potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-corriente y por último la potencia por el producto de la función de transferencia de voltaje-efecto Hall. La función de potencia la obtenemos con 14 polos y 14 ceros teniendo una eficiencia de señal de 80.2% comparado con la función real.

4.2.3.3.2.1 Resultados de comparativa de Irradiancia en Simulink, caso 3

En la gráfica 49 se muestra las señales comparativas entre la irradiancia sensada y la función de la irradiancia obtenida por Toolbox, la señal 1 corresponde a la irradiancia obtenida en el sensado del día 20 de mayo y la señal 2 corresponde a la función de la irradiancia sensada.

En la señal 2 se muestra una gráfica ideal a la campana de Gauss teniendo una irradiancia de 1003 W/m^2 , teniendo un incremento de 57 W/m^2 que estadísticamente corresponde a 6.03% mayor de irradiancia con respecto a la real sensada el día 20 de mayo del 2022.



Grafica 49 Comparativa Irradiancia Real con Función Irradiancia, caso 3. Fuente propia.

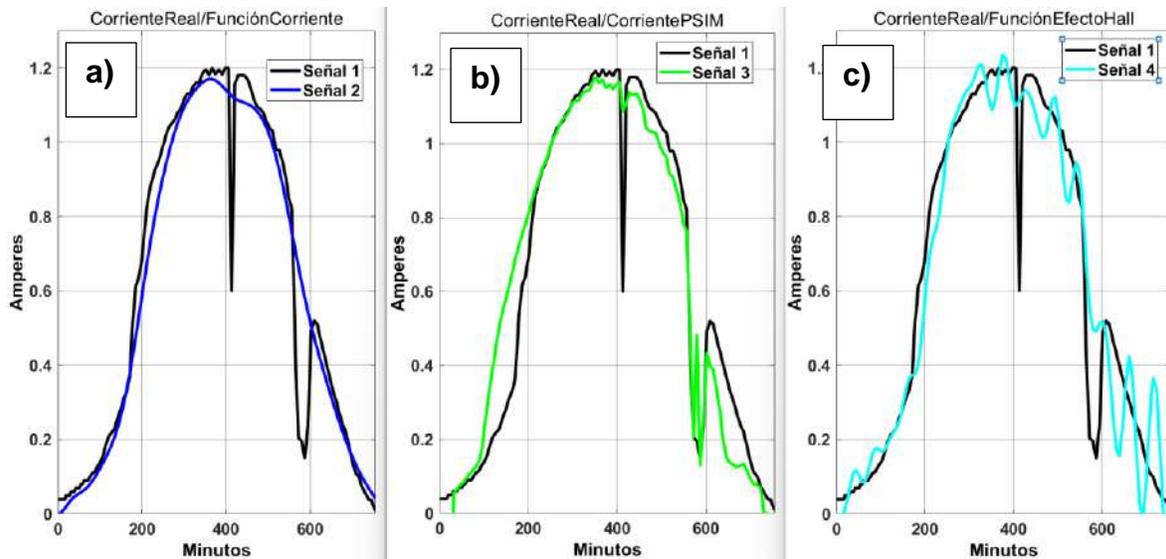
4.2.3.3.2 Resultados de comparativa Corriente en Simulink, caso 3

En la gráfica 12 se muestra la comparación entre 3 series de gráficas en el cual la señal 1 de las 3 gráficas corresponde a la corriente sensada, la señal 2 es la señal de la función de corriente sensada creada en ToolBox, la señal 3 corresponde a la señal de la corriente simulada en el software de PSIM y por último la señal 4 es la señal del efecto Hall convertida en función también realizada en ToolBox.

En la gráfica 12a, la señal de función de transferencia de corriente comparada con la señal de corriente real sensada del 27 de mayo es mayor con una corriente de 50mA que corresponde a 4.1% de diferencia en su punto máximo de éstas. Por otro lado, la señal 1 y la señal 2 son muy parecidas en los valores sin contemplar los puntos máximos de cada corriente, por lo tanto, las funciones creadas nos pueden ayudar a hacer una caracterización de esta zona solo con tener las funciones ya que los valores arrojados por la función para la traficación se asemejan a lo real.

La gráfica 12b hacemos la comparativa entre las señales de la corriente sensada y la corriente simulada en PSIM, como mencionamos anteriormente la corriente sensada tiene 1.22A como máxima mientras que en la corriente simulada nos da un valor de 1.21A que es 10mA menor a la corriente sensada que es a 0.81% menor.

En la gráfica 12c se observa las señales de corriente sensada y función con respecto al efecto Hall sensado el 27 de mayo tiene su valor máximo de corriente igual a la corriente sensada con la diferencia de que en la función en más corto tiempo los valores de la función efecto Hall empiezan a descender y dar valores menores a lo real, sin embargo, las señales 1 y 4 llegan al valor de 0A al mismo tiempo.



Grafica 50 Gráficas compartidas entre corriente real con a) Función de corriente, b) Función efecto Hall y c) Corriente simulada en PSIM, caso 3. Fuente propia.

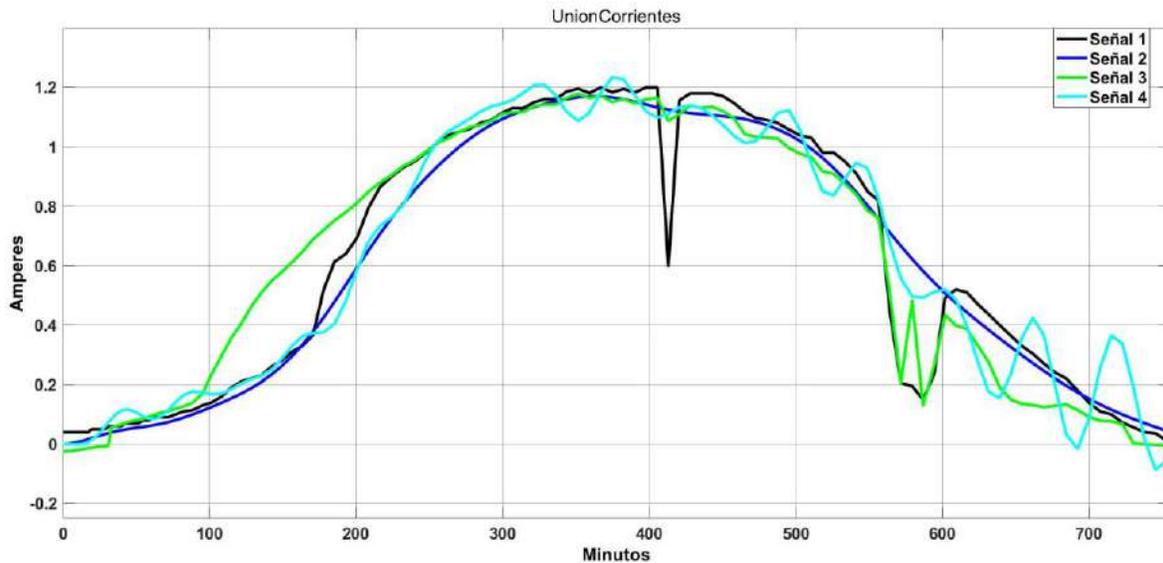
En la gráfica 51 se observa la comparativa de las corrientes con respecto a la corriente sensada el día 20 de mayo en donde la señal 1 corresponde a la corriente sensada, la señal 2 es la función de la corriente sensada, la señal 3 es la corriente simulada en PSIM y la señal 4 pertenece a la función de efecto Hall.

En la comparativa de las señales con respecto a la corriente real sensada se observa que la señal 2 tiene un inicio lineal ya que pertenecen a funciones que aunque en lo sensado o simulado haya oscilaciones en la señal, las funciones de transferencia hacen que la respuesta salga limpia sin interrupciones de señal, sin embargo la señal 3 que aunque sea simulada tiende a obedecer los datos de irradiancia que en este caso hay alteraciones en la señal como se muestra en la señal 1 que es el modelo a seguir por ser la corriente real.

Para la señal 4, aunque dependa de una función no se muestra oscilaciones como la función de corriente, ya que esta señal es codependiente de la señal de efecto Hall.

La señal 3 aunque en el inicio del sensado se diferencia de la señal real con el paso del tiempo tiende a seguir más la señal real asemejándose y teniendo menos margen de error, por otro lado, la señal 4 aunque inicia muy apegada a la real al final del sensado empieza a distorsionarse de gran manera.

Las señales 2 y 3 con respecto a la señal 1 llegan a 0A al mismo tiempo mientras que la señal 4 oscila de gran manera al final teniendo hasta valores negativos.



Grafica 51 Unión de corrientes con respecto a corriente sensada, caso 3. Fuente propia.

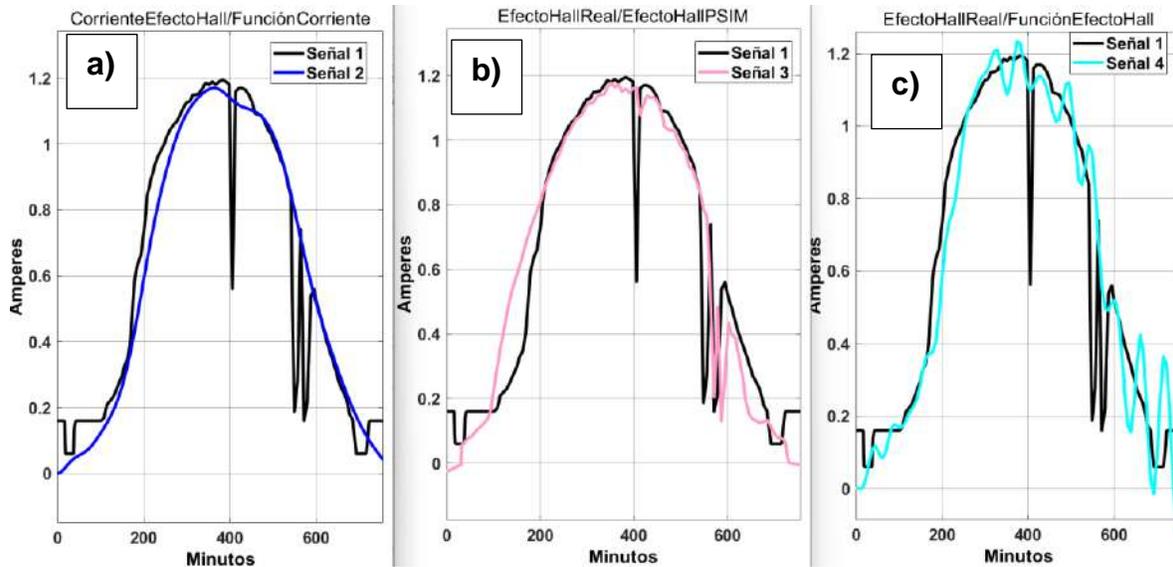
4.2.3.3.2.3 Resultados de comparativa Efecto Hall en Simulink, caso 3

En la gráfica 52 se muestra la comparativa de corrientes de efecto Hall con la función de efecto Hall, efecto Hall simulado en PSIM y la función de corriente.

En la gráfica 52a se hace la comparativa entre la señal 1 que es el efecto Hall sensado el 20 de mayo con respecto a la señal 2 que corresponde a la función de la corriente, se observa que entre la señal 1 y 2 los valores de la función de efecto Hall son mucho mayores a los valores sensados ya que el efecto Hall tiene una corriente máxima de 1.2A mientras que en la función de corriente obtenemos una corriente mayor de 1.17A teniendo una diferencia de 30mA que es igual a 2.5% mayor de corriente.

La gráfica 52b se observa la comparación entre la señal de efecto Hall que es la 1 y la señal 3 al efecto Hall simulado en PSIM que da una corriente máxima de 1.19A, que es 10mA menor a la sensada, sin embargo, las señales son muy parecidas como al inicio y al final teniendo en cuenta que en el punto medio del sensado la simulación no logra a hacer esa bajada de señal pero hace una pequeña oscilación emulando esa bajada de señal sensada, tomando en cuenta la diferencia de corriente en su punto máximo que se diferencia de 0.8% de diferencia a los datos reales sensado el 20 de mayo.

En la gráfica 52c se pone la comparativa entre la señal 1 que es el efecto Hall y la señal 4 la función de efecto Hall donde hay un porcentaje de diferencia de 6% ya que la función da una corriente mayor a 70mA con respecto a la sensada.

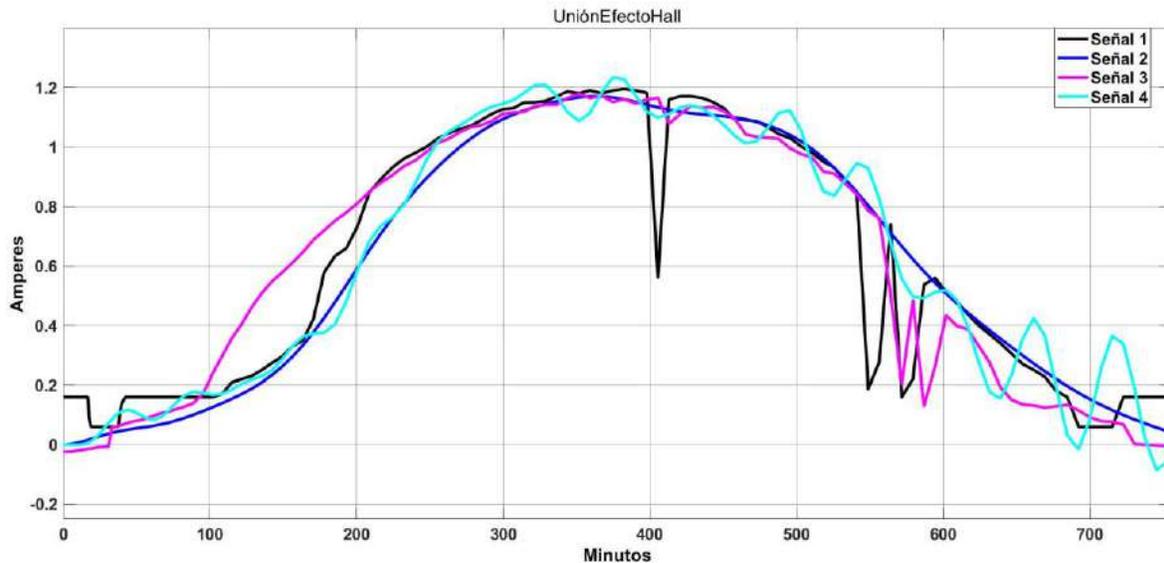


Gráfica 52 Comparativa entre el efecto Hall con a) Función de corriente, b) Efecto Hall simulado y c) Función de efecto Hall, caso 3. Fuente propia.

En la gráfica 13 se observa la comparativa de las corrientes con respecto a la corriente sensada el día 27 de mayo en donde la señal 1 corresponde a la corriente sensada, la señal 2 es la función de la corriente sensada, la señal 3 es la corriente simulada en PSIM y la señal 4 pertenece a la función de efecto Hall.

En la comparativa de las señales con respecto a la corriente real sensada se observa que las señales 2 y 4 tienen un inicio lineal ya que pertenecen a funciones que aunque en lo sensado o simulado haya oscilaciones en la señal, las funciones de transferencia hacen que la respuesta salga limpia sin interrupciones de señal, sin en cambio la señal 3 que aunque sea simulada tiende a obedecer los datos de irradiancia que en este caso hay alteraciones en la señal como se muestra en la señal 1 que es el modelo a seguir por ser la corriente real.

La señal 4 correspondiente a la función del efecto Hall tiende a descender en valores de corriente en menor tiempo ya que esta función tiene el 73.47% de igualdad a seguir con la señal 1 ya que esta señal de la función de efecto Hall debe asemejarse a la señal de efecto Hall en el cual se hablará más adelante, en seguida la señal de la corriente simulada empieza a mostrar valores menores a la señal a seguir, sin en cambio la señal 2 es la más semejante a la señal 1 ya que tiene un porcentaje de semejanza del 88.41%.



Gráfica 53 Unión de corrientes con respecto al efecto Hall sensada, caso 3. Fuente propia.

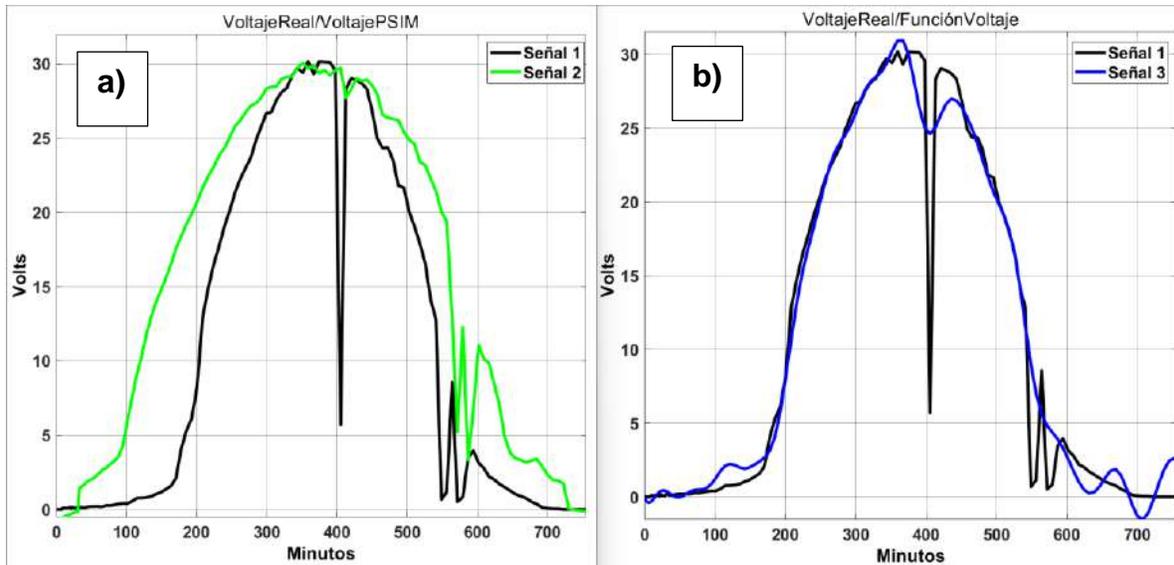
4.2.3.3.2.4 Resultados de comparativa Voltaje en Simulink, caso 3

En la gráfica 54 se muestra la comparativa entre los voltajes que son el voltaje sensado, voltaje simulado en PSIM y la función del voltaje sensado.

En las gráficas 54a y 54b la señal 1 corresponde a la señal de voltaje sensado mientras que la señal 2 es el voltaje simulado en PSIM, por otro lado, la señal 3 corresponde a la función del voltaje obtenido de ToolBox.

En la gráfica 54a se observa que la señal simulada del voltaje empieza a obtener valores más altos que la sensada en menor tiempo llegando a un punto máximo de voltaje de 30V igual que la sensada con la diferencia que el voltaje sensado en menor tiempo llega a su punto máximo sin embargo la señal sensada y simulada llegan a 0V mientras al mismo tiempo.

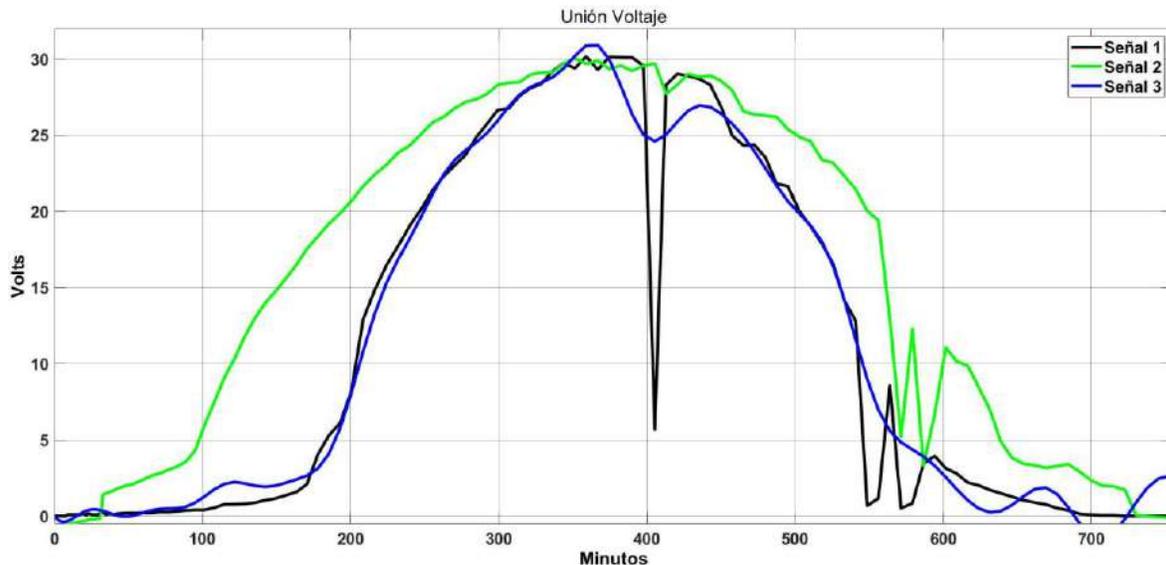
En la gráfica 54b se hace notar que las señales son muy idénticas con una pequeña diferencia de voltaje máximo de 31V teniendo un incremento de voltaje de 1V que es el 3% mayor al voltaje sensado del 20 de mayo.



Gráfica 54 Comparación de señales de voltaje sensed con a) Voltaje simulado, b) Función, caso 3. Fuente propia.

En la gráfica 55 se muestra la gráfica haciendo la comparación de los voltajes con respecto al voltaje sensed el día 20 de mayo en donde la señal 1 corresponde al voltaje sensed, la señal 2 es el voltaje simulado en PSIM y la señal 3 pertenece a la función de voltaje.

En las señales 1 y 3 tienen una gran similitud entre éstas, teniendo una igualdad del 80.92% ya que es la señal real sensed con su propia función creada en ToolBox teniendo un inicio y un final de señal semejante, mientras que a mitad de señal la real tiene una pérdida de datos por cuestiones de clima y la función que corresponde a la señal 3 trata de bajar haciendo una pequeña oscilación que emita una pérdida de datos como la real pero en menor cantidad, por otro lado la señal 2 correspondiente a la simulada del mismo voltaje teniendo una gran diferencia en la señal con respecto a la señal modelo a seguir ya que depende en su totalidad de la irradiancia está señal porque para obtener estos valores en el simulador es indispensable ingresar los valores reales de irradiancia y temperatura del panel.



Grafica 55 Unión de voltaje sentido, simulado y función, caso 3. Fuente propia.

4.2.3.3.2.5 Resultados de comparativa Potencia en Simulink, caso 3

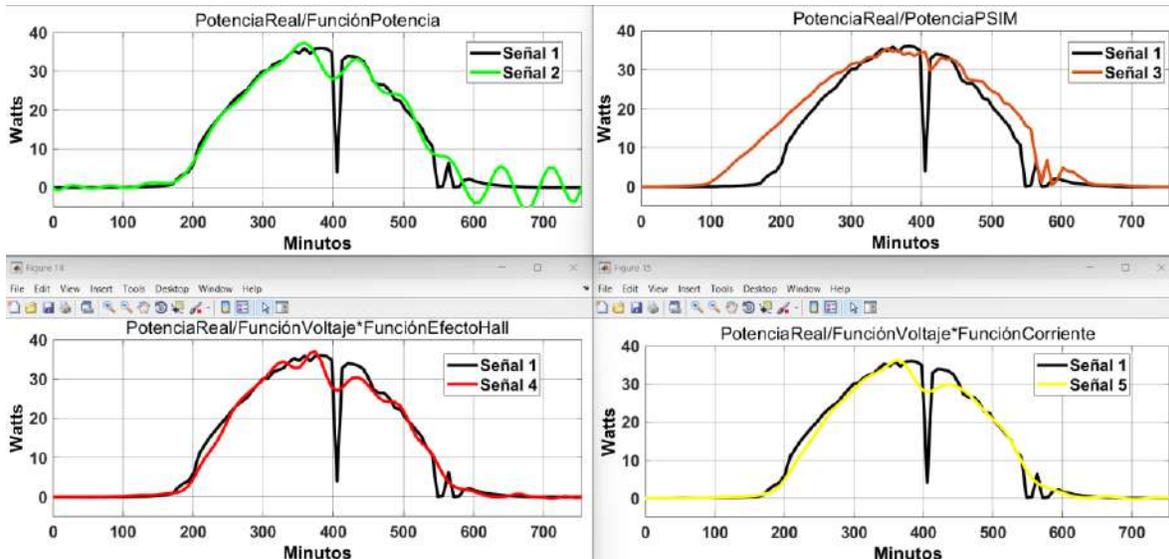
En la gráfica 56 se muestra la comparativa entre las potencias, en donde la señal 1 de las 4 gráficas corresponde a la potencia real del día 20 de mayo, la señal 2 es la función de la potencia simulada, la señal 3 a la potencia del producto de la función de voltaje con corriente, la señal 4 es la potencia por el producto de las funciones de voltaje con efecto Hall y la señal 5 corresponde a la potencia simulada en PSIM

En la gráfica 56a se observa que la señal de la función de potencia es muy parecida a la señal de potencia real sensada dando como atributo que sacando una función en ToolBox podemos obtener una serie de valores tan parecido a los reales sensados.

En la gráfica 56b se presenta las señales en donde la señal 3 que es la potencia simulada es muy diferente ya que la señal en menor tiempo empieza a crecer progresivamente dando valores de potencia de 5W mientras que la sensada aún sigue en 0W, posteriormente cuando la potencia sensada tenía 5W la simulada tenía un valor de 17W. Las dos potencias en esta gráfica tienen un mismo valor de potencia máxima.

En la gráfica 56c las señales son muy idénticas teniendo la misma potencia máxima de 38W, aunque en la señal 1 se observa que los valores empiezan a descender en menor tiempo, pero más adelante se vuelven a unir con la señal 4 dada por el producto de 2 funciones desciende de igual manera y mismo tiempo, aunque al final las dos señales terminan en 0W al mismo tiempo.

La grafica 56d es en donde mejor se aprecia la similitud entre funciones de ToolBox y lo real ya que tienen casi los mismos valores tanto de inicio y final, en la potencia máxima, la señal 5 tiene 0.5mW mayor que la real dando con esto un 1.8% de incremento en potencia.



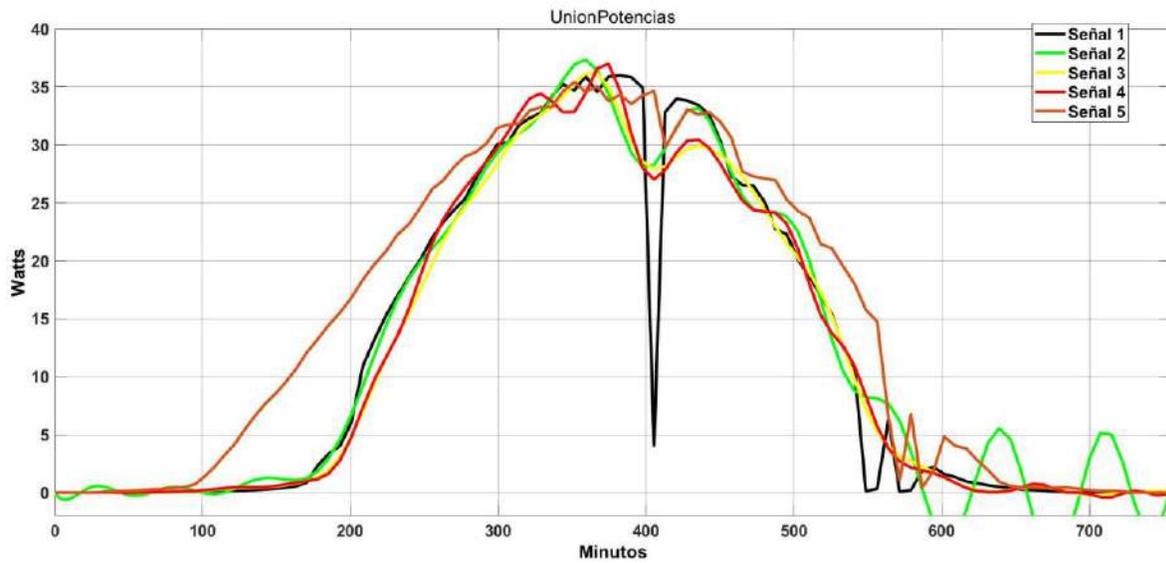
Gráfica 56 Comparación de Potencia sensada con a) Potencia en función, b) PSIM, c) voltaje*corriente, d) voltaje*efecto Hall, caso 3. Fuente propia.

En la gráfica 57 se observa la unión de las potencias en donde la señal 1 corresponde a la potencia dada por el producto de voltaje y efecto Hall sensados el día 20 mayo, la señal 2 corresponde a la función de la potencia sensada, la señal 3 corresponde la potencia simulada en PSIM, la señal 4 corresponde a la potencia dada por el producto de las funciones de voltaje y efecto Hall y por último la potencia dada por el producto de las funciones de voltaje-corriente.

Las señales de potencia graficadas por funciones de transferencia tienen una gran similitud con respecto a la potencia real sensada ya que el propósito de este trabajo es que las funciones creadas sean muy semejantes a lo real.

Para la señal 4 y 5, es la primer señal en donde empieza a dar valores menores en menor tiempo mientras que la señal 1 y 2 tienden a descender con valores iguales en el mismo tiempo, sin embargo la señal 3 correspondiente a la potencia simulada es muy distinta ante las demás que al inicio empieza a registrar valores más altos que las demás y descende en los valores en tiempo después de la señal real a seguir ya que esta señal simulada depende de su totalidad de la irradiancia ingresada desde un principio para el muestreo de este comportamiento de señal. Al

final las señales 1, 3, 4 y 5 señales mostradas llegan a 0W al mismo tiempo, mientras que la señal 2 oscila en gran manera al final del sensado.



Grafica 57 Unión de potencias, caso 3. Fuente propia.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El objetivo principal de este trabajo consistió en desarrollar un sistema de monitoreo de un SFV conectado a IoT sensando valores de irradiancia, temperatura del panel, corriente, voltaje, efecto Hall, potencia y temperatura ambiental, así como la simulación en PSIM, emulando el comportamiento de este SFV obteniendo las mismas variables a las sensadas, haciendo las funciones de transferencia de los valores sensados hasta llegar a la mayor igualdad de señal matemáticamente.

El sistema de monitoreo conectado a IoT para SFV cumplió con el propósito con los casos comprobados y documentados, aunque no tuvo el 100% de eficiencia por cuestiones del clima, de haberse presentado un cielo despejado completamente se hubiera obtenido una igualdad mayor al 90% tanto en lo simulado en PSIM, como en las funciones de transferencia creadas en Matlab hacia lo sensado, obteniendo perfectas campanas de Gauss, pero por cuestiones y condiciones climatológicas no se logró una eficiencia mayor a la registrada en las gráficas de comparación.

Este trabajo apertura materiales de potencia controlados con diferentes técnicas modulación debido a que se cuenta con condiciones reales tanto físicas como interpretadas por los sensores, y funciones de transferencia para el control de sistemas fotovoltaicos.

Este trabajo toma lugar como base para la inicialización de sistemas de monitoreo ampliando el rango de zona o una pequeña zona en específico, haciendo la caracterización de la misma.

Este sistema de monitoreo del SFV conectado a IoT demostró una gran viabilidad para el desarrollo de proyectos futuros en la Universidad de Ixtlahuaca CUI, haciendo un monitoreo con mayor o menor capacidad de captación de energía solar para posteriormente realizar una caracterización de la zona simplemente con funciones de transferencia

REFERENCIAS

- [1]. RER Energy, "México entre los países con incremento en energía solar," RER Energy Group, Jun. 06, 2021. <https://rerenergygroup.com.mx/mexico-entre-los-paises-con-incremento-en-energia-solar/> (accessed Oct. 05, 2022).
- [2]. Y. Ordaz, "México, entre 70 países con mejor potencial solar para generar energía: Banco Mundial," *Grupo Milenio*, Jan. 07, 2021. <https://www.milenio.com/negocios/mexico-70-paises-potencial-solar-generar-energia> (accessed Oct. 05, 2022).
- [3]. "IoT, ¿el nuevo aliado de las energías renovables?," *Think Big*, Feb. 21, 2019. <https://empresas.blogthinkbig.com/iot-el-nuevo-aliado-de-las-energias-renovables/> (accessed Oct. 05, 2022).
- [4]. "Campana de Gauss | Blog MBA Cámara de Comercio de Málaga," *Máster-malaga.com*, 2016. <https://www.máster-malaga.com/máster-mba/campana-de-gauss/#:~:text=en%20el%20Máster-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Campana%20de%20Gauss%3F,de%20forma%20acampanada%20y%20sim%C3%A9trica>. (accessed Oct. 05, 2022).
- [5]. R. Herrera Salcedo, "Modelado y caracterización de paneles fotovoltaicos", Maestro, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C., Chihuahua, 2013.
- [6]. "Vista de Desarrollo e implementación de prototipo electrónico para la caracterización de paneles solares en condiciones de exteriores," *Elpoli.edu.co*, 2022. <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/618/594> (accessed Oct. 05, 2022).
- [7]. Jorge Ismael Guachimboza Dávalos, Hugo Mauricio Tayo Pazmiño, "Diseño E Implementación De Un Módulo Didáctico Y Software De Simulación Para Visualizar La Curva Característica De Celdas Y Paneles Solares", Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [8]. "IXTLAHUACA 2015 Tabla de contenidos Contenido." [Online].. Available: http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2015/06006_IXTL_Atlas_final2.pdf
- [9]. "El clima en Ixtlahuaca de Rayón, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark," *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/y/5657/Clima-promedio-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=Temperatura%20promedio%20en%20Ixtlahuaca%20de,m%C3%ADnima%20de%209%20%C2%B0C>. (accessed Oct. 05, 2022).

- [10]. “El tiempo en Ixtlahuaca de Rayón en la primavera, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/s/5657/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico> (accessed Oct. 05, 2022).
- [11]. “El tiempo en Ixtlahuaca de Rayón en el verano, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/s/5657/1/Tiempo-promedio-en-el-verano-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico> (accessed Oct. 05, 2022).
- [12]. “El tiempo en Ixtlahuaca de Rayón en el otoño, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/s/5657/2/Tiempo-promedio-en-el-oto%C3%B1o-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico> (accessed Oct. 05, 2022).
- [13]. “El tiempo en Ixtlahuaca de Rayón en el invierno, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/s/5657/3/Tiempo-promedio-en-el-invierno-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico> (accessed Oct. 05, 2022).
- [14]. “El clima en Ixtlahuaca de Rayón, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/y/5657/Clima-promedio-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Clouds> (accessed Oct. 05, 2022).
- [15]. “El clima en Ixtlahuaca de Rayón, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/y/5657/Clima-promedio-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Sun> (accessed Oct. 05, 2022).
- [16]. “El clima en Ixtlahuaca de Rayón, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/y/5657/Clima-promedio-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-SolarEnergy> (accessed Oct. 05, 2022).
- [17]. “El clima en Ixtlahuaca de Rayón, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark,” *Weatherspark.com*, 2022. <https://es.weatherspark.com/y/5657/Clima-promedio-en-Ixtlahuaca-de-Ray%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-SolarEnergy> (accessed Oct. 05, 2022).
- [18]. “Cómo funciona una célula fotovoltaica - ATERSA,” *Atersa.shop*, 2019. <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula->

de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga (accessed Oct. 05, 2022).

[28]. “Electromagnetismo. Efecto Hall,” *Rsefalicante.umh.es*, 2022. <http://rsefalicante.umh.es/TemásElectromagnetismo/Electromagnetismo07.htm> (accessed Oct. 05, 2022).

[29]. “Efecto Hall,” *Sc.ehu.es*, 2016. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/Hall/Hall.html> (accessed Oct. 05, 2022).

[30]. Naylamp Mechatronics - Perú, “Tutorial sensor de corriente ACS712,” *Naylamp Mechatronics - Perú*, 2021. https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html (accessed Oct. 05, 2022).

[31]. O. Planas, *Solar-energia.net*, Feb. 04, 2019. <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar#:~:text=La%20irradiaci%C3%B3n%20horizontal%20difusa%20o,solar%20proveniente%20del%20disco%20solar.> (accessed Oct. 05, 2022).

[32]. Aldair Teutle, “Energía solar en México y su panorama actual,” *Suncore*, Oct. 20, 2022. <https://suncore.com.mx/paneles-solares/energia-solar-en-mexico-panorama-actual/> (accessed Oct. 22, 2022).

[33]. “Fluke IRR1-SOL Medidor de irradiación.” Accessed: Oct. 05, 2022. [Online].. Available: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/IRR1-SOLumspa0000.pdf?6hH_.RxTB0g07I0CaRgPZN7njI9wBNik

[34]. Fluke, “Kit medidor de irradiancia solar FLK-IRR1-SOL,” *Fluke.com*, 2020. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/herramientas-de-energia-solar/flk-irr1-sol#> (accessed Oct. 05, 2022).

[35]. “Voltaje - Concepto, tipos de voltaje y cómo medirlo,” *Concepto*, 2013. <https://concepto.de/voltaje/> (accessed Oct. 05, 2022).

[36]. “Sensor de Voltaje FZ0430 con Arduino,” *Arca Electrónica*, Jan. 25, 2019. <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20sensor%20de%20voltaje,m%C3%A1xima%20de%2025%20V%20con> (accessed Oct. 05, 2022).

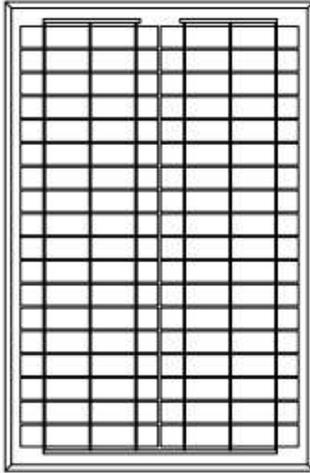
[37] “Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11,” *Naylamp Mechatronics - Perú*, 2021. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html> (accessed Oct. 05, 2022).

[38] J. Franco, J. Ramón, and V. Flecha, “Introducción a la identificación de sistemas.” [Online]. Available: <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/16/37/a37.pdf>

[39] “¿Cómo calcular la inclinación de los paneles solares? - Energya,” *Energya*, Dec. 28, 2021. <https://www.energyavm.es/como-calcular-la-inclinacion-de-los-paneles-solares/> (accessed Oct. 25, 2022).

Anexo

DS-A18-20 Panels Specifications



Solar cells: pieces crystalline solar cells

Laminate: Glass /EVA / TPT (tedlar/pet/tedlar) or TPE

Front Side: High-transmission 3.2mm tempered glass

Back Side: TPT /TPE

Frame: Clear anodized aluminum frame

Output cable: Multicontact connectors

Module Type	Pm(Wp)±5%	Vmpp(V)	Imp(A)	Voc(V)	Isc(A)	Module size(mm)	NET(kg)
DS-A18-20	20	18.0	1.11	22.3	1.2	490*350*25mm 19.3"*13.8"*1"	3.4

Operation Temperature Range: - 40°C ~ 85°C

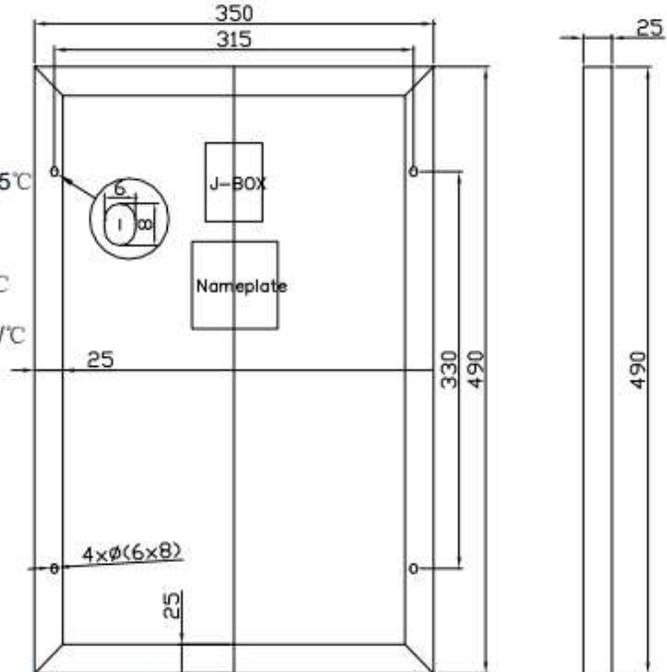
NOCT: 48°C ± 3°C

Temperature coefficients of Im: + 0.1 %/°C

Temperature coefficients of Vm: - 0.38 %/°C

Maximum System Voltage: DC600V

STC: 1000W/m², 25°C, AM1.5



All the data of this sheet are subjected to change without notice.

Anji DaSol Solar Energy Science & Technology Co., Ltd.