



Universidad Autónoma De Querétaro

Facultad de ingeniería

“Método de detección y localización de fallas en SFV de circuito abierto con luz roja pulsada operado bajo condiciones oscuras”

TESIS DE POSGRADO

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias de la Energía

Presenta:

Mauricio Lavador Osorio

309161

Dirigido por: Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Lugar en donde realizará la investigación: Universidad Autónoma de Querétaro

Querétaro, Qro. a 18 de Agosto del 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Método de detección y localización de fallas en SFV de
circuito abierto con luz roja pulsada operado bajo
condiciones oscuras

por

Mauricio Lavador Osorio

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](#).

Clave RI: IGMAC-309161



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Especialidad en Maestría en Ciencias de la Energía

“Método de detección y localización de fallas en SFV de circuito abierto con luz roja pulsada operado bajo condiciones oscuras”

TESIS DE POSGRADO

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias de la Energía

**Presenta:
Mauricio Lavador Osorio**

Dirigido por:
Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz
Presidente

Firma

Dr. Gonzalo Macías Bobadilla
Secretario 1

Firma

Dra. Perla Yazmín Sevilla Camacho
Vocal

Firma

Dr. Francisco De Moure Flores
Sinodal 1

Firma

Dr. Marco Antonio Zuñiga Reyes
Sinodal 2

Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha (será el mes y año de aprobación del Consejo Universitario)

DEDICATORIAS

A mi Dios padre por permitirme vivir esta experiencia tan nutritiva con tanto conocimiento y aprendizaje de una forma tan bella y enriquecedora.

A mi familia que siempre me apoyo desde el principio, mis padres Sarahí Jiasu Osorio Franco y Julio Cesar Lavador Padilla por guiarme, criarme y educarme con sus mejores valores y creencias, así como a Alejandro Borjón Mercado.

Mis abuelos Virgilio Lavador Chávez y Juana Franco Islas, por servirme de ejemplo viviente de una buena vida realizada, mis hermanas Diana Lavador Osorio y Paola García Osorio quienes siempre me dieron amor, aliento y un respaldo en momentos difíciles.

A mis amigos Gustavo, Misael y Felipe donde encontré los ánimos y apoyo incondicional.

RECONOCIMIENTOS

A mis maestros, el Dr. Marco Antonio Zuñiga Reyes que me enseñó todo lo relacionado a este tema, a la Dra. Perla Yamín Sevilla Camacho coautora del artículo científico de donde se partió para esta investigación y al Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz por ser mi director y guiarme a través de mi proceso de maestría.

A la UAQ por la permitirme el estudio de maestría a través de una formación profesional, colaborativa y ética empleando sus instalaciones, así como las del sindicato de trabajadores de la UAQ.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por aportar el apoyo integral para el desarrollo de esta investigación y poder llevar a cabo la redacción de esta tesis.

° RESUMEN

A lo largo del siglo 21 la implementación acelerada de sistemas fotovoltaicos ha dado pauta a la creación de sistemas de detección de fallas partir de las mediciones realizadas en las inmediaciones de las instalaciones concluidas, haciendo crecer el volumen de datos a analizar con cada nueva instalación, mejorando los sistemas de detección y ubicación de fallas con diversos métodos. En este trabajo se planteó desarrollar un dispositivo adaptativo que opere bajo un método basado en el análisis espectral de señales para detectar y localizar únicamente fallas de circuito abierto OFC (*Open Circuit Failure*) en uno de los strings de un arreglo fotovoltaico de dimensión regular mxn. El método propuesto utilizó la Transformada Discreta de Fourier y un clasificador basado en el algoritmo de *machine Learning* Knn para la detección del OCF. La novedad de esta técnica es que todo el conjunto fotovoltaico operó en condiciones de oscuridad o radiancia inferior a 10 W/m² haciendo mediciones de prueba y de experimentación durante horas del día donde el sol esta oculto, bajo este método se aplicó luz roja pulsada en el módulo del arreglo fotovoltaico más alejado del inversor. En estas condiciones de operación, la presencia de una falla de circuito abierto altera la variabilidad en las impedancias del arreglo fotovoltaico generando diferentes incrementos en las impedancias dinámicas totales, como resultado de estos aumentos y variaciones, la componente espectral de la tensión de salida del conjunto pudo detectar y localizar las fallas OCF. Lo mencionado anteriormente se logró por una fotogeneración de corriente alterna que crea un voltaje de polarización directa en el arreglo, bajo este supuesto se diseñó el dispositivo y se evaluó la efectividad del método propuesto bajo diferentes ubicaciones de falla, tamaños de arreglos fotovoltaicos y frecuencias adecuadas a las características locales del desarrollo del experimento.

Palabras clave:

Detección y diagnóstico de fallas en SFV, Detección de falla de circuito abierto, Transformada discreta de Fourier, Impedancia dinámica, Algoritmo Knn.

°ABSTRACT

Throughout the 21st century, the accelerated implementation of photovoltaic systems has led to the creation of fault detection systems based on measurements made in the vicinity of completed facilities, growing by making the volume of data to be analyzed with each new installation, improving fault detection and location systems with various methods. In this work it was proposed to develop an adaptive device that operates under a method based on the spectral analysis of signals to detect and locate only open circuit faults OFC (Open Circuit Failure) in one of the strings of a photovoltaic array of regular dimension $m \times n$. The proposed method introduced the Discrete Fourier Transform and a classifier based on the Knn machine learning algorithm for OCF detection. The novelty of this technique is that the entire photovoltaic set operated in conditions of darkness or radiance lower than 10 W/m^2 , making test and experimental detection during daylight hours where the sun is hidden. Under this method, pulsed red light was applied in the module of the photovoltaic array furthest from the inverter. Under these operating conditions, the presence of an open circuit fault alters the scarcity in the impedances of the photovoltaic array, increasing different increments in the total dynamic impedances, as a result of these increases and variations, the spectral component of the output voltage of the array. was able to detect and localize OCF faults. The aforementioned was modified by an alternating current photogeneration that creates a direct bias voltage in the array, under this assumption the device was opened and the effectiveness of the proposed method was evaluated under different fault arrangements, size of photovoltaic arrays, and adequate frequencies. to the local characteristics of the development of the experiment.

Keywords:

Fault detection and diagnosis in SFV, Open circuit fault detection, Discrete Fourier transform, Dynamic impedance, Knn algorithm.

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE:

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



Mauricio Lavador Osorio

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
	JUSTIFICACIÓN.	3
2.	ANTECEDENTES.	4
3.	HIPÓTESIS.	8
4.	OBJETIVOS.	9
4.1	OBJETIVO GENERAL:	9
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	9
5.	METODOLOGÍA.	10
5.1	MODELADO MATEMÁTICO DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO.	11
5.2	IMPEDANCIA DINAMICA.	12
5.3	ALGORITMOS DE TRABAJO.	15
5.3.1	TRANSFORMADA DE FOURIER DISCRETA (DFT).	15
5.3.2	K – NEAREST NEIGHBORS (KNN).	16
5.4	PLATAFORMAS DE TRABAJO.	18
5.4.1	<i>MATLAB</i> .	18
5.4.2	<i>PYTHON</i> .	18
5.4.3	ARDUINO.	19
5.4.4	QUCS.	19
5.5	SIMULACIONES.	20
5.6	MATERIALES Y COMPONENTES.	21
5.7	ELABORACIÓN DEL DISPOSITIVO OCF.	22
5.8	PROCEDIMIENTOS PARA ANÁLISIS DE LA SEÑAL.	26

6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	27
6.1	ETAPA DE SIMULACIÓN.....	27
6.2	ETAPA DE MEDICIONES DE CONTROL PARA EL DISPOSITIVO.....	35
6.3	ETAPA FINAL DE EXPERIMENTACIÓN.	46
7.	CONCLUSIONES	62
8.	REFERENCIAS	64
9.	ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema representativo de dispositivo OFC (Elaboración propia).....	10
Figura 2: Circuito eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica (Elaboración propia)....	12
Figura 3: Circuito equivalente CA de un módulo fotovoltaico sin corriente generada por luz (Elaboración propia).....	12
Figura 4 : Circuito equivalente CA reducido de un módulo fotovoltaico sin corriente generada por luz (Elaboración propia).	13
Figura 5 : Conjunto fotovoltaico en configuración serie-paralelo (Elaboración propia).	14
Figura 6: Ejemplificación de FFT [36].	16
Figura 7: Capas de la inteligencia artificial (elaboración propia).	17
Figura 8: Técnicas de Machine Learning [38].	17
Figura 9: Ejemplo gráfico del algoritmo Knn [39].	18
Figura 10: Procedimiento para simulación (elaboración propia).	20
Figura 11: Proceso para el análisis de señal.	26
Figura 12: Diagrama y esquema del módulo pulsado.	27
Figura 13: Diagrama y esquema del módulo sin pulso.	27
Figura 14: Diagrama y esquema del HPF.	28
Figura 15: Arreglo 4x1 en QUCS.	29
Figura 16 :Arreglo 4x2 en QUCS.	29
Figura 17: Arreglo 4x3 en QUCS.	30
Figura 18: Arreglo 4x4 en QUCS.	31
Figura 19: Ejemplificación OCF de arreglo 4x4 en QUCS.	32
Figura 20: Tren de pulsos de salida en simulaciones 4x,1 4x2,	33
Figura 21: Componentes OCF en arreglos simulados 4x1, 4x2, 4x3 y 4x4.	33
Figura 22: Componentes OCF de arreglos 5x4 y 6x4.	34
Figura 23: Señal de salida y componente de frecuencia de prueba dispositivo OCF.	36
Figura 24: Componente de frecuencia bajo distintas condiciones experimentales.	36
Figura 25: Componente de frecuencia con distintas cantidades de datos.	37
Figura 26: Componentes de salida de la simulación.	39

Figura 27: Componentes de salida de mediciones reales.....	39
Figura 28: Pruebas de casos A, B, C y D en 10 kHz en MFV de 50 Watts.....	41
Figura 29: Comparación de cambios de temperatura por encima de los 25 C° en MFV de 50 Watts.....	42
Figura 30: Comparación de cambios de temperatura por debajo de los 25 C° en MFV de 50 Watts.....	42
Figura 31: Promedios anuales de temperatura del estado de Querétaro	43
Figura 32: Prueba de control #2 MFV SolarEver-182*91-M-144 de 545W monocristalino de 144 celdas.....	44
Figura 33: Comparación prueba de control #1 y #2.....	44
Figura 34: Componentes de salida de la experimentación.....	49
Figura 35: Comparación de 50 componentes de la fase de experimentación a 9, 10 y 11kHz.....	49
Figura 36: Esquema arreglo 4x1 experimental.....	52
Figura 37: Señales de salida del arreglo 4x1 experimental.....	52
Figura 38: Esquema arreglo 4x2 experimental.....	53
Figura 39: Señales de salida del arreglo 4x2 experimental.....	53
Figura 40: Esquema arreglo 5x1 experimental.....	54
Figura 41: Señales de salida del arreglo 5x1 experimental.....	54
Figura 42: Esquema arreglo 5x2 experimental.....	55
Figura 43: Señales de salida del arreglo 5x2 experimental.....	55
Figura 44: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 4x1.....	57
Figura 45: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 4x2.....	58
Figura 46: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 5x1.....	59
Figura 47: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 5x2.....	60
Figura 48: Resumen algoritmo Knn en arreglo 4x1.....	61

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Dispositivo OCF inicial.	22
Imagen 2: Dispositivo OCF final.	23
Imagen 3: Evaluación de ciclo de trabajo en las 3 etapas del dispositivo OCF.	24
Imagen 4: Puesta en marcha del prototipo OCF.	24
Imagen 5: Sistema de posicionamiento ultrasónico.	25
Imagen 6: Prueba de control #1 MFV Pro-5012 de 50W policristalino de 60 celdas.	35
Imagen 7: SFVI usado para comprobación del método OCF (vista frontal).	47
Imagen 8: SFVI usado para comprobación del método OCF (vista lateral).	47
Imagen 9: Comprobación experimental del método OCF en SFVI.	48
Imagen 10: Setup experimental para la detección OFC.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de antecedentes (elaboración propia).....	5
Tabla 2: Antecedente de uso de análisis espectral (Elaboración propia).....	7
Tabla 3: FFT y DFT.	15
Tabla 4: Valores de componentes OCF 4x1, 4x2, 4x3 y 4x4.	34
Tabla 5: Voltajes de pruebas de barrido.....	39
Tabla 6: Corrientes de pruebas de barrido.	38
Tabla 7: Componente de frecuencia en medición real.....	41
Tabla 8: Componente de frecuencia de la simulación en QUCS.....	40
Tabla 9: Características eléctricas de los MFV de prueba #1 Pro-5012 de 50 watts y prueba #2 SolarEver-182*91-M-144 de 545 watts.	45
Tabla 10: Características eléctricas MFV SRP-370-6MA-HV de 370 W monocristalinos de 72 celdas.....	46
Tabla 11: Resumen de las 50 muestras experimentales de barrido a 9, 10 y 11kHz.	50
Tabla 12: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 4x1 experimental. ...	52
Tabla 13: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 4x2 experimental. ...	53
Tabla 14: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 5x1 experimental. ...	54
Tabla 15: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 5x2 experimental. ...	55
Tabla 16: Valores de grupos categóricos para la ubicación y localización de OFC.....	56
Tabla 17: Base de datos de las componentes	
Tabla 18: Valores asignados de los grupos.....	62

1. INTRODUCCIÓN.

Una ventana en el tiempo nos ha permitido la oportunidad del desarrollo y la implementación de la generación fotovoltaica que, de momento por limitantes tecnológicas, no se ha podido aprovechar en un 100%. Tomando el rol que le pertenece en esta generación preparada e informada se ha llevado esta oportunidad al límite, obteniendo cada vez mejores componentes fotogeneradores y ampliando sus usos y aplicaciones, cada vez más dentro de la cotidianidad y fuera de los laboratorios. A lo largo de las últimas décadas la implementación y desarrollo de energías sustentables han tenido un aumento significativo en la generación mundial energética [1]. El desarrollo tecnológico conlleva un aumento en la eficiencia y complejidad de los sistemas fotovoltaicos por lo que la tendencia nos lleva a un aumento en la producción de kW por metro cuadrado con cada mejora en la composición del material que se aplica en los módulos fotovoltaicos [2]. La correcta implementación de fuentes de energía renovable ha demostrado ser viable en cuestiones de retorno de inversión a largo plazo y la preservación del medio ambiente. De acuerdo con estudios [3] las fallas más comunes que ocurren en los conjuntos fotovoltaicos de mayor a menor medida son:

- fallas a tierra.
- fallas de línea a línea.
- fallas de arco eléctrico.
- fallas de circuito abierto.
- formación de puntos calientes.
- fallas de cortocircuito.
- falla del diodo de derivación.
- falla debido a la formación de polvo/suciedad en un conjunto fotovoltaico.

Ubicando las fallas de circuito abierto como las cuartas más comunes, teniendo esto en cuenta, la creación de un dispositivo que facilite la detección y localización de fallas de este tipo en sistemas fotovoltaicos a través de la medición de señales de respuesta instantánea es conveniente para su correcto funcionamiento y mantenimiento anticipado para poder seguir produciendo energía y seguir elevando la confianza de la población en general hacia las

energías verdes y alternativas. En este trabajo se llevó a cabo el desarrollo de un dispositivo para la detección de un OFC (*Open Circuit Failure*), permitiendo la detección y ubicación de la desconexión para arreglos fotovoltaicos serie-paralelo regulares $m \times n$ esto quiere decir, arreglos donde la cantidad de módulos en serie son los mismos para cada string.

En este método se aplica una luz roja pulsante en el módulo más alejado del inversor central, (este será el último módulo del string más alejado al inversor central) creando con dichos pulsos una fotogeneración constante de corriente eléctrica en forma de corriente alterna lo cual ingresa un voltaje de polarización directa en el arreglo, que a su vez genera un cambio en la impedancia dinámica del sistema según sea la localización de la falla, haciendo uso de estas señales de voltaje generadas para la detección OCF del arreglo fotovoltaico serie-paralelo.

Otra particularidad es que el dispositivo opera en condiciones de obscuridad (amanecer, atardecer y noche) debido a la baja irradiancia por parte del sol cercana a 10 W/m^2 y con temperaturas inferiores a los 25 C° lo cual permite una experimentación fiable donde el ruido y las señales de los módulos debido a su generación de corriente directa es naturalmente evitada. En estas condiciones, bajo este supuesto se diseñó el dispositivo y se evaluó la efectividad del método bajo diferentes ubicaciones de falla, temperaturas, tamaños de arreglos fotovoltaicos, frecuencias adecuadas a las composiciones cristalinas de los módulos fotovoltaicos y a las características meteorológicas locales del desarrollo del experimento. La transformada discreta de Fourier (*DFT*) y la técnica Knn (*k-Nearest Neighbor*) se emplearon para la extracción de características de frecuencia y la indicación de falla respectivamente.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El tiempo para la detección de fallas de circuito abierto en sistemas fotovoltaicos de media tensión mayores a 50 kW es largo, debido a sus dimensiones en tamaño y requiere mediciones individuales de los módulos para encontrar el módulo desconectado en el string, ya que la falla de circuito abierto puede estar presente en cualquiera de los módulos en serie de este y ocasionar la pérdida de generación de la energía calculada del arreglo. También se requieren

diferentes áreas de experiencia y una correcta interpretación de los datos. Las técnicas actuales para su detección además de ser más complejas requieren de la intervención de la integridad de los inversores, que en todos los casos hacen perder la garantía del producto al intervenir en los componentes electrónicos internos ya que son aparatos con derechos intelectuales y protección de patentes, en este trabajo no se pone en riesgo la integridad del inversor. Lo que se propone es la creación de un dispositivo que facilite la detección y localización de fallas de circuito abierto a través de la medición de señales de respuesta de voltaje instantánea en la cual no es necesario interpretar la señal desde la salida del inversor sino desde la salida del arreglo fotovoltaico antes de ingresar al inversor.

JUSTIFICACIÓN.

Las instalaciones fotovoltaicas requieren extensiones libres de sombras (árboles, edificios, sombras mutuas) para correcta su implementación, y así aprovechar la máxima irradiancia que impacta contra la superficie terrestre, de preferencia en un relieve homogéneo sin irregularidades y con una inclinación entre 0° y 45° según la latitud de la instalación y una orientación 180° sur [4], por lo que se hace uso de grandes terrenos llanos o se emplean los techos y azoteas de casas, edificios o naves industriales las cuales son inherentemente peligrosas al tratarse de maniobras que se realizan a alturas mayores a 1.8 metros, lo cual sin la prudencia y equipo de seguridad adecuado pueden conducir a fatalidades o a inmovilizaciones temporales- permanentes de laguna extremidad en el mejor de los casos. [5] Con este método no se requiere una modificación significativa del arreglo fotovoltaico en cuestión y se reduce la maniobra en las alturas por tiempos prolongados en el cual de forma tradicional se hacen las mediciones correspondientes para cerciorarse del correcto funcionamiento, primero string por string y después de ubicar la falla, modulo por modulo, además que al no trabajar con los modulos fotovoltaicos en generacion se evitan choques eléctricos en corriente directa, así como el uso de imágenes termográficas a distancia para el análisis de fallas [6].

Los métodos de detección y diagnóstico de fallas (*FDD*) son indispensables para la confiabilidad del sistema, la operación de alta eficiencia y la seguridad de la planta

fotovoltaica. A diferencia de los métodos existentes, este se implementa fácilmente y opera a un bajo precio el cual se estima en aproximadamente USD \$550 por dispositivo a la fecha de elaboración, aunado a que no requiere equipo costoso o especializado. La gestión de las instalaciones fotovoltaicas sigue siendo muy similar a la utilizada en décadas anteriores. La familia de tecnologías y protocolos de red inteligente ofrece mejoras significativas en la producción general de energía a través de una mayor supervisión y comunicación entre los componentes del arreglo fotovoltaico haciendo uso de telemetría [7]. Si no se detectan y corrigen rápidamente, las fallas en cualquier componente de un sistema fotovoltaico pueden afectar seriamente la eficiencia y el rendimiento energético, así como la seguridad y confiabilidad de toda la instalación fotovoltaica[8].

2. ANTECEDENTES.

En la literatura se han propuesto y llevado a la práctica varios métodos de detección y diagnóstico de fallas (*FDD*) por las siguientes características principales:

- Detección rápida de mal funcionamiento.
- Requisitos de complejidad y sensores.
- Datos climáticos y eléctricos de entrada requeridos.
- Selectividad (la capacidad de distinguir entre diferentes fallas).

Dichas fallas se pueden clasificar globalmente en dos categorías principales [9], visual-térmicas y eléctricas, de las cuales, el uso de mediciones eléctricas es la opción más prometedora y ventajosa para los sistemas de monitoreo y diagnóstico [10]. Los métodos eléctricos se pueden clasificar a su vez en cinco grupos principales [11]:

- Enfoques estadísticos y de procesamiento de señales.
- El análisis de las características I-V.
- Análisis de pérdida de potencia.
- Medición de tensión y corriente.
- Técnicas de inteligencia artificial.

Algunos métodos pueden detectar, localizar y clasificar posibles fallas que ocurren en un arreglo PV, mientras que otros métodos solo realizan una o dos de estas acciones. Esto se debe en cada caso a la técnica utilizada y las características de la falla analizada. Se han informado varios métodos en la literatura que detecta y/o identifica la falla de circuito abierto (*OCF*). La tabla 1 presenta un resumen del estado del arte de los trabajos más relevantes relacionados con la temática.

Tabla 1: Resumen de antecedentes (elaboración propia).

Referencia	Aplicación	Aportación
[12]	Predicción del comportamiento fotovoltaico bajo cualquier condición ambiental.	Procedimiento para la predicción del comportamiento fotovoltaico bajo cualquier condición ambiental basado en las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un algoritmo capaz de reconocer con precisión entre un estado de degradación y una anomalía del sistema antes de que ocurra una falla.
[13]	Medidor de diagnóstico de fallas basado en una red neuronal de extensión (ENN) usando el software Solar Pro.	Emplear el protocolo RS-232 para comunicar un hardware programado con un diagnóstico de fallas que realiza la adquisición de las curvas IV y PV, la potencia de salida máxima, el voltaje del punto de máxima potencia, la corriente del punto de máxima potencia, el voltaje de circuito abierto, la temperatura y la irradiación del conjunto de PV, con un módulo ZigBee para realizar un diagnóstico remoto de fallas.
[14]	Detección del número de fallas de circuito abierto y cortocircuito.	Basado en la medición de la tensión de funcionamiento de la cadena fotovoltaica y la temperatura ambiente, se presenta un método basado en la regla 3-Sigma el identificador de Hempel y la regla Boxlplot para detectar la presencia de cadenas abiertas, en este método se requieren dos módulos de referencia, un voltaje y un sensor de corriente para cada cadena.

[15]	La detección de fallos basado en series temporales de corriente de cadena fotovoltaica.	Detección y localización de fallas con baja y alta irradiancia, detectando la cadena diagnosticada con base al factor de valor atípico local (LOF), llevados a cabo en tres fallos típicos, falla de corto circuito, falla por sombras y falla de circuito abierto.
[16] [17]	Detección de fallas basado en modelos para la detección temprana de sombreado de módulos fotovoltaicos y fallas en el lado de CC.	Este enfoque combina la flexibilidad y la simplicidad de un modelo de un diodo con la capacidad extendida de un gráfico de control de promedio móvil ponderado exponencialmente (EWMA) para detectar cambios incipientes.
[18]	Determinación del número de módulos fotovoltaicos abiertos y en cortocircuito en una cadena.	Método de diagnóstico simple para dicha determinación, Se necesitan sensores de temperatura e irradiancia, así como un medidor de potencia por cadena, los minimódulos fotovoltaicos se utilizan en una matriz fotovoltaica portátil.
[19]	Esquema de protección basado en voltaje que detecta, clasifica y ubica fallas de cadena a tierra, de cadena a cadena y de circuito abierto en arreglos fotovoltaicos.	El esquema de protección opera en base a las propiedades de magnitud y forma de onda de las señales de voltaje. Se requieren dos sensores de voltaje para cada cadena de la matriz fotovoltaica. Además, se presenta un esquema de detección de fallas basado en el monitoreo de la potencia de salida del arreglo fotovoltaico, utilizando la complejidad basada en la entropía de la muestra, la irregularidad de la serie temporal fotovoltaica se cuantifica como el criterio de detección de fallas.
[20] [21] [22]	Ubicación e identificación de circuitos abiertos y cortocircuitos en la cadena de módulos fotovoltaicos.	El uso de la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), esta técnica también se ha utilizado para una planta fotovoltaica de gran tamaño en condiciones de funcionamiento.
[23]	Detección y ubicación de desconexión en una cadena de módulos fotovoltaicos.	Estudio experimentalmente de un método de indicación desconexión utilizando una medición de capacitancia de tierra (ECM), El método no tiene sensores, pero se requiere de un medidor LCR.

[24]	Localización de fallas en la cadena de módulos fotovoltaicos.	Estudio experimental de dos métodos para la localización de fallas en la cadena de módulos fotovoltaicos. Uno era el ECM y el otro era el TDR.
------	---	--

En todos los métodos de ubicación mencionados anteriormente se requiere la desenergización y la desconexión de cada cadena para una generar una configuración en serie-paralelo y realizar las mediciones, lo que resulta en una menor productividad para la modificación del conjunto fotovoltaico; y un aumento de los costos por la desconexión y las pruebas individuales y manuales de cada cadena. Además, no se garantiza la seguridad del personal de mantenimiento.

Una descripción general de algunos de los métodos de detección y ubicación de fallas de paneles fotovoltaicos informados muestra que los métodos presentan tanto ventajas como limitaciones en términos de enfoque, requisitos del sensor, la capacidad de diagnosticar y localizar fallas, complejidad de integración, precisión, aplicabilidad, validación experimental, y costo de implementación. Sin embargo, la señal de CA del voltaje de salida del conjunto fotovoltaico proporciona información importante que se puede procesar digitalmente mediante análisis espectrales y estadísticos para extraer información importante que facilite la detección de fallas. El análisis espectral se usa ampliamente para el monitoreo de condiciones y el diagnóstico de fallas en sistemas eléctricos, mecánicos y electromecánicos, como se muestra en a la siguiente tabla:

Tabla 2: Antecedente de uso de análisis espectral (Elaboración propia)

Referencia	Aplicación	Aportación
[25]	Monitoreo de maquinaria eléctrica rotatoria.	Análisis de señales usando análisis instantáneo de velocidad angular (IAS) para detectar el rotor y emplear la velocidad del motor para ubicar fallas eléctricas, pero no ha sido ampliamente utilizado por los operadores.
[26]	Sistemas de monitorización de alta precisión para mediciones	Propone un análisis basado la frecuencia y la frecuencia temporal de la fuerza de corte y las señales de vibración para estimar la condición de la

	en línea en herramental.	herramienta de un proceso de microfresado de alta velocidad.
[27]	Detección de frecuencias eléctricas para accionar interruptores de falla de arco eléctrico.	Robustificación detectores de falla de arco eléctrico de un módulo PV usando los datos de alta frecuencia de respuesta del ruido RF a lo largo de los cables de la instalación.
[28]	La reducción de errores que producen la máxima velocidad y precisión en una arquitectura determinada.	Se utiliza un modelo estadístico para errores de redondeo para predecir el ruido de salida de las formas más comunes del algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT), el radix-2 y el radix-4, con diezmado en el tiempo (DIT) y diezmado en frecuencia (DIF).
[29]	El análisis de secuencias de muestras no sincronizadas.	Se propone un método de estimación de interarmónicos basado en el algoritmo FFT de interpolación teniendo un impacto importante en el diseño de los equipos de compensación de armónicos.

3. HIPÓTESIS.

El uso de luz roja pulsada sobre un módulo del arreglo fotovoltaico operado en condiciones de oscuridad genera una fotocorriente alterna, los cambios en la componente de frecuencia del voltaje de salida, y la variabilidad en las impedancias dinámicas totales sirven para localizar la falla de circuito abierto sin la necesidad de modificar el conjunto fotovoltaico.

4. OBJETIVOS.

4.1 OBJETIVO GENERAL:

El uso de las instalaciones del sistema fotovoltaico del edificio del sindicato UAQ para ser usado como banco de pruebas experimentales base y analizar la respuesta generada en diferentes condiciones para obtener la ubicación de OCF en los arreglos de dicha instalación y usar estos datos en la programación de un dispositivo adaptativo del sistema fotovoltaico que detectará las fallas de circuito abierto, estando adecuado al Estado de Querétaro, interpretando el clasificador y localizador de falla de circuito abierto.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Cumplir con la certificación alineada a la norma EC1181 y EC0586.01 para instalación y supervisión de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.
- Realizar la simulación de falla de circuito abierto en el software QUCS con los tamaños, temperaturas y ubicaciones de falla seleccionados para el experimento y analizar sus respuestas.
- Elaborar el pulsador de luz LED roja pulsada entre 5 y 20 kHz constante y fiable para adecuarla a los valores más convenientes para la instalación fotovoltaica.
- Diseñar el filtro analógico-digital adecuado para la señal de respuesta y recolectar con osciloscopio los datos de voltajes de salida de las instalaciones fotovoltaicas del edificio del sindicato UAQ para los diferentes arreglos generados.
- Realizar la programación a partir de las señales de salida del arreglo fotovoltaico simulado en QUCS para el modo de aprendizaje supervisado con Matlab y Python.
- Medir la respuesta y recolectar con osciloscopio los datos de voltajes de salida de las instalaciones fotovoltaicas del edificio del sindicato UAQ para los diferentes arreglos generados de manera conveniente.
- Procesar las mediciones de la variación del voltaje de salida en función de la ubicación de falla, frecuencia, temperatura y tamaño del arreglo para la base de datos experimental.

- Ejecutar experimentación in situ para la captura de información en modo de operación y contrastarlos con el modo de aprendizaje guiado para corroborar el método.

5. METODOLOGÍA.

La desconexión (falla de circuito abierto) que presenta cada una de las cadenas genera diferentes valores de voltaje de salida para el arreglo debido a la variabilidad en las impedancias de los módulos. Por lo tanto, las diferencias en los valores de voltaje de salida permiten la detección y ubicación de la rama con una falla de circuito abierto en un arreglo fotovoltaico serie-paralelo [30].

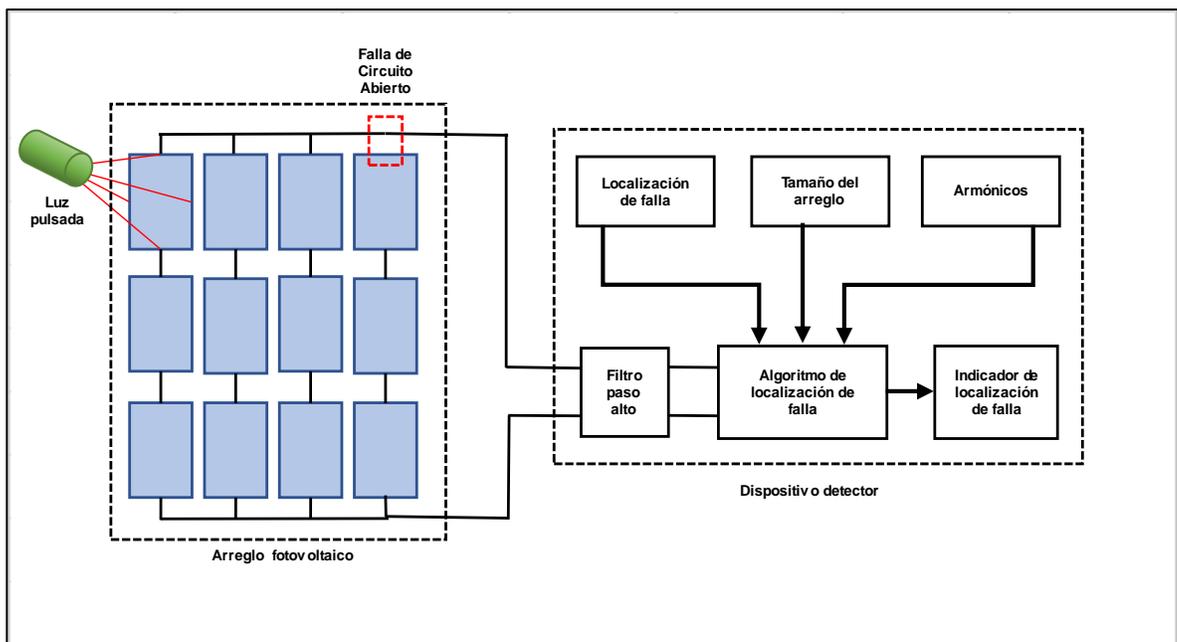


Figura 1: Esquema representativo de dispositivo OFC (Elaboración propia).

Con la obtención de estas señales de voltaje salida del arreglo fotovoltaico se generó en un entorno digital un modelo que recopilara esta información que será procesada para poder utilizar las instalaciones fotovoltaicas ya correctamente instaladas e interconectadas a la red, a fin de realizar la experimentación correspondiente y pertinente en aras de la creación de un banco de datos que servirán como base para la creación de un proceso adaptativo capaz de

detectar las fallas de circuito abierto en un arreglo fotovoltaico en particular, hecho acorde a las características meteorológicas en el estado de Querétaro [31], pretendiendo ser empleada en inicio como un intercambio tecnológico con asociaciones certificadoras en instalación de paneles fotovoltaicos, con el fin de aumentar el tamaño del experimento.

El método está diseñado para describir el funcionamiento de un conjunto fotovoltaico en condiciones de oscuridad con la aplicación de una luz pulsada en un módulo del string más alejado del conjunto fotovoltaico para evitar las señales y el ruido experimental que la radiación solar ejerce sobre el módulo fotovoltaico durante la fase de generación de corriente directa. Para la generación de este pulso la única condición es que esta frecuencia sea mucho más alta que la frecuencia de 60 Hz , esto evita interferencias con las señales de la fuente de alimentación. En esta investigación la frecuencia después de un estudio sobre el comportamiento de distintos módulos fotovoltaicos utilizados se fijó en 10 kHz .

Se eligió una fuente de luz roja en particular porque se ha demostrado que la luz de este color es más efectiva cuando incide sobre una celda solar [32]. El uso de la luz roja pulsada introduce un voltaje de polarización directa en el conjunto sin necesidad de desconectar o modificar el conjunto fotovoltaico, las amplitudes de la componente de frecuencia a 10 kHz y sus armónicos en 20 y 30 kHz se analizan para localizar una falla de circuito abierto en un string. Los cambios en la amplitud de esta frecuencia se generan debido a cambios en la impedancia total del arreglo (usando eq. 2), la cual es resultado de la desconexión (usando eq. 3) y la variabilidad de las impedancias que presenta cada una de los strings en la matriz [33].

5.1 MODELADO MATEMÁTICO DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO.

Un módulo fotovoltaico puede ser representado con su circuito equivalente de un solo diodo, [34] en el cual la relación entre la corriente de salida y el voltaje viene dada por la siguiente ecuación no lineal:

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Donde:

I_{ph} : fotocorriente generada por luz

I_o : es la corriente de saturación inversa del diodo

q : es la carga del electrón (1.6×10^{-19} C)

n : es el factor de idealidad para una unión p-n

k : es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

T : es la temperatura del modulo

R_s : es la resistencia en serie

R_{sh} : es la resistencia shunt

I : corriente

V : voltaje

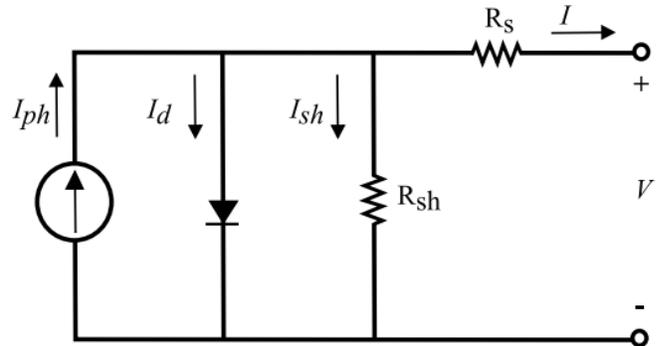


Figura 2: Circuito eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica (Elaboración propia).

5.2 IMPEDANCIA DINAMICA.

En algunos estudios informados [35], las celdas o módulos se prueban en condiciones de oscuridad para caracterizar su impedancia dinámica. En estos estudios, una onda sinusoidal o cuadrada con frecuencias variables se introduce en la celda solar en polarización directa o inversa. Los resultados se obtienen de las siguientes maneras:

- Los lugares geométricos de impedancia se trazan e interpretan en un plano complejo en cualquier nivel de polarización.
- Las respuestas se calculan aplicando procesamiento de señales a las señales de entrada y salida, usando técnicas de Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener los diversos contenidos armónicos de la entrada y la salida.

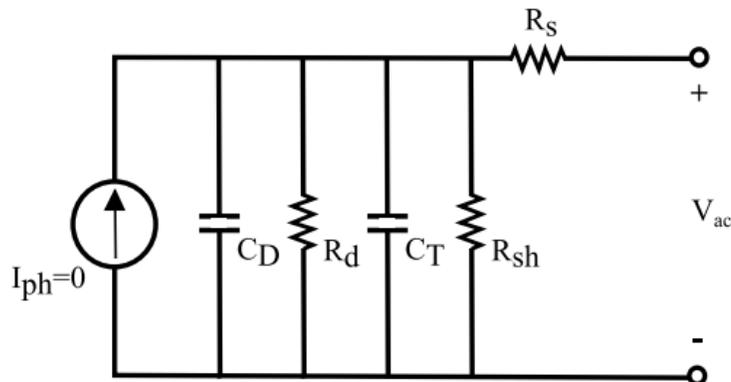


Figura 3: Circuito equivalente CA de un módulo fotovoltaico sin corriente generada por luz (Elaboración propia).

En condiciones de oscuridad cuando se observa el punto de salida de la celda solar se puede demostrar que la impedancia de la celda $Z_{PV}(\omega)$ a una frecuencia ω consta de un componente resistivo y de uno reactivo. En cada voltaje de polarización V la impedancia $Z_{PV}(\omega)$ se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$Z_{PV}(V, \omega) = R_{PV}(V, \omega) + jX_{PV}(V, \omega) \quad (2)$$

Para simplificar se elimina V de la ecuación y se reescribe de la siguiente manera:

$$Z_{PV}(\omega) = R_{PV}(\omega) + jX_{PV}(\omega)$$

$$Z_{PV} = \left[R_S + \frac{R_P}{(\omega R_P C_P)^2 + 1} \right] - j \left[\frac{\omega R_P^2 C_P}{(\omega R_P C_P)^2 + 1} \right] \quad (3)$$

Donde:

R_P : es la resistencia paralela de R_{sh} y R_d
 C_P : es la capacitancia paralela de C_D y C_T
 ω : frecuencia angular = $2 * \pi * f$

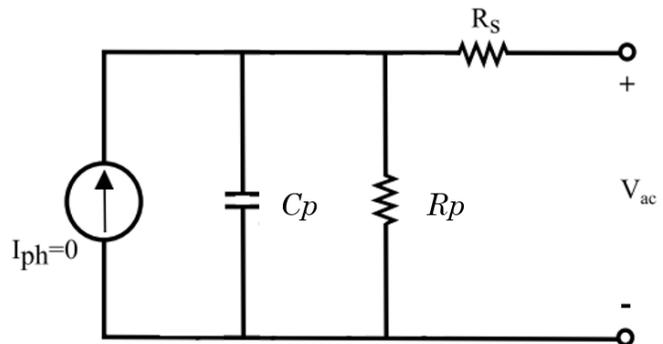


Figura 4 : Circuito equivalente CA reducido de un módulo fotovoltaico sin corriente generada por luz (Elaboración propia).

La aplicación del análisis del dominio de la frecuencia a una celda o módulos fotovoltaicos en condiciones de oscuridad se puede utilizar no solo para obtener sus parámetros dinámicos sino también para detectar fallas en un conjunto fotovoltaico. Un arreglo fotovoltaico se construye conectando una serie de módulos tanto en serie como en paralelo. Si todo el arreglo fotovoltaico opera en condiciones de generación directa, la corriente de cortocircuito y la

potencia máxima disminuyen debido a una falla de circuito abierto, mientras que el voltaje de circuito abierto permanece cerca de su valor normal. Sin embargo, si todo el conjunto fotovoltaico se prueba en condiciones de oscuridad y solo un módulo fotovoltaico del conjunto se ilumina con una luz pulsante para generar un voltaje de salida pulsante, la presencia de OFC genera un cambio en la impedancia dinámica del arreglo (Z_{ary}).

$$Z_{ary} = \frac{1}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} + \dots + \frac{1}{Z_n}} \quad (4)$$

La razón de este aumento se debe a que los strings fotovoltaicos (impedancias) en el campo fotovoltaico están conectadas en un circuito paralelo. Un aumento en la impedancia total genera un aumento en el voltaje de salida del arreglo, debido a que la corriente I , obtenida del módulo iluminado es constante.

$$V_{ary}(\omega) = I(\omega)Z_{ary}(\omega) \quad (5)$$

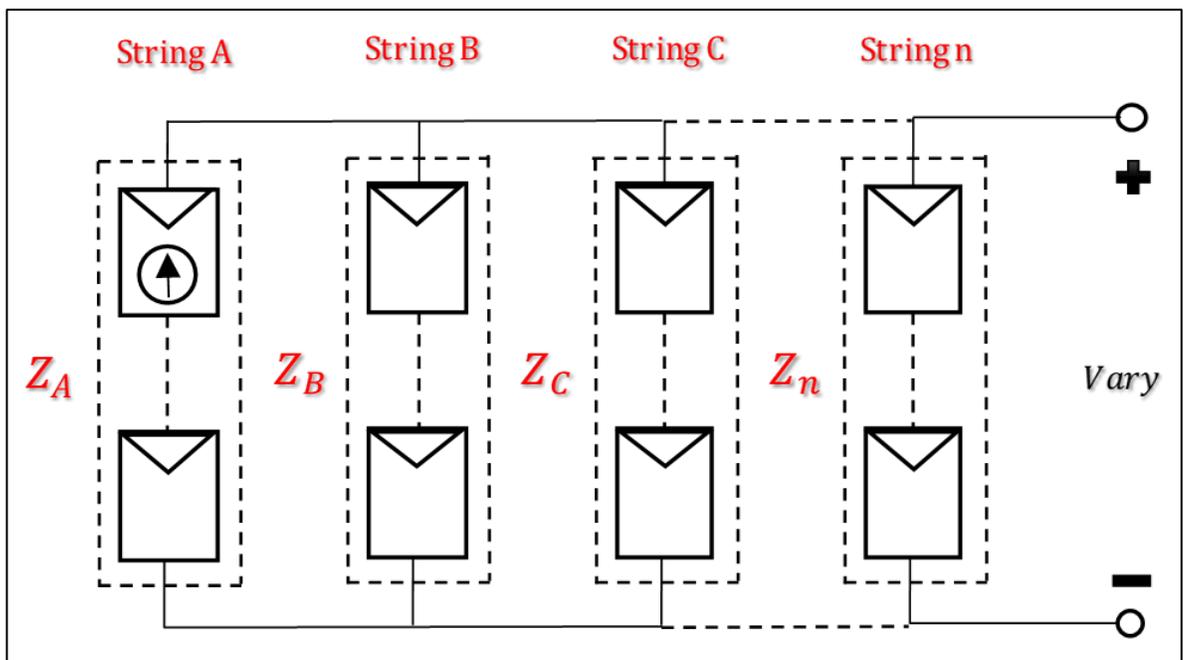


Figura 5 : Conjunto fotovoltaico en configuración serie-paralelo (Elaboración propia).

5.3 ALGORITMOS DE TRABAJO.

5.3.1 TRANSFORMADA DE FOURIER DISCRETA (DFT).

Es una transformación matemática empleada para transformar señales entre el dominio del tiempo (o espacial) y el dominio de la frecuencia. Es reversible, siendo capaz de transformarse en cualquiera de los dominios al otro. El propio término se refiere tanto a la operación de transformación como a la función que produce. En el caso de una función periódica en el tiempo, la transformada de Fourier se puede simplificar para el cálculo de un conjunto discreto de amplitudes complejas, llamado coeficientes de las series de Fourier, ellos representan el espectro de frecuencia de la señal del dominio-tiempo original.

Tabla 3: FFT y DFT.

Transformada de Fourier	
de una señal de tiempo continuo $X(\omega)$:	de una señal de tiempo discreto $X(\Omega)$:
$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$	$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\Omega n}$

Sea $x[n]$ una señal de tiempo discreto, con DFTF $X(\Omega)$ Debido a que $X(\Omega)$ es una función de la variable continua Ω no es posible almacenarla en la memoria de una computadora digital al menos que $X(\Omega)$ pueda expresarse de forma cerrada [36]. Para implementar técnicas de *DTFT* en una computadora digital, es necesario realizar una discretización en la frecuencia. La transformada discreta de Fourier $X(k)$ dado un entero positivo de N puntos X_k de $x[n]$, sobre el intervalo de tiempo $n=0$ hasta $n=N-1$ se define como:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi n/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

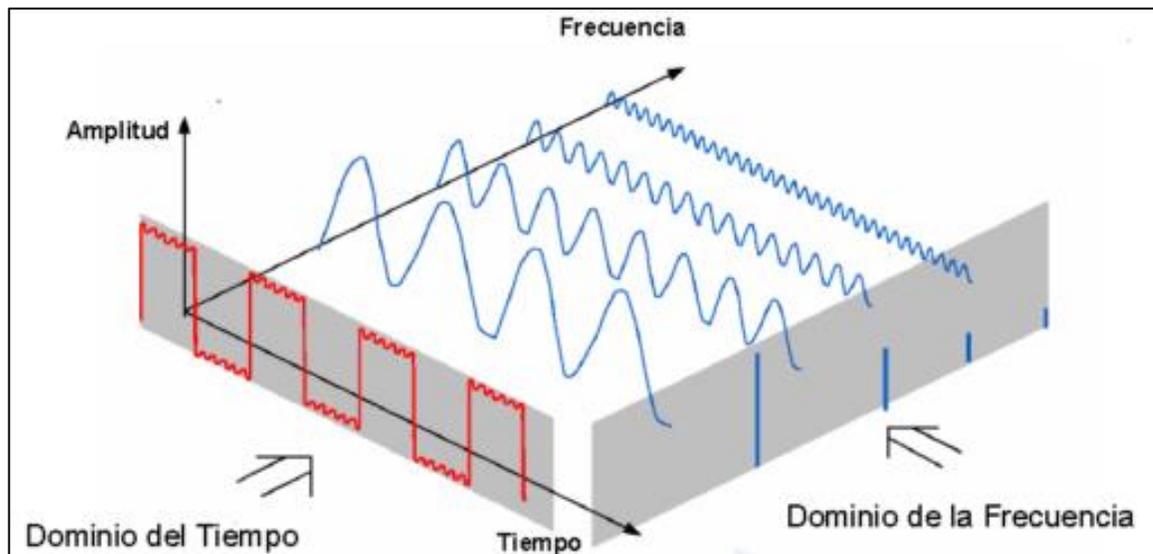


Figura 6: Ejemplificación de FFT [36].

5.3.2 K – NEAREST NEIGHBORS (KNN).

Dentro de las capas que el consenso actual de científicos podemos identificar diversas subcapas en lo que llamamos “desarrollo de la inteligencia artificial”, según el nivel de independencia en cuanto a la gestión y obtención de resultados con la intervención humana [37] las cuales se categorizan en los siguientes grupos de más disperso a más específico:

- **Inteligencia artificial:** Cualquier técnica que le permita a las computadoras imitar la inteligencia humana utilizando lógica, arboles de decisión y aprendizaje automático.
- *Machine learning:* subconjunto de inteligencia artificial que incluye técnicas estadísticas que le permitan a las maquinas mejorar en las tareas a través de la experiencia.
- *Depp learning:* Subconjunto de *machine learning* compuesto por algoritmos que permiten que el software se entrene a sí mismo al exponer redes neuronales de múltiples capas o grandes cantidades de datos.

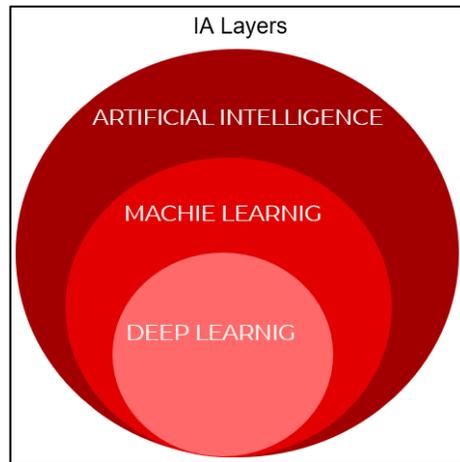


Figura 7: Capas de la inteligencia artificial (elaboración propia).

El aprendizaje automático o *Machine Learning* se refiere a todos los algoritmos cuyo rendimiento mejora a medida que están expuestos a más datos a lo largo del tiempo, brinda a las computadoras "la capacidad de aprender sin ser programados explícitamente" y completar un determinado tipo de tareas estos se diferencian en tres tipos de técnicas, las de aprendizaje sin supervisión, aprendizaje con supervisión y aprendizaje reforzado [38].

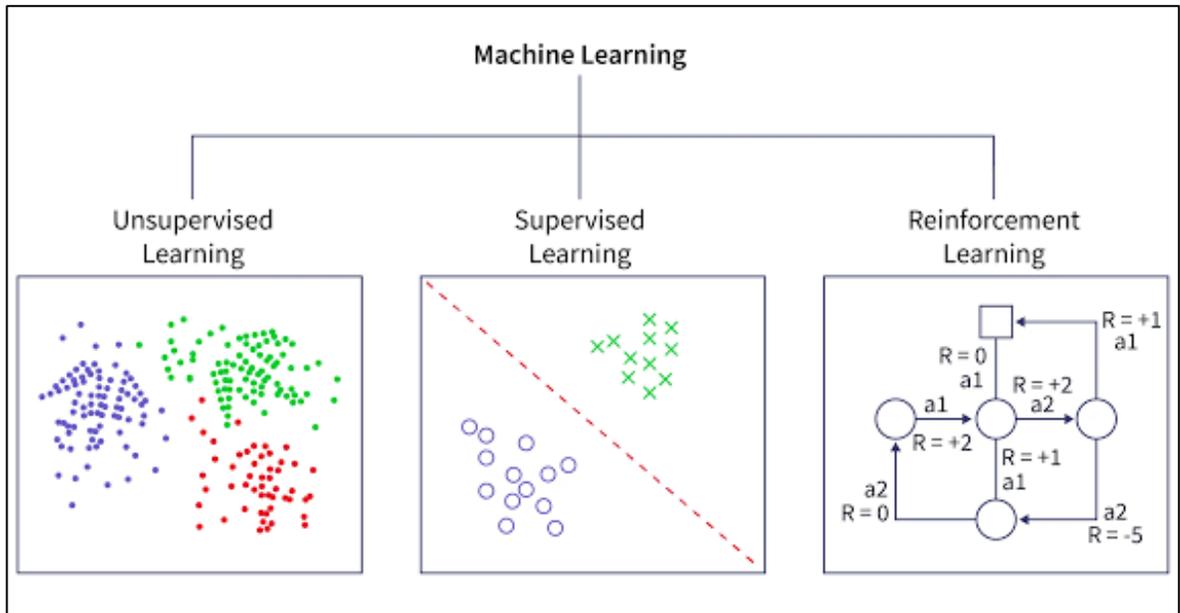


Figura 8: Técnicas de Machine Learning [38].

El algoritmo Knn o vecino más cercano es uno de los algoritmos de aprendizaje automático más simples basado en la técnica de aprendizaje supervisado, almacena todos los datos disponibles y clasifica un nuevo punto de datos en función de la similitud, esto significa que cuando aparecen nuevos datos, se pueden clasificar fácilmente en una categoría [39].

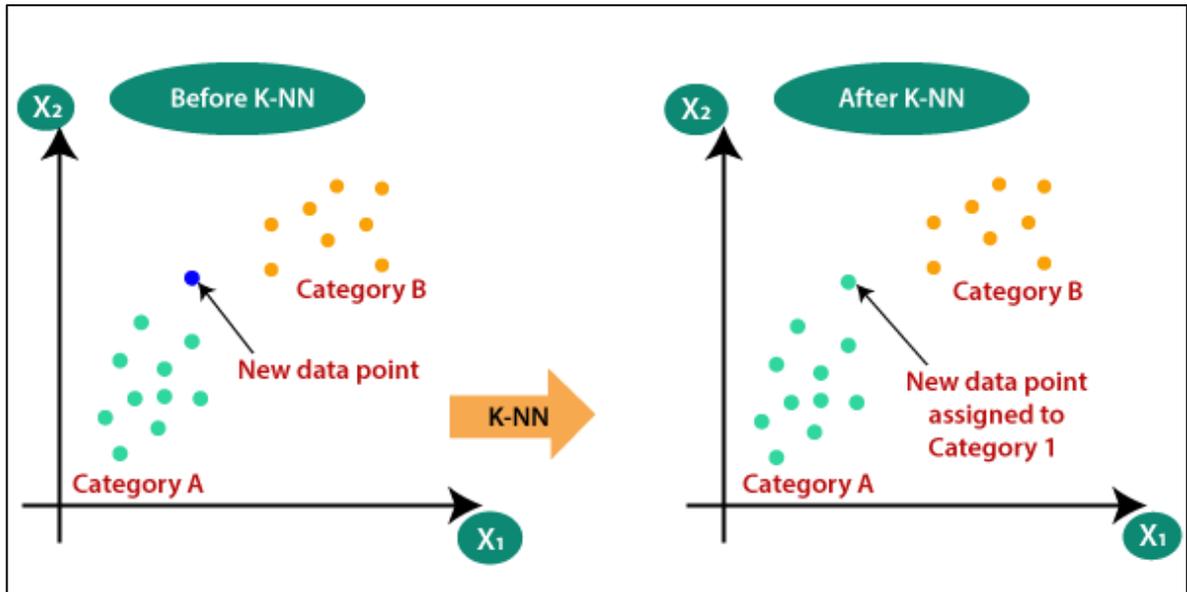


Figura 9: Ejemplo gráfico del algoritmo Knn [39].

5.4 PLATAFORMAS DE TRABAJO.

5.4.1 MATLAB.

Matlab es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada por millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos para la resolución de problemas de álgebra lineal, cuenta con gráficas matemáticas, ecuaciones, simulaciones dinámicas gestión de datos entre otros. Debido a la simplicidad, facilidad de programación y potencia que este software brinda se decidió hacer uso de este para la etapa donde se ingresan los valores de el voltaje de salida para aplicarles la DFT y encontrar los valores de la componente en dominio de la frecuencia.

5.4.2 PYTHON.

Python es un lenguaje de programación ampliamente utilizado en las aplicaciones web, el desarrollo de software, la ciencia de datos y *machine learning* (ML). Los desarrolladores

utilizan Python porque es eficiente y fácil de aprender, además de que se puede ejecutar en muchas plataformas diferentes. El software Python se integra bien a todos los tipos de sistemas y aumenta la velocidad del desarrollo además que cuenta con una gran biblioteca estándar que contiene códigos reutilizables para casi cualquier tarea. Este software fue elegido para analizar la base de datos generada con Matlab y aplicar el algoritmo Knn en la identificación y ubicación de fallas de circuito abierto en el SFVI.

5.4.3 ARDUINO.

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso en el caso de este trabajo fue utilizado para la programación del pulsador de luz empleado para generar la fotocorriente alterna en el sistema y para programar un posicionador ultrasónico que asegura que la distancia promedio se mantenga constante ($\pm 2\text{mm}$) durante la ejecución de las mediciones.

5.4.4 QUCS.

Quite Universal Circuit Simulator es un simulador de circuitos electrónicos de código abierto cuya licencia de distribución y posee la capacidad de elaborar un circuito con una interfaz gráfica de usuario (GUI) y simular el comportamiento del circuito en modo de gran señal, pequeña señal y con ruido eléctrico además soporta la simulación de circuitos digitales. QUCS soporta una lista creciente de componentes analógicos y digitales, así como subcircuitos modelados y está pensado para ser mucho más sencillo de utilizar y manejar que otros simuladores de circuito, esta plataforma fue utilizada para hacer las simulaciones de las respuestas de módulos fotovoltaicos con diferentes características eléctricas expuestos a la luz pulsada en diferentes arreglos regulares $m \times n$ donde m representa los strings y n los módulos en serie de cada string para observar los resultados previos a la elaboración del dispositivo.

5.5 SIMULACIONES.

Previo al desarrollo del dispositivo para la detección de fallas de circuito abierto en general, se realizaron varias simulaciones para comprender las respuestas de salida del arreglo y tener un panorama más amplio sobre su comportamiento bajo estas condiciones siguiendo el siguiente procedimiento:

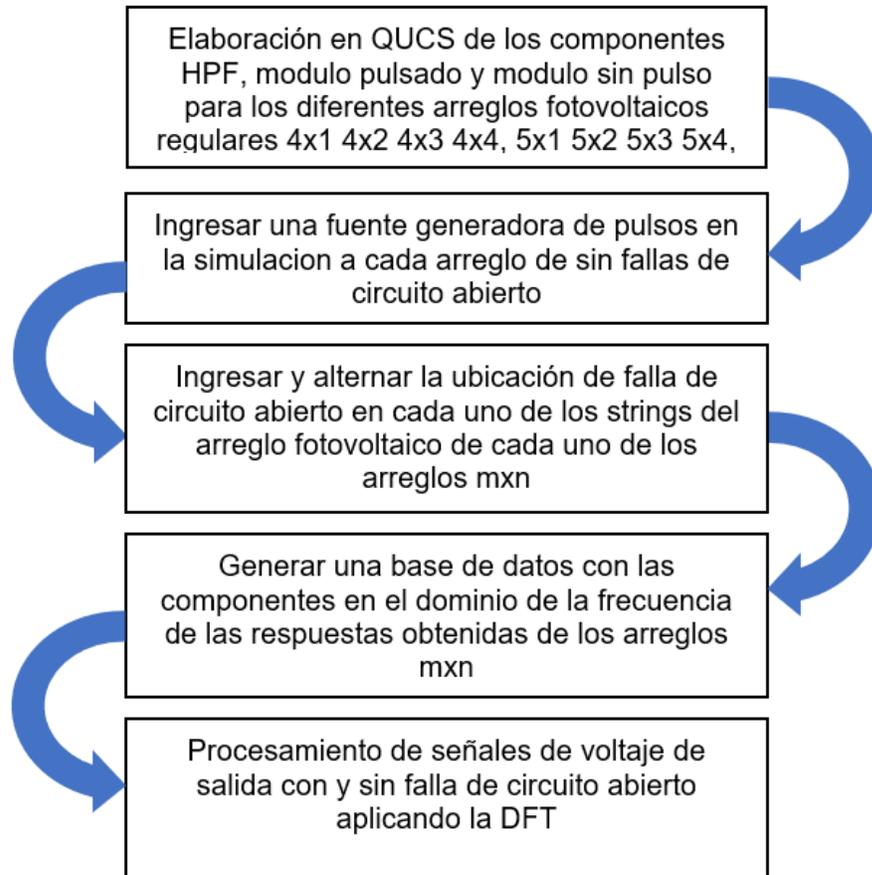


Figura 10: Procedimiento para simulación (elaboración propia).

En la literatura se indican los valores medios de los valores de respuesta en CA [40], estos valores fueron obtenidos de una célula fotovoltaica operada bajo un voltaje de 0.6 volts, para estas condiciones donde la irradiancia es nula ($G = 0 W/m^2$) y no hay una corriente fotovoltaica ($I_{ph} = 0$) con temperaturas que oscilan entre 22 y 25°C tenemos los valores $R_{sh} = 0.112\Omega$, $R_s = 0.045\Omega$ y $C_d = 450 \mu F$. El valor de la fotocorriente inducida ($I_{ph} = 10mA$) se obtuvo físicamente con la derivación de una resistencia shunt de 1 kOhm

con una frecuencia de 6 kHz y los valores del filtro pasa altas *HPF (High Pass Filter)* también se seleccionaron para que fueran apropiados para el experimento a una frecuencia de corte de 3,3 kHz.

5.6 MATERIALES Y COMPONENTES.

En la lista de materiales empleados para el desarrollo de este experimento contamos con:

- Sistema de adquisición de datos (Computadora portátil).
- Conductores para generar arreglos serie-paralelo AWG 10 con MC4 macho y hembra
- Osciloscopio *Digilent Analog Discovery 2*.
- Placa de desarrollo Arduino NANO.
- Placa de desarrollo Arduino UNO.
- Dispositivo pulsador variable con luz roja LED roja de 10 W.
- Sistema de anclaje PVC del dispositivo a los modulos fotovoltaicos.
- HFP a 3.3 kHz.
- Motor a pasos 28 YBJ-48 con *Driver Uln2003* y mecanismo engrane-cremallera.
- Sensor ultrasónico HC-SR04.
- Fuente de 5V.
- Fuente de 20V.
- Termómetro infrarrojo *EXTECH INSTRUMENTS ITR25*.
- MFV Pro-5012 de 50 watts policristalino de 60 celdas.
- MFV SolarEver-182*91-M-144 de 545 watts monocristalino de 144 celdas.
- MFV SRP-370-6MA-HV de 370 watts monocristalinos de 72 celdas.

5.7 ELABORACIÓN DEL DISPOSITIVO OCF.

En la elaboración del dispositivo inicialmente los componentes electrónicos fueron montados sobre un protoboard para la comprobación de su funcionamiento y posteriormente soldados sobre una placa fenólica perforada para fijar los componentes. Como parte del diseño del dispositivo para generar los pulsos controlados, se empleó a parte del microcontrolador, una etapa de potencia conformada por un optoacoplador 4N28 y un transistor TIP130 con sus respectivas alimentaciones de 5V y 20V, así como un interruptor normalmente abierto para ir subiendo la frecuencia a través de un barrido de mil en mil Hertz desde los 5 kHz hasta los 20 kHz con cada cierre en un ciclo *for* lo que reiniciaba la cuenta a los 5 kHz una vez alcanzados los 20 kHz. También se hizo el filtro pasa altas con una resistencia de 2.2 MΩ y un capacitor de 2.2 pF para una frecuencia de corte de 3.3kHz.

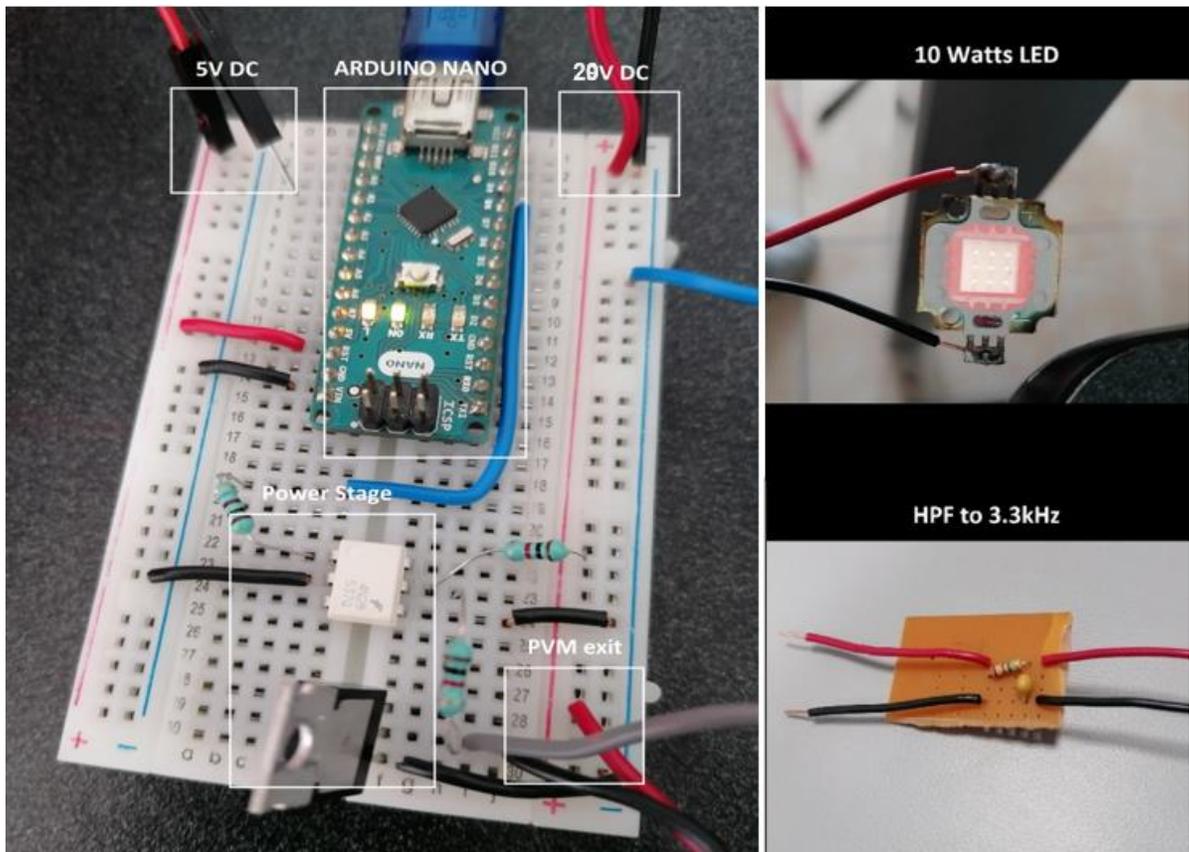


Imagen 1: Dispositivo OCF inicial.

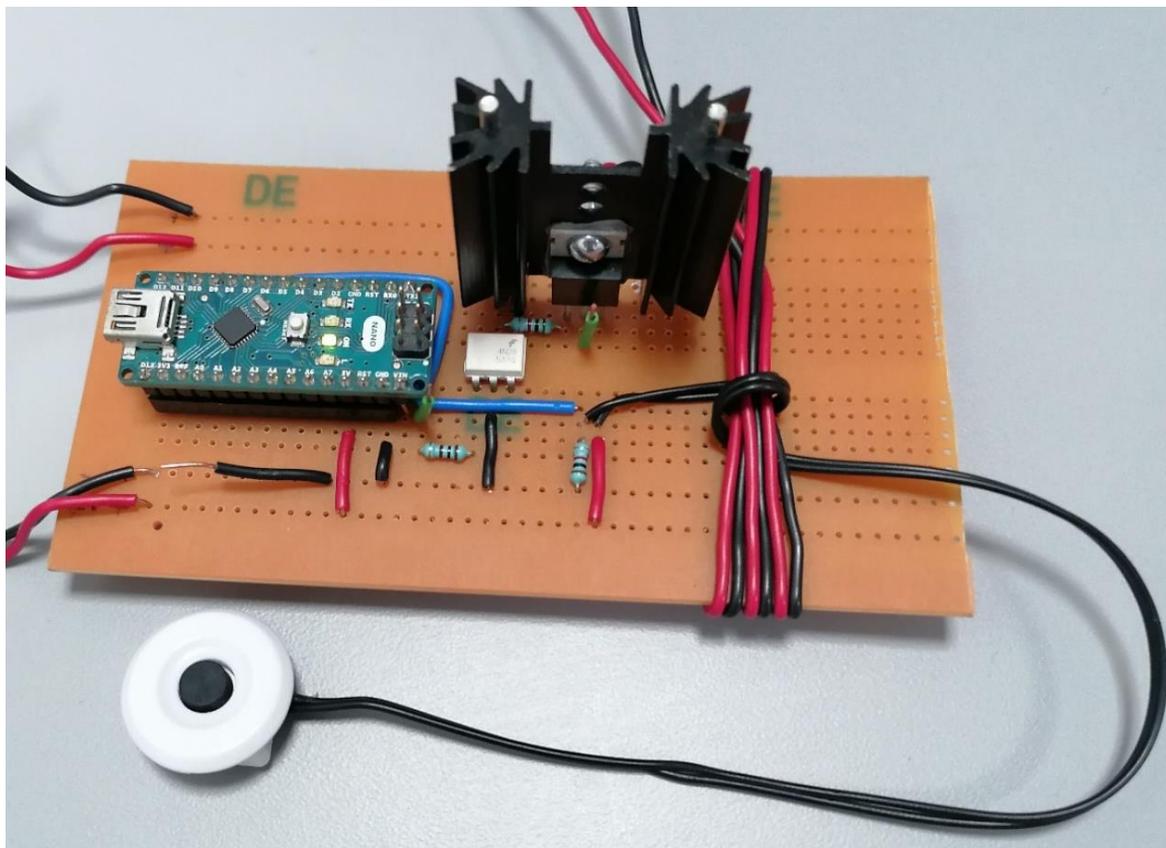


Imagen 2: Dispositivo OCF final.

Posterior a el armado y fijacion de los componentes en la placa se prosiguió a evaluar el ciclo de trabajo para la modulación de ancho de pulsos ajustada al 50% para un tiempo regular entre los estados de emision de luz del LED y verificando la señal del pulso desde la salida del microinversor (amarillo), pasando por la etapa de potencia (verde) y finalmente a la salida del modulo fotovoltaico marca Pro-5012 de 50 watts policristalino de 60 celdas con la señal filtrada por el HPF (azul), para ver que el dispositivo operara correctamente como se muestra en la imagen 3 para lo cual se hizo uso de un osciloscopio *Keysight Technologies MSOX4024A*.

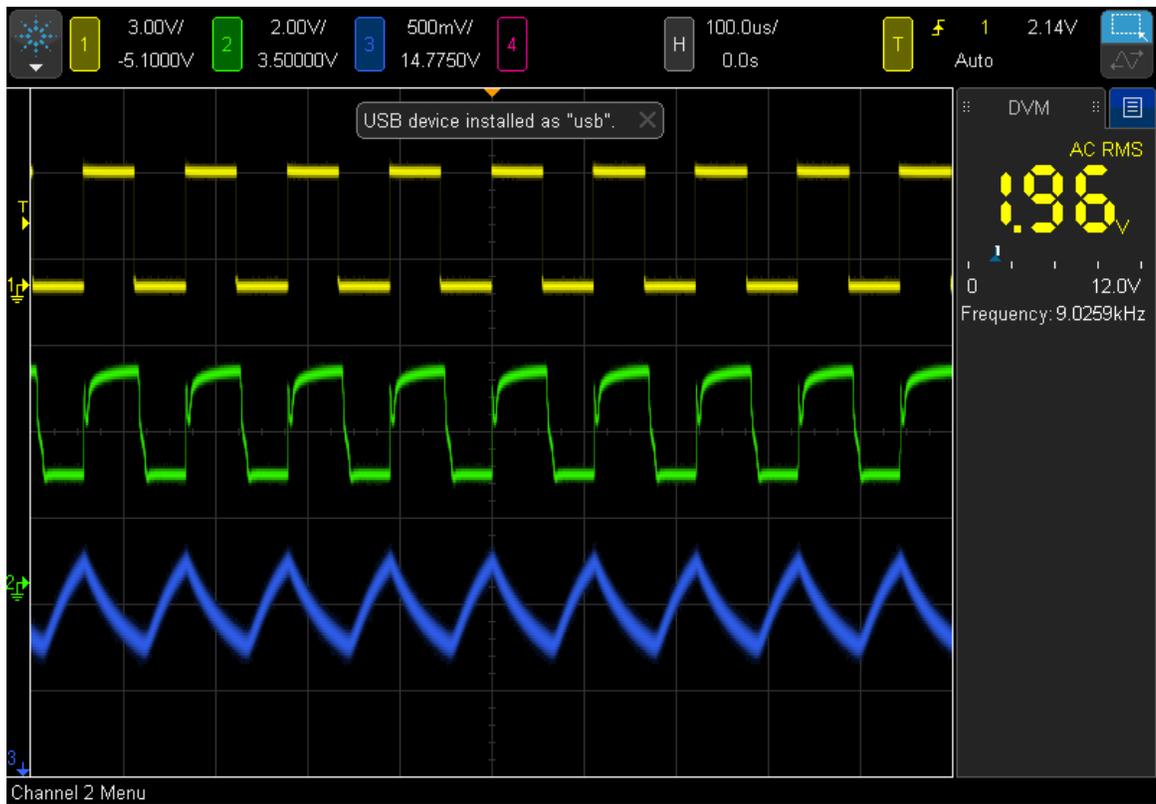


Imagen 3: Evaluación de ciclo de trabajo en las 3 etapas del dispositivo OCF.

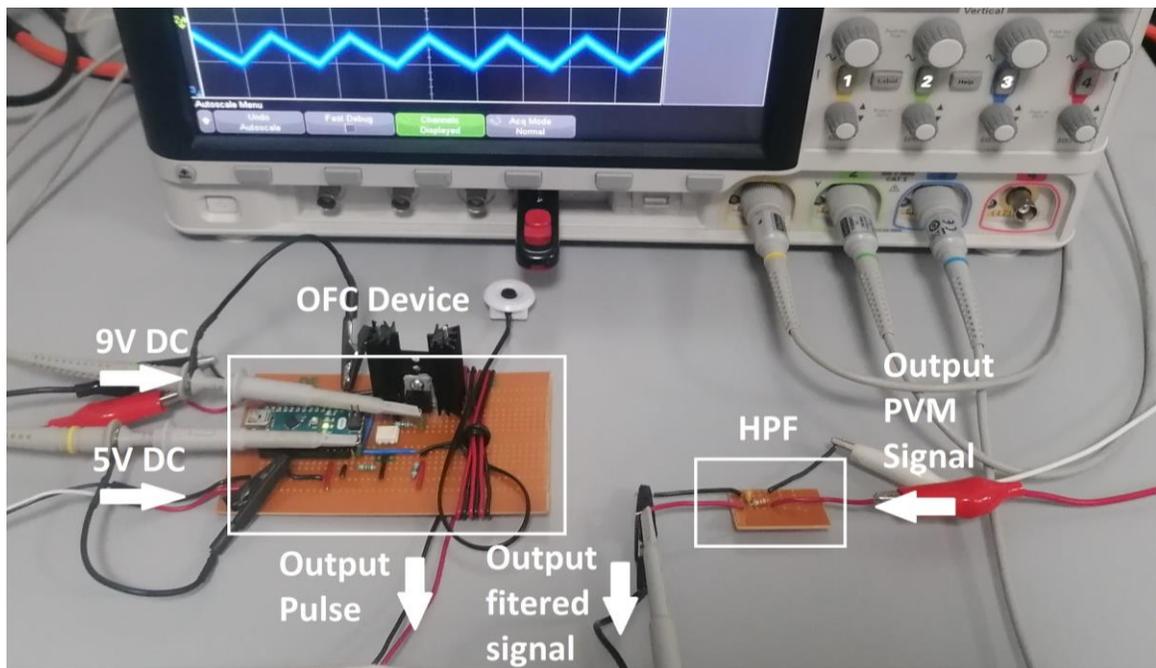


Imagen 4: Puesta en marcha del prototipo OCF.

Para asegurar la distancia promedio entre la fuente de luz y el módulo fotovoltaico se diseñó un posicionador ultrasónico con retroalimentación que la mantiene fija en 33 cm durante las mediciones haciendo uso de un motor a pasos 28 YBJ-48 con *Driver* Uln2003, mecanismo engrane-cremallera y el sensor HC-SR04, anclados a la estructura echa en PVC. Se eligió este material para el sistema de anclaje debido a su bajo costo, ligereza, fácil modificación y fijación.

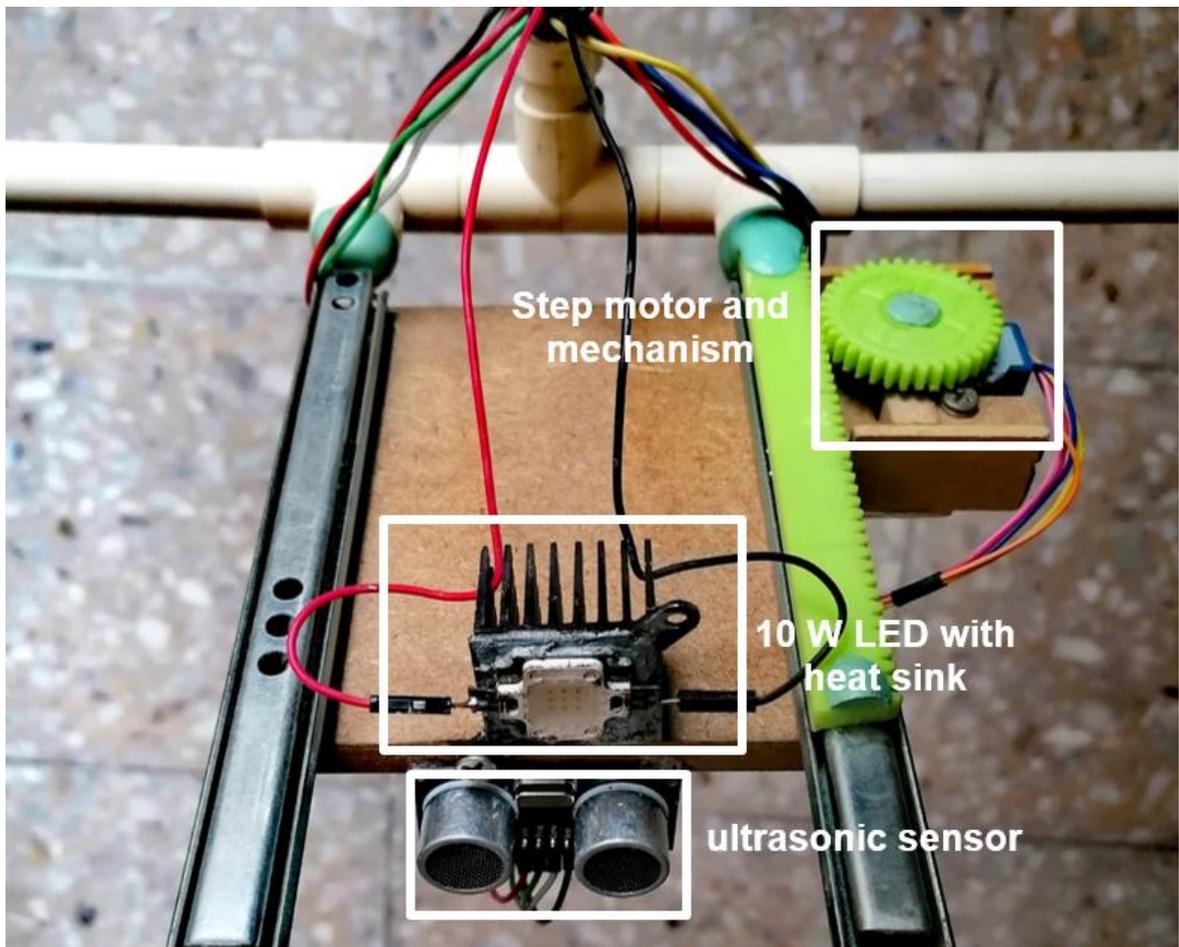


Imagen 5: Sistema de posicionamiento ultrasónico.

5.8 PROCEDIMIENTOS PARA ANÁLISIS DE LA SEÑAL

Para el procesamiento de la señal de salida del módulo fotovoltaico (MFV) se toma en cuenta el teorema de Nyquist que estipula que la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de grande de la componente análoga de la frecuencia la cual es de 20 kHz , la medición es correspondiente a una longitud de ventana de 2 ms con una frecuencia de muestreo f_s de 200 kHz ($5 \times 10^{-6}\text{ s}$) y 4000 muestras.

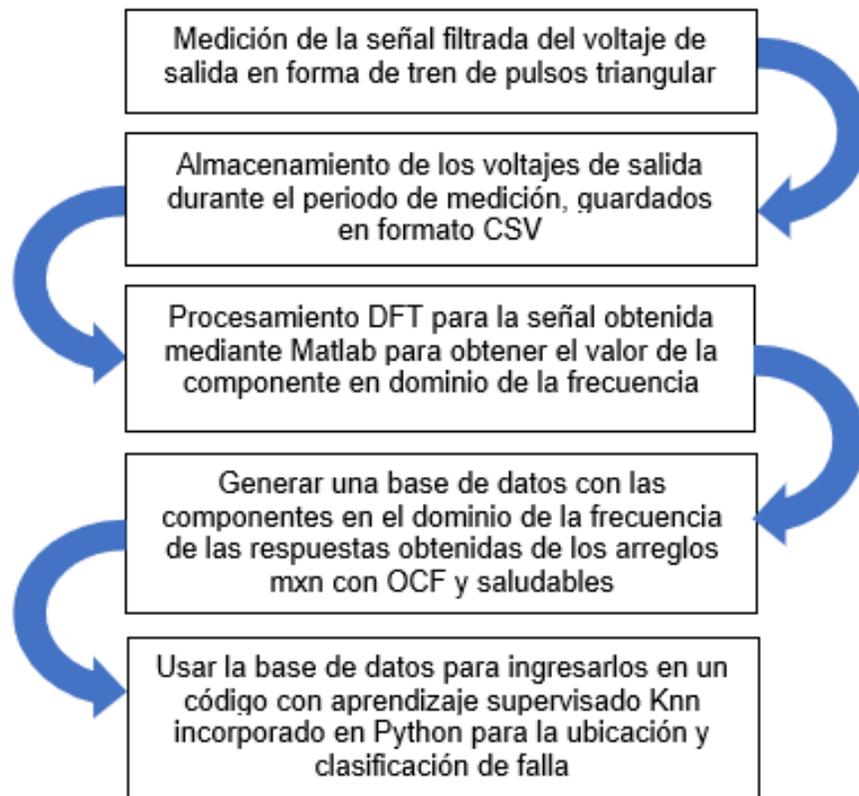


Figura 11: Proceso para el análisis de señal.

En la conformación de la base de datos se usaron 50 muestras por cada arreglo con ubicación de falla ubicada en cada string y en condiciones saludables donde no hay OCF. Con ayuda del algoritmo Knn se determina la ubicación y localización de falla aplicando un factor 80-20 de los datos empleados para el entrenamiento y el tamaño del muestreo respectivamente, el número de vecinos cercanos tomados por el algoritmo utilizados fue de 15.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 ETAPA DE SIMULACIÓN.

En la plataforma QUCS se elaboraron los diagramas y los esquemas de los componentes que conforman la célula FV con la facilidad de tener un ambiente esquemático y modular donde cada célula tiene sus propias características. Para estas simulaciones se hizo la interpolación de los valores de una célula FV con él un módulo completo conformado por varias células en serie y paralelo a fines de facilitar el tiempo de simulación y procesamiento como se muestra a continuación.

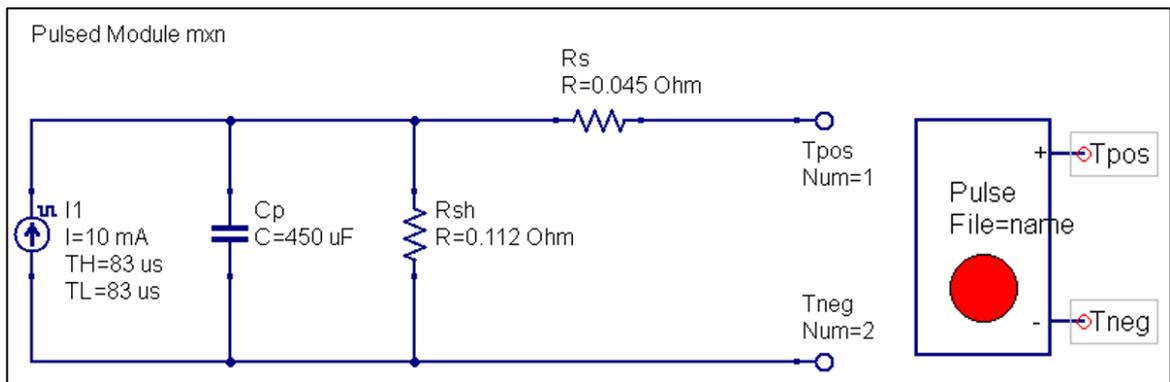


Figura 12: Diagrama y esquema del módulo pulsado.

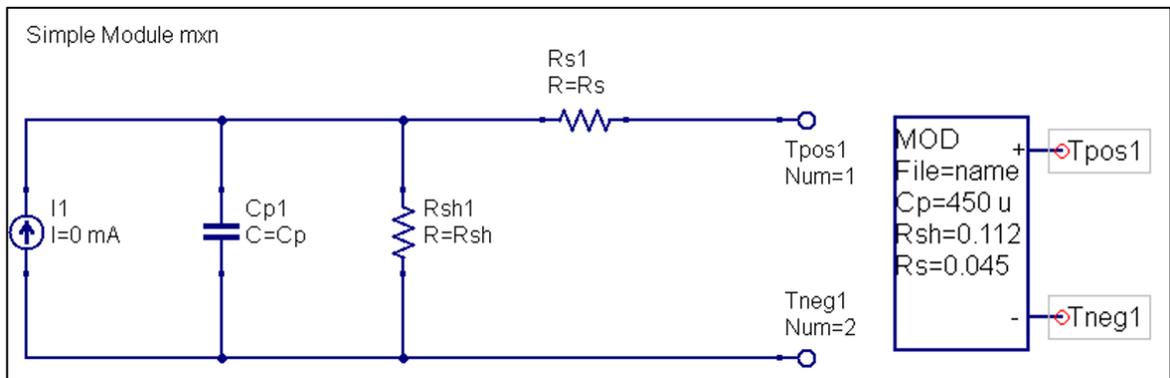


Figura 13: Diagrama y esquema del módulo sin pulso.

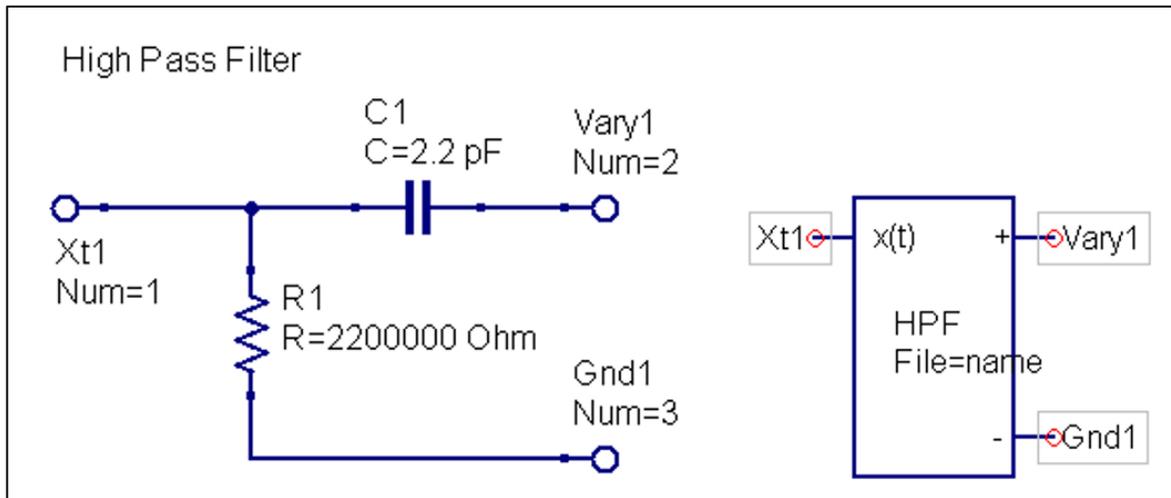


Figura 14: Diagrama y esquema del HPF.

Con los esquemas de cada componente, módulo pulsado, módulo sin pulso y el filtro pasa altas (HPF), se realizó la estructura equivalente a cada tipo de arreglo. En este caso se realizaron arreglos de 4x1, 4x2, 4x3, 4x4, 5x1, 5x2, 5x3, 5x4, 6x1, 6x2, 6x3, 6x4 para el análisis de sus respuestas en el voltaje de salida en dominio de la frecuencia con el arreglo saludable donde no hay falla de circuito abierto y alternando la ubicación de falla en los string en cada uno de los diferentes arreglos con simulaciones transitorias con duración de 2ms una fs de $1 \times 10^{-6} \text{s}$ y con 2000 puntos de muestreo, empleando el valor para la corriente generada de 10 mA a una frecuencia de 6 kHz, trabajando con un ciclo de trabajo del 50% fijando el valor TH (*Time High*) y el valor TL (*Time Low*) en $83 \times 10^{-6} \text{s}$ respectivamente. En las siguientes imágenes se muestran los esquemas de los arreglos 4x1, 4x2, 4x3, y 4x4 en las cuales se realizaron las debidas mediciones donde no se presenta OCF y donde la OFC se va moviendo alfabéticamente por cada uno de los strings.

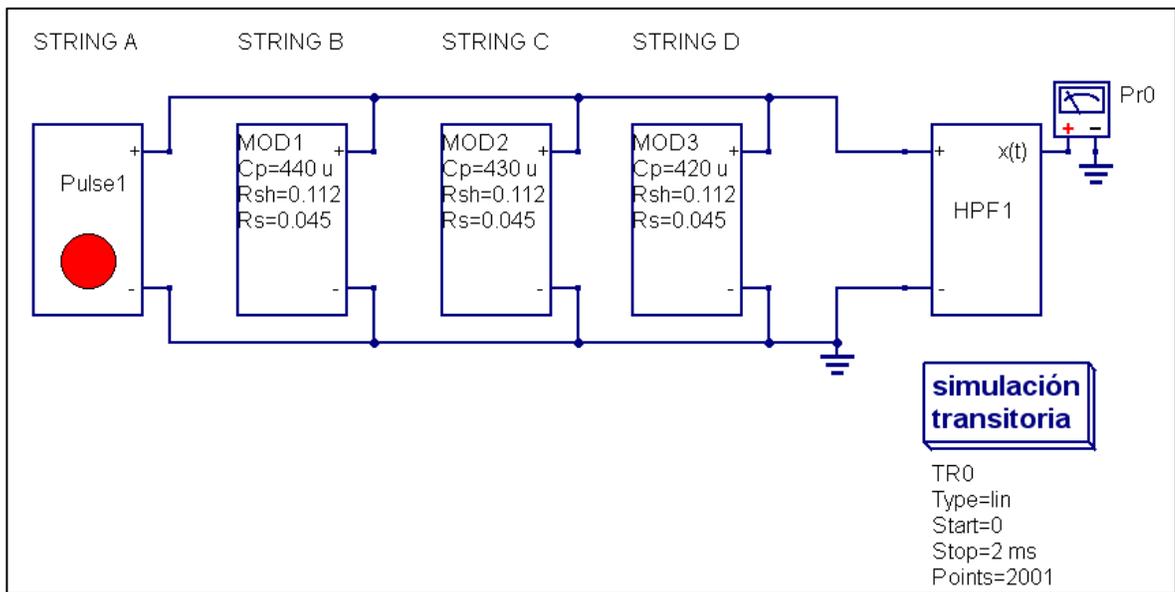


Figura 15: Arreglo 4x1 en QUCS.

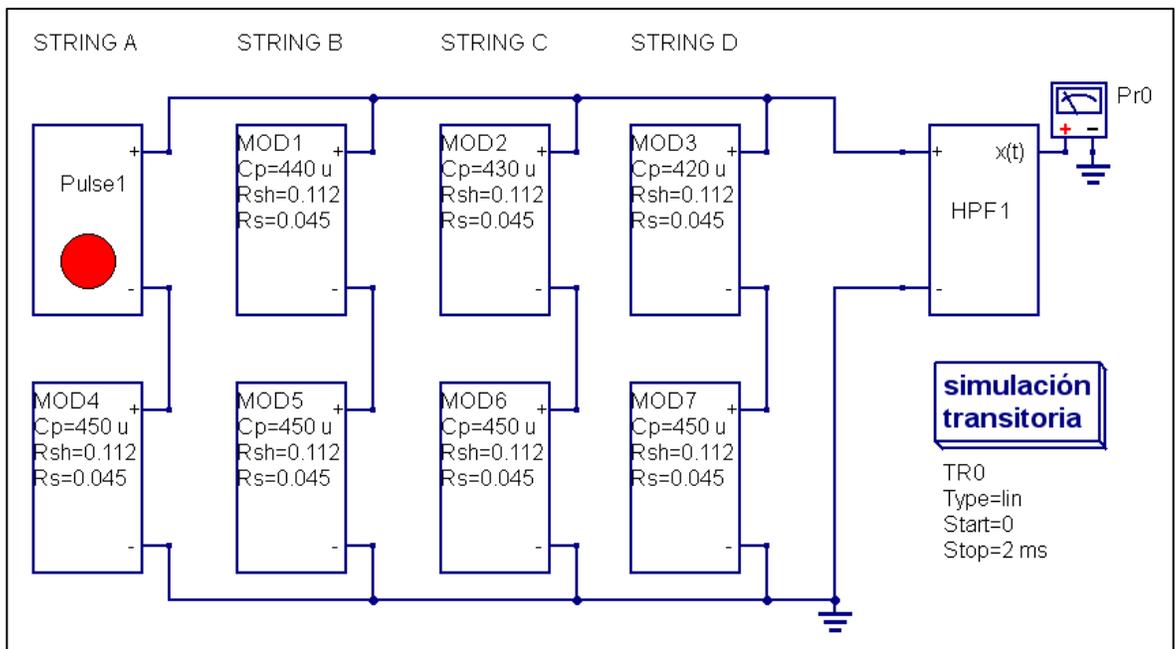


Figura 16 :Arreglo 4x2 en QUCS.

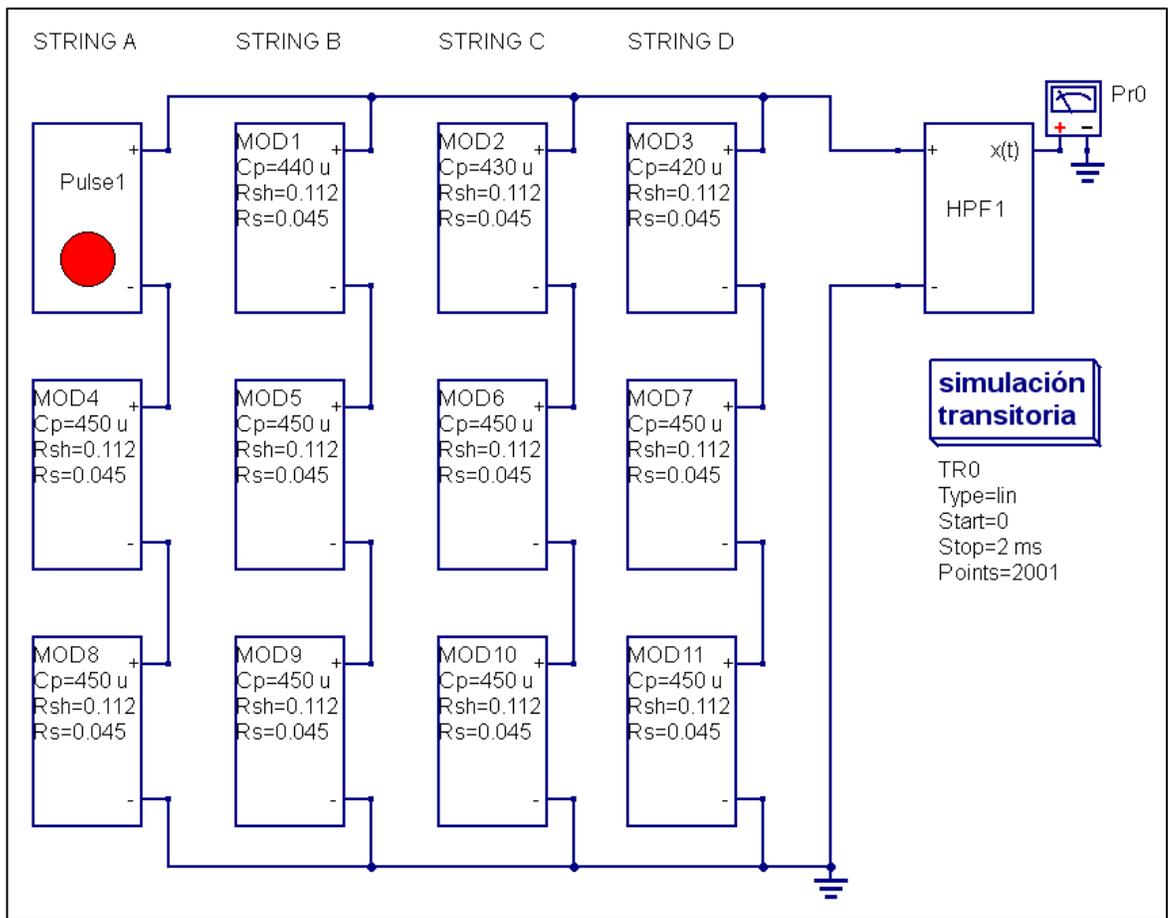


Figura 17: Arreglo 4x3 en QUCS.

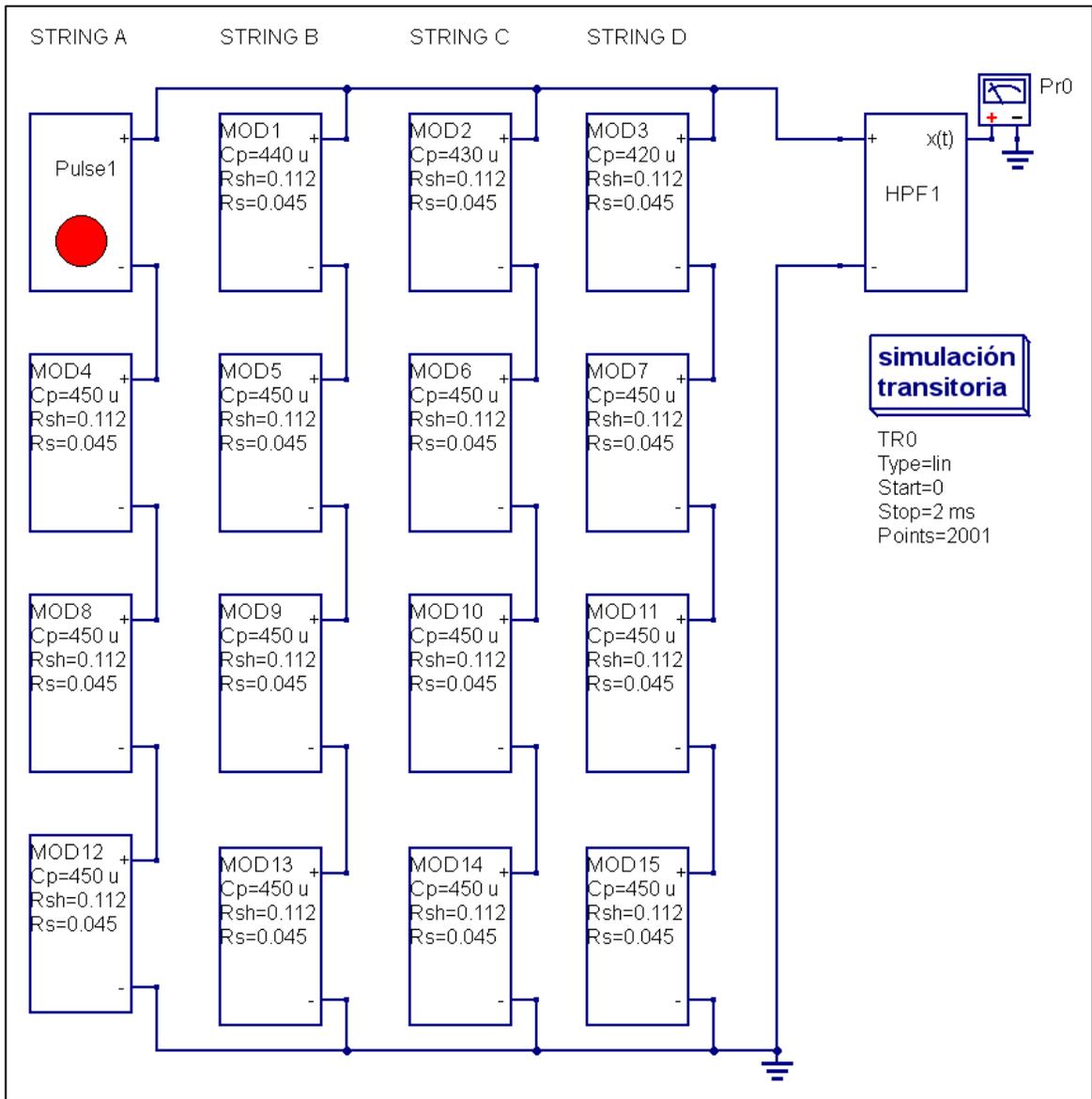


Figura 18: Arreglo 4x4 en QUCS.



Figura 19: Ejemplificación OCF de arreglo 4x4 en QUCS.

Para cada situación de ubicación de falla y saludable se extrajeron muestras para ser graficadas, clasificadas y almacenadas en una base de datos donde se calculó la componente en el dominio de la frecuencia con ayuda de Matlab y posteriormente fueron analizadas para observar su comportamiento al cambiar el tamaño del arreglo y la ubicación del OCF.

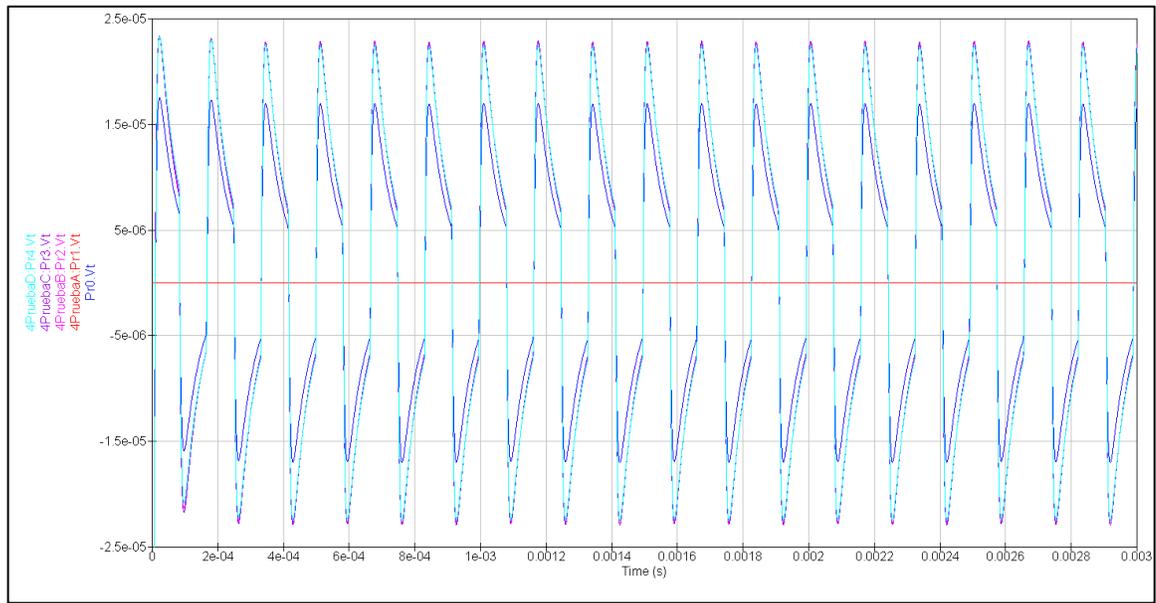


Figura 20: Tren de pulsos de salida en simulaciones 4x,1 4x2, 4x3 y 4x4 en QUCS.

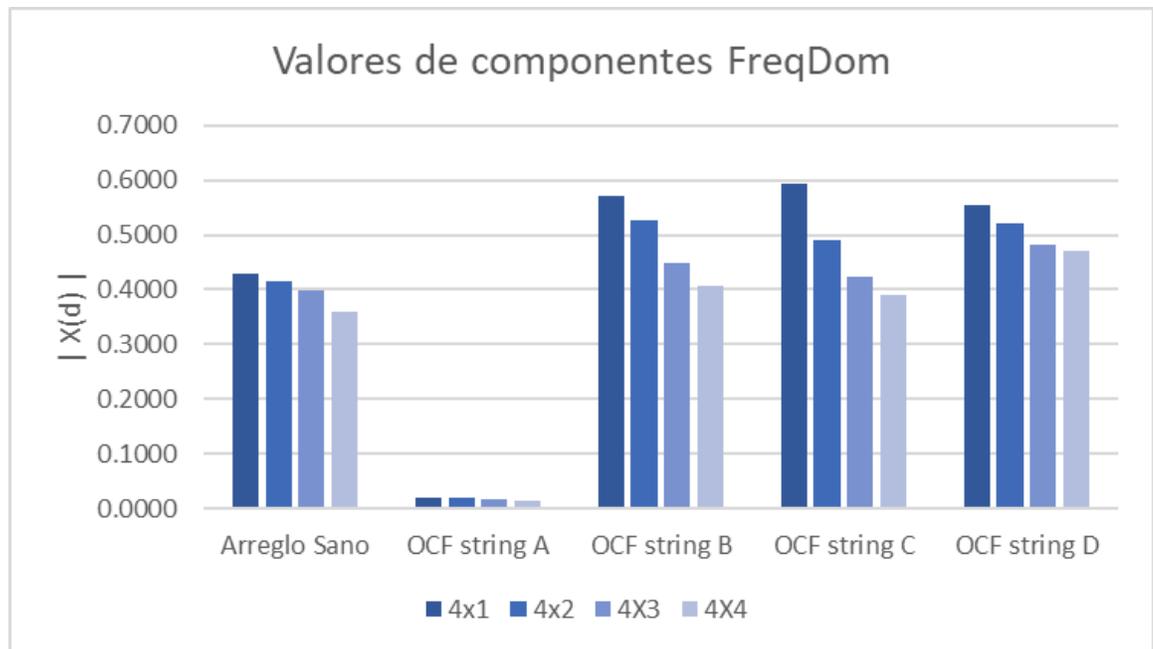


Figura 21: Componentes OCF en arreglos simulados 4x1, 4x2, 4x3 y 4x4.

Tabla 4: Valores de componentes OCF 4x1, 4x2, 4x3 y 4x4.

Valores DFT	4x1	4x2	4X3	4X4
Arreglo Sano	0.4293	0.4158	0.3992	0.3591
OCF string A	0.0204	0.0209	0.0170	0.0132
OCF string B	0.5707	0.5263	0.4498	0.4069
OCF string C	0.5928	0.4900	0.4232	0.3895
OCF string D	0.5558	0.5223	0.4830	0.4698

Como se puede observar en la Tabla 4 los cambios de los valores de las componentes están relacionados en el tamaño y ubicación de falla, siendo la OCF en el string A siempre la más baja esto debido a ser el primer string de todo el arreglo fotovoltaico, lo mismo se realizó para los arreglos 5xn y 6xn con sus respectivas graficas donde el patrón se repite cambiando la ubicación del OCF.

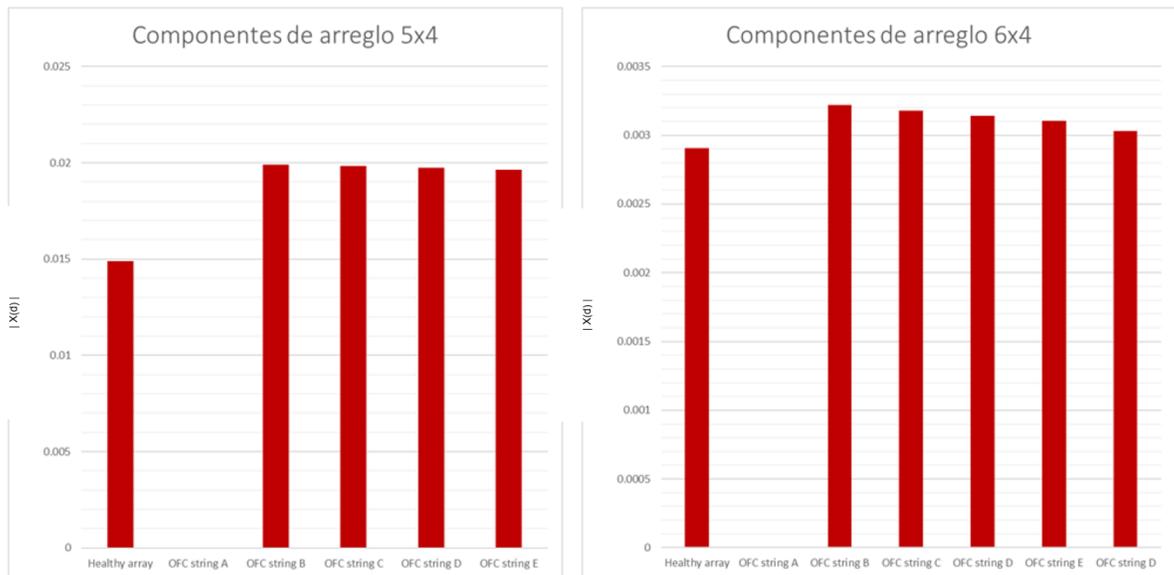


Figura 22: Componentes OCF de arreglos 5x4 y 6x4.

6.2 ETAPA DE MEDICIONES DE CONTROL PARA EL DISPOSITIVO

Ya con la verificación de los pulsos de salida a través de sus 3 etapas de forma satisfactoria se procedió a la comprobación para saber si los posibles cambios en la respuesta de salida del módulo fotovoltaico se debían en mayor o menor medida a las condiciones donde se llevarían a cabo las pruebas para la detección de OCF en mediciones reales en campo. Se consideraron las variables; distancia de la emisión de luz, masas de aire presentes según la STC y la luz ajena a la fuente, ya que las últimas 2 son variables que no se pueden manipular completamente durante la recolección de datos fuera de un ambiente controlado. Se plantearon 4 casos diferentes para una pulsación de prueba de 6 kHz:

- Mediciones sin aire y sin luz [caso A]
- Mediciones sin aire y con luz [caso B]
- Mediciones con aire y sin luz [caso C]
- Mediciones con aire y con luz [caso D]

También se comprobó si la cantidad de muestras durante la captura de la señal afecta la respuesta en la componente en el dominio de la frecuencia, para lo que se hizo una comparación tomando 2000 datos y 10000 datos.

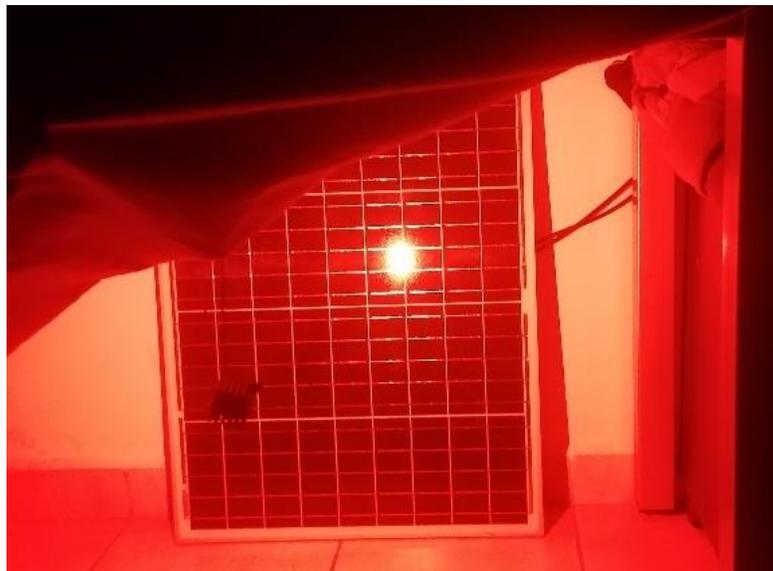


Imagen 6: Prueba de control #1 MFV Pro-5012 de 50W policristalino de 60 celdas.

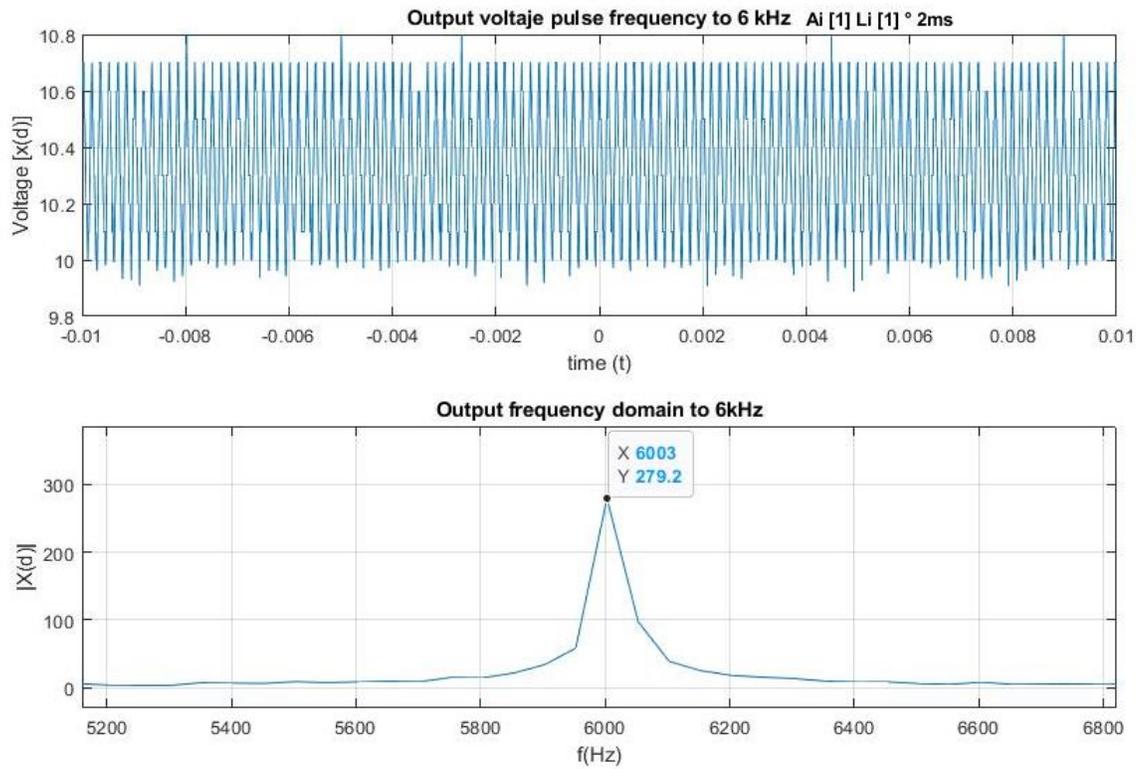


Figura 23: Señal de salida y componente de frecuencia de prueba dispositivo OCF.

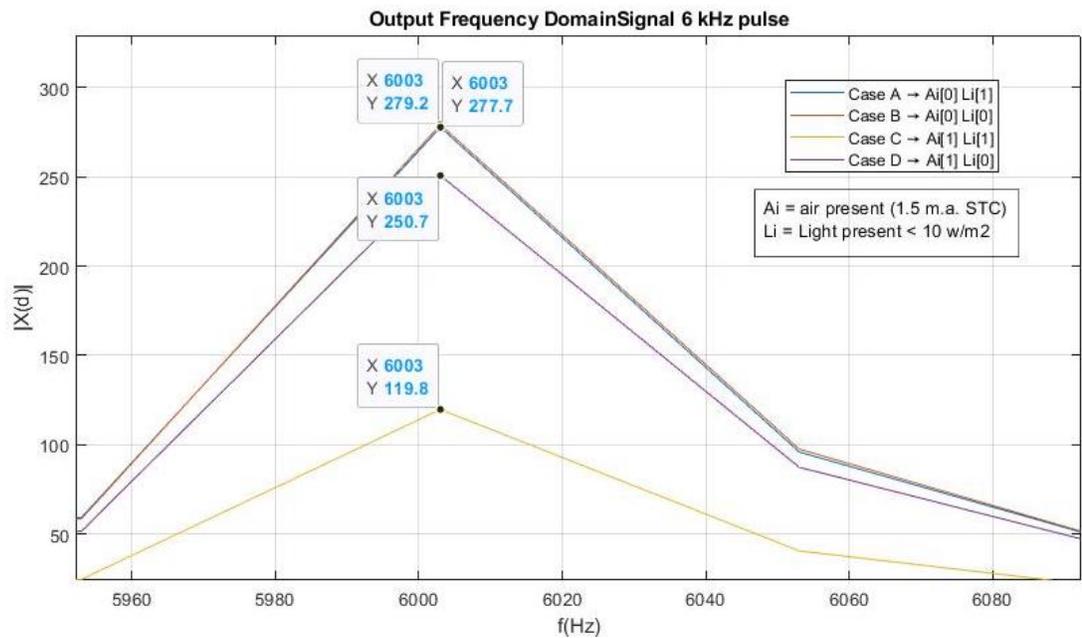


Figura 24: Componente de frecuencia bajo distintas condiciones experimentales.

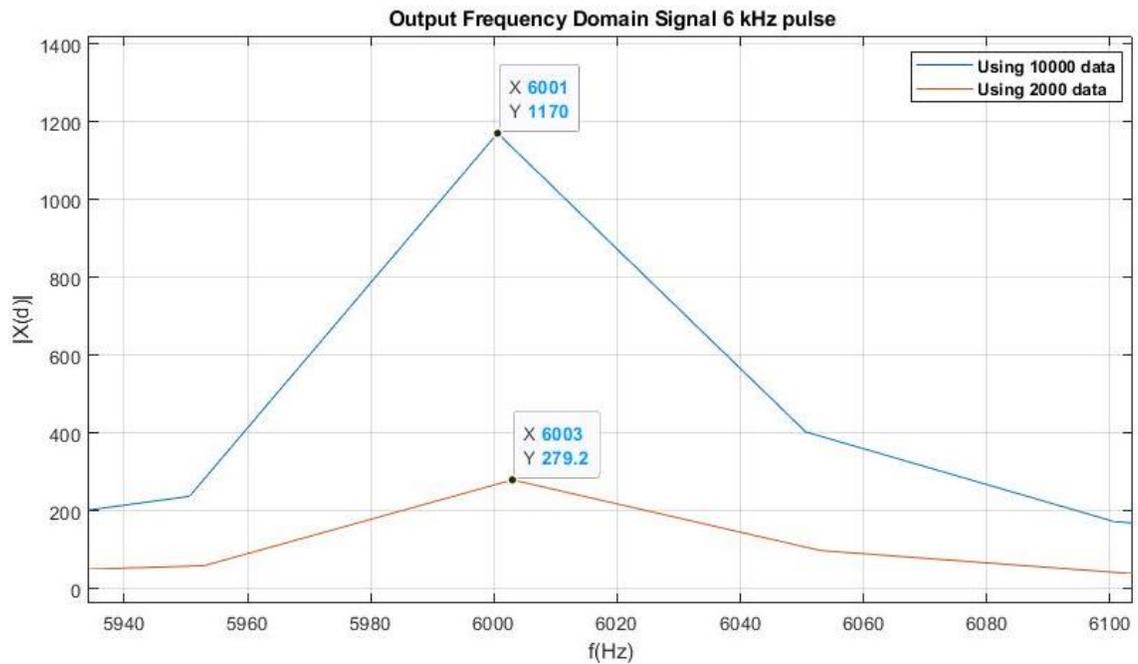


Figura 25: Componente de frecuencia con distintas cantidades de datos.

Se observó que las mejores condiciones son cuando el experimento se lleva a cabo sin aire y sin luz en el caso A disminuyendo un 0.53% en el caso B, un 10.20% en el caso C y un 57% en el caso D. También que la distancia de la emisión de luz del LED de 10W afecta directamente y proporcionalmente a la intensidad de la señal del voltaje de salida y que la cantidad de datos capturados durante la extracción de la señal afecta la magnitud de la componente.

Después se procedió a la medición de los voltajes y corrientes de salida del módulo FV con una distancia de emisión de luz fijada en los 33cm y un barrido en la frecuencia de 6 kHz a 20 kHz para recolectar los respectivos datos, haciendo las mediciones correspondientes.

Tabla 5: Voltajes de pruebas de barrido.

Condiciones de las mediciones:		
Distancia	33 cm	
Aire	0	
Luz	0	
Potencial en V		
khz6	10.3362	Diferencia
khz7	10.2789	0.0573
khz8	10.2119	0.067
khz9	10.1481	0.0638
khz10	10.0809	0.0672
khz11	10.0072	0.0737
khz12	9.9283	0.0789
khz13	9.8525	0.0758
khz14	9.7736	0.0789
khz15	9.6895	0.0841
khz16	9.6137	0.0758
khz17	9.5205	0.0932
khz18	9.4292	0.0913
khz19	9.326	0.1032
khz20	9.2386	0.0874
	prom V	0.0784
	V /kHz	7.31

Tabla 6: Corrientes de pruebas de barrido.

Condiciones de las mediciones:		
Distancia	33 cm	
Aire	0	
Luz	0	
Corriente en mA		
khz6	8.06	Diferencia
khz7	7.99	0.07
khz8	7.93	0.06
khz9	7.86	0.07
khz10	7.8	0.06
khz11	7.72	0.08
khz12	7.67	0.05
khz13	7.6	0.07
khz14	7.51	0.09
khz15	7.41	0.1
khz16	7.34	0.07
khz17	7.25	0.09
khz18	7.16	0.09
khz19	7.06	0.1
khz20	6.97	0.09
	prom mA	0.08
	I /kHz	0.071

Tanto en los resultados de voltaje y de corriente se observó que hay una disminución conforme se va aumentando la frecuencia de la pulsación de la luz debido a que el tiempo de exposición se va reduciendo, para el voltaje un promedio de 0.0784 V por cada kHz y para la corriente 0.08 mA por cada kHz. En el análisis de las señales haciendo el barrido de los 6 a los 20 kHz se observó que hay una diferencia entre los datos obtenidos en la simulación en QUCS y los obtenidos experimentalmente, la diferencia radica en la tendencia en el comportamiento de la respuesta en dominio de la frecuencia como se muestra a continuación.

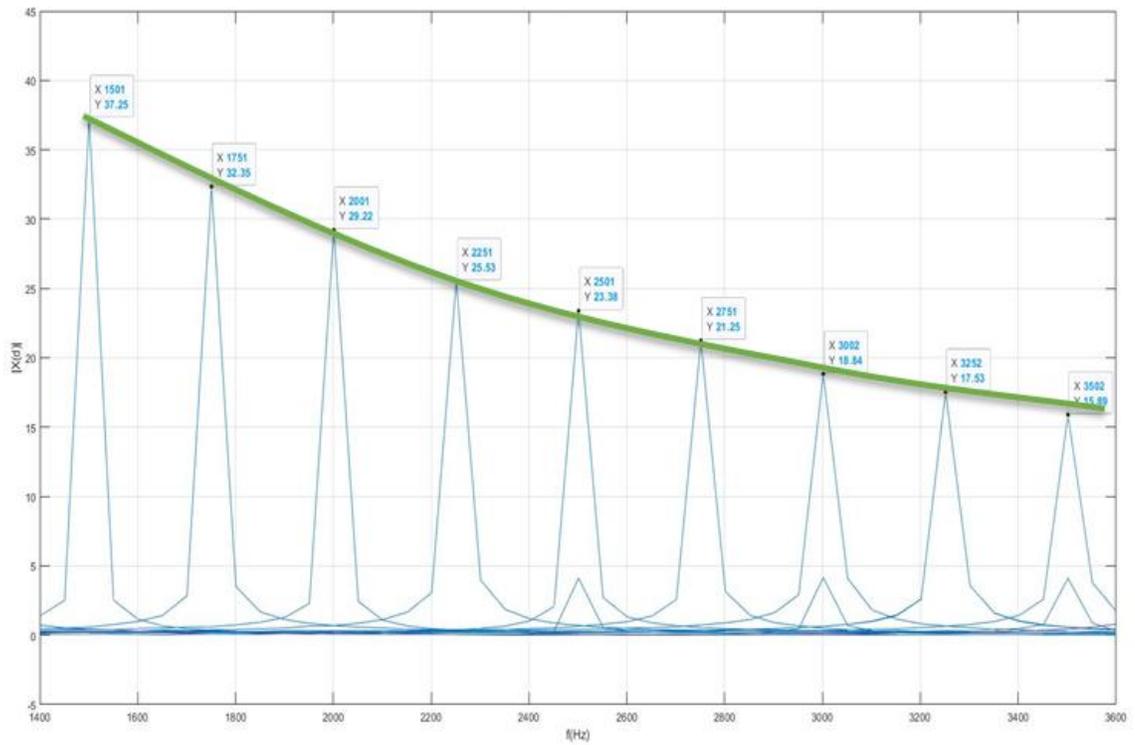


Figura 26: Componentes de salida de la simulación.

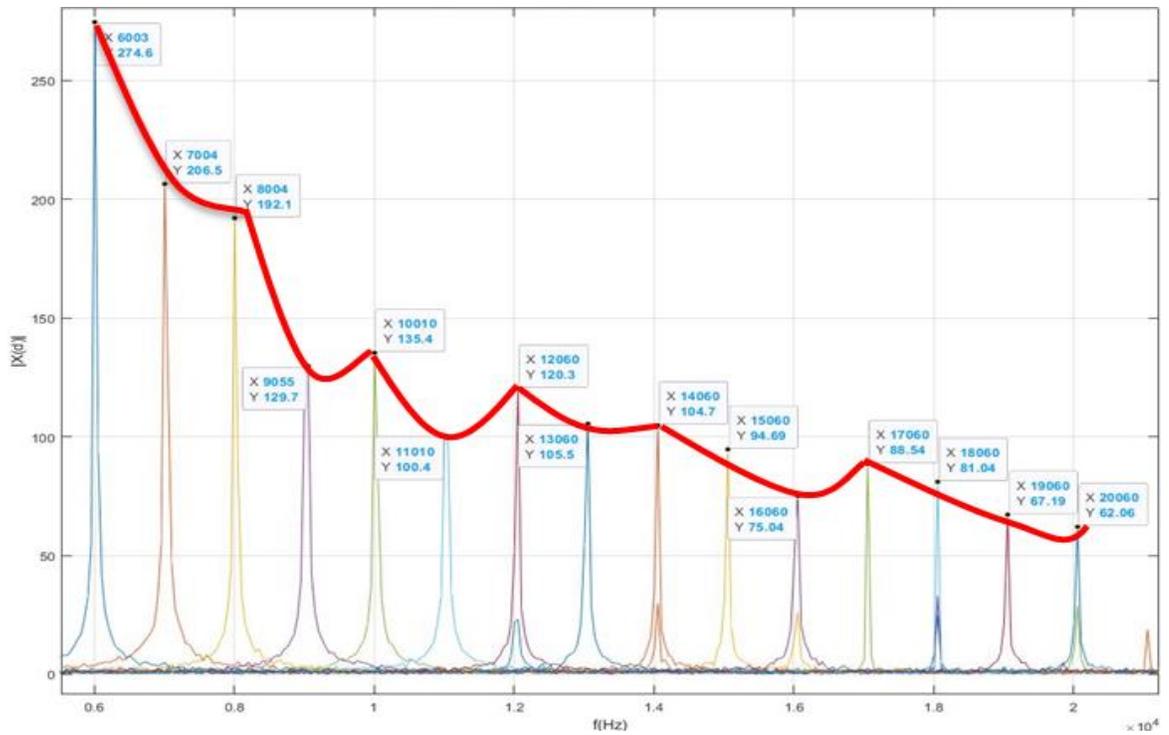


Figura 27: Componentes de salida de mediciones reales.

Tabla 7: Componente de frecuencia en simulacion en QUCS.

Condiciones de las mediciones		
Ac	33	
Ai	0	
Lu	0	
Dominio Frecuencia		
khz6	37.25	Diferencia
khz7	32.35	4.9
khz8	29.22	3.13
khz9	25.53	3.69
khz10	23.38	2.15
khz11	21.25	2.13
khz12	18.84	2.41
khz13	17.53	1.31
khz14	15.89	1.64
khz15	14.59	1.3
khz16	13.51	1.08
khz17	12.6	0.91
khz18	12.02	0.58
khz19	11.64	0.38
khz20	11.34	0.3
	prom	1.851

Tabla 8: Componente de frecuencia de la medición real.

Condiciones de las mediciones		
Ac	33	
Ai	0	
Lu	0	
Dominio Frecuencia		
khz6	279.2	Diferencia
khz7	211.4	67.8
khz8	196.2	15.2
khz9	121.1	75.1
khz10	138	-16.9
khz11	104.9	33.1
khz12	123.3	-18.4
khz13	108.4	14.9
khz14	107.7	0.7
khz15	99.3	8.4
khz16	76.93	22.37
khz17	89.49	-12.56
khz18	83.3	6.19
khz19	71.59	11.71
khz20	63.34	8.25
	prom	15.419

Los cambios en la componente de la medición de prueba indican que el módulo tiene una respuesta de resonancia debido a el fenómeno de incremento de amplitud que ocurre cuando la frecuencia de una fuerza periódicamente aplicada (o un componente de Fourier de esta) es igual o cercana a una frecuencia natural del sistema en el cual actúa. Cuando una fuerza oscilatoria se aplica en una frecuencia resonante de un sistema dinámico, el sistema oscila en una amplitud más alta que cuando la misma fuerza se aplica en otra frecuencia no resonante. Por lo que en vez de seguir la tendencia hacia una asíntota horizontal como muestra la simulacion, esta incrementa la respuesta en el dominio de tiempo al incrementar la frecuencia de la pulsación en determinadas ubicaciones, estos puntos fueron ubicados en los 10, 12 y 17 kHz. Haciendo mención que al tratarse de una resonancia electromagnética y no mecánica esta no es destructiva con la conformidad del módulo, además que las corrientes

y voltajes son tan pequeñas que no arriesgan la integridad de los módulos fotovoltaicos empleados en este trabajo. Se repitieron las pruebas en el módulo marca Pro-5012 de 50 Watts policristalino de 60 celdas esta vez enfocadas en el primer punto de resonancia de 10 kHz para ver la respuesta en las inmediaciones de 9 y 11 kHz con las variaciones de los casos A, B, C, y D.

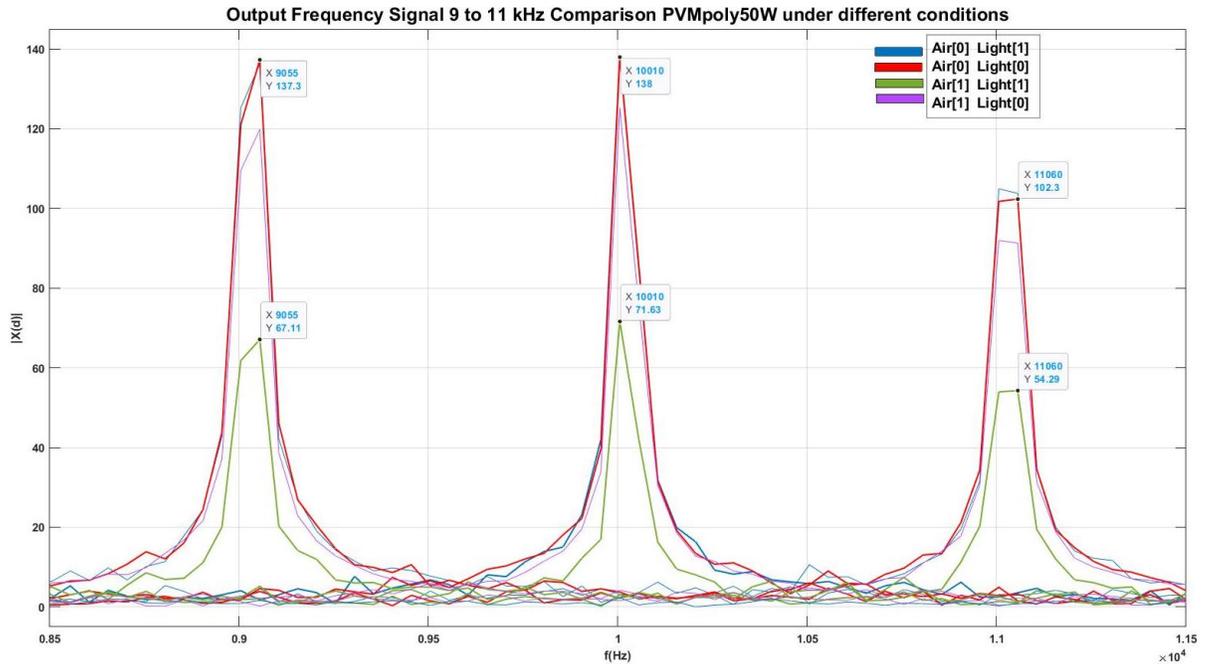


Figura 28: Pruebas de casos A, B, C y D en 10 kHz en MFV de 50 Watts.

Otra característica encontrada fue que en los 9 kHz y 11 kHz se aprecia una meseta en la ubicación de las frecuencias inducidas a través del pulsador de fotocorriente, posiblemente debido a la longitud del espectro rojo emitido por el LED, creando varios puntos en la respuesta de frecuencia parecidos que impiden señalar el punto de la frecuencia concordante. Se eligió la frecuencia de 10 kHz por ser el primer punto donde la respuesta de la componente de la frecuencia aumenta al disminuir el tiempo entre pulsaciones de luz.

Finalmente, bajo un ambiente controlado se variaron las temperaturas de medición fuera de las STC (*Standar Temperature Conditions*) 25°C, por debajo y por encima de esta temperatura para observar el comportamiento de la respuesta a los 9, 10 y 11 kHz considerando que en condiciones de generación de corriente directa del módulo FV como es

habitual en su funcionalidad, la temperatura es un factor que afecta el rendimiento energético.

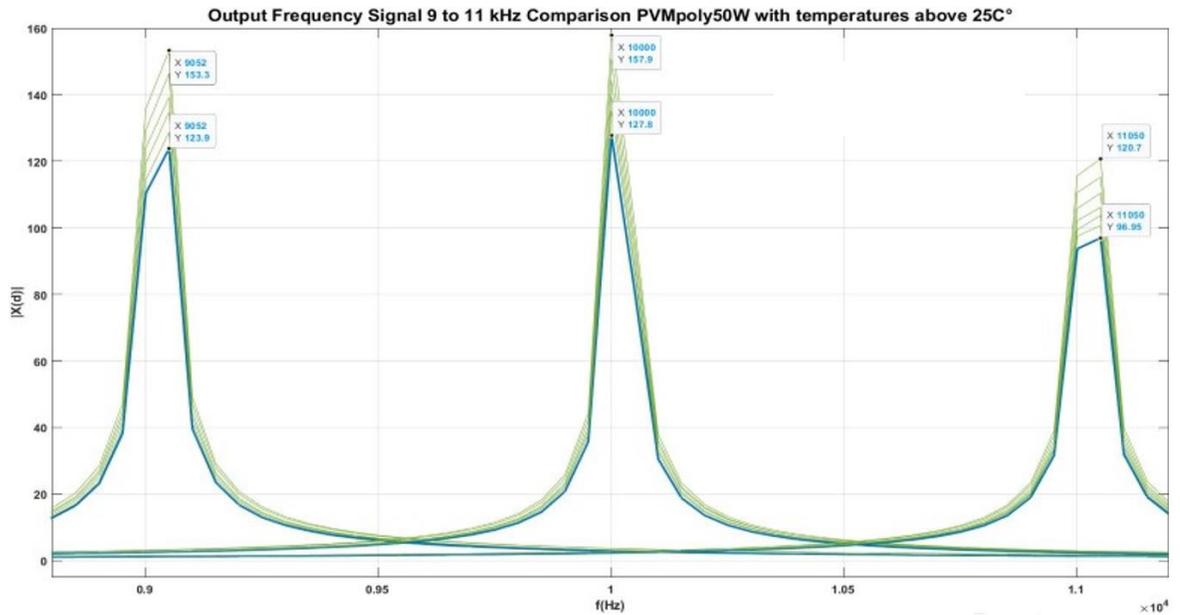


Figura 29: Comparación de cambios de temperatura por encima de los 25 C° en MFV de 50 Watts.

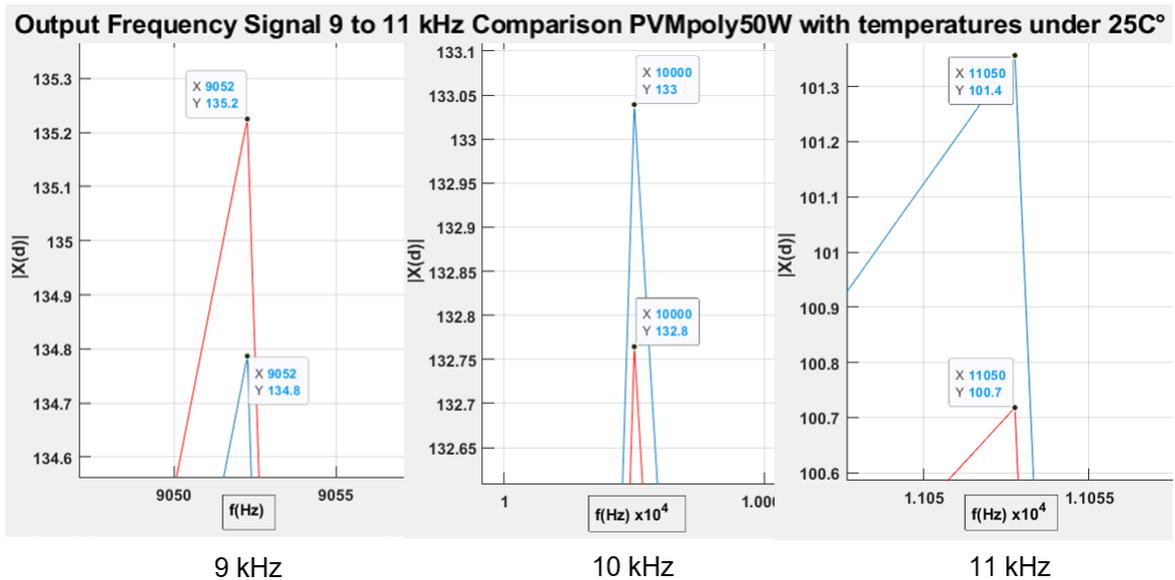


Figura 30: Comparación de cambios de temperatura por debajo de los 25 C° en MFV de 50 Watts.

Como se muestra en las figuras 29 y 30, el cambio en la componente de la frecuencia efectivamente se ve alterado por un incremento en la temperatura a la hora de la medición esta se evaluó a los 27, 29, 31, 33 y 35 C°, pero no representa cambio significativo por debajo de las STC donde las mediciones se realizaron a 15 C°, por lo que para fines de este trabajo se descartó la influencia de la temperatura ya que durante las condiciones de fase oscura entre el anochecer y amanecer, en el estado de Querétaro según el registro meteorológico de los últimos 40 años se tienen en promedio anual temperaturas de 10 C° a lo largo del año [31].

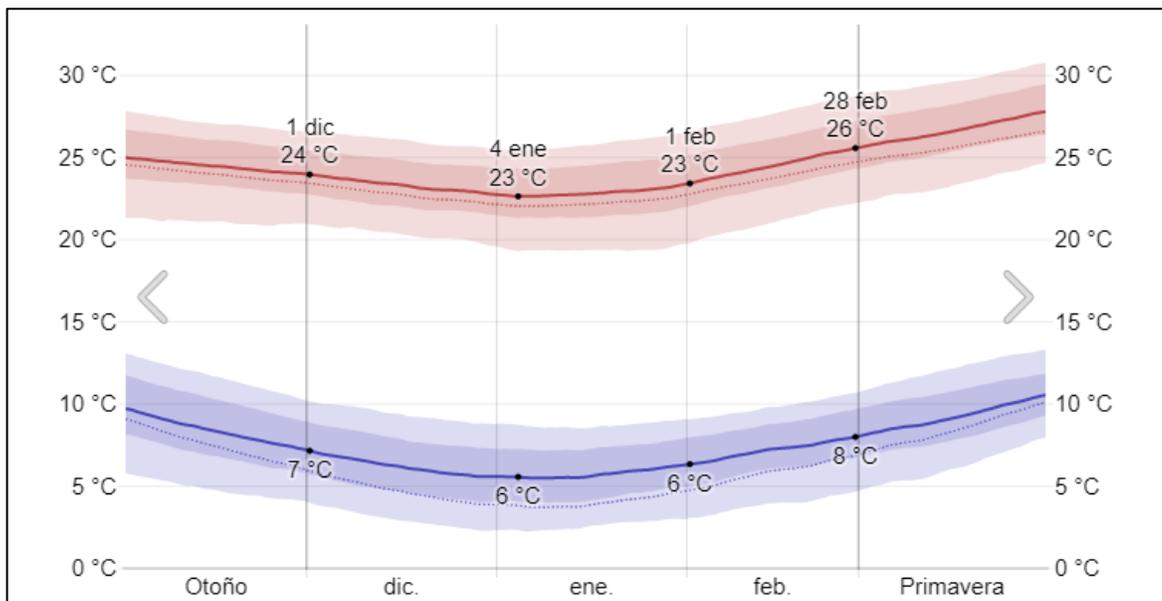


Figura 31: Promedios anuales de temperatura del estado de Querétaro [31].

Para descartar la influencia de la composición del material del módulo en la respuesta del dominio de la frecuencia, se replicó el experimento bajo las condiciones de menos ruido experimental, sin aire y sin luz con una distancia fija (33cm) en uno de los módulos fotovoltaicos de la instalación del edificio D de la facultad de ingeniería, perteneciente al sistema fotovoltaico interconectado (SFVI) de 96 paneles solares con una generación de 150 kWhr diarios. Se desconectaron las terminales MC4 del módulo más alejado del último string para facilitar la medición, la marca de dicho módulo es SolarEver-182*91-M-144 de 545 watts monocristalino de 144 celdas.

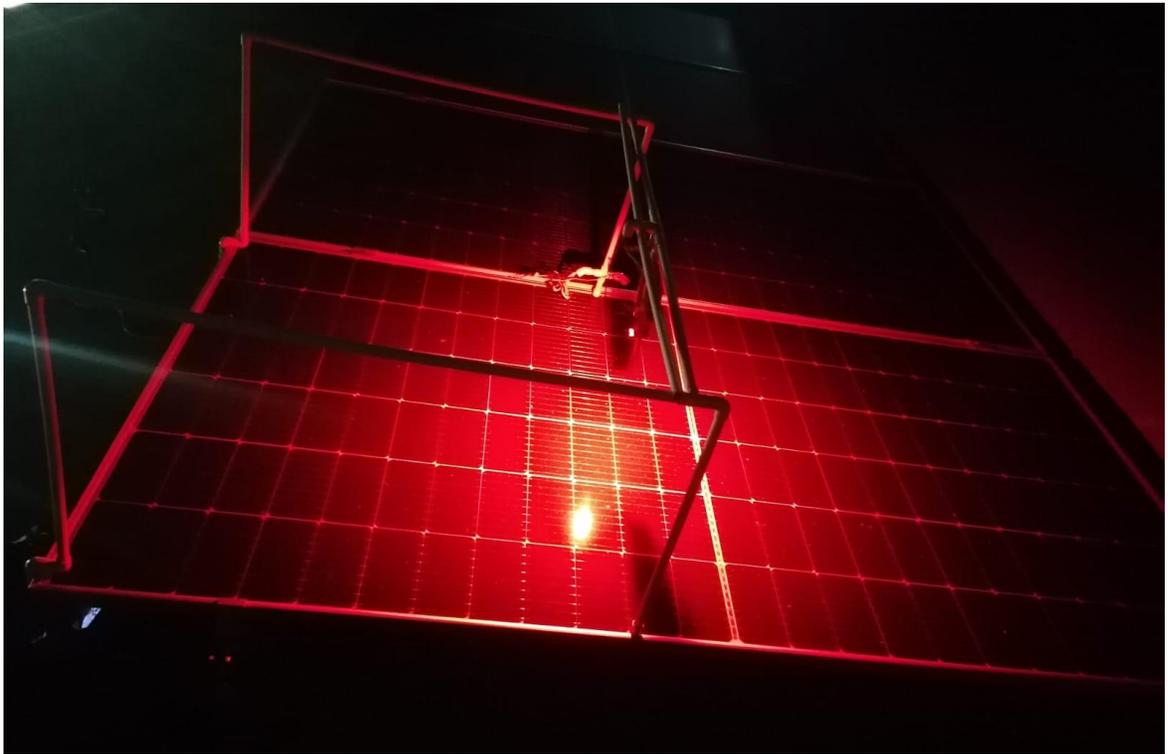


Figura 32: Prueba de control #2 MFV SolarEver-182*91-M-144 de 545W monocristalino de 144 celdas.

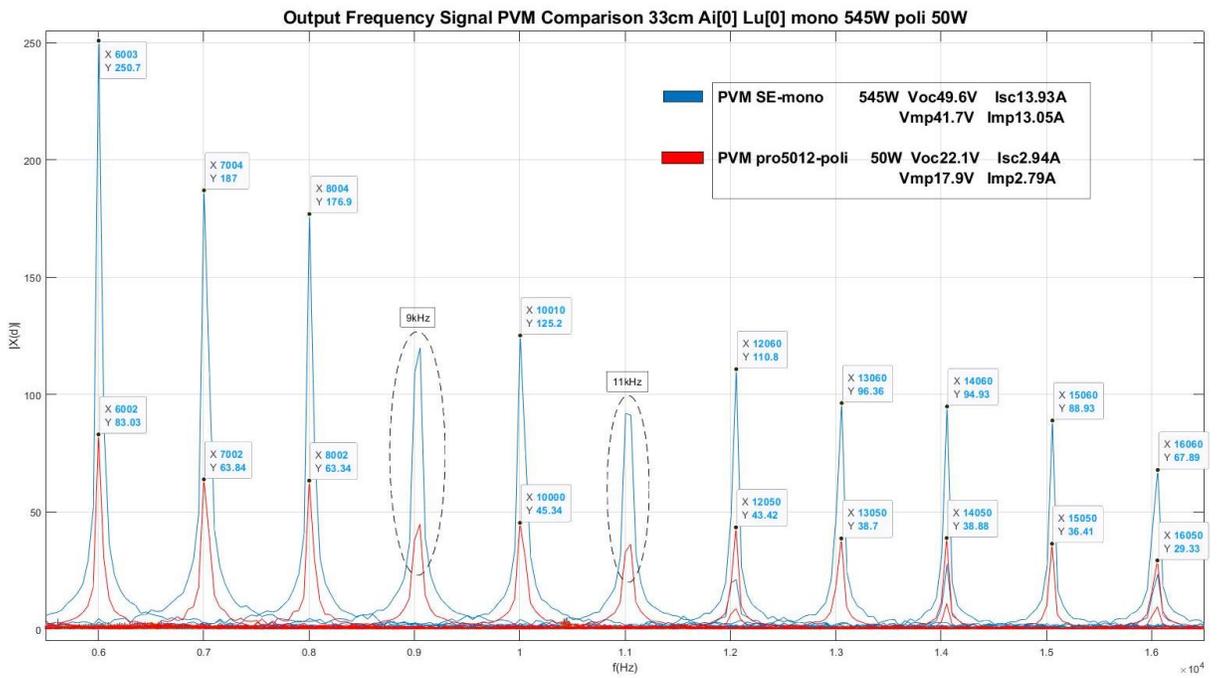
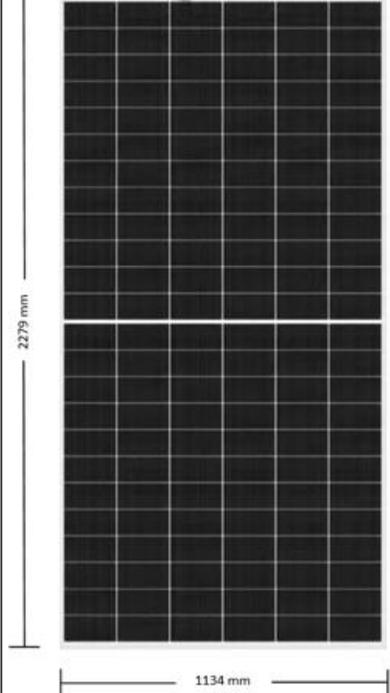


Figura 33: Comparación prueba de control #1 y #2.

Se observo que independientemente de la composición monocristalina o policristalina la respuesta del comportamiento ante el barrido de frecuencias en las condiciones óptimas presenta el mismo comportamiento de resonancia, debido a la longitud de onda utilizada en este trabajo, ya que el LED rojo utilizado emite una radiación en el espectro electromagnético con una longitud que va de los 750 nm hasta los 620 nm, por lo que queda abierto a experimentación cambiando el color de la fuente de luz ya sea naranja (620-590 nm) amarilla (590-570 nm) verde (570-495 nm) o azul (495-450 nm) según sea el fin del experimento.

Tabla 9: Características eléctricas de los MFV de prueba #1 Pro-5012 de 50 watts y prueba #2 SolarEver-182*91-M-144 de 545 watts.

	Especificaciones Técnicas																									
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Potencia máxima (Pm)</td><td>50 W (±3%)</td></tr> <tr><td>Máximo Voltaje (Vmp)</td><td>17.9 V (±3%)</td></tr> <tr><td>Máximo Amperaje (Imp)</td><td>2.79 A (±3%)</td></tr> <tr><td>Voltaje a circuito abierto (Voc)</td><td>22.1 Vcc (±3%)</td></tr> <tr><td>Corriente a corto circuito (Isc)</td><td>2.94 A (±3%)</td></tr> <tr><td>Dimensiones</td><td>530 x 670 x 25 mm</td></tr> <tr><td>Peso</td><td>3.6 kg</td></tr> <tr><td>Temperatura ambiente</td><td>-40 a 80 °C</td></tr> <tr><td>Máximo voltaje del sistema</td><td>600 Vcc</td></tr> </tbody> </table> <p><i>Nota: Las especificaciones eléctricas se indican bajo una irradiancia de 1000 W/ m² y temperatura de 25 °C.</i></p>	Potencia máxima (Pm)	50 W (±3%)	Máximo Voltaje (Vmp)	17.9 V (±3%)	Máximo Amperaje (Imp)	2.79 A (±3%)	Voltaje a circuito abierto (Voc)	22.1 Vcc (±3%)	Corriente a corto circuito (Isc)	2.94 A (±3%)	Dimensiones	530 x 670 x 25 mm	Peso	3.6 kg	Temperatura ambiente	-40 a 80 °C	Máximo voltaje del sistema	600 Vcc							
Potencia máxima (Pm)	50 W (±3%)																									
Máximo Voltaje (Vmp)	17.9 V (±3%)																									
Máximo Amperaje (Imp)	2.79 A (±3%)																									
Voltaje a circuito abierto (Voc)	22.1 Vcc (±3%)																									
Corriente a corto circuito (Isc)	2.94 A (±3%)																									
Dimensiones	530 x 670 x 25 mm																									
Peso	3.6 kg																									
Temperatura ambiente	-40 a 80 °C																									
Máximo voltaje del sistema	600 Vcc																									
	Características mecánicas																									
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Tipo de celda</td><td>Monocristalino 182x91mm(Half cut)</td></tr> <tr><td>Número y arreglo de celdas</td><td>6x24(144pzs)</td></tr> <tr><td>Dimensiones</td><td>2279x1134x35mm</td></tr> <tr><td>Peso</td><td>28.6Kg</td></tr> </tbody> </table>	Tipo de celda	Monocristalino 182x91mm(Half cut)	Número y arreglo de celdas	6x24(144pzs)	Dimensiones	2279x1134x35mm	Peso	28.6Kg																	
Tipo de celda	Monocristalino 182x91mm(Half cut)																									
Número y arreglo de celdas	6x24(144pzs)																									
Dimensiones	2279x1134x35mm																									
Peso	28.6Kg																									
	Coefficientes de Temperatura																									
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Temperatura nominal de operación en la celda</td><td>-5 C ±2 C</td></tr> <tr><td>Temperatura de potencia máxima</td><td>-(0.35 ± 0.05)%/ C</td></tr> <tr><td>Temperatura de Voltaje en Circuito abierto</td><td>-(0.27 ± 0.02)%/ C</td></tr> <tr><td>Temperatura de Corriente de corto circuito</td><td>+(0.05 ± 0.005)%/ C</td></tr> <tr><td>Máxima corriente de fusibles</td><td>25A</td></tr> </tbody> </table>	Temperatura nominal de operación en la celda	-5 C ±2 C	Temperatura de potencia máxima	-(0.35 ± 0.05)%/ C	Temperatura de Voltaje en Circuito abierto	-(0.27 ± 0.02)%/ C	Temperatura de Corriente de corto circuito	+(0.05 ± 0.005)%/ C	Máxima corriente de fusibles	25A															
Temperatura nominal de operación en la celda	-5 C ±2 C																									
Temperatura de potencia máxima	-(0.35 ± 0.05)%/ C																									
Temperatura de Voltaje en Circuito abierto	-(0.27 ± 0.02)%/ C																									
Temperatura de Corriente de corto circuito	+(0.05 ± 0.005)%/ C																									
Máxima corriente de fusibles	25A																									
	Características Eléctricas																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>STC</th> <th>NOCT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de módulo</td><td>SE-182*91-535M-144</td><td></td></tr> <tr><td>Voltaje de circuito abierto(V)</td><td>49.4</td><td>46.41</td></tr> <tr><td>Corriente de corto circuito(A)</td><td>13.7</td><td>11.12</td></tr> <tr><td>Voltaje de circuito óptimo(V)</td><td>41.29</td><td>38.59</td></tr> <tr><td>Corriente de circuito óptimo(A)</td><td>12.96</td><td>10.41</td></tr> <tr><td>Poder máximo de operación</td><td>535W</td><td>402W</td></tr> <tr><td>Eficiencia del módulo en STC</td><td>20.70%</td><td></td></tr> </tbody> </table>		STC	NOCT	Tipo de módulo	SE-182*91-535M-144		Voltaje de circuito abierto(V)	49.4	46.41	Corriente de corto circuito(A)	13.7	11.12	Voltaje de circuito óptimo(V)	41.29	38.59	Corriente de circuito óptimo(A)	12.96	10.41	Poder máximo de operación	535W	402W	Eficiencia del módulo en STC	20.70%		
	STC	NOCT																								
Tipo de módulo	SE-182*91-535M-144																									
Voltaje de circuito abierto(V)	49.4	46.41																								
Corriente de corto circuito(A)	13.7	11.12																								
Voltaje de circuito óptimo(V)	41.29	38.59																								
Corriente de circuito óptimo(A)	12.96	10.41																								
Poder máximo de operación	535W	402W																								
Eficiencia del módulo en STC	20.70%																									

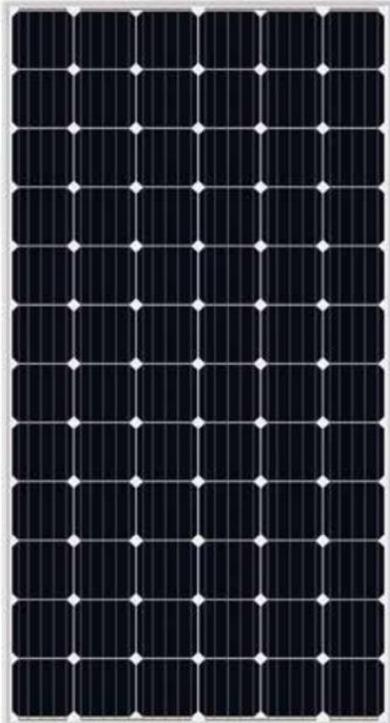
Con toda la información recolectada durante la etapa de elaboración del dispositivo OCF se establecieron los ajustes iniciales para iniciar con la etapa de experimentación teniendo en cuenta las variables que afectan la respuesta, la frecuencia de pulsación establecida, y las temperaturas a las que se llevaran a cabo las mediciones en campo imitando una detección convencional de falla de circuito abierto en un sistema fotovoltaico con características meteorológicas acordes a la ciudad de Querétaro y la cantidad de datos capturada durante las mediciones.

6.3 ETAPA FINAL DE EXPERIMENTACIÓN.

Como parte de la colaboración de la facultad de ingeniería de la universidad autónoma de Querétaro y el sindicato perteneciente a ella con la vinculación del área de proyectos se tuvo acceso a un SFVI de 10 módulos FV marca SRP-370-6MA-HV de 370 W monocristalinos de 72 celdas.

Tabla 10: Características eléctricas MFV SRP-370-6MA-HV de 370 W monocristalinos de 72 celdas.

SRP-(360-375)-6MA-HV	
Electrical Characteristics(STC)	
Module Type	SRP-370-6MA-HV
Maximum Power at STC - P_{mp} (W)	370
Open Circuit Voltage - V_{oc} (V)	47.8
Short Circuit Current - I_{sc} (A)	9.88
Maximum Power Voltage - V_{mp} (V)	38.9
Maximum Power Current - I_{mp} (A)	9.52
Module Efficiency STC- η_m (%)	18.93
Optimizer Max. Output Voltage (V)	40.9
Power Tolerance (W)	(0,+4.99)
Maximum System Voltage (V)	1500
Maximum Series Fuse Rating (A)	15



El SFVI está configurado en un arreglo 5x2 con una potencia instalada de 3.7 kWp y una generación de 20.350 kWhr diarias con las 5.5 horas solares pico captadas en la latitud del estado de Querétaro, ubicado en la azotea del edificio del sindicato ($N^\circ 20.589372, W^\circ -100.411827$) con una orientación sur 182° para ser usado en la comprobación del método y dispositivo para la detección de fallas de circuito abierto.



Imagen 7: SFVI usado para comprobación del método OCF (vista frontal).



Imagen 8: SFVI usado para comprobación del método OCF (vista lateral).

Las mediciones para la detección de falla de circuito abierto en este SFVI se llevaron a cabo en un horario de 11 pm a 4 am para estar próximos a las temperaturas más bajas en el transcurso de la madrugada durante las fechas del mes de Abril y Mayo del 2023, empleando cable AWG 10 para los conductores empleados para generar los arreglos con sus respectivos conectores MC4 macho y hembra.



Imagen 9: Comprobación experimental del método OCF en SFVI.

Se procedió a realizar la pulsación sobre un solo modulo con el dispositivo a fin de comprobar su comportamiento individual ante el barrido de frecuencias, extrayendo las señales del voltaje de salida con en osciloscopio *Digilent Analog Discovery 2* pasadas por el HPF con frecuencia de corte de 3.3 kHz almacenadas en el sistema de adquisición de datos para ser procesados en Matlab y aplicar la DFT pasando la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y graficando el valor de su componente a lo largo de las pulsaciones de 5 kHz a 20 kHz .

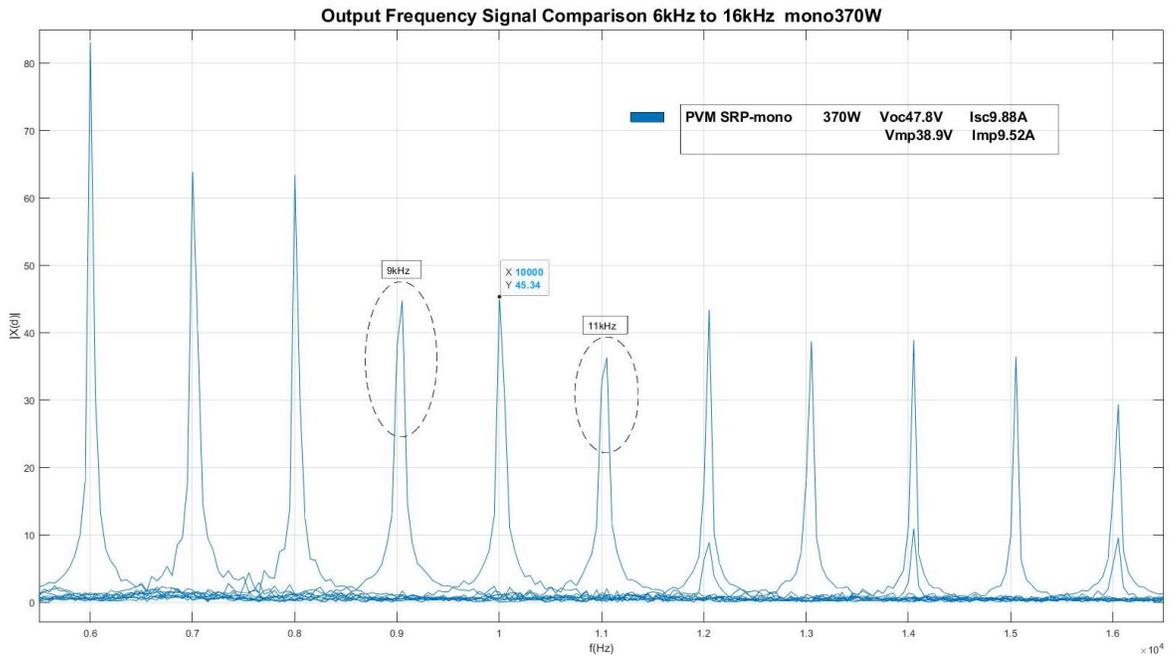


Figura 34: Componentes de salida de la experimentación.

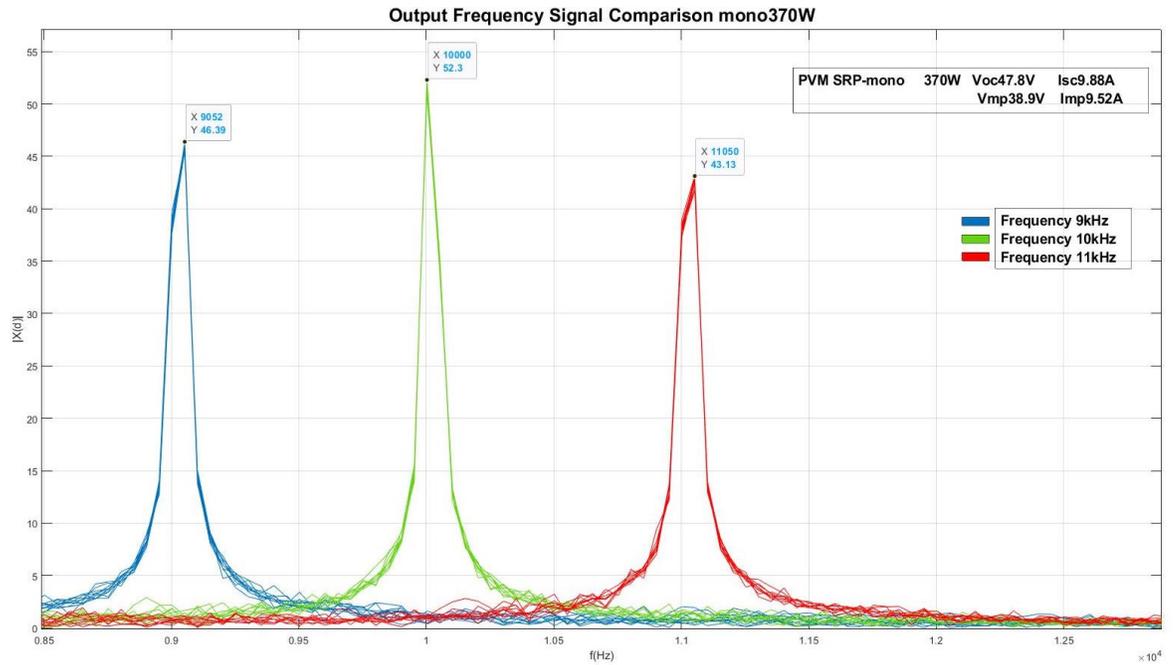


Figura 35: Comparación de 50 componentes de la fase de experimentación a 9, 10 y 11kHz.

Tabla 11: Resumen de las 50 muestras experimentales de barrido a 9, 10 y 11kHz.

9 kHz	10 kHz	11 KHz	
45.776	51.417	47.4986	MEAN
45.79	51.465	49.35	MEDIAN
45.86	51.73	42.75	MODE
MIN	MIN	MIN	
44.95	50.16	41.74	
MAX	MAX	MAX	
47.2	52.3	51.48	

En los datos extraídos del barrido de frecuencias de 50 muestras se observó un comportamiento muy parecido al de las mediciones de prueba del dispositivo en ambientes controlados corroborando así el ajuste inicial de las condiciones de prueba basados en las condiciones experimentales previas, con lo que se procedió a realizar las configuraciones de los arreglos posibles para este SFVI que son arreglos mxn de 4x1, 4x2, 5x1 y 5x2 cada uno con 50 muestras de 4000 datos con una f_s de 200kHz utilizando un cable AWG 10 y conectores MC4 macho y hembra para hacer los cambios en los arreglos e ir desconectando cada string para mover a ubicación de falla de circuito abierto y hacer las mediciones bajo la siguiente configuración experimental:

- Longitud de onda del LED = 620 – 750 nm.
- Potencia del LED = 10 Watts.
- Distancia entre el LED y el módulo FV= 33 cm.
- Temperatura = 8 - 12 C°.
- Irradiancia = <10 W/m².
- Frecuencia del pulso = 10 kHz.
- Muestras por OCF = 50.
- Arreglos del SFVI y datos capturados por arreglo =
 - 4x1 (50 sano + 50 OCF A + 50 OCF B + 50 OCF C + 50 OCF D = 250 muestras).
 - 4x2 (50 sano + 50 OCF A + 50 OCF B + 50 OCF C + 50 OCF D = 250 muestras).
 - 5x1 (50 sano + 50 OCF A + 50 OCF B + 50 OCF C + 50 OCF D + 50 OFC E = 300 muestras).
 - 5x2 (50 sano + 50 OCF A + 50 OCF B + 50 OCF C + 50 OCF D + 50 OFE = 300 muestras).

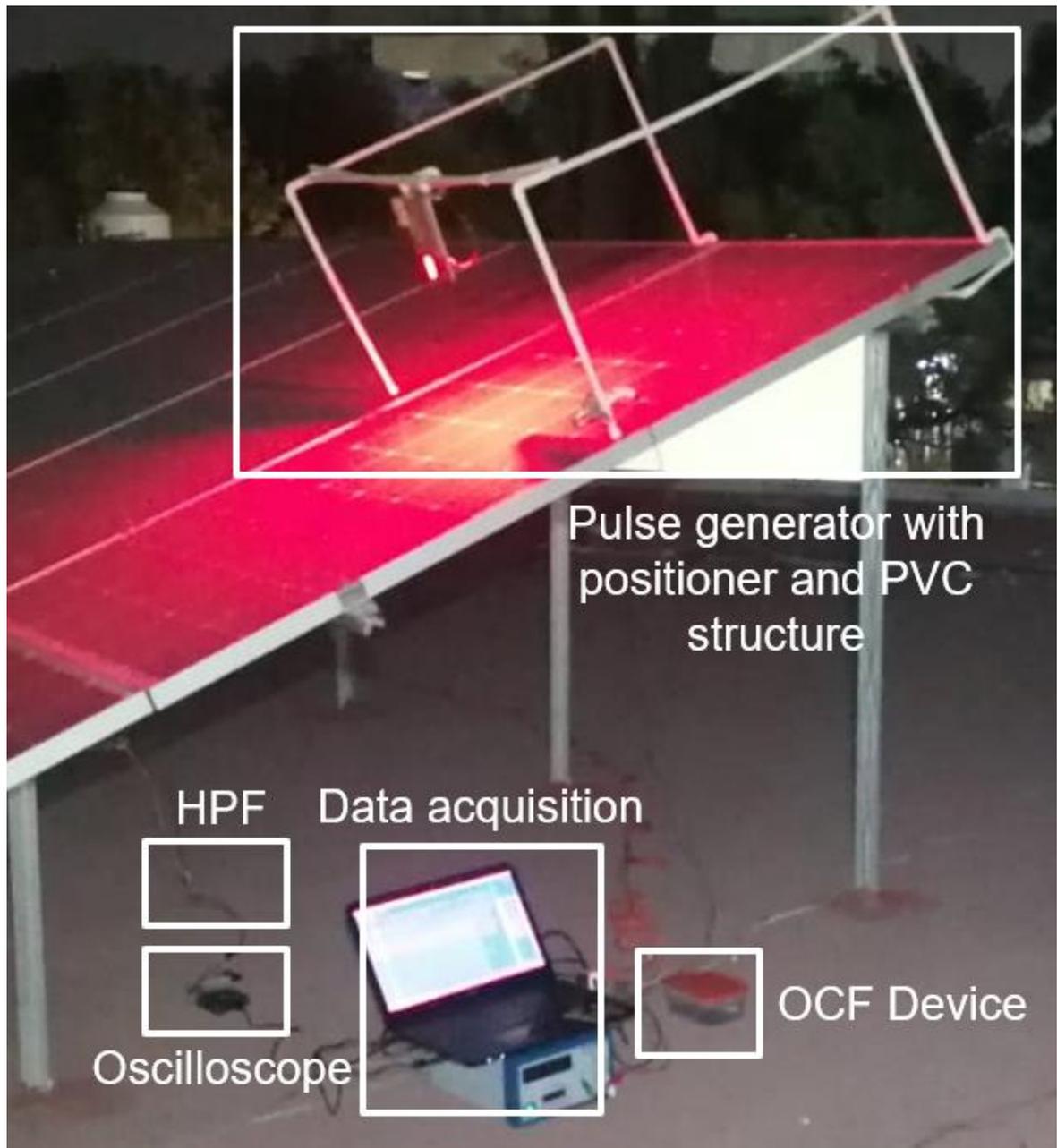


Imagen 10: Setup experimental para la detección OFC.

Los esquemas, resultados de medición y graficas para los arreglos 4x1, 4x2, 5x1 y 5x2 se muestran a continuación:

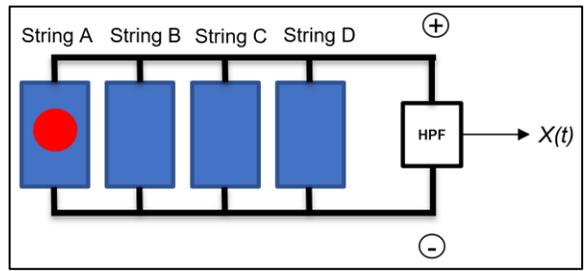


Figura 36: Esquema arreglo 4x1 experimental.

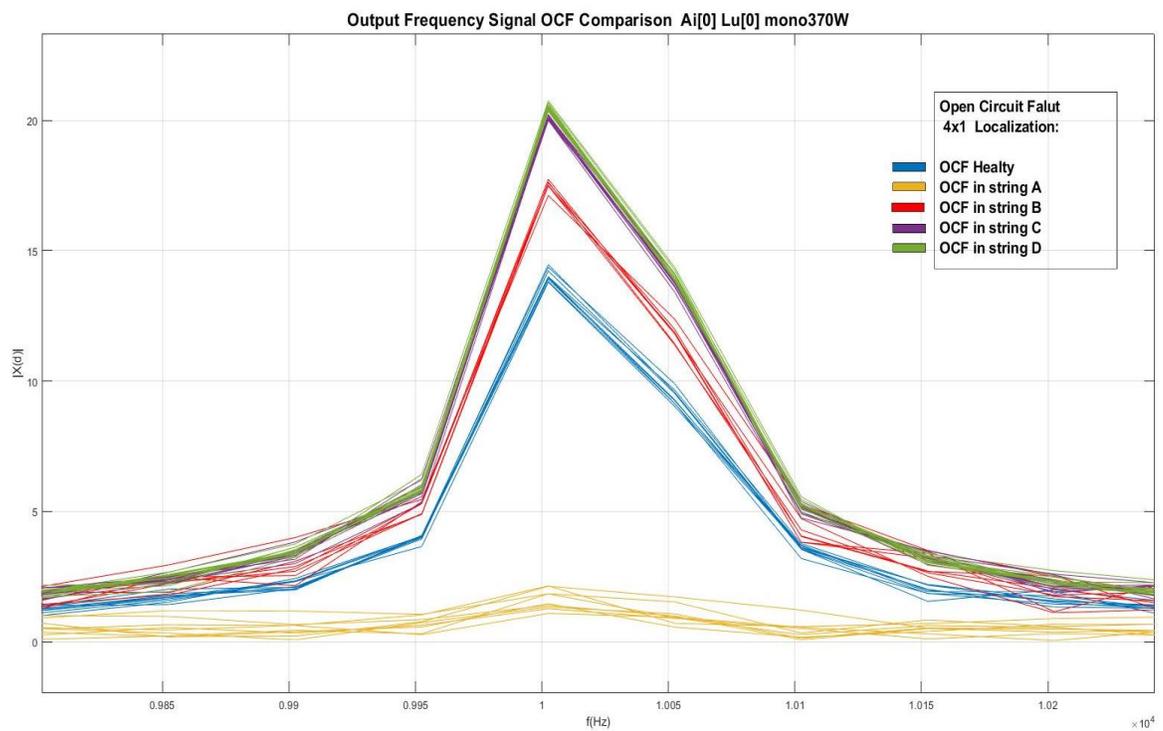


Figura 37: Señales de salida del arreglo 4x1 experimental.

Tabla 12: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 4x1 experimental.

Data from 50 proves to photovoltaic system 4x1					
HEALTHY	OCF A	OCF B	OCF C	OCF D	
13.8028	1.47832	18.5158	20.1686	20.4756	MEAN
13.955	1.527	18.85	20.16	20.48	MEDIAN
13.95	2.54	19.15	20.16	20.36	MODE
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	
4.17	0.577	16.2	19.79	20.11	
MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	
14.47	2.54	19.4	20.63	20.94	

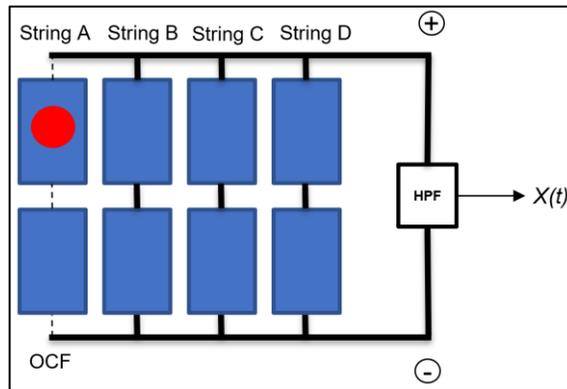


Figura 38: Esquema arreglo 4x2 experimental.

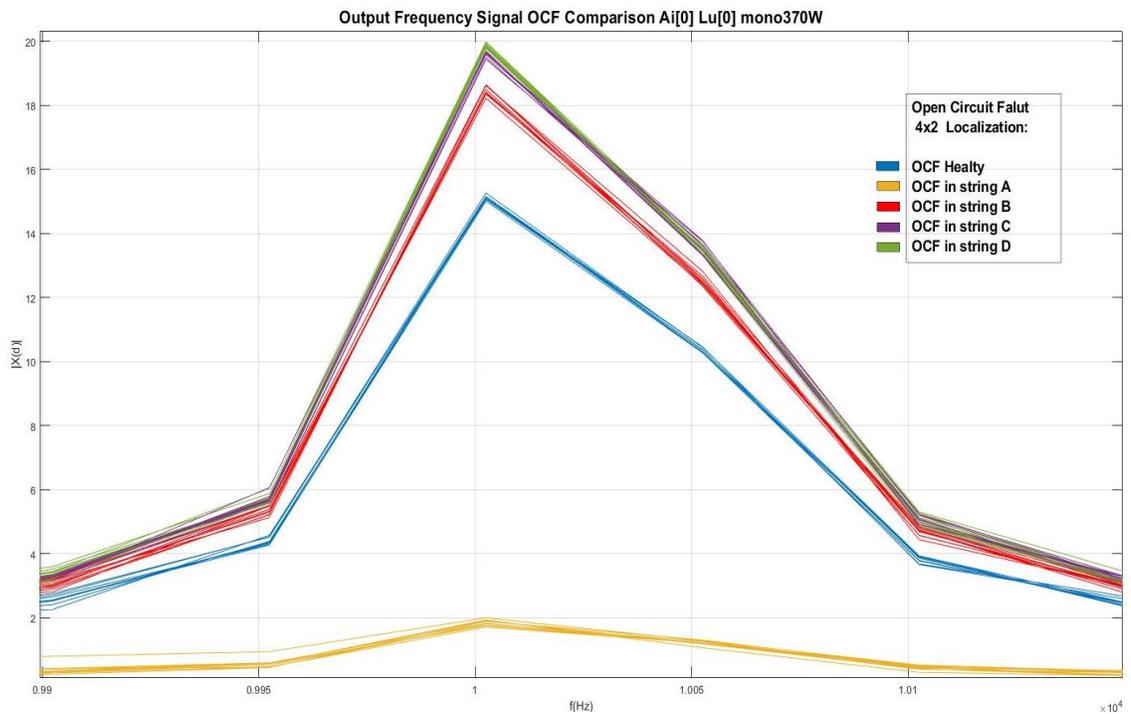


Figura 39: Señales de salida del arreglo 4x2 experimental.

Tabla 13: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 4x2 experimental.

Data from 50 proves to photovoltaic system 4x2					
HEALTHY	OCF A	OCF B	OCF C	OCF D	
15.1224	1.86792	18.3906	19.7164	19.7964	MEAN
15.12	1.8905	18.385	19.72	19.8	MEDIAN
15.14	1.893	18.28	19.76	19.65	MODE
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	
14.86	1.563	18.09	19.32	19.47	
MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	
15.57	2.022	18.73	20.15	20.06	

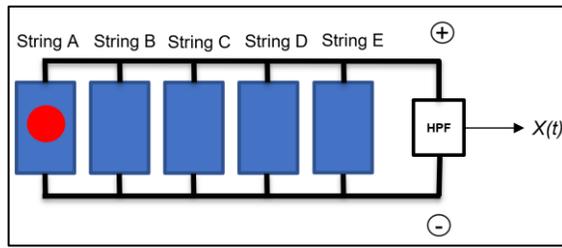


Figura 40: Esquema arreglo 5x1 experimental.

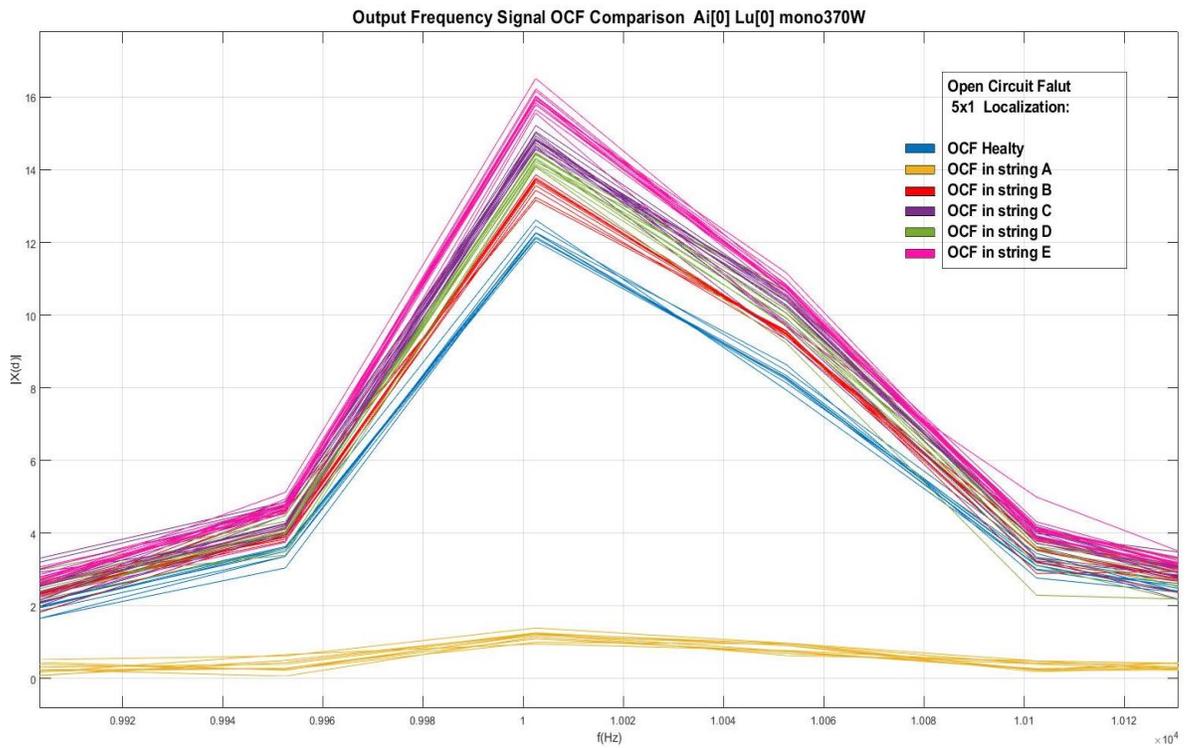


Figura 41: Señales de salida del arreglo 5x1 experimental.

Tabla 14: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 5x1 experimental.

Data from 50 proves to photovoltaic system 5X1						
HEALTHY	OCF A	OCF B	OCF C	OCF D	OCF E	
12.1568	1.57456	13.778	14.5044	14.6278	16.024	MEAN
12.12	1.553	13.755	14.475	14.68	16.03	MEDIAN
12.35	2.321	14.34	14.42	14.74	15.94	MODE
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	
11.42	1.012	12.85	13.56	13.33	15.56	
MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	
13.04	2.321	14.89	15.62	15.7	16.51	

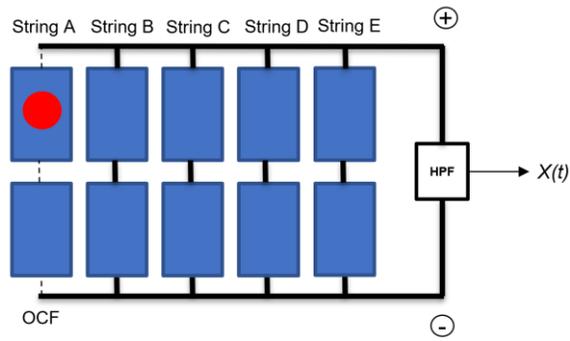


Figura 42: Esquema arreglo 5x2 experimental.

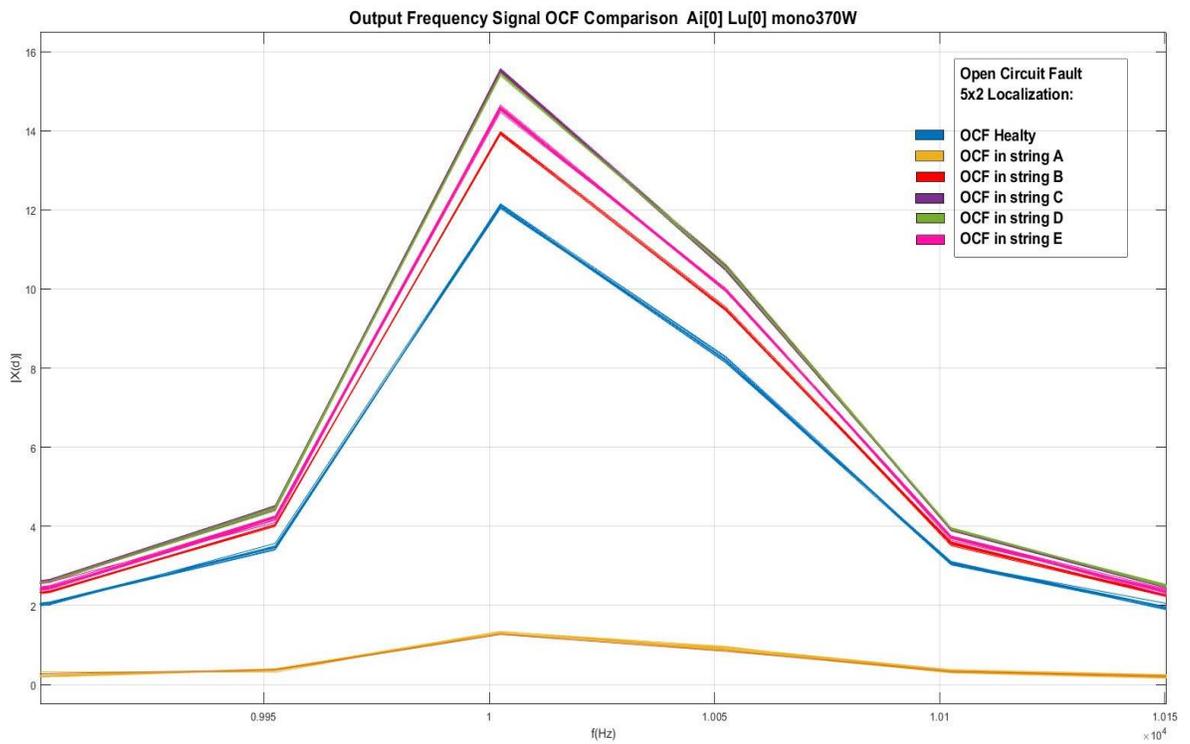


Figura 43: Señales de salida del arreglo 5x2 experimental.

Tabla 15: Resumen de componentes de señales de salida del arreglo 5x2 experimental.

Data from 50 proves to photovoltaic system 5x2						
HEALTHY	OCF A	OCF B	OCF C	OCF D	OCF E	
12.0588	1.32162	13.8882	15.4882	15.4494	14.547	MEAN
12.055	1.3195	13.91	15.49	15.445	14.54	MEDIAN
12.05	1.354	13.94	15.49	15.46	14.55	MODE
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	
11.98	1.26	13.76	15.41	15.37	14.47	
MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	
12.15	1.412	13.98	15.55	15.6	14.65	

El total de las mediciones extraídas fue de 1100 muestras de 4000 datos voltaje/tiempo, que de forma separada para cada arreglo se emplearon en la aplicación del algoritmo Knn programado en Python, donde a cada ubicación de OCF se le asigno un valor categórico para ser identificado al término del proceso para poder ser detectada y ubicada.

Tabla 16: Valores de grupos categóricos para la ubicación y localización de OFC

Valores OCF asignados para SFVI 4x1		Valores OCF asignados para SFVI 4x2	
OCF	Grupo	OCF	Grupo
Sano	1	Sano	6
OCF en A	2	OCF en A	7
OCF en B	3	OCF en B	8
OCF en C	4	OCF en C	9
OCF en D	5	OCF en D	10

Valores OCF asignados para SFVI 5x1		Valores OCF asignados para SFVI 5x2	
OCF	Grupo	OCF	Grupo
Sano	11	Sano	17
OCF en A	12	OCF en A	18
OCF en B	13	OCF en B	19
OCF en C	14	OCF en C	20
OCF en D	15	OCF en D	21
OCF en E	16	OCF en E	22

A continuación, se muestran ejemplos gráficos de las señales de respuesta en frecuencia del arreglo 4x1, (250 muestras) 4x2, (250 muestras) 5x1, (300 muestras) 5x2 (300 muestras) de los puntos que se emplearon para la caracterización de las clases y el aproximamiento a cada una de ellas en 10 kHz con sus respectivos primeros 2 armónicos en 20 y 30 kHz.

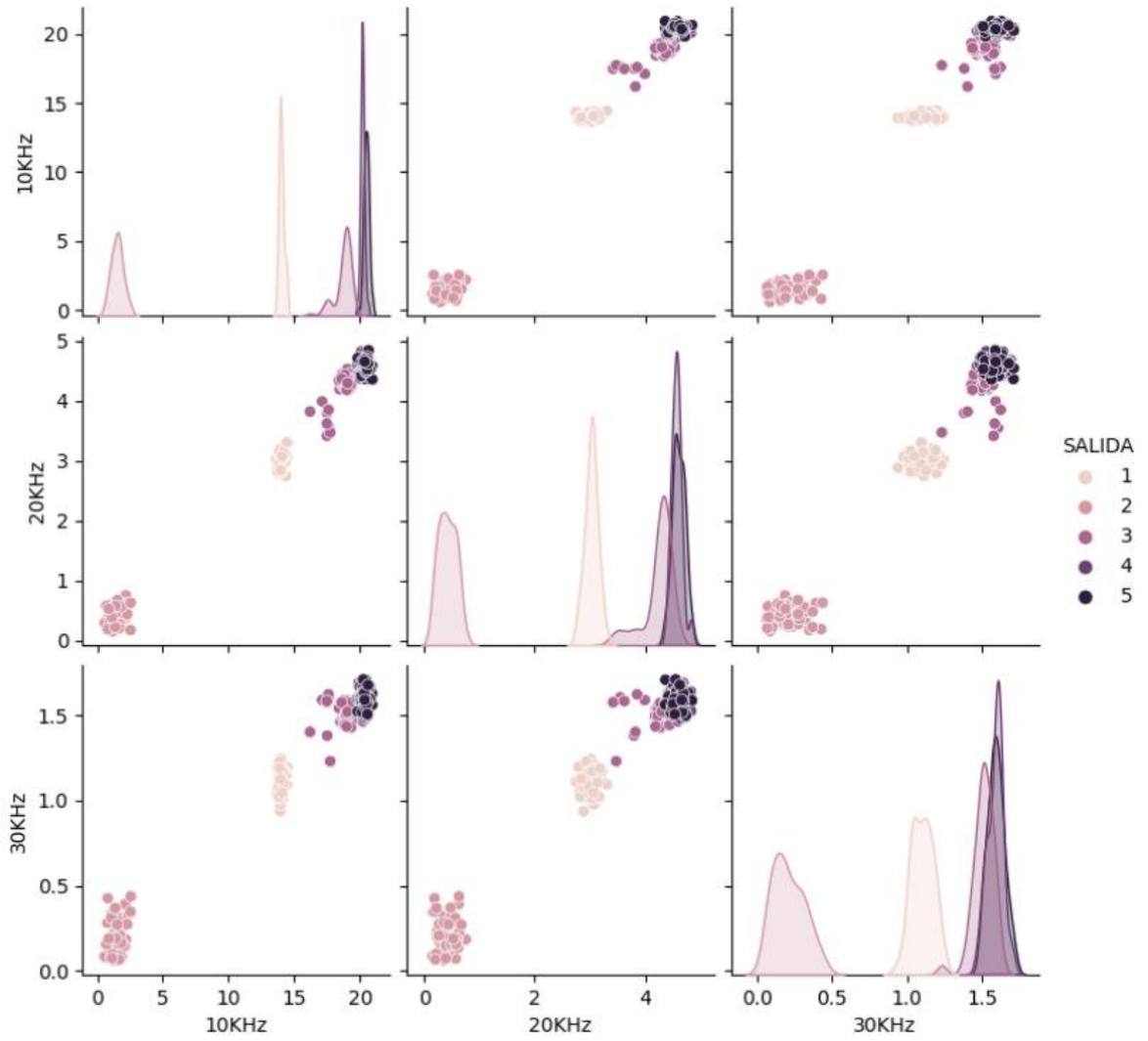


Figura 44: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 4x1

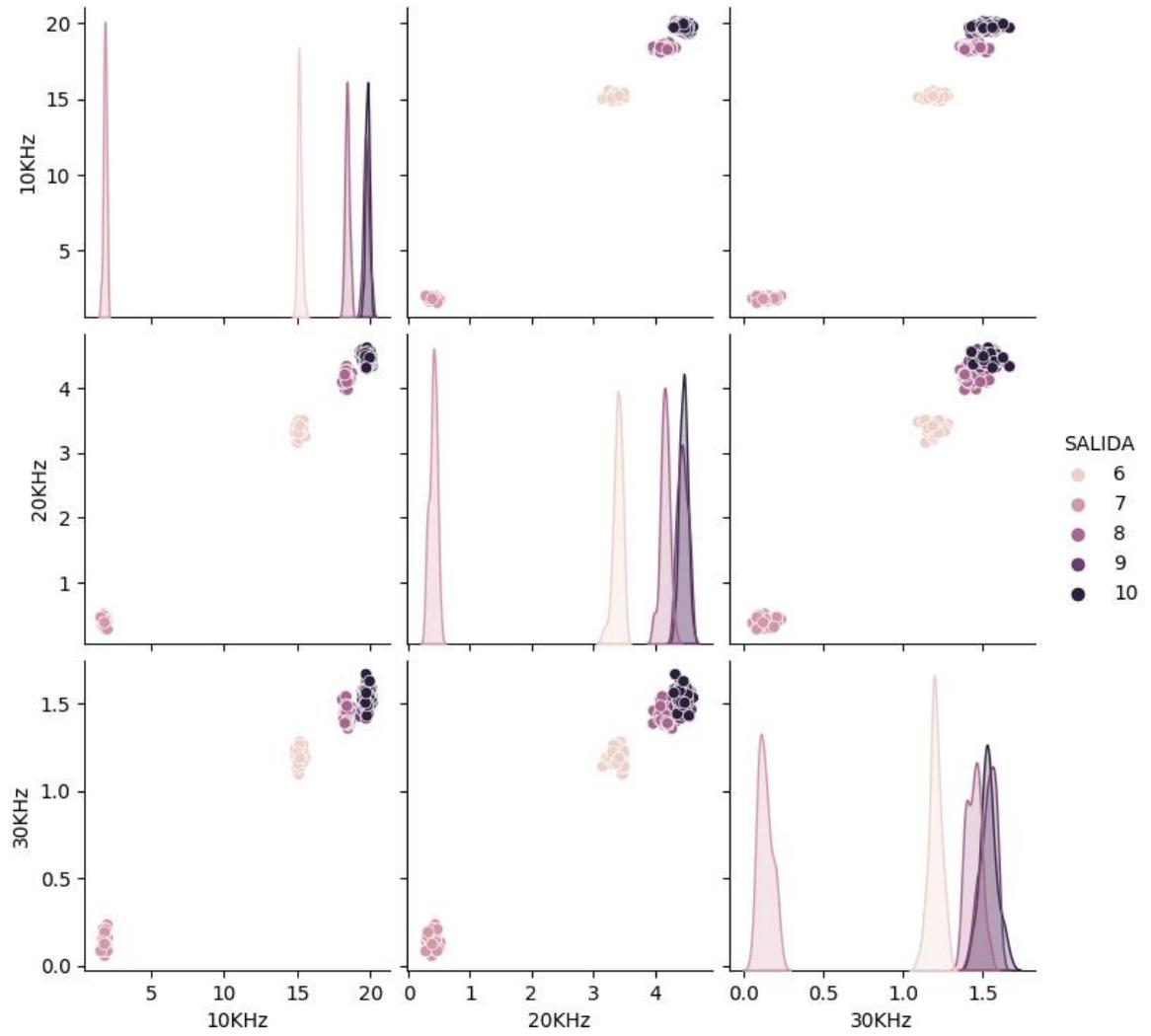


Figura 45: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 4x2.

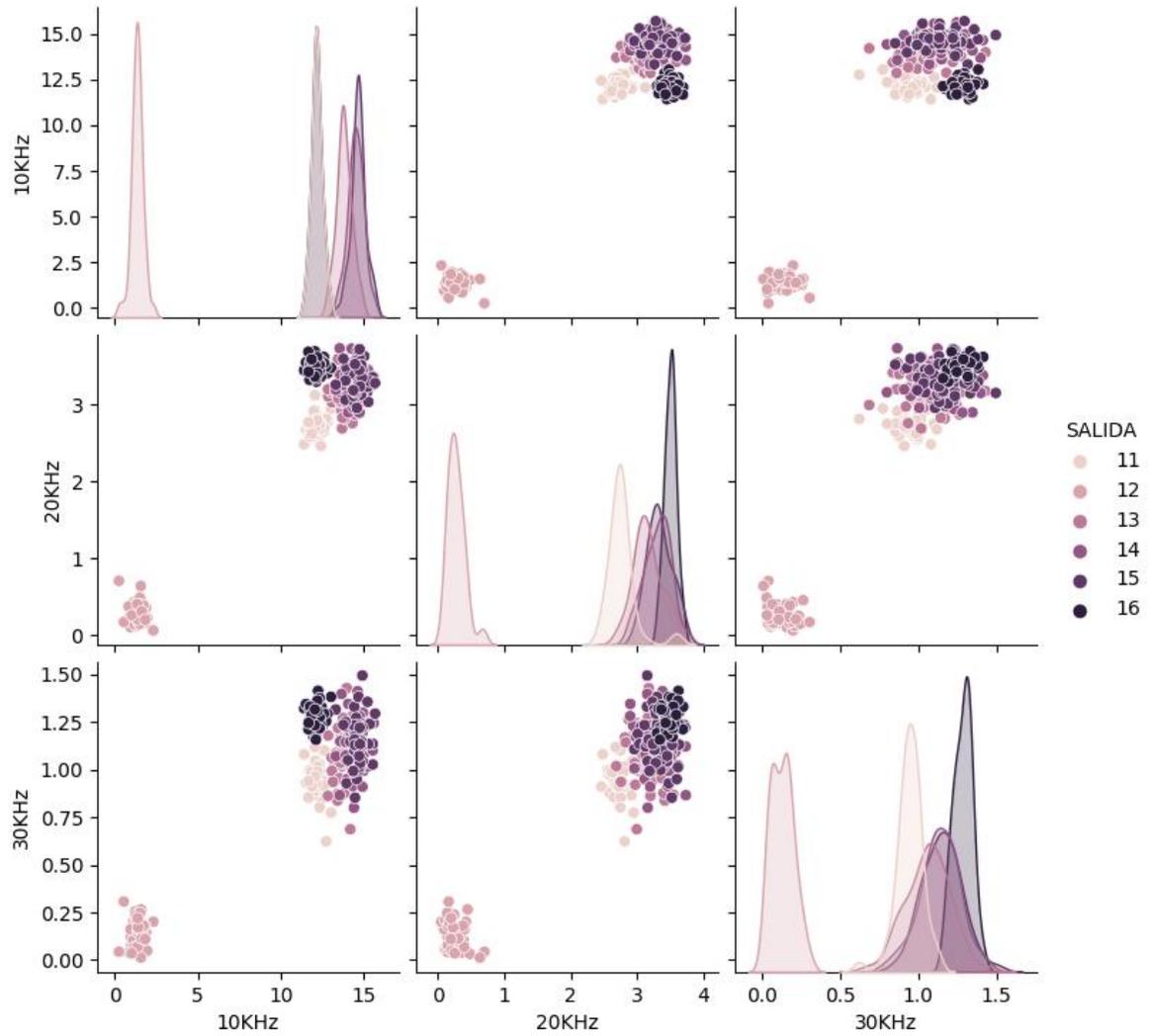


Figura 46: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 5x1.

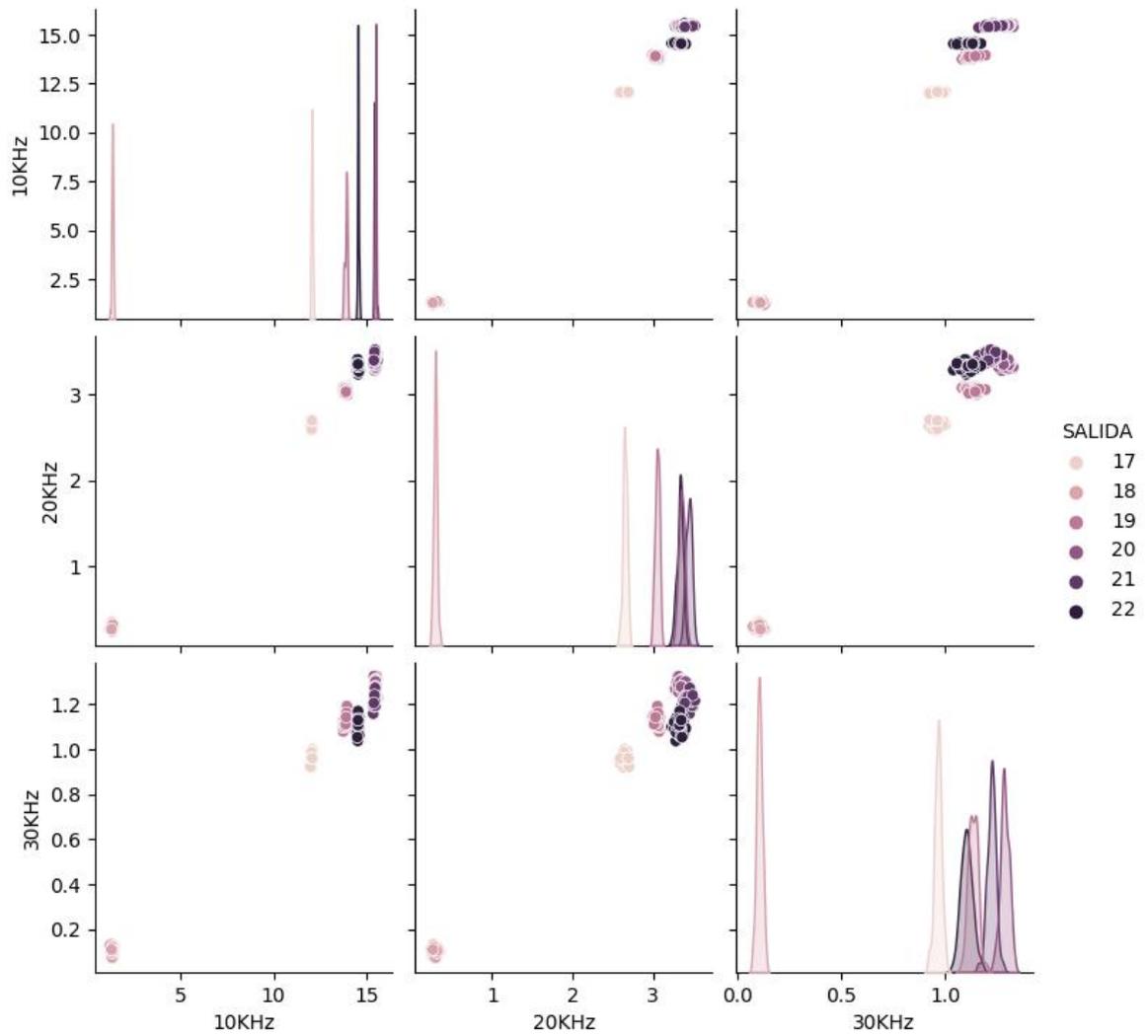


Figura 47: Gráficas de ubicación de falla Knn en arreglo experimental 5x2.

Los promedios de predictibilidad del algoritmo muestran un valor del 90% para la detección de fallas de circuito abierto en el arreglo 4x1, 92% en 4x2, 91% en 5x1 y 93% en 5x2.

```
[100] confusion_matrix(y_test, y_pred)

array([[ 7,  0,  3,  0,  0,  0],
       [ 0, 12,  0,  0,  0,  0],
       [ 0,  0,  6,  1,  0,  0],
       [ 0,  0,  1,  8,  0,  0],
       [ 0,  0,  0,  0, 13,  1],
       [ 0,  0,  0,  0,  0,  8]])
```

```
[101] print(classification_report(y_test,y_pred))
```

	precision	recall	f1-score	support
1	1.00	1.00	1.00	12
2	0.60	0.86	0.71	7
3	0.89	0.89	0.89	9
4	1.00	0.93	0.96	14
5	0.89	1.00	0.94	8
accuracy			0.90	60
macro avg	0.90	0.90	0.89	60
weighted avg	0.92	0.90	0.90	60

```
[102] accuracy_score(y_test, y_pred)

0.9
```

Figura 48: Resumen algoritmo Knn en arreglo 4x1.

Con el modo de aprendizaje supervisado entrenado correctamente, se procedió a realizar mediciones en el SFVI experimental extras de cada tipo de arreglo con diferentes ubicaciones de OFC para ingresarlos en el código realizado en Python en el apartado de “X_muestras” y que efectúe la predicción y ubicación de falla de una medición real.

7. CONCLUSIONES

En el siguiente contenido se ejemplifica la medición real para la detección de una falla de circuito abierto en un arreglo 4x1 con OCF en el string D colocado intencionalmente a fin de comprobar el método, el mismo procedimiento se puede aplicar para el arreglo 4x2, 5x1 y 5x2 con cualquier ubicación de OFC.

Primero se toman las 250 mediciones de salida del arreglo ya procesadas donde se aplicó la DFT haciendo uso de las componentes en dominio de la frecuencia y sus primeros 2 armónicos a 20 y 30 kHz teniendo en cuenta que las primeras 50 mediciones corresponden a las señales de un arreglo saludable sin fallas OCF, las segundas 50 donde hay una OCF en el string A, las terceras 50 con OCF en el string B, las cuartas 50 con OCF en el string C y finalmente las últimas 50 mediciones donde hay OCF en el string D. Estas nos servirán para ser ingresadas al código en Python donde se programó el algoritmo Knn (sección 6.3).

Tabla 17: Base de datos de las componentes de frecuencia y sus armónicos para arreglo 4x1.

Señales de salida del SFVI 4x1				
	comp 10KHz	comp 20KHz	comp 30KHz	Grupo
1	14.4654	3.0532	1.1951	1
2	14.2224	3.1018	1.1789	1
3	14.0031	3.017	1.2432	1
4	13.9656	3.0655	1.2099	1
5	13.8196	3.0266	1.1314	1
6	13.9856	3.0259	1.1191	1
7	13.7945	3.0132	1.1411	1
8	14.3656	2.7465	1.1085	1
9	13.9142	3.0025	1.1314	1
10	13.8991	2.9483	1.0199	1
11	13.8118	2.9084	1.0453	1
12	14.0918	3.0558	1.0444	1
13	14.3201	2.9993	1.1085	1
14	14.14	2.9801	1.1523	1
15	14.4245	3.047	1.1457	1
⋮				
246	20.4323	4.4864	1.5491	5
247	20.504	4.5004	1.5659	5
248	20.3149	4.685	1.6288	5
249	20.5632	4.5305	1.5064	5
250	20.6161	4.6238	1.6775	5

Tabla 18: Valores asignados de los grupos categóricos usados para el arreglo 4x1.

Valores OFC asignados para SFVI 4x1	
OCF	Grupo
Saludable	1
OCF en A	2
OCF en B	3
OCF en C	4
OCF en D	5

A continuación, se muestran las mediciones reales obtenidas de SFVI con arreglo 4x1 y OCF en el string D tomadas bajo las condiciones experimentales corroboradas donde el método comprobó detectar y ubicar dicha falla de circuito abierto mostrando el valor del grupo categórico asignado para OCF en D.

Cgen1 = Respuesta de frecuencia del componente 10kHz = 20.3548

Cgen2 = Respuesta de frecuencia del componente 20kHz = 4.6522

Cgen3 = Respuesta de frecuencia del componente 30kHz = 1.5809

```
X_muestra = [[20.3548,4.6522,1.5809]] #[[Cgen1, Cgen2, Cgen3]]
X_muestra_t = scaler.transform(X_muestra)
y_muestra = knn_model.predict(X_muestra)
```

```
y_muestra
```

```
array([5])
```

El método debidamente implementado en este trabajo fue capaz de detectar y localizar la falla de circuito abierto haciendo uso de las mediciones de voltaje de salida correctamente.

La escalabilidad del método de detección de OCF en sistemas fotovoltaicos mxn es viable bajo la extracción de las características del tipo de modulo que lo conforme y las condiciones meteorológicas locales donde se llevará a cabo la experimentación siempre y cuando la longitud de onda empleada en el pulsador sea la misma durante toda la medición.

Con las señales de salida procesadas con la DFT se observó que conforme aumenta el tamaño de la instalación la ubicación de los puntos para el algoritmo Knn presenta cada vez menos dispersión lo que facilita aún más la detección, esto debido a un aumento en las impedancias dinámicas de cada string en el arreglo mxn, también se observó que el calibre y la longitud del conductor empleado para la conducción en el experimento afecta la impedancia a la salida del sistema una vez pasada por el HPF y antes de ser extraída.

8. REFERENCIAS

- [1] S. Ruggiero and H. Lehkonen, “Renewable energy growth and the financial performance of electric utilities: A panel data study,” *J Clean Prod*, vol. 142, pp. 3676–3688, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.100.
- [2] O. O. Ogbomo, E. H. Amalu, N. N. Ekere, and P. O. Olagbegi, “A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1225–1238, Aug. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2016.11.109.
- [3] M. K. Alam, F. Khan, J. Johnson, and J. Flicker, “A Comprehensive Review of Catastrophic Faults in PV Arrays: Types, Detection, and Mitigation Techniques,” *IEEE J Photovolt*, vol. 5, no. 3, pp. 982–997, May 2015, doi: 10.1109/JPHOTOV.2015.2397599.
- [4] “DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, ÓSCAR; COLMENAR SANTOS, ANTONIO; CASTRO GIL, MANUEL-ALONSO. 9788495693723.” https://www.librerialemus.com/libro/disenode-sistemas-fotovoltaicos_410782 (accessed Jun. 22, 2023).
- [5] “Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Pereira - RIBUC: Sistema para reducir el riesgo de accidentalidad y mejorar las condiciones del trabajo en alturas.” <https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/469> (accessed Jun. 22, 2023).
- [6] L. E. Ituarte, S. L. Martínez, and E. E. Tarifa, “Monitoreo en plantas fotovoltaicas: una revisión de técnicas y métodos utilizando imágenes termográficas,” 2021, Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/130030>
- [7] H. Braun *et al.*, “Signal Processing for Solar Array Monitoring, Fault Detection, and Optimization,” *Synthesis Lectures on Power Electronics*, vol. 4, pp. 1–95, Sep. 2012, doi: 10.2200/S00425ED1V01Y201206PEL004.

- [8] A. Mellit, G. M. Tina, and S. A. Kalogirou, "Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 1–17, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.03.062.
- [9] G. M. Tina, F. Cosentino, and C. Ventura, "Monitoring and Diagnostics of Photovoltaic Power Plants," *Renewable Energy in the Service of Mankind Vol II*, pp. 505–516, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-18215-5_45.
- [10] P. Ducange, M. Fazzolari, B. Lazzerini, and F. Marcelloni, "An intelligent system for detecting faults in photovoltaic fields," *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA*, pp. 1341–1346, 2011, doi: 10.1109/ISDA.2011.6121846.
- [11] W. Chine and A. Mellit, "ANN-based fault diagnosis technique for photovoltaic stings," *2017 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes, ICEE-B 2017*, vol. 2017-January, pp. 1–4, Dec. 2017, doi: 10.1109/ICEE-B.2017.8192078.
- [12] S. Vergura, G. Acciani, V. Amoruso, and G. Patrono, "Inferential statistics for monitoring and fault forecasting of PV plants," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 2414–2419, 2008, doi: 10.1109/ISIE.2008.4677264.
- [13] K. H. Chao, P. Y. Chen, M. H. Wang, and C. T. Chen, "An Intelligent Fault Detection Method of a Photovoltaic Module Array Using Wireless Sensor Networks;," <http://dx.doi.org/10.1155/2014/540147>, vol. 2014, May 2014, doi: 10.1155/2014/540147.
- [14] N. Gokmen, E. Karatepe, S. Silvestre, B. Celik, and P. Ortega, "An efficient fault diagnosis method for PV systems based on operating voltage-window," *Energy Convers Manag*, vol. 73, pp. 350–360, 2013, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2013.05.015.

- [15] G. Chen, P. Lin, Y. Lai, Z. Chen, L. Wu, and S. Cheng, "Location for fault string of photovoltaic array based on current time series change detection," *Energy Procedia*, vol. 145, pp. 406–412, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.04.067.
- [16] E. Garoudja, F. Harrou, Y. Sun, K. Kara, A. Chouder, and S. Silvestre, "Statistical fault detection in photovoltaic systems," *Solar Energy*, vol. 150, pp. 485–499, 2017, doi: 10.1016/J.SOLENER.2017.04.043.
- [17] F. Harrou, Y. Sun, B. Taghezouit, A. Saidi, and M. E. Hamlati, "Reliable fault detection and diagnosis of photovoltaic systems based on statistical monitoring approaches," *Renew Energy*, vol. 116, pp. 22–37, 2018, doi: 10.1016/J.RENENE.2017.09.048.
- [18] N. Gokmen, E. Karatepe, B. Celik, and S. Silvestre, "Simple diagnostic approach for determining of faulted PV modules in string based PV arrays," *Solar Energy*, vol. 86, no. 11, pp. 3364–3377, Nov. 2012, doi: 10.1016/J.SOLENER.2012.09.007.
- [19] K. A. Saleh, A. Hooshyar, E. F. El-Saadany, and H. H. Zeineldin, "Voltage-Based Protection Scheme for Faults Within Utility-Scale Photovoltaic Arrays," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 9, no. 5, pp. 4367–4382, Sep. 2018, doi: 10.1109/TSG.2017.2655444.
- [20] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, K. Kato, and M. Ishida, "Experimental studies of failure detection methods in PV module strings," *Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, WCPEC-4*, vol. 2, pp. 2227–2230, 2006, doi: 10.1109/WCPEC.2006.279952.
- [21] L. Schirone, F. P. Califano, and M. Pastena, "Fault detection in a photovoltaic plant by time domain reflectometry," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 35–44, Jan. 1994, doi: 10.1002/PIP.4670020106.
- [22] T. Takashima, J. Yamaguchi, and M. Ishida, "Fault detection by signal response in PV module strings," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2008, doi: 10.1109/PVSC.2008.4922843.

- [23] T. Takashima, J. Yamaguchi, and M. Ishida, "Disconnection detection using earth capacitance measurement in photovoltaic module string," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 16, no. 8, pp. 669–677, Dec. 2008, doi: 10.1002/PIP.860.
- [24] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, T. Oozeki, K. Kato, and M. Ishida, "Experimental studies of fault location in PV module strings," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 6–7, no. 93, pp. 1079–1082, Jun. 2009, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2008.11.060.
- [25] P. Tavner, L. Ran, J. Penman, and H. Sedding, "Condition monitoring of rotating electrical machines," *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*, pp. 1–250, Jan. 2008, doi: 10.1049/PBPO056E.
- [26] J. C. Jauregui, J. R. Resendiz, S. Thenozhi, T. Szalay, A. Jacso, and M. Takacs, "Frequency and Time-Frequency Analysis of Cutting Force and Vibration Signals for Tool Condition Monitoring," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6400–6410, Jan. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2797003.
- [27] D. Schoenwald, W. Bower, S. Kuszmaul, and J. Johnson, "Using PV Module and Line Frequency Response Data to Create Robust Arc Fault Detectors," *26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, pp. 3745–3750, Oct. 2011, doi: 10.4229/26THEUPVSEC2011-4AV.3.24.
- [28] R. Meyer, "Error analysis and comparison of FFT implementation structures," *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, vol. 2, pp. 888–891, 1989, doi: 10.1109/ICASSP.1989.266571.
- [29] H. Qian, R. Zhao, and T. Chen, "Interharmonics analysis based on interpolating windowed FFT algorithm," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 2, pp. 1064–1069, Apr. 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.893187.
- [30] P. Y. Sevilla-Camacho, M. A. Zuniga-Reyes, J. B. Robles-Ocampo, R. Castillo-Palomera, J. Muniz, and J. Rodriguez-Resendiz, "A Novel Fault Detection and

- Location Method for PV Arrays Based on Frequency Analysis,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 72050–72061, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920053.
- [31] “El clima en Santiago de Querétaro, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark.” <https://es.weatherspark.com/y/4986/Clima-promedio-en-Santiago-de-Quer%C3%A9taro-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (accessed May 12, 2022).
- [32] H. S. Rauschenbach, *Solar Cell Array Design Handbook*. Springer Netherlands, 1980. doi: 10.1007/978-94-011-7915-7.
- [33] J. Johnson, D. Schoenwald, S. Kuszmaul, J. Strauch, and W. Bower, “Creating dynamic equivalent PV circuit models with impedance spectroscopy for arc fault modeling,” *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 002328–002333, 2011, doi: 10.1109/PVSC.2011.6186419.
- [34] S. H. Antonio Luque, Ed., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, 2nd ed. London: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [35] Tom P. Hough, “Trends in Solar Energy Research - Tom P. Hough - Google Libros,” 2006. https://books.google.so/books?id=gpD-M_ZYMVMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false (accessed May 12, 2022).
- [36] E. W. , y B. S. H. [2]. Kamen, *Fundamentos de señales y sistemas usando la web y MATLAB*, 2ª. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2008.
- [37] A. Serb and T. Prodromakis, “A system of different layers of abstraction for artificial intelligence,” Jul. 2019, Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1907.10508v1>
- [38] B. Mahesh, “Machine Learning Algorithms-A Review Machine Learning Algorithms-A Review View project Six Stroke Engine View project Batta Mahesh Independent Researcher Machine Learning Algorithms-A Review,” *International Journal of Science and Research*, 2018, doi: 10.21275/ART20203995.

- [39] S. Zhang, X. Li, M. Zong, X. Zhu, and R. Wang, “Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors,” *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, vol. 29, no. 5, pp. 1774–1785, May 2018, doi: 10.1109/TNNLS.2017.2673241.
- [40] M. S. Suresh, “Measurement of solar cell parameters using impedance spectroscopy,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 43, no. 1, pp. 21–28, Aug. 1996, doi: 10.1016/0927-0248(95)00153-0.

9. ANEXOS

A. Certificaciones acreditadas ante CONOCER:

1. EC-586.01 “Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia comercio e industria”



The image shows a certification document from the Mexican Government. At the top left is the coat of arms of Mexico, followed by the text "GOBIERNO DE MÉXICO" and "EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA". To the right is the "conocer" logo with the tagline "conocimiento • competencias • crecimiento". Below the logos is a portrait of Mauricio Lavador Osorio. To the right of the portrait is the title "EL CONSEJO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS LABORALES" and "Otorga a: MAURICIO LAVADOR OSORIO". Below this is the population registration key "LAOM951006HQTVSR00" and the certification details: "Certificado de Competencia Laboral en el Estándar de Competencia Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria". It also mentions registration in the National Register of Competency Standards with key EC0586.01 and publication in the Official Journal of the Federation on December 14, 2017. The certifying entity is "Asociación de Normalización y Certificación, A.C." (ANCE). The document is dated May 26, 2022, in Mexico City. It is signed by Rodrigo A. Rojas Navarrete, Director General of CONOCER, and includes a QR code and the folio number D-0010187322.

GOBIERNO DE MÉXICO | **EDUCACIÓN** | **conocer**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA | conocimiento • competencias • crecimiento

EL CONSEJO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS LABORALES

Otorga a:

MAURICIO LAVADOR OSORIO

con Clave Única de Registro de Población:
LAOM951006HQTVSR00

Certificado de Competencia Laboral
en el Estándar de Competencia

**Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia,
comercio e industria**

Inscrito en el Registro Nacional de Estándares de Competencia con clave: EC0586.01
Publicado en el Diario Oficial de la Federación con fecha: 14 de Diciembre de 2017.

Entidad de Certificación y Evaluación

Asociación de Normalización y Certificación, A.C.

El presente se expide en la Ciudad de México, a 26 de Mayo de 2022

Rodrigo A. Rojas Navarrete
Director General del CONOCER

Folio CONOCER: D-0010187322

2. EC-1181 “Supervisión de sistemas fotovoltaicos en residencia comercio e industria”



GOBIERNO DE MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



conocer
crecimiento • competitividad • crecimiento



**EL CONSEJO NACIONAL DE
NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE
COMPETENCIAS LABORALES**

Otorga a:

MAURICIO LAVADOR OSORIO

con Clave Única de Registro de Población:
LAOM951006HQTVSR00

Certificado de Competencia Laboral
en el Estándar de Competencia

**Supervisión de sistemas fotovoltaicos en residencia,
comercio e industria.**

Inscrito en el Registro Nacional de Estándares de Competencia con clave: EC1181
Publicado en el Diario Oficial de la Federación con fecha: 25 de Julio de 2019.

Entidad de Certificación y Evaluación

Asociación de Normalización y Certificación, A.C.



El presente se expide en la Ciudad de México, a 27 de Mayo de 2022



Rodrigo A. Rojas Navarrete
Director General del CONOCER



Folio CONOCER: D-0010241822

B. Participación en el 1er. Simposio de sustentabilidad y energías renovables UAQ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Y LOS POSGRADOS EN CIENCIAS DE LA ENERGÍA
Y MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL

OTORGAN EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

a:

Ing. Mauricio Lavador Osorio
Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz,
Dra. Perla Yazmín Sevilla Camacho,
Dr. Gonzalo Macías Bobadilla

Por su participación como ponente
con el trabajo titulado:

**"Método de detección y localización de fallas
de circuito abierto en sistemas fotovoltaicos
con luz roja pulsada operada bajo condiciones oscuras"**

**Durante el 1er. Simposio de
Sustentabilidad y Energías Renovables**

Santiago de Querétaro, Qro. Enero de 2023.


Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
DIRECTORA
Facultad de Química


Dr. Francisco Javier de Moure Flores
COORDINADOR
Posgrado en
Ciencias de la Energía


Dr. Miguel Ángel Ramos López
COORDINADOR
Maestría en Ciencia y
Tecnología Ambiental

C. Participación en el 2do. Simposio de sustentabilidad y energías renovables UAQ.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Y LOS POSGRADOS EN CIENCIAS DE LA ENERGÍA
Y MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL

OTORGAN EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A:

MAURICIO LAVADOR OSORIO

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz,
Dra. Sevilla Camacho Perla Yazmín,
Dr. Gonzalo Macías Bobadilla

Por su participación como ponente
con el trabajo titulado:

**Método de detección y localización de fallas
en SFV de circuito abierto con luz roja pulsada
operado bajo condiciones oscuras**

Durante el

**II SIMPOSIO DE
SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES**

Santiago de Querétaro, Qro. Julio de 2023.


Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
DIRECTORA
Facultad de Química


Dr. Francisco Javier de Moure Flores
COORDINADOR
Posgrado en
Ciencias de la Energía


Dr. Miguel Ángel Ramos López
COORDINADOR
Maestría en Ciencia y
Tecnología Ambiental

D. Capacitación interna UAQ DC3 para trabajos en alturas.

REGISTRO COMO INSTRUCTOR CAPACITADOR ANTE LA STPS GOMM-760703742-0005




FORMATO DC-3
CONSTANCIA DE COMPETENCIAS O DE HABILIDADES LABORALES

DATOS DEL TRABAJADOR										
Nombre (Apellido paterno, materno y nombre (s))										
Mauricio Lavador Osorio										
Clave Única de Registro de Población						Ocupación específica (Catálogo Nacional de Ocupaciones)				
LAOM951006HQTVSR00										
Puesto										

DATOS DE LA EMPRESA										
Nombre o razón social (En caso de persona física, anotar apellido paterno, apellido materno y nombre(s))										
Universidad Autónoma de Querétaro										
Registro Federal de Contribuyentes con homoclave (SHCP)										
UAQ 510111 MQ9										

DATOS DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN, ADIESTRAMIENTO Y PRODUCTIVIDAD										
Nombre del curso										
TALLER DE SEGURIDAD EN TRABAJOS EN ALTURAS NOM-009-STPS-2011										
Duración en horas		Periodo de ejecución		Año		Mes		Día		a
08		De		2022		06		14		a
Año										
2022										
Mes										
06										
Día										
14										
Área temática del curso										
6000 SEGURIDAD										
Nombre del agente capacitador o STPS										
MARIO GONZÁLEZ MÉNDEZ										

Los datos se asientan en esta constancia bajo protesta de decir verdad, apercibidos de la responsabilidad en que incurre todo aquel que no se conduce con verdad.

 Instructor o tutor ASP Consultores ING. MARIO GONZÁLEZ MÉNDEZ Nombre y firma	Patrón o representante legal _____ Nombre y firma	Representante de los trabajadores  Nombre y firma
---	---	--

INSTRUCCIONES

- Llenar a máquina o con letra de molde
- Deberá entregarse al trabajador dentro de los veinte días hábiles siguientes al término del curso de capacitación aprobado

Las áreas y subáreas ocupacionales del Catálogo Nacional de Ocupaciones se encuentran disponibles en el reverso de este formato y en la página www.stps.gob.mx

Cursos impartidos por el área competente de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Para empresas con menos de 51 trabajadores. Para empresas con más de 50 trabajadores firmaría en el representante del patrón ante la Comisión mixta de capacitación, Adiestramiento y productividad.

Sólo para empresas con más de 50 trabajadores

E. Actividad de retribución social

1. Actividad de apoyo UAQ: visita a comunidad La luz, Cadereyta, Qro.

 **Gestión de Proyectos FI UAQ**
26 de mayo a las 23:05 · 🌐

Visita a la localidad de La luz

"La ingeniería debe servir para mejorar la calidad de vida humana"

El día 10 de mayo realizamos una visita a la localidad de La luz, en Cadereyta de Montes; para revisar las instalaciones eléctricas de la escuela primaria de la localidad, que son alimentadas por celdas solares y que han presentado fallas. Para esta actividad contamos con la ayuda del **Dr. José Manuel Alvarez Alvarado**, el **M. en C. Raúl Alejandro Martínez-Sánchez**, el **Ing. Mauricio Lavador Osorio** y el **Ing. Luis Angel Iturralde Carrera**, así como, con el respaldo del **Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz** coordinador del Centro de Enlace Tecnológico para la Sustentabilidad (CETESU).

Agradecemos el apoyo de todos ellos para coadyuvar a mejorar la calidad educativa de los niños de esta comunidad.



<https://www.facebook.com/100063756662405/posts/705255418276341/>

2. Actividad de apoyo UAQ: mantenimiento SFVI del edificio del sindicato UAQ.



No continuidad a tierra



corriente fase 1 de 14.25 am



corriente fase 2 de 14.44 amp



Voltaje entre fases



voltaje fase 1 a tierra



voltaje fase 2 a tierra



Limpieza nocturna de SFVI del edificio del sindicato de trabajadores UAQ.

Realizando las mediciones de la salida de potencia de el SFVI durante sus horas solares pico contrastadas con las hojas de datos tanto de los microinversores como de los módulos fotovoltaicos se calculo un rendimiento actual de 95% comparado con la generación máxima recién instalado el equipo, equivalentes a 3700 kWh por cada hora solar pico, lo cual esta muy cercano al rendimiento indicado por el proveedor al tratarse de una instalación con aproximadamente 5 años y medio asegurando la generación energética solar mas allá de las fechas tentativas de 30 años.