



---

---

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA

ANÁLISIS DE FALLAS EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO EN  
EL NODO DE CD CON LabVIEW™

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

GIOVANNI SANTIBAÑEZ CHAMU

ASESOR

M.C. MIGUEL ROQUE VASQUEZ HERNÁNDEZ

MARZO 2019



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida al lado de mi familia y poder culminar mis estudios universitarios

A mis padres Cristóbal y Teresa, por confiar y creer en mí, por su esfuerzo y sacrificio de todos los días para que siempre pudiera tener lo necesario para poder lograr mi meta de tener una carrera universitaria, sin su apoyo todo esto no hubiese sido posible, Este logro también es de ustedes.

A mis hermanos Cristian, Heidi y Félix, por acompañarme en este camino y apoyarme en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis Abuelos:

Félix y Florina, por sus consejos y su apoyo durante toda mi vida estudiantil.

Bernabé (+) y Yolanda, Gracias por preocuparse por mí, motivarme y encaminarme por el buen sendero.

A mi asesor de tesis el M.C. Miguel Roque Vásquez Hernández por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Al Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y a los maestros encargados del mismo, por todas las facilidades otorgadas para que este proyecto se llevara a cabo.

A mi facultad de Ingeniería Eléctrica, y a todos mis maestros que han forjado en mí el conocimiento.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a las personas más especiales que han estado conmigo cuando más los he necesitado, brindándome su apoyo incondicional y por creer que puedo lograr todo lo que me proponga.

A mis padres quienes le debo todo lo que soy el día de hoy y a quienes les dedico todos mis triunfos.

A mis hermanos quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios de mi carrera y llegar a ser un ejemplo para ellos.

A mis abuelos Félix y Florina quienes siempre me alentaron a no rendirme para terminar este proyecto.

A mi abuela Yolanda, quien siempre creyó que era capaz de lograr mis objetivos.

Dedico este proyecto a mi abuelo Bernabé y a mi tío Berna quienes ya no pudieron ver culminada esta etapa de mi vida y quienes sé, estarían orgullosos de mí.

## RESUMEN

Vivimos en una época en donde los sistemas fotovoltaicos (SFV) son de gran apoyo a la economía de empresas y de gran ayuda a lugares remotos donde la electrificación a cargo de la red eléctrica es de mayor costo, principalmente en lugares rurales.

También es muy común enterarnos de incendios, catástrofes en general producidas por las ineficientes conexiones eléctricas en instalaciones eléctricas, principalmente alimentadas por corriente alterna (CA), pero que puede pasar en un SFV, es por ello que se motivó a realizar esta investigación donde se toma en cuenta las dos principales fuentes de energía eléctrica que son la red eléctrica comercial (CA) y la de SFV (CD), es decir, se analiza la corriente directa del sistema fotovoltaico y la corriente alterna de nuestra red eléctrica comercial.

El siguiente proyecto de tesis se realizó con la intención de saber cómo se comporta un sistema fotovoltaico (SFV) en el nodo de corriente directa (CD), ante una falla eléctrica como lo es un falso contacto, puntos calientes y cortocircuitos comparado sus efectos en corriente alterna (CA), que son las fallas de las Instalaciones Eléctricas más comunes.

Realizando un kit de pruebas que permitió el registro, con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) y LabVIEW™, para después comparar los registros de voltaje y corriente, así como obtener su regulación de voltaje, para observar el comportamiento del nodo de CD de los Sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVA) y donde existen mayores pérdidas por falsos contactos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se hacen recomendaciones para las instalaciones eléctricas en los SFVA y permitan el desarrollo de los mismos con mejores resultados.

## **ABSTRACT**

We live in a time where photovoltaic systems (SFV) are of great support to the economy of companies and of great help to remote places where the electrification in charge of the electrical network is of greater cost, mainly in rural places.

It is also very common to find out about fires, catastrophes in general produced by inefficient electrical connections in electrical installations, mainly powered by alternating current (AC), but that can happen in an SFV, that is why it was motivated to carry out this investigation where takes into account the two main sources of electric power that are the commercial electric network (CA) and the SFV (CD), that is, the direct current of the photovoltaic system and the alternating current of our commercial electrical network is analyzed.

The following thesis project was carried out with the intention of knowing how a photovoltaic system (SFV) behaves in the direct current (CD) node, in the face of an electrical fault such as a false contact, hot spots and short circuits compared to its effects in alternating current (AC), which are the faults of the most common Electrical Installations.

Performing a test kit that allowed the registration, with a data acquisition card (DAQ) and LabVIEW<sup>TM</sup>, to then compare the voltage and current records, as well as obtain its voltage regulation, to observe the behavior of the CD node. Autonomous photovoltaic systems (SFVA) and where there are greater losses due to false contacts.

According to the results obtained, recommendations are made for the electrical installations in the SFVA and allow the development of the same with better results.

**PALABRAS CLAVE:** SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, CORRIENTE DIRECTA, CORRIENTE ALTERNA, LABVIEW<sup>MT</sup>, FALLAS ELÉCTRICAS.

# CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTAS DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABLAS .....	xiii
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes. ....	2
1.2 Estado del arte. ....	3
1.2.1 Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados. ....	3
1.2.2 Sistemas de corriente directa (CD). ....	4
1.3 Problemática. ....	5
1.4 Objetivo.....	6
1.4.1 Objetivos particulares. ....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Justificación.....	6
1.7 Metodología.....	7
1.8 Contenido de la tesis. ....	7
CAPÍTULO II.....	9
2 MARCO TEORICO.....	10
2.1 Definición de corriente eléctrica. ....	10
2.1.1 Corriente directa (CD). ....	10
2.1.2 Corriente alterna (CA). ....	11
2.1.3 Aplicaciones de la corriente eléctrica ....	12
2.2 Sistemas fotovoltaicos aislados (SFVA).....	13
2.2.1 Efecto fotoeléctrico.....	13
2.2.2 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	13
2.3 Banco de baterías. ....	19

2.3.1	Parámetros eléctricos de las baterías. ....	19
2.3.2	Tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas. ....	20
<b>2.4</b>	<b>Regulador. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Tipos de cargas para un SFVA. ....</b>	<b>22</b>
2.5.1	Cargas en CA. ....	22
2.5.2	Cargas en CD. ....	23
<b>2.6</b>	<b>Características de una instalación eléctrica. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.7</b>	<b>Principales fallas eléctricas. ....</b>	<b>25</b>
2.7.1	Falsos contactos. ....	26
2.7.1.1	Causas de un falso contacto. ....	26
2.7.2	Puntos calientes. ....	27
2.7.3	Cortocircuitos. ....	28
<b>2.8</b>	<b>Análisis de fallas en un SFVA. ....</b>	<b>30</b>
2.8.1	Fallas típicas por intervención humana. ....	30
2.8.2	Fallas técnicas. ....	31
2.8.3	Fallas del panel fotovoltaico. ....	31
2.8.4	Fallas del banco de baterías. ....	31
2.8.5	Fallas por cortocircuitos. ....	31
2.8.6	Fallas del regulador de carga. ....	31
2.8.7	Fallas de las líneas de conexión. ....	31
<b>2.9</b>	<b>Regulación de voltaje. ....</b>	<b>32</b>
<b>2.10</b>	<b>Convertidor analógico digital. ....</b>	<b>32</b>
<b>2.11</b>	<b>Efecto hall. ....</b>	<b>32</b>
<b>2.12</b>	<b>Principales normas para la realización de una instalación eléctrica. ....</b>	<b>34</b>
2.12.1	NMX-J-307-ANCE-2017. ....	34
2.12.2	NMX-J-019-ANCE-2011. ....	34
2.12.3	NMX-J-618/4-ANCE-2011. ....	34
<b>CAPÍTULO III. ....</b>		<b>36</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Desarrollo de kit de pruebas. ....</b>	<b>37</b>
3.1.1	Descripción de las cargas para las pruebas al SFVA. ....	38
3.1.2	Caracterización de sensores. ....	40

3.1.3	Tarjeta de adquisición de datos (DAQ) NI-USB 6008. ....	42
3.1.4	Software LabVIEW. ....	46
3.1.5	Diagrama de Bloques en el software LabVIEW.....	48
3.1.6	Descripción de la programación gráfica con LabVIEW.....	52
3.1.7	Conexión Labview - DAQ NI6009. ....	52
3.1.8	Conexión de la DAQ NI6009 -Sensores de voltaje y corriente. ....	53
<b>3.2</b>	<b>Descripción de las pruebas. ....</b>	<b>54</b>
3.2.1	Observar cómo se comporta un elemento con corrosión en el SFVA. ....	54
3.2.2	Observar el comportamiento del SFVA con una carga fija de 40 $\Omega$ .....	54
3.2.3	Observar cómo se comporta el SFVA con una carga variable de 360 W. ....	55
3.2.4	La conexión del Kit de pruebas. ....	55
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>56</b>
<b>4</b>	<b>PRUEBAS AL SFVA EN EL NODO DE CD. ....</b>	<b>57</b>
4.1	Características del SFVA.....	58
4.2	Equipos de medición.....	59
4.3	Prueba de la instalación al SFVA en el nodo de CD utilizando un socket con corrosión y carga resistiva. ....	60
4.4	Pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga fija de 40 $\Omega$ . ....	63
4.4.1	Prueba sin falso contacto. ....	63
4.4.2	Prueba con falso contacto.....	66
4.5	Pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga de 360 w.....	69
4.5.1	Prueba sin falso contacto. ....	69
4.5.2	Prueba con falso contacto.....	71
4.5.3	Efecto de variación de la carga de 360 W. ....	73
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>77</b>
<b>5</b>	<b>RÉPLICA DE PRUEBAS EN CA. ....</b>	<b>78</b>
5.1	Fuente de corriente alterna. ....	78
5.2	Réplica de la Prueba de una instalación eléctrica con un socket con corrosión y carga resistiva en CA.....	79
5.3	Replica de las pruebas de una instalación con carga fija de 40 $\Omega$ en CA.....	81
5.3.1	Prueba sin falso contacto. ....	81
5.3.2	Prueba con falso contacto.....	84

5.4	Réplica de pruebas a la instalación de una carga de 360 W en CA. ....	86
5.4.1	Prueba sin falso contacto. ....	86
5.4.2	Prueba con falso contacto. ....	89
5.4.3	Efecto de variación de la carga de 360 W en CA. ....	91
CAPÍTULO VI.....		94
6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	95
6.1	Comparación de la prueba de la instalación al SFVA en el nodo de CD utilizando un socket con corrosión y carga resistiva.....	95
6.2	Comparación de las pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga fija de 40 $\Omega$ . ....	95
6.2.1	Comparación de flamas de falso contacto. ....	96
6.2.2	Comparación de temperatura de ambos falsos contactos (CD y CA). ....	97
6.3	Comparación de las pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga de 360 W. ....	97
6.4	Comparación de daños al conductor al provocar el falso contacto. ....	99
CAPÍTULO VII .....		101
7	CONCLUSIONES.....	102
7.1	Conclusión de la prueba utilizando un socket con corrosión y carga resistiva en SFVA y CA. ....	103
7.2	Conclusión de las pruebas con carga fija de 40 $\Omega$ . ....	102
7.3	Conclusión de las pruebas con carga de 360 W. ....	102
7.4	Conclusiones Generales.....	103
7.5	Trabajos futuros. ....	104
7.6	Recomendaciones ante la presencia de fallas eléctricas.....	105
7.6.1	Uso de protecciones.....	105
7.6.2	Prevención de Cortocircuitos. ....	105
7.6.3	Prevención de Falsos contactos.....	105
8	REFERENCIAS .....	106
ANEXO.....		108

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1-1 proceso de los SFVA [3].	4
Figura 1-2 Sistema de red de CD generalizado con cargas, fuentes y sistemas de almacenamiento [4].	5
Figura 2-1 señal de CD	10
Figura 2-2 Señal de CA [8].	11
Figura 2-3 tipos de ondas de la corriente alterna: (A) Onda rectangular o pulsante. (B) Onda triangular. (C) Onda diente de sierra. (D) Onda sinusoidal o senoidal [8].	11
Figura 2-4 Partes de una onda sinusoidal [7].	12
Figura 2-5 Efecto fotoeléctrico en una celda solar con semiconductores y su conexión [10].	13
Figura 2-6 Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red SFVA [10].	14
Figura 2-7. Celda fotovoltaica, A) Mono-cristalina, B) Poli-cristalina, C) Capa delgadas.	15
Figura 2-8 Conexión en Serie y Paralelo de celdas Fotovoltaicas formando un panel fotovoltaico.	16
Figura 2-9 Curva I-V que muestra el incremento en el voltaje con N-número de celdas o paneles FV en serie, así como el incremento en la corriente con M-número celdas o paneles FV en paralelo [10].	16
Figura 2-10 Curva Corriente-Voltaje y potencia de la celda fotovoltaica.	18
Figura 2-11 Efectos de la radiación solar (izquierda). Efecto de la temperatura (derecha), sobre un módulo fotovoltaico.	19
Figura 2-12 Esquema básico de operación del regulador de carga en Serie y Paralelo [9].	22
Figura 2-13 Sobrecarga eléctrica de un tomacorriente [14].	29
Figura 2-14 Incendio del conductor por corto circuito [14].	29
Figura 2-15 Conversión Análogo-Digital [16].	33
Figura 3-1 Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.	37
Figura 3-2 Elementos del kit de pruebas.	38
Figura 3-3 Descripción del punto de operación de la celda para una carga resistiva.	39
Figura 3-4 Punto de máxima potencia de la celda solar y rectángulo de potencia.	39
Figura 3-5 Sensor de voltaje.	40
Figura 3-6 Sensor de corriente.	41
Figura 3-7 Gráfica para la configuración del sensor de voltaje.	41
Figura 3-8 Gráfica para la configuración del sensor de corriente.	42
Figura 3-9 Etapa para adquisición de datos.	43
Figura 3-10 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ). NI-USB 6008.	43
Figura 3-11 Panel frontal del software en LabVIEW.	48
Figura 3-12 Interfaz de adquisición de datos.	49
Figura 3-13 Interfaz para escribir en el archivo de medición.	49
Figura 3-14 Función de división.	49
Figura 3-15 Función de resta.	50
Figura 3-16 Fusión de señales.	50
Figura 3-17 Función de temporizador.	50

Figura 3-18 Gráfico de forma de onda.....	51
Figura 3-19 A) Ciclo While de LabVIEW, B) Diagrama de Flujo y C) Código Pseudo.....	51
Figura 3-20 Diagrama de bloques efectuado en LabVIEW.....	53
Figura 3-21 Puertos Analógicos para los sensores.....	53
Figura 3-22 Conexión del kit de pruebas.....	55
Figura 4-1 Imagen de localización.....	57
Figura 4-2 Sistema fotovoltaico autónomo.....	57
Figura 4-3 Arreglo del SFVA.....	58
Figura 4-4 equipos de medición A) Irradiación solar, B) Cámara termográfica y C) Multímetro digital.....	61
Figura 4-5 Socket utilizado para la prueba de corrosión.....	62
Figura 4-6 Diagrama del circuito para la prueba con el socket con corrosión.....	62
Figura 4-7 Circuito ejecutado con el socket y carga de 150 W.....	63
Figura 4-8 Gráfica de voltaje de la prueba con el socket con corrosión.....	64
Figura 4-9 Gráfica de corriente de la prueba con el socket con corrosión.....	64
Figura 4-10 Diagrama del circuito con carga fija de 40 $\Omega$ sin falso contacto.....	65
Figura 4-11 Imagen A) registro de temperatura, B) Circuito ejecutado con carga fija de 40 $\Omega$ .....	65
Figura 4-12 Gráfica de voltaje de la prueba con carga de 40 $\Omega$ , sin falso contacto.....	66
Figura 4-13 Gráfica de corriente de la prueba sin falso contacto.....	67
Figura 4-14 Diagrama del circuito con carga fija de 40 $\Omega$ y falso contacto.....	67
Figura 4-15 Imagen del falso contacto provocado con carga fija de 40 $\Omega$ .....	68
Figura 4-16 Gráfica de voltaje de la prueba con carga fija 40 $\Omega$ y falso contacto.....	69
Figura 4-17 Gráfica de corriente prueba con carga fija 40 $\Omega$ y falso contacto.....	69
Figura 4-18 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.....	70
Figura 4-19 Gráfica de voltaje de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.....	71
Figura 4-20 Gráfica de corriente dela prueba con carga de 360 w sin falso contacto.....	71
Figura 4-21 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 W y falso contacto.....	72
Figura 4-22 Imagen del falso contacto provocado con carga de 360 w.....	72
Figura 4-23 Gráfica de voltaje de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.....	74
Figura 4-24 Gráfica de corriente de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.....	74
Figura 4-25 Diagrama del circuito para la prueba con carga completa de 360 w.....	75
Figura 4-26 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 260 W.....	75
Figura 4-27 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 150 W.....	76
Figura 4-28 Diagrama del circuito para la prueba sin ninguna carga.....	76
Figura 4-29 Gráfica de voltaje de la carga variable.....	77
Figura 4-30 Gráfica de corriente de la carga variable.....	77
Figura 5-1 Fuente de alimentación en CA.....	79
Figura 5-2 Diagrama del circuito para la prueba con el socket con corrosión en CA.....	80
Figura 5-3 Imagen del circuito ejecutado prueba con el socket con corrosión en CA.....	80
Figura 5-4 Gráfica de voltaje de la prueba con el socket con corrosión en CA.....	81
Figura 5-5 Gráfica de corriente de la prueba con el socket con corrosión en CA.....	82
Figura 5-6 Diagrama del circuito con carga fija de 40 $\Omega$ sin falso contacto en CA.....	83

Figura 5-7 Imagen del circuito ejecutado de la prueba con carga fija de 40 $\Omega$ en CA. ....	83
Figura 5-8 Gráfica de voltaje prueba con carga fija de 40 $\Omega$ en CA. ....	84
Figura 5-9 Gráfica de corriente prueba con carga fija de 40 $\Omega$ en CA.....	84
Figura 5-10 Diagrama del circuito con carga fija de 40 $\Omega$ y falso contacto en CA. ....	85
Figura 5-11 Imagen del falso contacto provocado con carga fija de 40 $\Omega$ en CA. ....	85
Figura 5-12 Gráfica de voltaje con carga fija de 40 $\Omega$ y falso contacto en CA. ....	86
Figura 5-13 Gráfica de corriente con carga fija de 40 $\Omega$ y falso contacto en CA. ....	87
Figura 5-14 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.....	88
Figura 5-15 Gráfica de voltaje prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC. ....	89
Figura 5-16 Gráfica de corriente prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC. ....	89
Figura 5-17 Diagrama del circuito prueba con carga de 360 w con falso contacto en AC. ....	90
Figura 5-18 Imagen de falso contacto con carga de 360 w en AC. ....	90
Figura 5-19 Gráfica de voltaje prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA. ....	91
Figura 5-20 Gráfica de corriente prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA. ....	92
Figura 5-21 Diagrama del circuito para la prueba con carga completa de 360 w en CA. ....	92
Figura 5-22 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 260 W en CA. ....	93
Figura 5-23 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 150 W en CA. ....	93
Figura 5-24 Diagrama del circuito para la prueba sin ninguna carga en CA.....	93
Figura 5-25 Gráfica de voltaje prueba con carga variable de 360 w en CA.....	94
Figura 5-26 Gráfica de corriente prueba con carga variable de 360 w en CA. ....	94
Figura 6-1 Imágenes de la flama del falso contacto en CD. ....	97
Figura 6-2 Imágenes de la flama del falso contacto en CA.....	97
Figura 6-3 Temperatura del falso contacto A) CD y B) CA.....	98
Figura 6-4 Daños al conductor A) en CD y B) en CA.....	101

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Datos generales de la DAQ NI6009.....	43
Tabla 3-2 Especificación de las Entradas Analógicas. ....	44
Tabla 3-3 Especificación de Salidas Analógicas. ....	44
Tabla 3-4 Especificación de las I/O Digitales. ....	44
Tabla 3-5 Especificación del contador de NI6009.....	45
Tabla 3-6 Indicador de pines Analógicos.....	45
Tabla 3-7 Asignación de pines Analógicos.....	46
Tabla 4-1 Tabla característica del panel solar ERDM SOLAR.....	58
Tabla 4-2 Datos de la primera prueba del banco de pruebas. ....	63
Tabla 4-3 Datos de la prueba con carga de 40 $\Omega$ , sin falso contacto. ....	66
Tabla 4-4 Datos de la prueba con carga fija 40 $\Omega$ y falso contacto. ....	68
Tabla 4-5 Datos de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto. ....	70
Tabla 4-6 Datos de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.....	73
Tabla 5-1 Datos prueba con el socket con corrosión en CA.....	81
Tabla 5-2 Datos la prueba con carga fija de 40 $\Omega$ en CA. ....	83
Tabla 5-3 Datos con carga fija de 40 $\Omega$ y falso contacto en CA. ....	86
Tabla 5-4 Datos de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.....	88
Tabla 5-5 Datos de la prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA. ....	91
Tabla 6-1 Comparación de la prueba socket con corrosión. ....	96
Tabla 6-2 Comparación de la prueba carga fija sin falso contacto. ....	96
Tabla 6-3 Comparación de la prueba carga fija con falso contacto.....	97
Tabla 6-4 Comparación de la prueba carga con 360 W sin falso contacto. ....	98
Tabla 6-5 Comparación de la prueba carga con 360 W con falso contacto. ....	99
Tabla 6-6 Comparación de la prueba de variación de carga de 360 W.....	99

## **LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS**

**(SFV)** Sistema Fotovoltaico.

**(SFVA)** Sistema Fotovoltaico Autónomo o Aislado.

**(SFVI)** Sistema Fotovoltaico Interconectado.

**(SFVH)** Sistema Fotovoltaico Híbrido.

**(PFV)** Paneles Fotovoltaicos.

**(DAQ)** Data Acquisition (Tarjeta de adquisición de datos).

**(NI)** National instruments.

**(KW<sub>P</sub>)** Kilo Watts pico.

**(CD)** Corriente Directa.

**(CA)** Corriente Alterna.

**(HVDC)** High Voltage Direct Current (Corriente directa de alto voltaje).

**(ER)** Energías Renovables.

**(W)** Watts.

**( $\Omega$ )** Ohm.

**(Si)** Silicio.

**(cSi)** celdas mono-cristalinas.

**(pSi)** celdas poli-cristalinas.

**(Kw)** Kilo-Watts.

**(Hz)** Hertz.

**(RV)** Regulación de Voltaje.

**(LIE)** Laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

**(FEM)** Fuerza Electromotriz.

**(EH)** Efecto Hall.

**(Wp)** Watts-pico.

**(KWp)** Kilo Watts pico.

**(LEU)** Life Energy Unit (unidad de energía de vida).

**(KWh)** Kilowatts hora.

**(PVC)** Policloruro Vinilo.

**(EPR)** Caucho Etileno-propileno.

**(XLPE)** Polietileno Reticulado.

**(AI)** Convertidores analógicos digitales.

**(AO)** Convertidores digital analógico.

# **CAPÍTULO I**

**INTRODUCCIÓN.**

# 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sistemas fotovoltaicos han sido de gran ayuda a la hora de electrificar lugares rurales aislados de la red de distribución. Existen muchas comunidades rurales de nuestro país que cuentan con esta opción de energía renovable para la generación de electricidad, gracias a ello han terminado con la falta de iluminación eléctrica en esos lugares, proporcionando la comodidad de utilizar aparatos eléctricos para realizar tareas domésticas, así como para satisfacer las necesidades en una casa habitación.

Gracias a los sistemas fotovoltaicos autónomo o aislado (SFVA), (como una alternativa de generación eléctrica), siga ayudando a familias en lugares aislados, principalmente rurales, donde las instalaciones eléctricas deben ser seguras y confiables en su totalidad, no sólo para el inmueble o el área donde se localizan sino también para los usuarios [1].

## 1.1 Antecedentes.

La valoración de los riesgos eléctricos, es un tema con un alto grado de complejidad, existen un gran número de variables que se deben prever para el diseño de una instalación eléctrica. Además de situaciones inesperadas, como factores: el mantenimiento, uso y operación de la energía eléctrica; así como la prevención de accidentes en los usuarios.

Durante la operación normal de un aparato o equipo eléctrico se dispersa energía en forma de calor, los materiales que lo componen transportan el calor de la fuente de energía hacia las partes más frías de una instalación, en ocasiones se presentan condiciones anormales (defectos), que aumentan la energía disipada, es entonces cuando aumenta la temperatura, son por las siguientes causas:

- Errores de diseño o fabricación.
- Falso contacto.
- Fallas en la red de suministro.

Ante tales circunstancias los equipos y sistemas eléctricos no son apropiados para continuar en operación, debido a que presentan anomalías, como:

- Descargas parciales.

- Puntos calientes.

Estas perturbaciones someten a los equipos alimentados por la instalación eléctrica a grandes esfuerzos mecánicos y/o eléctricos ocasionando por fallas como:

- Sobrecarga
- Cortocircuito
- Falta de Aislamiento

## 1.2 Estado del arte.

La batalla de las corrientes eléctricas (Edison VS Tesla) entre la corriente alterna (CA) y la corriente directa (CD) son desde el siglo XIX, preguntando: ¿Cuál de las dos debe ser el tipo corriente más adecuada, para emplearse en la distribución de la energía eléctrica a través del tiempo? Teniendo como vencedora a la CA la cual es la más empleada en el sistema eléctrico actual debido a su facilidad y eficiencia para ser transportada [2].

### 1.2.1 Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados.

En el caso de utilizar celdas fotovoltaicas para la generación de electricidad en formas de CD, debido al efecto fotoeléctrico en los semiconductores como el silicio, que a su vez puede cargar un banco de baterías, a través de un controlador de carga (un regulador de energía) para el caso de los SFVA, después utilizar la CD de la batería para transformarla a CA a través de un inversor (que consume energía), para luego conectar cargas o aparatos eléctricos y electrónicos, sin embargo existen cargas en CD para los SFVA, tal como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-1.**

Las principales aplicaciones de los SFVA son:

- Electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia.
- Alumbrado público.
- Aplicaciones agropecuarias y ganaderas.
- Bombeo y tratamiento de agua.
- Antenas de telefonía aisladas de la red.
- Señalización y comunicaciones.

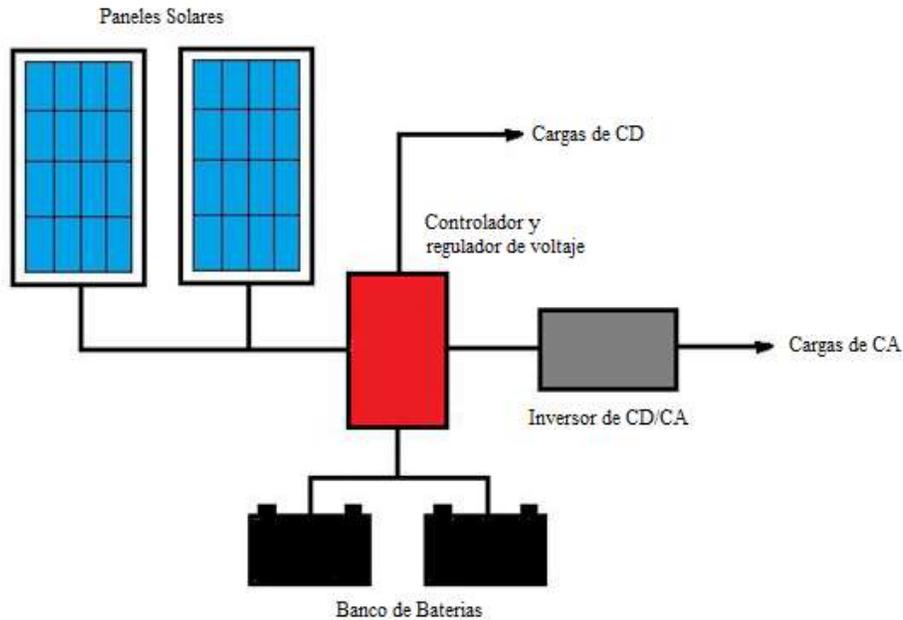


Figura 1-1 proceso de los SFVA [3].

### 1.2.2 Sistemas de corriente directa (CD).

Después de poco más de un siglo y con el constante desarrollo de la electrónica de potencia se ha retomado la idea de desarrollar nuevas aplicaciones para la CD de modo tal que su campo de acción y su uso sea mayor, como la utilización de un nodo de corriente continua de alta tensión (HVDC por sus siglas en inglés, High Voltage Direct Current) que une la península ibérica con las islas Baleares en España. En el caso de baja tensión en CD existe la utilización de motores de baja potencia, electrodomésticos, equipos médicos, equipos de comunicaciones, entre otros, hacen que aumente la demanda de energía y se generen problemas relacionados con la calidad en CA, presentando la necesidad de implementar un nuevo sistema energético que a su vez permita reducir las pérdidas y facilite la incorporación de energías renovables (ER). “La corriente directa es muy adecuada para las líneas submarinas y subterráneas”, asegura Marene Larruskain, una de las ingenieras del grupo GISEL de la Universidad del País Vasco (UPV) que ha mejorado la tecnología necesaria para la conversión [3].

El sistema de transmisión de CD se ha convertido en un factor importante en la planificación de la transmisión de potencia debido al desarrollo de rectificadores e inversores a altas tensiones y corrientes. Estos desarrollos permiten que la generación en CA se convierta en

CD para transmisión High Voltage Direct Current (HVDC), y luego de regreso a CA para usuarios finales. Además, se ha demostrado que el sistema de CD es superior a la CA para la distribución de baja y media tensión, y una cuadrícula de CD permite una fácil integración de Fuentes, Tal como se muestra en la Figura 1-2 [4].

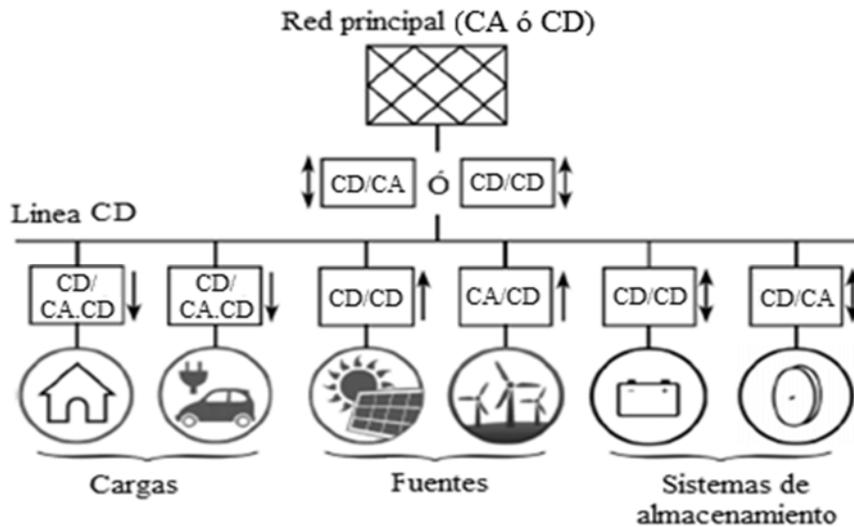


Figura 1-2 Sistema de red de CD generalizado con cargas, fuentes y sistemas de almacenamiento [4].

### 1.3 Problemática.

El origen de las fallas en sistemas eléctricos es por el envejecimiento de los conductores, contactos o socket de conexión, los cortes de algún conductor, los falsos contactos, los malos aislamientos en las instalaciones, mala ejecución de las reparaciones, etc. La instalación eléctrica se debe diseñar para que, en situaciones de una perturbación, sea capaz de soportar esta anomalía pasajera y volver a operar correctamente, sin arriesgar la integridad física de las personas por alguna descarga eléctrica, así como la pérdida de aparatos eléctricos por fallas de conexión y pérdida de materiales por incendios provocados por fallas eléctricas.

El presente trabajo de investigación recopilar información de las posibles fallas en las instalaciones de los SFVA presentado en los nodos de CD y comparando sus efectos en CA, para tener un registro que pueda servir como material didáctico y de información para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos.

## **1.4 Objetivo.**

Realizar pruebas de fallas en instalaciones eléctricas de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA) de 1500 watts-pico ( $W_P$ ) en el nodo de corriente directa (CD), utilizando LabVIEW™ y replicando las fallas en corriente alterna (CA), para observar el comportamiento, efecto de malas conexiones, falsos contactos, corrosión y envejecimiento de los contactos en CD y CA.

### **1.4.1 Objetivos particulares.**

1. Conocer toda la información necesaria de instalaciones eléctricas en CA y CD.
2. Crear un kit que sirva como un banco de pruebas con cargas resistivas y sensores de corriente y voltaje, utilizando LabVIEW™ para los registros de las fallas y el análisis de datos tanto en CD como en CA.
3. Pruebas a un SFV de  $1.5kW_P$  instalado en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica (LIE) de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), operándolo de forma autónoma, para realizar las pruebas y registros con LabVIEW™ del nodo de CD.
4. Replicar pruebas y registros en CA de las fallas que se realizaron con el banco de pruebas al SFVA en CD con LabVIEW™.
5. Comparar las fallas comunes con base en los registros obtenidos con LabVIEW™ y el banco de pruebas.

## **1.5 Hipótesis.**

Al analizar los registros y las fallas presentes en las instalaciones eléctricas de un SFVA en su nodo de CD existirán más pérdidas, que las presentadas en sistema de CA, donde se encuentra normalizado en México y en el mundo. Permitiendo tener así más información para el desarrollo de los SFV autónomos o interconectados, y poder plantear algunas recomendaciones para las instalaciones el nodo de CD.

## **1.6 Justificación.**

Los SFV autónomos e interconectados están en constante desarrollo, donde es necesario encontrar respuestas de cómo se comportan las posibles fallas, sobre todo cuando no se sabe

si la falla es en el nodo de CD o en nodo de CA. Por esta razón es importante el siguiente proyecto de investigación al analizar y registrar cómo se comportan una mala instalación eléctrica en el nodo CD, ya que es la principal forma de energía eléctrica en los SFVA con cargas constantes y dinámicas en el nodo de CD, ya que es aquí donde se conectan el banco de baterías y los inversores que convierten la CD en CA para utilizar la energía eléctrica bajo las normas vigentes.

Sin olvidar que en cada conversión de energía existen pérdidas y es posible que en algún momento sea necesario utilizar nodos de CD de forma cotidiana en los SFVA [5]. Para poder contar con información y propuestas de cómo se deben hacer las instalaciones eléctricas en los nodos de CD de los SFV.

## **1.7 Metodología.**

La metodología propuesta para este trabajo de tesis es el censar y registrar el voltaje y la corriente de una instalación eléctrica de tanto en CD y CA, al seleccionar primeramente sensores que permita tal registro, utilizando LabVIEW™, utilizando un banco de pruebas con cargas puramente resistivas, que permitan observar y registrar las fallas más comunes en instalaciones eléctricas como: falsos contactos, malos amarres y contactos con corrosión. Obteniendo así registros del comportamiento del SFVA considerando los niveles de radiación solar y cantidad de carga eléctrica.

## **1.8 Contenido de la tesis.**

Capítulo 1: Introducción al proyecto de tesis, para saber los objetivos claros para realizar las pruebas a los SFVA sobre todo al nodo de CD, así como el planteamiento de la hipótesis, justificación y metodología de la tesis, que permita el desarrollo de la misma en sus siguientes capítulos.

Capítulo 2: Es el marco teórico que describe las diferencias entre CD y CA, como el funcionamiento básico de los SFVA y los posibles arreglos de sus paneles fotovoltaicos (PFV), para poder obtener un bajo o alto voltaje, así como un recuento de las principales fallas en las instalaciones eléctricas y sus normas vigentes, para poder entender el registro de

las fallas en las instalaciones eléctricas con sensores de efecto Hall, tanto de voltaje y de corriente.

Capítulo 3: Metodología y desarrollo del banco de pruebas, mencionando los pasos a seguir, iniciando por los tipos de sensores de voltaje y de corriente de efecto Hall, el tipo de tarjeta de adquisición de datos (DAQ por sus siglas en inglés data acquisition) que se utilizó de la empresa National Instruments (NI) y el desarrollo de un programa en LabVIEW™, para tener un registro de las pérdidas y fallas con dos tipos de cargas resistivas.

Capítulo 4: Pruebas en el SFVA en el nodo de CD de un sistema de 1.5kW<sub>P</sub>, con un banco de pruebas y equipos de medición adicional, como: de irradiación Solar, temperatura y multímetros digitales. Se realizan las pruebas para obtener un registro de cómo se comportan las fallas en las instalaciones eléctricas y la variación de cargas en el SFVA.

Capítulo 5: Replicación de fallas del SFVA, pero ahora en un sistema de CA, con el mismo banco de pruebas, equipos de medición adicional y el registro con LabVIEW™.

Capítulo 6: Comparación de resultados de los registros en el SFVA y en el sistema de CA.

Capítulo 7: Conclusiones, trabajos futuros de los SFVA y su desarrollo en el nodo de CD, así como algunas recomendaciones en las instalaciones eléctricas en CD.

# **CAPÍTULO II**

**MARCO TEORICO.**

## 2 MARCO TEORICO

EL proyecto se enfoca en el análisis de fallas eléctricas SFVA principalmente en corto circuito y falso contacto en nodo de CD generación, comparándolo con la CA, conociendo cada una de ellas, la estructura del SFV, la importancia de la regulación de voltaje, el funcionamiento de los sensores de efecto Hall para el sensado de voltaje y de corriente, en las instalaciones eléctricas, tanto en CD como CA y sus normas más importantes.

### 2.1 Definición de corriente eléctrica.

La corriente eléctrica se define como el movimiento de cargas de electrones a través de un conductor. Para que haya circulación de cargas necesitamos que exista tensión eléctrica, es decir, una diferencia de potencial. Así, los electrones (que tienen carga negativa) se ven atraídos por los huecos (polo positivo), que tiene este signo por tener un menor número de electrones. Los movimientos de electrones continuarán hasta que las cargas se equilibren, siendo el sentido de circulación de la corriente eléctrica y a continuación se definen los dos más importantes: CD y CA.

#### 2.1.1 Corriente directa (CD).

La corriente directa o corriente continua (CD) es aquella cuyas cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (FEM), como se puede observar en la Figura 2-1 la señal de CD. Tal como ocurre en las baterías, las dinamos, SFV o en cualquier otra fuente generadora de ese tipo. [6].

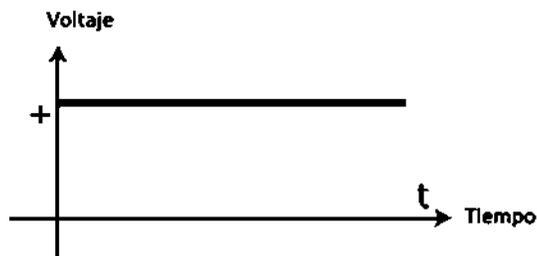


Figura 2-1 señal de CD

### 2.1.2 Corriente alterna (CA).

Es la corriente eléctrica que se obtiene de las centrales eléctricas (energía eléctrica convencional) y llega hasta nuestros hogares, la CA cambia de sentido hasta 120 veces por segundo en 60 Hertz (Hz), como se puede observar en la Figura 2-2 su forma de señal. Esta corriente se obtiene a partir del fenómeno de la inducción electromagnética [7].

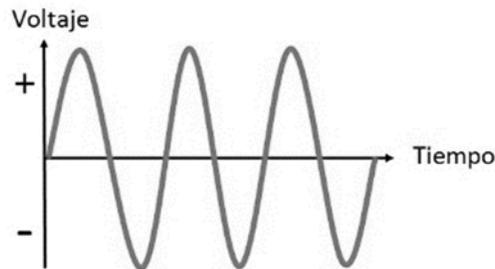


Figura 2-2 Señal de CA [8].

#### 2.1.2.1 Formas de corriente alterna.

Las formas gráficas que se observan en la Figura 2-3 son las formas más comunes las cuales son:

- Rectangular o pulsante
- Triangular
- Diente de sierra
- Sinusoidal o senoidal

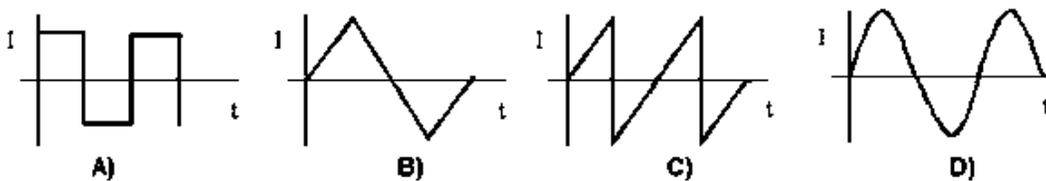


Figura 2-3 tipos de ondas de la corriente alterna: (A) Onda rectangular o pulsante. (B) Onda triangular. (C) Onda diente de sierra. (D) Onda sinusoidal o senoidal [8].

Siendo la más común la forma de onda senoidal en CA, puede fluir a través de diferentes dispositivos eléctricos, como resistencias, bobinas, condensadores, etc., sin sufrir deformaciones., En la Figura 2-4 se puede ver la representación gráfica de una onda sinusoidal y las diferentes partes que la componen [7]:

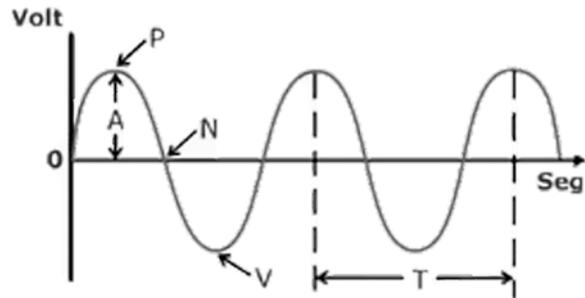


Figura 2-4 Partes de una onda sinusoidal [7].

De donde:

A = Amplitud de onda

P = Pico o cresta

N = Nodo o valor cero

V = Valle o vientre

T = Período

El período es lo inverso de la frecuencia y, matemáticamente, se representa por medio de la ecuación 2.1

$$T = \frac{1}{F} \quad (2.1)$$

La frecuencia no es más que la cantidad de ciclos por segundo o Hertz (Hz), que alcanza la CA. Es el inverso del período y, matemáticamente, se representa por ecuación 2.2 [7].

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

### 2.1.3 Aplicaciones de la corriente eléctrica

Las aplicaciones más comunes para la corriente eléctrica generan los siguientes efectos físicos:

- Efecto luminoso
- Efecto térmico
- Efecto químico
- Efecto magnético.
- Efecto mecánico.

## 2.2 Sistemas fotovoltaicos aislados (SFVA)

Los SFV transforman la energía del sol directamente en energía eléctrica, con base al efecto fotoeléctrico, los cuales se clasifican en: Sistemas Aislados (SFVA), Interconectados a la Red (SFVI) y Sistemas Híbridos (SFVH) [9].

### 2.2.1 Efecto fotoeléctrico.

La celda fotovoltaica, es un componente que, al estar expuesto a la radiación solar, genera una corriente directa CD, es decir transforma la radiación solar directamente en energía eléctrica en forma de CD, mediante el efecto fotovoltaico tal como se observa en la Figura 2-5 [9].

Las celdas fotovoltaicas generalmente son construidas utilizando un grupo de minerales semiconductores, el más usado es el silicio (Si), pero tiene que ser de un alto grado de pureza para lograr el efecto fotovoltaico, esto provoca que el costo de elaboración de las celdas fotovoltaicas sea elevado [9].

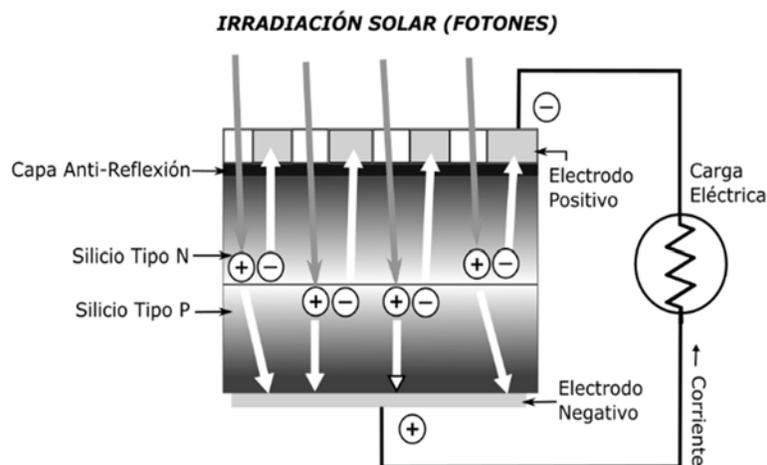


Figura 2-5 Efecto fotoeléctrico en una celda solar con semiconductores y su conexión [10].

### 2.2.2 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

Generalmente los SFVA son pequeños de baja potencia, hasta micro-redes donde el sistema está centralizado y sirve a varios usuarios mediante redes de distribución. La corriente generada por los paneles del SFVA se almacena en un banco de baterías a través del regulador de carga que controla el voltaje y la corriente del sistema [9]. Las cargas pueden ser en CD,

en tanto que para satisfacer las cargas en CA se instala un convertidor de CD a CA (inversor), tal como se muestran sus partes en la Figura 2-6 [9].

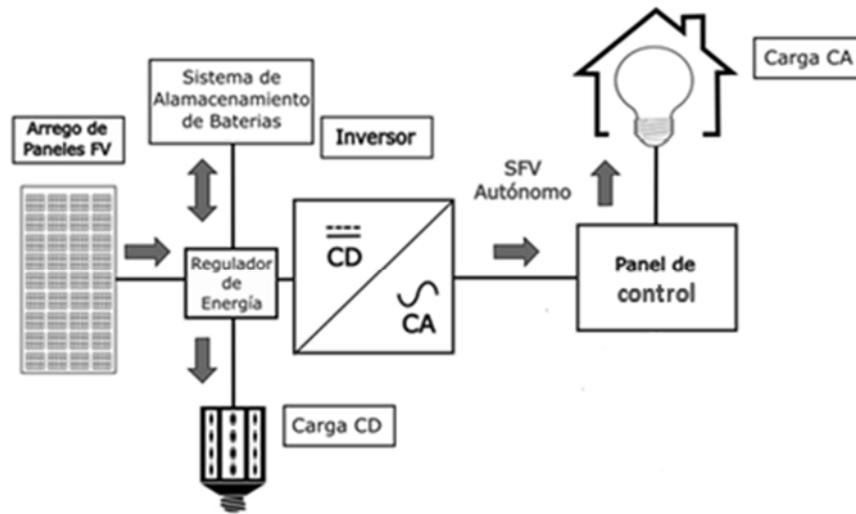


Figura 2-6 Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red SFVA [10].

### 2.2.2.1 Tipos de celdas para formar paneles fotovoltaicos.

El SFV está formado por: uno o varios paneles fotovoltaicos interconectados, que forman la unidad de generación en CD, cada panel está formado por varias celdas fotovoltaicas, interconectadas en serie/paralelo con la finalidad de obtener el voltaje y la corriente deseada. Existen básicamente tres tipos de celdas solares denominadas como: mono-cristalino, poli-cristalino y amorfo o de película delgada, como se muestra en la Figura 2-7.

Estructura mono-cristalina: Las celdas mono-cristalinas fueron las primeras en ser construidas, ya que se podían emplear las mismas técnicas usadas en la fabricación de diodos y transistores.

A este tipo de células, se conoce simplemente como cristalina, se le asigna la abreviatura (cSi). El proceso de fabricación requiere un alto consumo de energía, lo que eleva el costo de estas células, son las que proporcionan la mayor eficiencia.

Estructura poli-cristalina: La versión poli-cristalina (pSi) se obtiene fundiendo silicio de grado industrial, el que se vierte en moldes rectangulares. Como el costo del material y el procesado se simplifican, las células policristalinas alcanzan un valor intermedio entre las cristalinas y las amorfas. La eficiencia es menor al de las células cSi, pero en los últimos años su eficiencia de conversión ha incrementado [9].

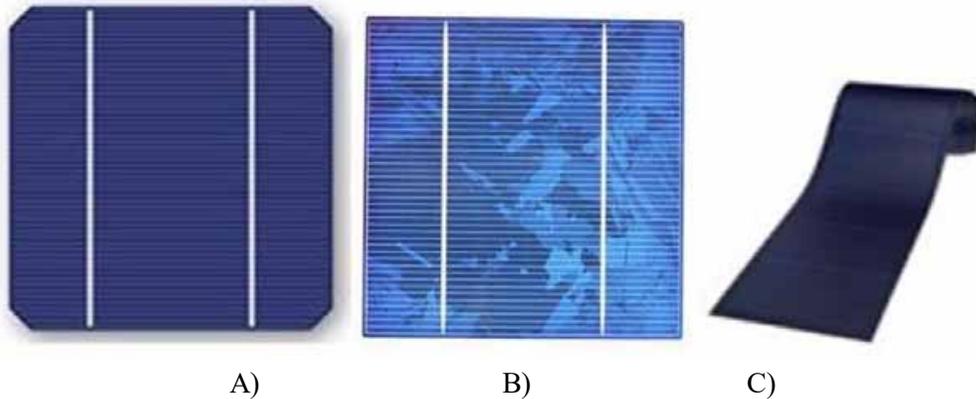


Figura 2-7. Celda fotovoltaica, A) Mono-cristalina, B) Poli-cristalina, C) Capa delgadas.

Estructura amorfa: El otro tipo corresponde a las células amorfas (a=sin; morfo=forma), no poseen una estructura cristalina. El espesor del material activo en estas células es diez (10) veces menores que el de una célula de cSi. Esto, a su vez, contribuye a bajar el costo y reduce la eficiencia de conversión de las células [9].

#### 2.2.2.2 Arreglos de celdas y paneles.

Un panel fotovoltaico se compone de varias celdas conectadas entre sí, como se indica en la figura. Generalmente es el nivel de voltaje el que determina la unión de celdas en serie, hasta llegar a valores estandarizados de 6, 12, 24, 36, o 48  $V_{CD}$ . Cada celda genera 0,5  $V_{CD}$ , y es así que para un panel de 12  $V_{CD}$  es necesario conectar 24 celdas en serie. La corriente en una conexión en serie es la misma, pues hay un solo camino para el circuito.

Para incrementar la corriente en un panel se debe realizar una conexión serie/paralelo, aunque es preferible unir varios paneles en paralelo hasta obtener la corriente requerida en la Figura 2-9 se puede observar la curva (I-V).

Si una celda se daña, o no incide luz sobre ella por efecto de una sombra, o si está cubierta, y las demás celdas están activas, se produce un voltaje alto (negativo) en los terminales de la celda afectada, lo que se conoce como corriente de fuga o avalancha que puede destruir la celda. Para evitar esto se utiliza diodos puente (diodos bypass) para grupos de celdas, de esta forma permitir un paso alternativo de la corriente [9].

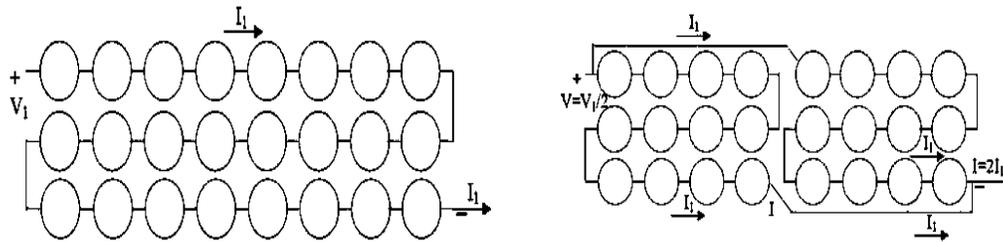


Figura 2-8 Conexión en Serie y Paralelo de celdas Fotovoltaicas formando un panel fotovoltaico.

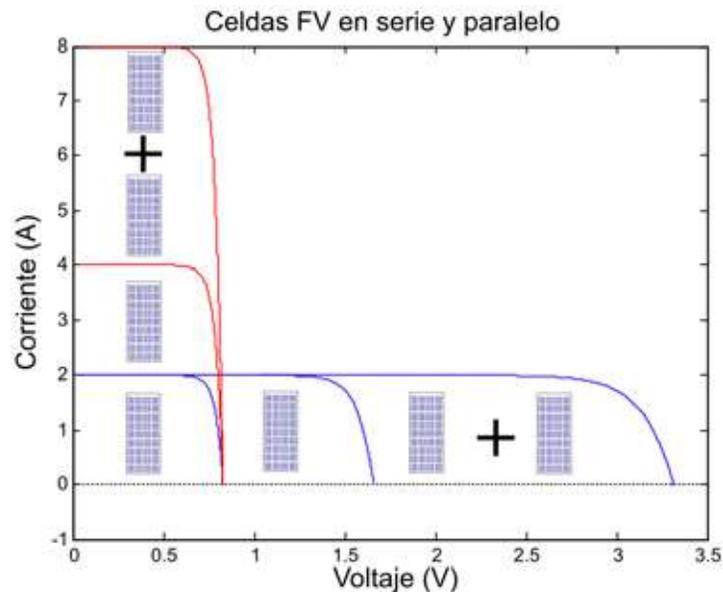


Figura 2-9 Curva I-V que muestra el incremento en el voltaje con N-número de celdas o paneles FV en serie, así como el incremento en la corriente con M-número celdas o paneles FV en paralelo [10].

Debido a su fragilidad las células fotovoltaicas, son vulnerables a los fenómenos naturales como la lluvia, granizo, polvo, humedad, etc., esta característica sumada a la necesidad de disponer de un voltaje de salida práctico superior a 0,5 V, estandarizado en: 6, 12, 24, 36 o 48 V<sub>CD</sub>, hace que sea necesario el uso de una estructura mecánica rígida y hermética en cuyo interior se puedan emplazar varias células FV.

El panel fotovoltaico cumple estos requerimientos, además facilita el transporte, las conexiones externas, y el montaje del mismo sobre una estructura de soporte [9].

### 2.2.2.3 Parámetros eléctricos de paneles fotovoltaicos.

**Corriente de corto circuito  $I_{SC}$**  : es la corriente que se obtiene de la célula cuando la tensión en sus terminales es cero voltios. Constituye la máxima corriente que se puede obtener de la celda [9].

**Voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$**  : es el voltaje en el cual los procesos de recombinación igualan a los de generación, por lo tanto la corriente que se extrae es nula. El máximo voltaje que puede extraer de una celda es de 0,5 a 1V.

**Potencia máxima  $P_{MAX}$** : la potencia de una celda viene dada por  $P = V * I$  , pero al ser  $V_{OC}$  máxima es cero y al ser  $I_{SC}$  máxima  $V$  es cero, por lo que en ambos casos  $P = 0$ , entonces existe un valor entre estos dos extremos en el cual  $P$  sea máxima.

$$P_{MAX} = I_{MAX} * V_{MAX} \quad (2.3)$$

**Factor de forma,  $FF$** : el máximo valor que puede tomar el  $FF$  es 1, cuanto más próximo sea a la unidad mejor será la celda.

$$P_{MAX} = I_{SC} * V_{OC} * FF \quad (2.4)$$

**Eficiencia de celdas y módulos fotovoltaicos**: la eficiencia de conversión es la relación porcentual entre la energía eléctrica generada, y la energía luminosa utilizada para obtenerla [9].

$$\eta_{celda} \% = \frac{P_M}{G * A_C * N_C} \quad (2.5)$$

$$\eta_{panel} \% = \frac{P_M}{G * A_M} \quad (2.6)$$

Donde:

$\eta_c$ = eficiencia de una celda fotovoltaica.

$P_M$ = potencia nominal del panel fotovoltaico en  $Wp$

$G$  = radiación solar en  $W/m^2$ .

$A_C$ = área de la celda en  $m^2$ .

$A_M$  = área total del módulo en  $m^2$ .

$N_C$ = número de celdas en el panel.

#### 2.2.2.4 Curva corriente-voltaje de paneles solares.

El funcionamiento de una celda solar se puede representar por una curva de *Corriente – Voltaje* ( $I - V$ ). Si la celda no está conectada a ninguna carga se tiene un voltaje en circuito abierto  $V_{OC}$ , y cuando la celda está cortocircuitada la corriente es  $I_{SC}$ .

Al incrementar el voltaje desde 0 hasta  $V_{OC}$ , la corriente se mantiene casi constante hasta un voltaje máximo  $V_{MAX}$ , y de allí desciende rápidamente. Como  $P = V * I$ , se puede calcular la potencia en cualquier punto de la curva ( $I - V$ ) que se observa en la Figura 2-10. Pero lo que interesa es obtener la máxima potencia, es decir cuando el área del rectángulo ( $V * I$ ) es máximo. A este punto se conoce también como, punto de máxima potencia (MPP) [9].

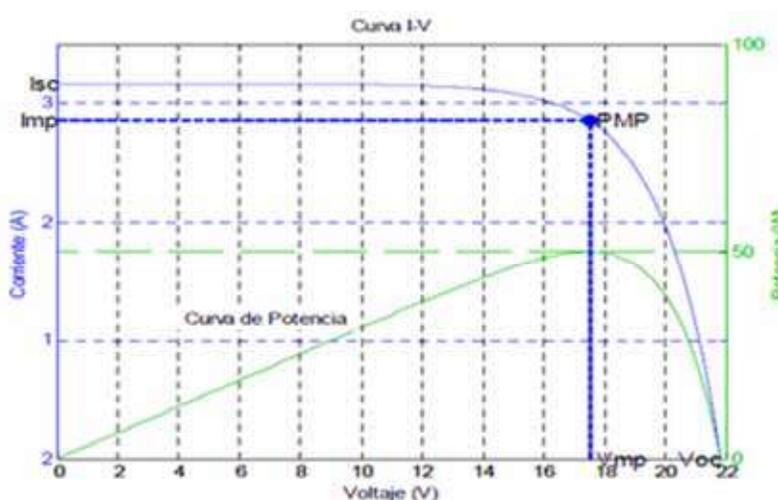


Figura 2-10 Curva Corriente-Voltaje y potencia de la celda fotovoltaica.

El cambio de la intensidad de radiación provoca la variación de la corriente de salida para cualquier voltaje, es decir la corriente varía de forma proporcional a la radiación solar, mientras el voltaje se mantiene prácticamente constante.

El incremento de temperatura, produce la reducción del voltaje de forma inversamente proporcional al incremento de temperatura. En la Figura 2-11 se puede apreciar los efectos de la radiación y la temperatura en un panel fotovoltaico. La potencia extraída es prácticamente la misma para las diferentes temperaturas, esto se debe a que el sistema no trabaja en el punto de máxima potencia [9].

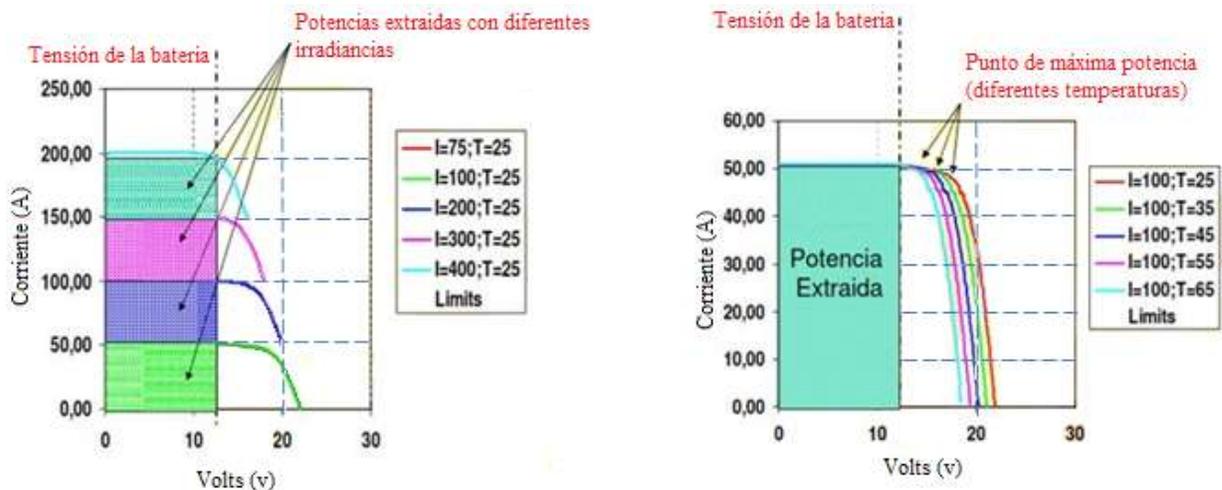


Figura 2-11 Efectos de la radiación solar (izquierda). Efecto de la temperatura (derecha), sobre un módulo fotovoltaico.

## 2.3 Banco de baterías.

Está formado por una o varias baterías interconectadas en serie/paralelo, dependiendo del nivel de voltaje o de la máxima corriente de circulación.

Las baterías son elementos que permiten el almacenamiento de energía eléctrica, constituyendo de esta forma una fuente de energía eléctrica portable, generalmente están formadas por varios vasos o celdas de almacenamiento, de cada vaso se extrae un voltaje nominal de  $2V_{CD}$ , por lo cual se forman arreglos que suministren 6, 12, 24, 36 o 48  $V_{CD}$ .

El proceso de carga y descarga de una batería, se realiza mediante un proceso electroquímico reversible. El primer proceso de conversión, tiene lugar durante el proceso de carga de la batería, en este proceso la energía eléctrica es transformada en energía química. Durante la descarga de la batería, utilización de la energía almacenada, la energía química se transforma nuevamente en energía eléctrica.

Como todo proceso de conversión, también viene acompañado de inevitables pérdidas de energía [9].

### 2.3.1 Parámetros eléctricos de las baterías.

Capacidad de almacenamiento de energía: Es la cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería, está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Amperios/hora, se mide en Watts hora ( $Wh$ ) o Kilo Watts hora ( $KWh$ ) [9].

Régimen de carga/descarga: Es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible.

Máxima corriente de descarga: la industria ha estandarizado la prueba que determina el valor de la máxima corriente de descarga. El valor de la máxima corriente es aquel que permite una descarga continua de 20 horas, luego del cual la energía en reserva representa el 20% de la máxima con la que inició la descarga. Si las corrientes no son transitorias de corta duración en la carga, generan una disipación de calor ( $I^2 * r_i$ ), que daña a la batería en forma permanente, ( $r_i$ , es la resistencia interna de la batería).

Profundidad de descarga: representa los Amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada, se expresa en tanto por ciento. Cuando se efectúa la prueba para determinar el valor en Amperios-hora de una batería solar, la Profundidad de descarga debe alcanzar un mínimo de 80%.

Estado de Carga: capacidad disponible en la batería, expresada en tanto por ciento de la capacidad nominal.

Ciclo: secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados.

Ciclos de Vida: es el número de ciclos que una batería puede soportar, funcionando de forma correcta, sin daño permanente ni afección a su vida útil.

Vida Útil: periodo durante el cual, la batería es capaz de operar bajo determinadas condiciones manteniendo su capacidad y rendimiento [9].

### **2.3.2 Tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas.**

Los avances tecnológicos de los últimos años, ha propiciado un impulso en la industria dedicada a la fabricación de baterías, se han probado nuevos materiales, modelos y disposición de elementos. Además, se ha buscado mejorar el rendimiento energético, vida útil, reducir los requerimientos de mantenimiento, mejorar la seguridad, bajar los costos, etc.

En la actualidad es posible encontrar una nueva terminología, que introducen los fabricantes de los nuevos modelos de baterías, es así que surge la llamada unidad de energía de vida LEU

(Life Energy Unit). El número de LEUs dado para una determinada unidad, representa el número de KWh que la batería será capaz de entregar durante su vida útil [9].

Inicialmente los SFV eran instalados con baterías de convencionales (plomo – ácido), en la actualidad existen diferentes tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas, entre ellas se tiene:

- Baterías Pb-ácido convencionales.
- Baterías Pb-ácido libres de mantenimiento (SLI).
- Baterías tubulares.
- Baterías con electrolito tipo GEL.
- Baterías GEL-VRLA.
- Baterías AGM.
- Baterías níquel-cadmio (Ni-Cd) [9].

## **2.4 Regulador.**

El regulador de carga es el cerebro de un SFVA, sin la utilización de un regulador de carga no es posible proporcionar energía eléctrica de forma confiable y eficiente mediante un SFVA.

Generalmente el regulador realiza el control del estado de carga de las baterías se realiza por la medición del voltaje en bornes, usando los datos proporcionados por los diferentes fabricantes de baterías, de tal forma, el circuito del regulador de carga sabe en qué momento debe empezar a actuar, limitando el voltaje y la corriente proporcionada por el panel fotovoltaico (PFV).

Una vez que se ha completado la carga de la batería, el regulador interrumpe el paso de corriente, evitando de esta forma la pérdida del electrolito y un posible calentamiento de las baterías. Cuando el voltaje desciende, el regulador vuelve a permitir el paso de corriente, recargando la batería, los reguladores más comunes son regulador: paralelo y serie como se observa en la Figura 2-12 [9].

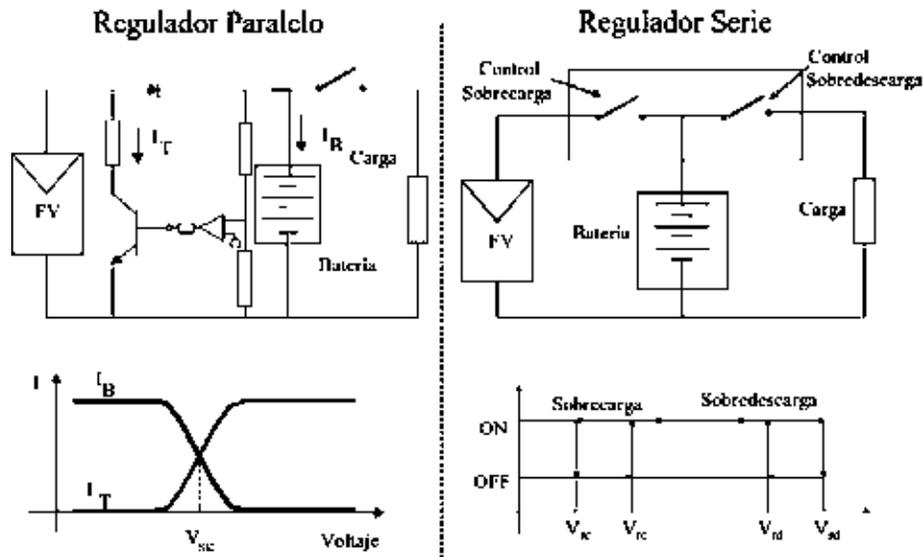


Figura 2-12 Esquema básico de operación del regulador de carga en Serie y Paralelo [9].

## 2.5 Tipos de cargas para un SFVA.

Un sistema fotovoltaico en general dispone de potencia útil limitada, especialmente si se trata de SFVA, por esta razón es recomendable el uso de equipos de consumo eficientes tales como: focos ahorradores, tipo led, con pantalla reflectora, televisores tipo led, radios y equipos estéreo de bajo consumo, refrigeradoras del tipo solar, bombas de agua de alta eficiencia y los conductores dimensionados adecuadamente para reducir la caída de voltaje en las acometidas y en las instalaciones interiores.

Básicamente existen dos tipos de cargas eléctricas, en corriente alterna CA y en corriente directa CD, también se puede tener una combinación de cargas en CA y CD, denominadas cargas mixtas [9].

### 2.5.1 Cargas en CA.

La utilización de cargas en CA para un SFVA es necesaria la instalación de un inversor de CD/CA. Como regla general, en toda instalación fotovoltaica hay que evitar en lo posible la utilización de inversores, ya que en la actualidad la mayoría de las cargas en CA operan internamente con CD, por dos motivos diferentes; el costo final y la fiabilidad del sistema (para evitar las pérdidas de conversión); los equipos que operan mediante el inversor o convertidor salen de funcionamiento [9].

## **2.5.2 Cargas en CD.**

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado gran cantidad de electrodomésticos adaptados al voltaje de 12 V<sub>CD</sub>: luminarias, radios, lavadoras, televisiones, refrigeradoras, bombas, etc. Estos equipos generalmente están diseñados para tener una alta eficiencia y de este modo aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles. Lo cual los convierte en ideales para su empleo en instalaciones solares fotovoltaicas como cargas en CD, tal como el inversor [9].

### **2.5.2.1 El inversor o convertidor CD/CA.**

Este dispositivo transforma la corriente continua CD generada por los paneles y almacenada en el banco de baterías, en corriente alterna CA. Los convertidores CD/CA, constan de un circuito electrónico realizado con transistores y tiristores, que trocean la corriente directa alternándola y transformándola en una onda cuadrada. Este tipo de onda ya puede ser utilizada después de hacer pasar por un transformador que eleva el voltaje, teniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien se filtra para obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica convencional.

El rendimiento de los inversores tendrá que ser considerado en los cálculos de la demanda de energía, puesto que el rendimiento de estos equipos disminuye al hacerlo funcionar con una potencia inferior a su potencia nominal. Por esta razón hay que ajustar la potencia del inversor lo mejor posible a las necesidades reales de la instalación [9].

## **2.6 Características de una instalación eléctrica.**

Los cables de conexión son la parte más importante de una instalación eléctrica, representan un componente indispensable para el transporte de la energía eléctrica entre los elementos que integran un sistema fotovoltaico.

Resulta inevitable que parte de esta energía se pierda en forma de calor, ya que la resistencia eléctrica de un conductor nunca es nula.

La selección de los conductores, en un sistema fotovoltaico es muy importante porque:

- El nivel de corriente es alto.

- Los cables quedan expuestos a condiciones ambientales extremas, calor, frío, humedad, rayos ultravioletas, etc.
- La caída de voltaje entre la entrada y la salida debe ser la mínima, (entre un 3 y 5% del voltaje nominal).

Las principales características de los conductores utilizados en instalaciones fotovoltaicas son:

**Conductor que lo constituye:** los metales empleados como conductores eléctricos para baja tensión son el cobre y el aluminio. El cobre es el más usado, por su mayor conductividad y mejores características mecánicas.

**Aislamiento:** es la envolvente de material aislante continuo y uniforme en toda la longitud del conductor, con un espesor adecuado para la tensión de trabajo del cable. Los cables pueden aislarse con varios tipos de materiales aislantes, entre ellos tenemos:

- Policloruro Vinilo (PVC)
- Caucho Etileno-Propileno (EPR)
- Polietileno Reticulado (XLPE), etc.

**Cubierta:** es la envoltura externa de material termoplástico o termoestable, no tiene una función eléctrica pero sí de protección. En general debe tener buenas características mecánicas y buenos comportamientos ante agentes externos. Cuando se requieran exigencias frente al fuego, las mezclas de los materiales utilizados como cubiertas exteriores serán del tipo ignífugas.

**Comportamiento de los materiales ante los agentes externos:** en todo tipo de instalación, los cables están sometidos a condiciones adversas, tanto debidos a la propia instalación, como de agentes externos, en los dos casos incide profundamente en la durabilidad de los mismos. Es por ello que los materiales utilizados en aislamientos y cubiertas deben ser los más adecuados para soportar estas adversidades.

Dentro de los agentes externos, el que más preocupa es el fuego, el segundo aspecto es el humo que aparece por la combustión de los materiales sometidos a la acción del fuego [9].

Así pues, se somete a los cables a una serie de ensayos, dedicados a evitar la propagación del incendio y sus consecuencias:

- No propagación de la llama.
- No propagación del incendio.
- Toxicidad y corrosividad.
- Emisión de humos

**Máxima temperatura:** este parámetro es muy importante en instalaciones de SFV, generalmente está dado en °C, representa la máxima temperatura de trabajo que puede soportar el material aislante sin deteriorarse.

**Máxima corriente:** representa la máxima corriente que puede circular de forma permanente por un conductor sin causar ningún daño en la estructura del conductor. Los conductores se diseñan de tal forma que pueda soportar por lo menos el 125% de la máxima corriente que circulará por dicho conductor [9].

## 2.7 Principales fallas eléctricas.

Una falla eléctrica es un evento anormal que provoca el mal funcionamiento de un circuito eléctrico y algunas veces ocasiona el corte del suministro de energía en una vivienda. Las fallas pueden producir daños a la instalación y componentes eléctricos que la conforman; pero también pueden provocar accidentes fatales para las personas; las mismas que van desde quemaduras graves hasta una electrocución o choque eléctrico [11].

Existen dos tipos principales de fallas que son:

- Las fallas primarias: son las que se presentan en las líneas de distribución y transporte de la energía eléctrica, transformadores; esto aplica más que nada para sistemas de alta y media tensión.
- Las fallas eléctricas secundarias: son las que se dan como consecuencia del fallo de los elementos de control, errores de conexión y mal diseño de un sistema eléctrico [11].

### **2.7.1 Falsos contactos.**

El falso contacto eléctrico, es otra de las múltiples fallas eléctricas que se presentan en las instalaciones domiciliarias.

En toda instalación eléctrica se requiere hacer uniones y empalmes para conectar todos los elementos que la conforman; cuando una de esas uniones es de mala calidad, se produce lo que se conoce como falso contacto eléctrico.

Un falso contacto es una conexión eléctrica pobre o sin firmeza, eso quiere decir que hay milésimas de segundo en que no pasa la electricidad correctamente. Si hablamos en términos técnicos, un falso contacto representa una resistencia u oposición al paso de la corriente eléctrica [12].

#### **2.7.1.1 Causas de un falso contacto.**

Existen varias causas por las que se produce ésta falla, las principales son dos:

- **Envejecimiento de la instalación:** Las instalaciones antiguas son proclives a este tipo de fallas; el desgaste de sus componentes y la falta de mantenimiento son los principales factores que desencadenan este problema.
- **Errores de instalación:** Esta es una de las causas más comunes, en instalaciones nuevas inclusive; empalmes mal hechos, bornes mal ajustados y conexiones improvisadas, están entre los principales motivos [12].

#### **2.7.1.2 Consecuencias de un falso contacto.**

Los falsos contactos producen un arco eléctrico, provocando que la parte metálica de un borne eléctrico se perfore, se oxide y se quemé; si la carga eléctrica del artefacto conectado es de alto consumo de energía eléctrica, el arco es más fuerte y más dañino.

Otra de las consecuencias de ésta avería es la elevación de la temperatura y por ende el recalentamiento de los componentes de la instalación. Como es sabido, las elevaciones de temperatura por encima de los valores normales no son buenos en un circuito eléctrico; al menos que ésta sea una característica propia del circuito, como por ejemplo en una máquina de soldar [12].

Como efecto del calentamiento los cables sufren un fenómeno llamado cristalización, esto provoca que el conductor se vuelva frágil o quebradizo; inclusive llega a tomar un color negro y verdoso. En el caso de los empalmes la cinta aislante que los cubre se reseca, se quema y se derrite.

Los falsos contactos pueden provocar que los aparatos electrónicos se dañen; los componentes de éstos son más sensibles a las fluctuaciones de la corriente eléctrica [12].

### **2.7.2 Puntos calientes.**

Los problemas comunes que se presentan en las instalaciones eléctricas, así como en los diversos equipos que las integran, son los denominados "Puntos Calientes"; los cuales pueden llegar a ocasionar el daño parcial o total en equipos e instalaciones.

Estos Puntos calientes son producidos por falsos contactos o conexiones deficientes, por la acción de las corrientes de sobrecarga, o bien por agentes externos a la instalación.

Es importante, tener presente que los puntos calientes después de ser corregidos, no asegura su eliminación permanente, ocasionando su reaparición en función de las condiciones operativas de cada una de las instalaciones.

Todo cuerpo emite radiaciones de energía infrarroja en cantidades que dependen de su temperatura. Por la longitud de onda en el espectro electromagnético, esta radiación no es perceptible, siendo por tanto imposible detectar a simple vista un punto caliente en un circuito, dispositivo o equipo eléctrico que se encuentre energizado; sobre todo en las etapas iniciales, que es cuando en forma oportuna debe corregirse sin ningún riesgo para la instalación. Cuando el punto caliente es perceptible a simple vista se encuentra en un proceso acelerado de crecimiento, presentando el deterioro de los elementos de la instalación involucrados.

La elevación de temperatura en los puntos de contacto es producida por varios factores, entre ellos se tiene:

- Alta resistencia de contacto, ocasionada por par de apriete deficiente en partes de la unión.
- Corrosión producida por la unión de materiales distintos (par galvánico).

- Reducida área de contacto para la conducción.
- Baja calidad de los materiales en los equipos.

Un falso contacto en un circuito, produce calentamiento excesivo. Los materiales usados como conductores en la instalación eléctrica, son el cobre y el aluminio. El cobre se funde a una temperatura de 1080°C, y el aluminio se funde a una temperatura de 560°C. Las aleaciones para algunos conectores están constituidas de varios materiales en diferentes proporciones, las temperaturas de fusión, son del orden de los 600°C.

La termografía es una técnica usada para detectar radiaciones infrarrojas invisibles (calor), sin necesidad de tener contacto con la instalación o con los equipos. El principio de funcionamiento de los dispositivos utilizados para este propósito, es la conversión de la energía calorífica en luz visible [13].

### **2.7.3 Cortocircuitos.**

Un cortocircuito es una falla eléctrica que se produce cuando dos conductores de distinta fase o polaridad se juntan haciendo contacto físico entre sí. Éste contacto directo provoca que la resistencia del circuito baje hasta cero; lo cual genera un aumento brusco de la intensidad de la corriente eléctrica según la Ley de Ohm.

El aumento de la corriente es tan grande que si no se interrumpe el fluido eléctrico en cuestión de mili-segundos, se producirán temperaturas elevadas, derretimiento del aislante y fundición del conductor, (Efecto Joule) que es denominado con la ecuación 2.7.

$$P = I^2R \text{ Watts} \quad (2.7)$$

Dónde:

P = Potencia del sistema dado en Watts (W)

I = Corriente que circula por el conductor (A)

R = Resistencia del conductor ( $\Omega$ )

Un cortocircuito eléctrico se da en un circuito de corriente directa, es el que se puede presentar en los SFVA por el contacto entre el polo negativo (-) y el positivo (+). En el caso

de un circuito de corriente alterna se da por la unión del neutro y fase, o entre dos fases; aunque también se puede dar entre una fase y tierra.

### 2.7.3.1 Causas de un cortocircuito.

Los motivos por los que se produce un cortocircuito pueden ser muy variados. La causa más común que desencadena este evento es el deterioro del aislante de los conductores y componentes eléctricos.

Esto puede suceder porque la instalación es muy antigua, por sobrecalentamientos, o un uso inapropiado de la instalación eléctrica. Como se muestra en la Figura 2-13 la sobrecarga eléctrica de un tomacorriente conectando infinidad de artefactos de manera irresponsable, es un claro ejemplo [14].



*Figura 2-13 Sobrecarga eléctrica de un tomacorriente [14].*

La elevación de corriente genera calor, chispa e inclusive flama; por lo que pueden ocasionar un incendio si se juntan otros factores desencadenantes; por ejemplo, la presencia de materiales inflamables o explosivos como se observa en la Figura 2-14 [14].



*Figura 2-14 Incendio del conductor por corto circuito [14].*

Los tipos de cortocircuito que se pueden presentar en los SFVA son ASIMETRICOS:

- Interconexión de polo positivo y negativo de terminales de CD.
- Fase a neutro.
- Fase a tierra.
- Fase a fase [14].

## **2.8 Análisis de fallas en un SFVA.**

Algunos sistemas fotovoltaicos pueden funcionar sin ningún problema durante muchos años, desde su puesta en operación, pero también existen sistemas que presenten diversas fallas en su funcionamiento a corto o mediano plazo, desde su implementación.

Durante su vida útil, un sistema fotovoltaico está expuesto a sufrir diferentes fallas, ya sea ocasionada por un error humano (fallas humanas), cuando la falta de capacitación de los beneficiarios, mismos que al ocurrir un problema, tratan de resolverlo a su manera y por fallas técnicas de los equipos [9].

### **2.8.1 Fallas típicas por intervención humana.**

- Los módulos son afectados por sombras parciales o totales.
- Los PFV no tienen la orientación ni el ángulo de inclinación óptimo para lograr su máxima eficiencia de conversión fotovoltaica.
- Los fusibles de protección fundidos, no son reemplazados por otros nuevos de las mismas características, en algunos casos son simplemente cortocircuitados o reemplazados por un elemento conductor.
- Los usuarios realizan instalaciones adicionales, éstas lo ejecutan sin haber adquirido un conocimiento previo de instalaciones eléctricas, poniendo en riesgo al a los componentes más sensibles del sistema.
- La polaridad de la batería se instala de forma invertida al sistema al ser cambiada por los usuarios.
- Intercambio de baterías entre instalaciones vecinas [9].

### **2.8.2 Fallas técnicas.**

Las fallas técnicas, son las referentes a problemas asociados a cada elemento individual, que forman el sistema fotovoltaico, derivados de su propio diseño, fabricación o instalación [9].

### **2.8.3 Fallas del panel fotovoltaico.**

- La potencia real inicial del PFV es inferior a la nominal de lo etiquetado.
- Pérdida progresiva de potencia por degradación del material.
- La potencia de generación es inferior a la requerida por la carga de diseño, debido a sombras parciales o totales.
- Falla súbita, causado por la rotura del panel [9].

### **2.8.4 Fallas del banco de baterías.**

- Capacidad inicial baja.
- Pérdida progresiva de capacidad por degradación [9].

### **2.8.5 Fallas por cortocircuitos.**

- Cortocircuito entre terminales.
- Cortocircuito interno por precipitación de material.
- Rotura de la caja, etc. [9].

### **2.8.6 Fallas del regulador de carga.**

- Interrupción de la circulación de corriente: línea de generación o carga.
- Autoconsumo y caídas de tensión excesivas.
- Regulación incorrecta de la batería, por mal ajuste en el diseño inicial o por desajuste en la operación.
- Ausencia de las funciones de protección [9].

### **2.8.7 Fallas de las líneas de conexión.**

- Caídas de tensión excesivas en las líneas de alimentación y consumo.
- Cortocircuitos [9].

## 2.9 Regulación de voltaje.

El Coeficiente de Regulación de Voltaje o la Regulación de Voltaje (RV) es una cantidad que compara el voltaje de salida de una fuente de energía eléctrica, tal como el SFVA sin carga (en Vacío), con el voltaje de salida a plena carga y se define por la ecuación (2.8).

$$RV = \frac{V_{S\sin\ carga} - V_{S\text{plena carga}}}{V_{S\text{plena carga}}} \times 100\% \quad (2.8)$$

VS: Voltaje de Salida de una línea de transmisión o Voltaje de cualquier fuente eléctrica A nivel de suministro de tensión se desea tener una regulación de voltaje tan pequeña como sea posible [15].

## 2.10 Convertidor analógico digital.

Un transductor permite relacionar las señales del mundo real y sus análogas eléctricas. Para compatibilizar la información con un sistema digital, se requiere de convertidores de datos del tipo ADC o DAC, según corresponda. El diagrama de bloques de la Figura 2-15 muestra la secuencia desde que la variable física entra al sistema hasta que es transformada a señal digital (código binario). Para dicha señal ingrese al convertidor análogo - digital, ésta debe ser muestreada, es decir, se toman valores discretos en instantes de tiempo de la señal análoga, lo que recibe el nombre de *sampling*. Matemáticamente es el equivalente a multiplicar la señal análoga por una secuencia de impulsos de periodo constante. Como resultado se obtiene un tren de impulsos con amplitudes limitadas por la envolvente de la señal analógica [16].

## 2.11 Efecto hall.

El **efecto Hall** consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por un campo magnético. A este campo eléctrico se le llama **campo Hall**. Llamado efecto Hall en honor a su descubridor Edwin Duntey Hall.

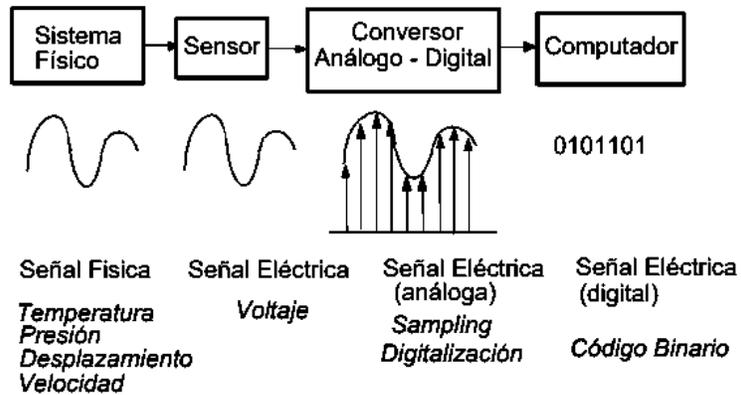


Figura 2-15 Conversión Análogo-Digital [16].

Cuando por un material conductor o semiconductor, circula una corriente eléctrica, y estando este mismo material en el seno de un campo magnético, se comprueba que aparece una fuerza magnética en los portadores de carga que los reagrupa dentro del material, esto es, los portadores de carga se desvían y agrupan a un lado del material conductor o semiconductor, apareciendo así un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y al propio campo eléctrico generado por la batería. Este campo eléctrico es el denominado campo Hall, y ligado a él aparece la tensión Hall [17].

Los sensores de Efecto Hall (EH) permiten medir:

- La movilidad de una partícula cargada eléctricamente (electrones, lagunas, etc).
- Los campos magnéticos (Teslámetros)
- La intensidad de corrientes eléctricas (sensores de corriente de EH)
- También permiten la elaboración de sensores o detectores de posición sin contacto, utilizados particularmente en el automóvil, para detectar la posición de un árbol giratorio (caja de cambios, paliers, etc.).
- Se encuentran también sensores de EH bajo las teclas de los teclados de los instrumentos de música modernos (órganos, órganos digitales, sintetizadores) evitando así el desgaste que sufren los contactos eléctricos tradicionales.
- Sensores de EH en el codificador de un motor de CD.
- Los motores de EH son aceleradores de plasma de gran eficacia.

## **2.12 Principales normas para la realización de una instalación eléctrica.**

A continuación, se muestran las principales normas que se utilizan en una instalación eléctrica residencial.

### **2.12.1 NMX-J-307-ANCE-2017.**

LUMINARIOS DE USO GENERAL PARA INTERIORES Y EXTERIORES.

#### **2.12.1.1 Objetivo y campo de aplicación.**

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones generales de construcción para luminarios, de manera que éstos cumplan con las condiciones mínimas de seguridad, a fin de evitar daños a las personas y sus lugares de instalación. Asimismo, proporciona los métodos de prueba necesarios para demostrar el cumplimiento con las especificaciones de seguridad.

La presente Norma Mexicana es aplicable a los luminarios que se alimentan con energía eléctrica para uso en interior y uso en exterior, así como para señalización y emergencia [18].

### **2.12.2 NMX-J-019-ANCE-2011.**

ILUMINACION - LAMPARAS INCANDESCENTES DE FILAMENTO METALICO PARA ALUMBRADO GENERAL - ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA.

#### **2.12.2.1 Objetivo y campo de aplicación.**

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones mínimas de funcionamiento, así como los métodos de prueba aplicables a las lámparas incandescentes de filamento metálico para alumbrado general.

Aplica a las lámparas incandescentes que se fabrican para operar en el intervalo de tensiones de alimentación de 100 V a 250 V, con un intervalo de potencias de 25 W a 1 500 W y con una vida nominal de 1 000 h. Asimismo, que utilizan casquillos E-26, E-27, E-39 y E-40 con o sin falda [19].

### **2.12.3 NMX-J-618/4-ANCE-2011**

EVALUACION DE LA SEGURIDAD EN MODULOS FOTOVOLTAICOS (FV): REQUISITOS PARA MODULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO CRISTALINO.

### **2.12.3.1 Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Mexicana establece los requisitos para calificar el diseño y aprobar el tipo para los módulos fotovoltaicos terrestre que se utilizan en climas al aire libre en general, tal como se indica en la NMX-J-648/1-ANCE.

Esta norma aplica únicamente para módulos fotovoltaicos de tipo silicio cristalino. La norma NMX-J-618/3-ANCE aplica para módulos fotovoltaicos de película delgada. Esta norma no se aplica a los módulos fotovoltaicos que se utilizan con concentradores de luz solar.

El objetivo de esta secuencia de pruebas es determinar las características eléctricas y térmicas del módulo fotovoltaico y mostrar, que el módulo fotovoltaico es capaz de resistir una exposición prolongada en los climas que se indican en la NMX-J-648/1-ANCE. La esperanza de vida real de los módulos fotovoltaicos depende de su diseño, su entorno y las condiciones bajo las cuales se operan [19].

# **CAPÍTULO III**

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL  
BANCO DE PRUEBAS.

### 3 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS.

La metodología para realizar pruebas de fallas al SFVA sea en las condiciones de que no varíen entre mediciones con cargas en el nodo de CD, es decir, que los componentes estén bien conectados y funcionando de manera correcta. Utilizando sensores de voltaje y corriente en CD y CA de efecto Hall, que permitan el registro de datos con el menor ruido y con el comportamiento más lineal posible, utilizando una DAQ y LabVIEW™. Para realizar pruebas de fallas y poder observar el comportamiento en el nodo de CD de SFVA, tal como se muestran los pasos a seguir en el diagrama de flujo de la Figura 3-1.

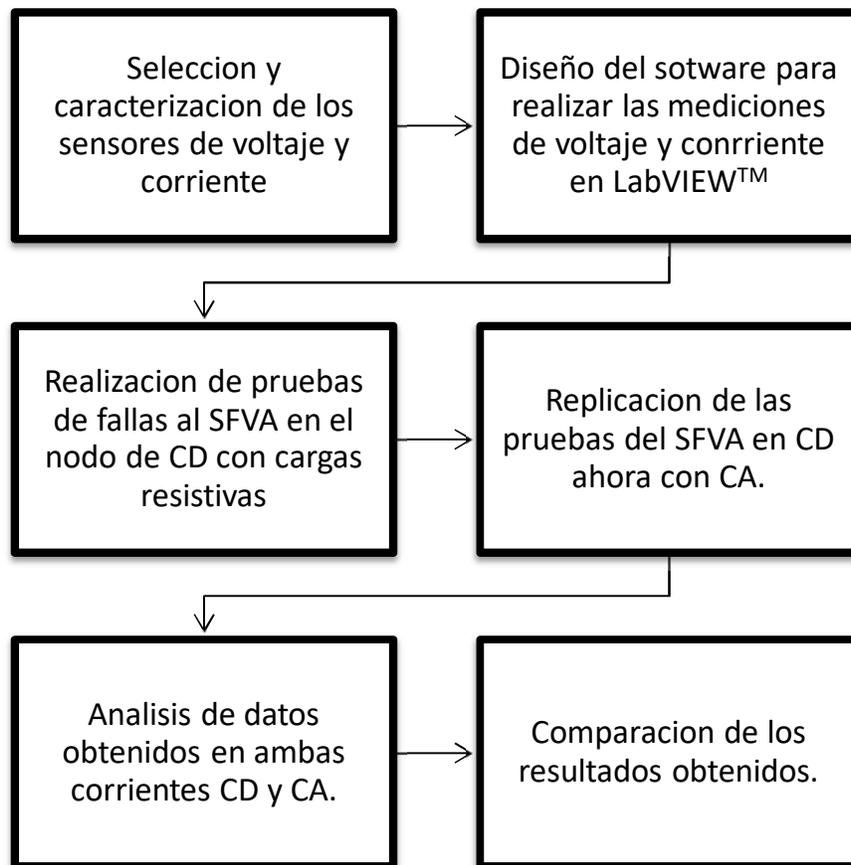


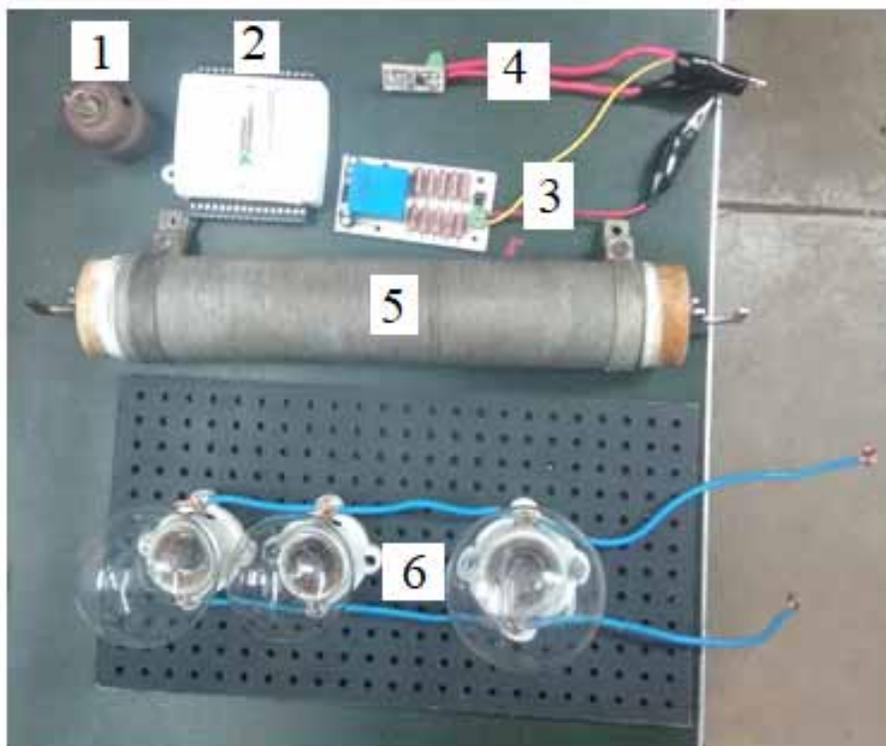
Figura 3-1 Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.

#### 3.1 Desarrollo de kit de pruebas.

La selección de los Elementos del kit de pruebas se realizó en base a la información obtenida de los SFVA, especialmente en el nodo de CD, por lo cual se buscó elementos con los que se contaban en el LIE para realizar las pruebas, como focos, resistencias, sensores que

permitieran registrar CD y CA, y elementos de apoyo para el registro de datos en una computadora, los cuales se enumeran en la siguiente lista y se visualizan en la Figura 3-2.

1. Socket con corrosión.
2. DAQ (NI-USB 6008).
3. Sensor de voltaje de efecto Hall.
4. Sensor de corriente de efecto Hall.
5. Resistencia fija de 40  $\Omega$ .
6. Resistencia variable de 360 W a 127 V.



*Figura 3-2 Elementos del kit de pruebas.*

### **3.1.1 Descripción de las cargas para las pruebas al SFVA.**

Cuando una carga resistiva es conectada directamente a las celdas solares, el punto de operación de las celdas corresponde al voltaje y a la corriente que la carga exige, el cual está dado por la ley de Ohm; es decir, el punto de operación de las celdas solares corresponde a la intersección de las curvas corriente - voltaje de la celda fotovoltaica y de la carga como se muestra en la Figura 3-3.

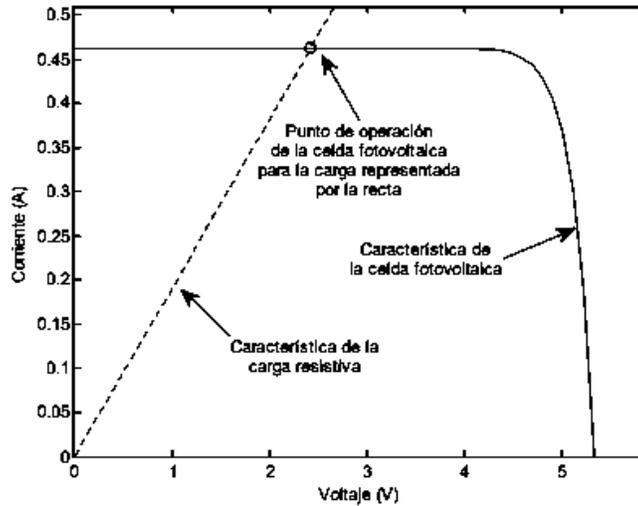


Figura 3-3 Descripción del punto de operación de la celda para una carga resistiva.

Dado que la potencia está dada por el producto del voltaje y su corriente correspondiente, se puede mostrar la potencia gráficamente como el área del rectángulo cuya diagonal va desde el origen de la gráfica (punto 0,0) al punto de operación, como se muestra en la Figura 3-4. Por tanto, el punto de máxima potencia corresponde al rectángulo de mayor área, este punto está en la región de curvatura como se muestra en la Figura 3-4, donde  $I_{mpp}$  y  $V_{mpp}$  son la corriente y el voltaje de máxima potencia.

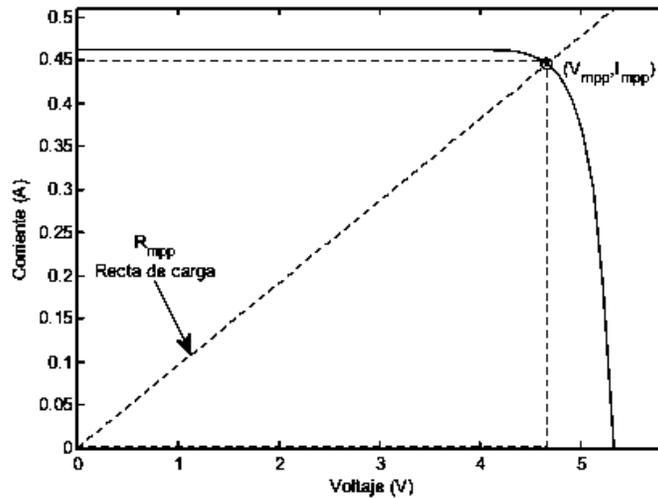


Figura 3-4 Punto de máxima potencia de la celda solar y rectángulo de potencia.

Debido a que el punto de operación está dado por la carga conectada a la celda fotovoltaica, existe una única carga que asegura el punto de operación en el punto de máxima potencia, donde la potencia es  $P_{mpp}$ ; esta resistencia se conoce como la resistencia de máxima potencia

( $R_{mpp}$ ). Si la resistencia de la carga conectada a la celda no coincide con  $R_{mpp}$ , el panel solo suministrará la potencia exigida y no la potencia máxima que podría suministrar; por lo tanto, si se quiere extraer la máxima potencia de un panel fotovoltaico, se debe asegurar que siempre sea cargado por una resistencia  $R_{mpp}$ .

A continuación, se describen las cargas de pruebas que se efectuarán con el Kit, donde se utilizarán cargas puramente resistivas en el SFVA.

- Carga fija (Resistencia de  $40 \Omega$ ), obteniendo una aproximación de 270 W
- Carga variable (lámparas incandescentes de 100 W, 110 W y 150 W), obteniendo los 360 W a 127 V.

### 3.1.2 Caracterización de sensores.

Para la Caracterización de los sensores de voltaje y de corriente de efecto Hall se realizaron pruebas, de acuerdo a sus condiciones de alimentación y límites de operación, comprobando su comportamiento lineal, en base con los datos característicos que se muestran en el ANEXO, y a continuación se muestran sus características de operación más importantes:

#### 3.1.2.1 Sensor de Voltaje de Efecto Hall.

Basado en el integrado LV 25-P/SP2 de la marca LEM es capaz de medir hasta 1500 V, produce en su salida una tensión lineal proporcional a la corriente que atraviesa sus pines de medición, la alimentación del sensor de voltaje es de +12 V, -12 V y GND.

- $I_{PN} = 10 \text{ mA}$  Máxima Corriente en que registra el sensor de efecto Hall.
- $V_{PN} = 10 - 1500 \text{ V}$  es la variación de voltaje soportada.

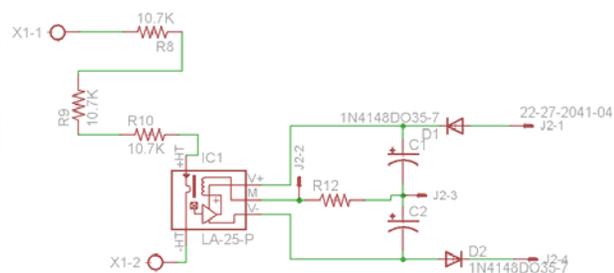


Figura 3-5 Sensor de voltaje.

### 3.1.2.2 Sensor de Corriente de Efecto Hall de 5 A.

Basado en el integrado ACS712 de la marca Allegro es capaz de medir hasta 30 Amperios, produce en su salida una tensión lineal proporcional a la corriente que atraviesa sus pines de medición, la alimentación del sensor corriente es de 5 V y GND.

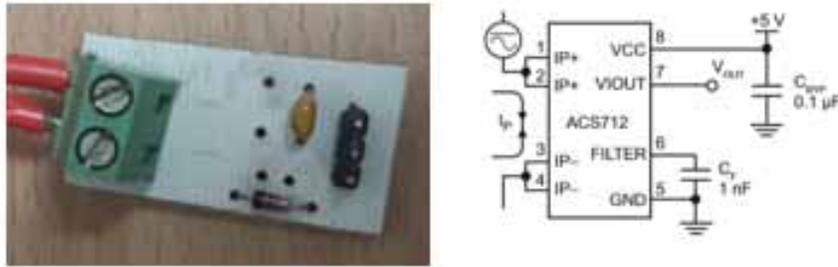


Figura 3-6 Sensor de corriente.

Con base en los datos característicos de cada sensor, se realizó una prueba de variación de condiciones de entrada y de salida que a continuación se muestra en la Figura 3-7 su gráfica de caracterización para el sensor de voltaje y en la Figura 3-8 su gráfica de caracterización para el sensor de corriente.

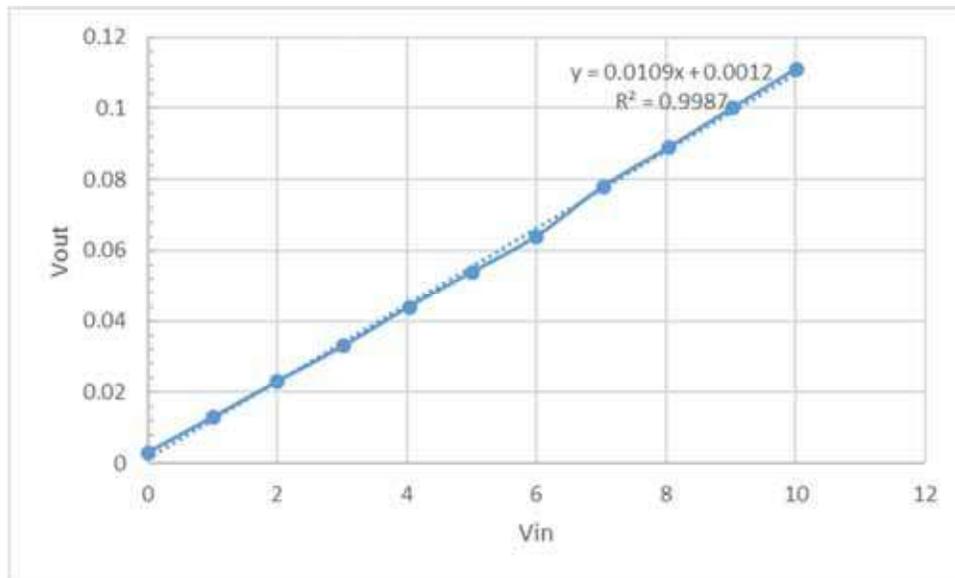


Figura 3-7 Gráfica para la configuración del sensor de voltaje.

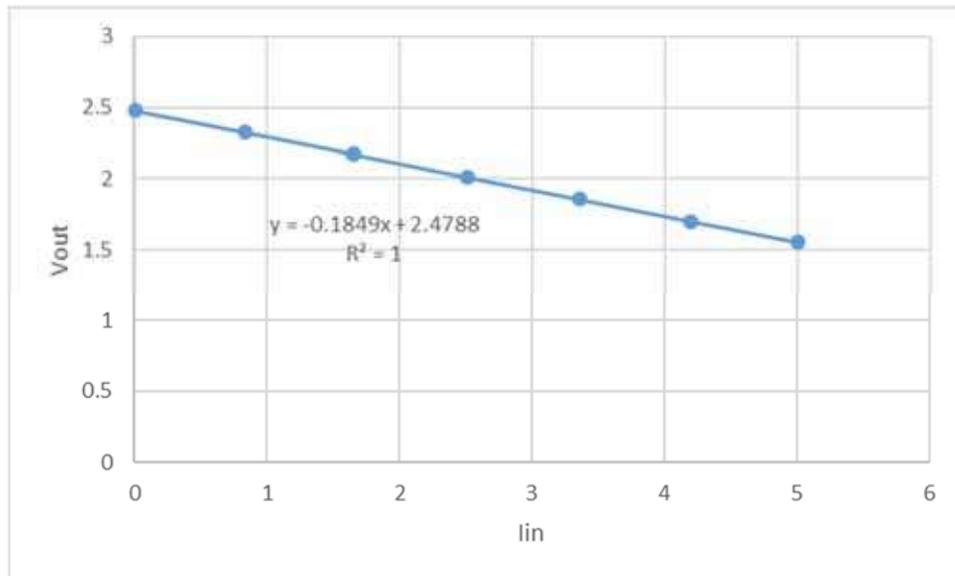


Figura 3-8 Gráfica para la configuración del sensor de corriente.

Las respuestas de voltaje de salida de los sensores de efecto Hall de voltaje y corriente son compatibles con las entradas de la Tarjeta DAQ.

### 3.1.3 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ) NI-USB 6008.

La tarjeta de adquisición de datos de National Instrument (DAQ-NI) NI-USB 6008 se eligió porque es con lo que cuenta el LIE para registro de datos. Ya que la tarjeta NI-USB 6008 convierte el voltaje que recibe en sus entradas analógicas desde los sensores, a un valor digital (Visible o entendible para la visión humana), que puede ser de 11, 12, 14 o 16 bits dependiendo de la tarjeta que se utilice. Otro parámetro importante es la velocidad de conversión, las cuales se dan en muestras (Samples<sup>8</sup>) por segundo (S/s).

En la Figura 3-9 se describe el proceso de adquisición de datos, en el que se puede distinguir claramente los pasos que sigue la señal enviada por el sensor hasta llegar a la computadora. Primero, el sensor registra el fenómeno físico (temperatura, presión, etc.) que se está analizando y emite una señal eléctrica de salida correspondiente ya sea analógica o digital; luego esta señal es interpretada por el módulo de adquisición que digitaliza la señal para enviarla a la computadora con el software LabVIEW<sup>TM</sup>, donde se visualizan, analizan y almacenan según se requiera.

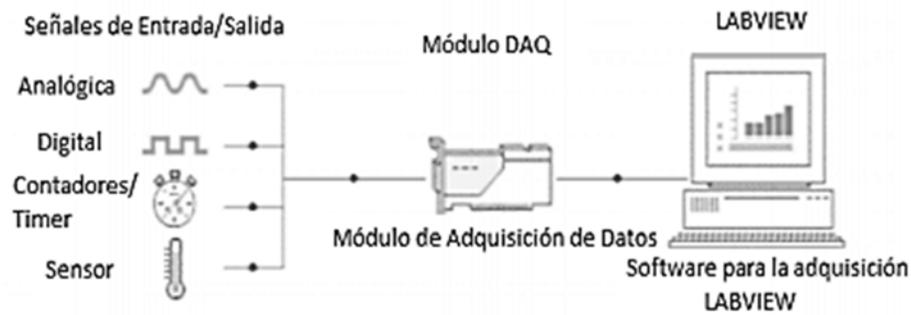


Figura 3-9 Etapa para adquisición de datos.

En este proyecto se utiliza una tarjeta de National Instrument de multifunción por USB de 14 bits a 48 KS/s, por su fácil manejo, alta confiabilidad en mediciones complejas y por las características relevantes que presenta sobre otras tarjetas el NI 6009 es utilizado en la mayoría de aplicaciones, en la Figura 3-10 se observa la DAQ utilizada.



Figura 3-10 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ). NI-USB 6008.

### 3.1.3.1 Características del dispositivo DAQ.

Generales: Especificación de los datos generales de la DAQ como que sistemas operativos soporta y el medio de conexión.

Tabla 3-1 Datos generales de la DAQ NI6009.

Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Número de Parte	779026-01
Sistema Operativo/Objetivo	Windows , Linux , Mac OS , Pocket PC
Familia de Productos	DAQ Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	None
Compatibilidad con RoHS	Sí
Potencia USB	Energizado por Bus

Entrada Analógica: Indicación de los parámetros de trabajo en la recepción de datos por los puertos analógicos.

*Tabla 3-2 Especificación de las Entradas Analógicas.*

Resolución	14 bits
Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento (Todos los Canales)	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7.73 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	1.53 Mv
Número de Rangos	8
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	512

Salida Analógica: Indicación de los parámetros de trabajo en la transmisión de datos por los puertos analógicos.

*Tabla 3-3 Especificación de Salidas Analógicas.*

Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV
Razón de Actualización	150 S/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA

E/S Digital: Información de los canales de E/S de los puertos digitales.

*Tabla 3-4 Especificación de las I/O Digitales.*

Canales Bidireccionales	12
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Filtros de Entrada Programables	No
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	No
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	No
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V

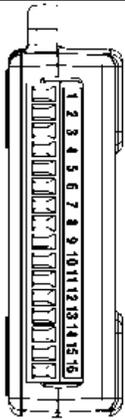
Contadores/Temporizadores: Información del canal Temporizador/Contador que posee la DAQ

Tabla 3-5 Especificación del contador de NI6009.

Número de Contadores/Temporizadores	1
Operaciones a Búfer	No
Eliminación de Rebotes	No
Sincronización GPS	No
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Generación de Pulso	No
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL

Asignación de pines Analógicos La DAQ cuenta con puertos de entradas y salidas analógicas que permiten un medio de conexión con el sensor que proporcionan señales eléctricas analógicas con rango de señales eléctricas acondicionadas para conectar a la DAQ y evitar inconvenientes, por el cual es importante conocer estos puertos.

Tabla 3-6 Indicador de pines Analógicos.

Modulo	Terminal	Nombre	Descripción
	1	GND	Tierra
	2	AI 0	Entrada analógica 0
	3	AI 4	Entrada analógica 4
	4	GND	Tierra
	5	AI 1	Entrada analógica 1
	6	AI 5	Entrada analógica 5
	7	GND	Tierra
	8	AI 2	Entrada analógica 2
	9	AI 6	Entrada analógica 6
	10	GND	Tierra
	11	AI 3	Entrada analógica 3
	12	AI 7	Entrada analógica 7
	13	GND	Tierra
	14	AO 0	Salida analógica 0
	15	AO 1	Salida analógica 1
	16	GND	Tierra

Asignación de pines Digitales Los puertos de E/S digitales cuentan con voltajes de salida que puede servir como alimentación para algún dispositivo que no suministre mucha corriente como por ejemplo enviar una señal a un transistor y llevarlo al estado de saturación. Por lo tanto, es indispensable conocer cuáles son estos pines los que se puede utilizar como entradas o salidas para activar ciertos circuitos eléctricos de potencia por medio de algún dispositivo electrónico.

Tabla 3-7 Asignación de pines Analógicos.

Modulo	Terminal	Nombre	Descripción
	17	P0.0	Puerto 0 Línea 0
	18	P0.1	Puerto 0 Línea 1
	19	P0.2	Puerto 0 Línea 2
	20	P0.3	Puerto 0 Línea 3
	21	P0.4	Puerto 0 Línea 4
	22	P0.5	Puerto 0 Línea 5
	23	P0.6	Puerto 0 Línea 6
	24	P0.7	Puerto 0 Línea 7
	25	P1.0	Puerto 1 Línea 0
	26	P1.1	Puerto 1 Línea 1
	27	P1.2	Puerto 1 Línea 2
	28	P1.3	Puerto 1 Línea 3
	29	PFI 0	Entrada Trigger
	30	2,5V	Voltaje de referencia
	31	5V	Fuente auxiliar
	32	GND	Tierra

### 3.1.4 Software LabVIEW.

Labview Labview (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. Los programas desarrollados con Labview se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc.

Características Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. Los programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VI). Pueden crearse programas de miles de VI (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean íconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- El tiempo de desarrollo de las aplicaciones se reduce al menos de 4 a 10 veces.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Ofrece la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la cual es utilizada para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios pueden observar los datos del programa actualizados en tiempo real. El panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador, los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación. La Figura 3-11 muestra el panel frontal del programa realizado para el registro de datos de voltaje y corriente.

Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho y constituye el código fuente del VI. El diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal Figura 3-11. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales, son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante las terminales. El diagrama de

bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

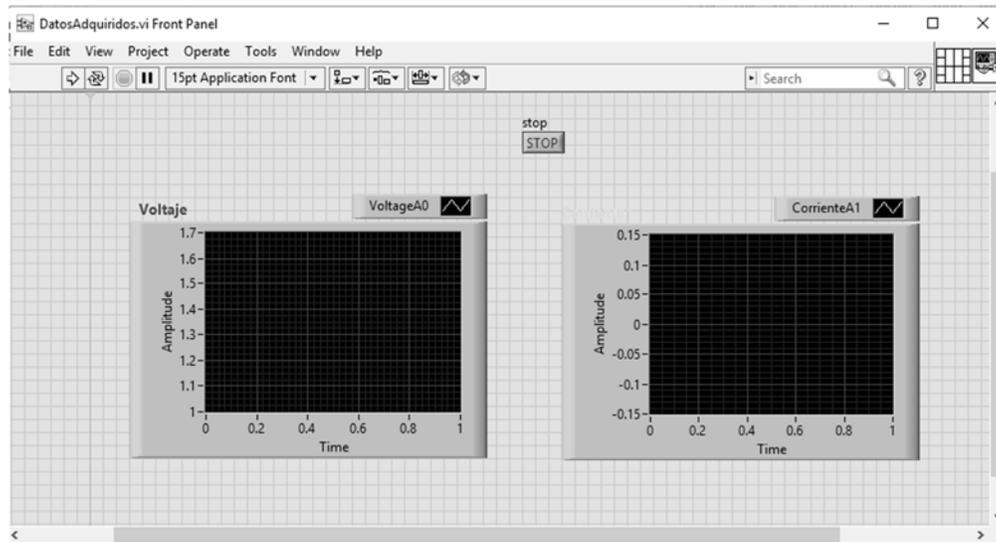


Figura 3-11 Panel frontal del software en LabVIEW.

### 3.1.5 Diagrama de Bloques en el software LabVIEW.

Es necesario conocer las principales herramientas que posee labVIEW para extraer datos a través de cualquier tipo de DAQ, a continuación, se muestra una breve descripción de las herramientas utilizadas para la programación.

**Interfaz de adquisición de datos (Daq assistant):** Crea, edita y ejecuta tareas utilizando NI-DAQmx. Si coloca el VI Express en el diagrama de bloques, el Asistente DAQ lanza para crear una nueva tarea. Después de crear una tarea, puede hacer doble clic en el DAQ Assistant Express VI para editar. Para la medición o generación continua, podemos colcar un bucle while en todo el DAQ Assistant Express VI. Usando el DAQ Assistant Express VI crea una tarea accesible sólo para el VI Express. Para hacer la tarea global accesible desde cualquier aplicación, debe convertir el VI Express para una tarea NIDAQmx guardado en MAX.

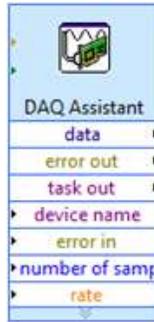


Figura 3-12 Interfaz de adquisición de datos.

**Interfaz para escribir un archivo de datos de registro (Write To Measurement File):**

Muestra la ruta completa al archivo en el que desea escribir los datos. El Express VI escribe datos en el archivo que este parámetro especifica solo si la entrada del nombre de archivo no está conectada. Si conecta la entrada del nombre de archivo, el VI escribe datos en el archivo que esta entrada especifica en su lugar.



Figura 3-13 Interfaz para escribir en el archivo de medición.

**Función para realizar una división (Divide Function):**

Calcula el cociente de las entradas: Si conecta dos valores de forma de onda o dos valores de tipo de datos dinámicos a esta función, aparecerán terminales de error in y error out en la función. El panel del conector muestra los tipos de datos predeterminados para esta función polimórfica.

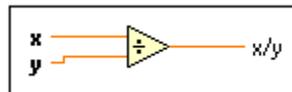


Figura 3-14 Función de división.

**Función para realizar una resta (Subtract Function):**

Calcula la diferencia de las entradas: Si conecta dos valores de forma de onda o dos valores de tipo de datos dinámicos a esta función, aparecerán terminales de error in y error out en la función. Al restar dos valores de marca de tiempo, se obtiene un valor numérico (diferencia en el tiempo) y al restar un valor

numérico de un valor de marca de tiempo, se obtiene una marca de tiempo. No puede restar un valor de marca de tiempo de un valor numérico. Las dimensiones de las dos matrices que desea restar deben ser las mismas. De lo contrario, esta función devuelve una matriz vacía. El panel del conector muestra los tipos de datos predeterminados para esta función polimórfica.

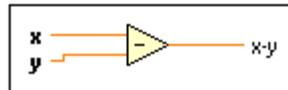


Figura 3-15 Función de resta.

**Función para fusionar señales (Merge Signals Function):** Fusiona dos o más señales compatibles, como los valores numéricos escalares, matrices 1D o 2D de números, booleanos escalares, matrices 1D o 2D de booleanos, formas de onda o matrices 1D de formas de onda, en una única salida. Cambiar el tamaño de la función para agregar entradas. Esta función aparece automáticamente en el diagrama de bloques cuando se conecta una salida de señal a la rama de cable de otra señal.

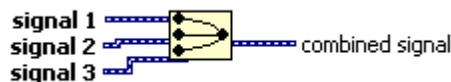


Figura 3-16 Fusión de señales.

**Función de temporizador (Wait Until Next ms Multiple Function):** La función, hace dormir a una aplicación hasta que el valor de tiempo sea igual a un múltiplo del tiempo establecido en la entrada. Por ejemplo, si se utiliza esta función estableciendo como tiempo de entrada 100 ms y si la aplicación ha terminado de ejecutarse en el tiempo 112 ms, la función mandara dormir a la aplicación hasta que el tiempo llegue a ser múltiplo del tiempo de entrada. Esta función realiza llamadas al sistema asíncronas, pero los nodos funcionan de forma síncrona. Por lo tanto, no se completa la ejecución hasta que haya transcurrido el tiempo especificado.



Figura 3-17 Función de temporizador.

**Función para mostrar el gráfico de forma de onda (Waveform Graph):** Permite la visualización dinámica de los datos desplazándolos sobre el eje horizontal, muestra un

arreglo de datos capturados por la DAQ convirtiendo las entradas analógicas a digitales. Se actualiza cuando todos los puntos se han colectado. Se puede usar un ciclo. Se puede cablear una salida escalar directamente a un gráfico Waveform para mostrar un diagrama.



Figura 3-18 Gráfico de forma de onda.

**Función para Ciclo While:** Las estructuras de ejecución contienen secciones de código gráfico y controlan cómo y dónde el código dentro se ejecuta. Las estructuras de ejecución más comunes son Ciclos While, Ciclos For y Estructuras de Casos los cuales puede usar para ejecutar la misma sección del código varias veces o para ejecutar una sección diferente del código basada en alguna condición.

Similar a un Ciclo Do o a un Ciclo Repeat-Until en lenguajes de programación basados en texto, un Ciclo While, que se muestra en la Figura 3-19, ejecuta el código que contiene hasta que ocurre una condición.

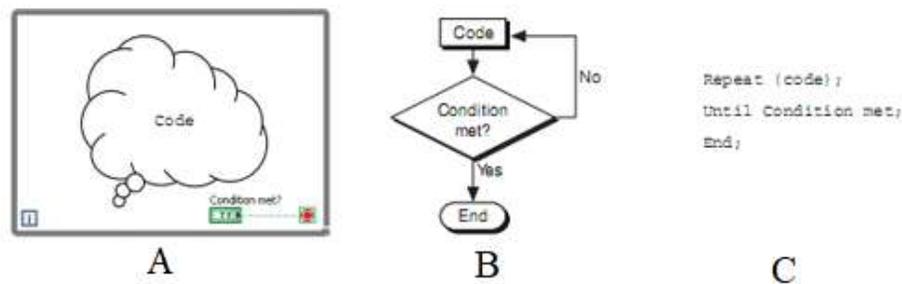


Figura 3-19 A) Ciclo While de LabVIEW, B) Diagrama de Flujo y C) Código Pseudo.

La Figura 3-19, muestra un Ciclo While en LabVIEW, un diagrama de flujo equivalente a la funcionalidad de Ciclo While y un código de ejemplo pseudo de la funcionalidad del Ciclo While.

El Ciclo While ejecuta el código que contiene hasta la terminal condicional, una terminal de entrada, recibe un valor Booleano específico. También puede realizar manejo básico de error usando la terminal condicional de un Ciclo While.

### **3.1.6 Descripción de la programación gráfica con LabVIEW.**

Se leen las señales, por los puertos de entradas analógicas AI 0 y AI 1, las cuales son enviadas al bloque “DAQ Assistant” de este bloque entra a una fusión de los datos de voltaje y corriente al bloque “Merge Signals Function” saliendo dos señales independientes de voltaje y corriente, donde cada una de ellas se les realiza los ajustes de offset a cero y del valor unitario (por las respuestas lineales que presentan los sensores de voltaje y de corriente). El ajuste de valor unitario se realiza cuando LabView y la DAQ entregan un valor de 1 Volt ó 1 Amper, y en las entradas de los sensores voltaje y de corriente es igual a 1 V y a 1 A respectivamente, posteriormente estas dos señales ya ajustadas se muestran en Gráficas independientes (Waveform Graph) una para el voltaje y otra para corriente. Ya para finalizar el registro de las dos señales se enviarán a una fusión de señales (“Merge Signals Function”) para guardar todo el registro de las muestras en un Archivo de Excel diferente, en cada vez que se corra el programa con el bloque (“Write To Measurement File”) en LabView. Toda la estructura de programación antes mencionada se localiza dentro de una función While de ciclo infinito con su botón de paro, para dejar de hacer la captura de datos y el registro tal como se observa en la Figura 3-20 las partes de la programación gráfica.

### **3.1.7 Conexión Labview - DAQ NI6009.**

Inicialmente para establecer la configuración de conexión del dispositivo debemos conectar por medio del cable USB el equipo. Después de haber conectado a la PC podemos verificar la conexión con el software Measurment & Automation Explorer que se instala junto a Labview en el momento de instalación.

Pasos para verificar la presencia de la DAQ NI6009

1. Abrimos el software Measurment & Automation Explorer.
2. Clic en Devices and Interface.
3. Clic en Test Panels.

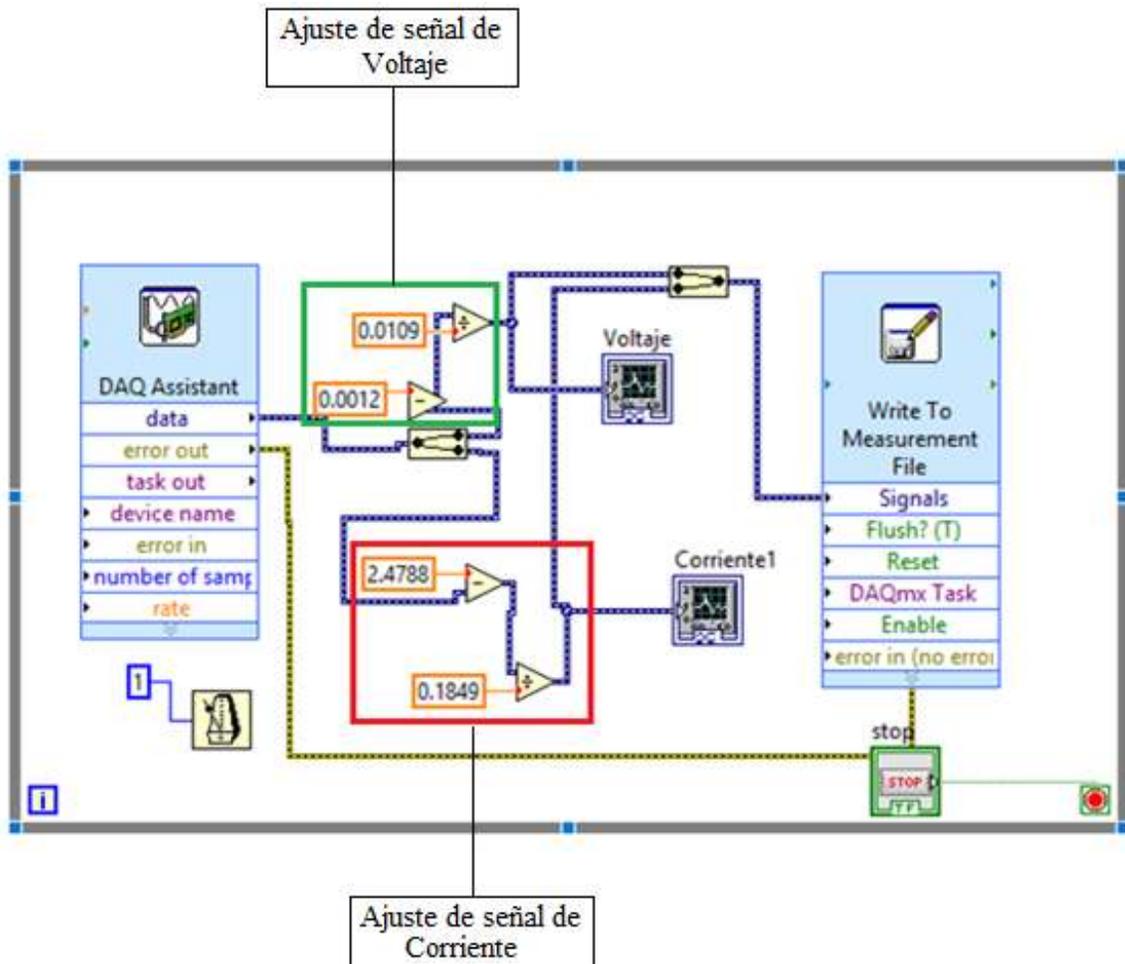


Figura 3-20 Diagrama de bloques efectuado en LabVIEW.

### 3.1.8 Conexión de la DAQ NI6009 -Sensores de voltaje y corriente.

La DAQ tiene un cableado para adquisición de señales de voltaje y corriente en los puertos analógicos tales como: AI 0, AI 1 para los dos sensores.

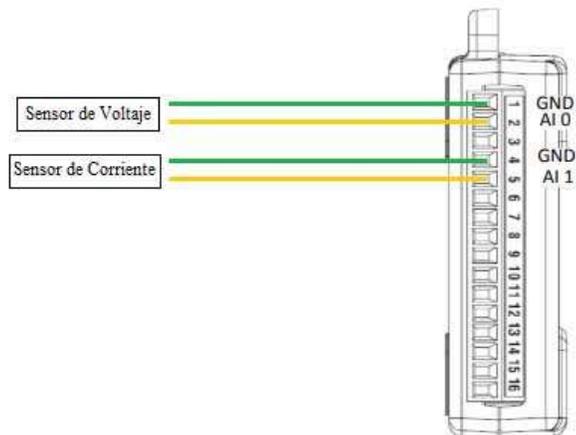


Figura 3-21 Puertos Analógicos para los sensores.

### **3.1.8.1 Configuración de entradas analógicas para adquisición de datos en LabVIEW.**

Para definir E/S analógicas o digitales es necesario realizar desde labview en el Panel de Diagrama de Bloques con la herramienta DAQ Assist, el cual permite configurar los puertos que posee la DAQ NI 6009.

Los pasos a seguir para configuración de E/S se muestran a continuación:

- Desde el Diagrama de Bloques dando Clic derecho buscamos la herramienta DAQ ASSIST Escogemos la opción de acuerdo al tipo de señal que desea ingresar (A/D) o a su vez generar (A/D).
- Seleccionamos los puertos a utilizar y Clic en Finish.

Revisamos el diagrama de conexión para evitar inconvenientes y finalmente Clic en OK y estamos listos para importar o exportar datos.

## **3.2 Descripción de las pruebas.**

A continuación, se describen de manera general las pruebas a realizar con el kit anteriormente mencionado en un orden de interés, del comportamiento de una instalación de un SFVA en el nodo de CD, y como las diferentes se comportarán en CA, al observar sus posibles cambios de voltaje, corriente y temperatura en los conductores.

### **3.2.1 Observar cómo se comporta un elemento con corrosión en el SFVA.**

En la prueba de elemento de corrosión se usará un Socket dañado por corrosión, con una lámpara incandescente de 150 W, para observar cómo se comporta el SFVA y la temperatura del conductor, debido a que principalmente son instalados en lugares propensos a cambios bruscos de temperatura, Humedad, lluvias, etc. Que son las principales causas de que se presenta el fenómeno de corrosión.

### **3.2.2 Observar el comportamiento del SFVA con una carga fija de 40 $\Omega$ .**

Observar el comportamiento del voltaje y la corriente del SFVA en el nodo de CD, cuando se tiene una carga resistiva de 40  $\Omega$  que es aproximadamente la cuarta parte de la potencia

máxima de su región de operación de un SFV de 1.5 KW<sub>P</sub> en su punto máximo de irradiación y analizar la temperatura de los conductores simulando fallas de falso contacto.

### 3.2.3 Observar cómo se comporta el SFVA con una carga variable de 360 W.

Al igual que la carga fija, la carga variable de 360 W es cercana a la cuarta parte de su región de operación, la carga de 1.5 KW<sub>P</sub> en su punto máximo de irradiación. La cual está compuesta por un arreglo en paralelo de tres lámparas incandescentes de 100 W, 110 W y 150W teniendo en total los 360 W a 127 V, para simular la instalación de iluminación en el nodo de CD de un SFVA, donde primeramente se hace la prueba de falso contacto con esta carga, después se realiza la variación de cargas, simulando la conexión y desconexión de lámparas como ocurre en un sistema de iluminación eléctrico real.

### 3.2.4 La conexión del Kit de pruebas.

En la Figura 3-22 se observa la conexión general del kit en las diferentes pruebas, desde la alimentación que realizaron en el nodo de CD del SFVA y la CA (Fuente), para los circuitos de pruebas mencionados anteriormente, así como la conexión de los sensores quienes poseen alimentación externa, después las salidas de los sensores se conectan a la tarjeta DAQ para adquisición de datos con labVIEW, en un archivo de Excel; sin olvidar que todas las fuentes que alimentan los sensores y la alimentación de la DAQ deben tener una tierra en común (punto de referencia).



Figura 3-22 Conexión del kit de pruebas.

# **CAPÍTULO IV**

## **PRUEBAS EN SFVA EN EL NODO DE CD.**

#### 4 PRUEBAS AL SFVA EN EL NODO DE CD.

Las pruebas se realizaron al SFVA de 1.5 KW<sub>p</sub> instalado en el laboratorio de ingeniería eléctrica (LIE) de la UMNSH instalado en el edificio “G” de Ciudad Universitaria (CU) Morelia Michoacán. En la Figura 4-1 se puede observar el SFVA instalado en el techo del edificio.



*Figura 4-1 Imagen de localización.*



*Figura 4-2 Sistema fotovoltaico autónomo.*

## 4.1 Características del SFVA.

Las características de cada uno de los seis paneles fotovoltaicos de 250 W<sub>p</sub> ensamblados en México, de la empresa ERDM SOLAR, se muestra en la Tabla 4-1 donde se observan sus datos característicos.

Tabla 4-1 Tabla característica del panel solar ERDM SOLAR.

 ORGULLOSAMENTE HECHO EN MEXICO		
Berger Solar Simulator		
Serial No.	1311111371	
Module Type	ERDM 250P/6	
Pmax	250	Watts
I <sub>mp</sub>	8.60	Amps
V <sub>mp</sub>	29.66	Volts
V <sub>oc</sub>	38.09	Volts
I <sub>sc</sub>	8.97	Amps
Temperatura	25°	Celcius
<b>Max.System Volt</b>	1000 Volts	
<b>Max.Fuse Rating</b>	15 Amp	
<b>Cell Technology</b>	Multi Si Cells	

El SFVA se encuentra conectado tal como se observa en la Figura 4-3, teniendo acceso solo en la unión en paralelo contando con 100.3 V de alimentación aproximadamente en cada una de las pruebas realizadas.

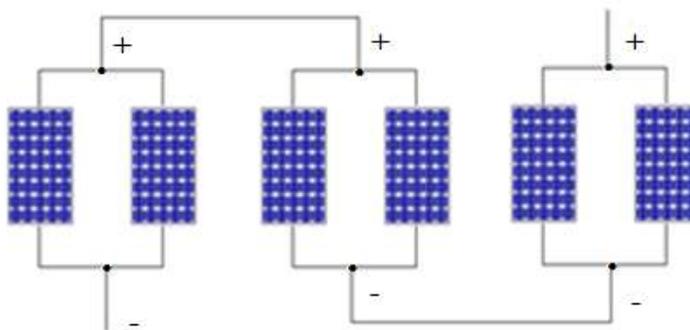


Figura 4-3 Arreglo del SFVA.

## 4.2 Equipos de medición.

Medidor de irradiación solar: El solarímetro SM-206 tiene la capacidad de medir la intensidad de la radiación con exactitud de manera fácil y rápida. En la



Figura 4-4 equipos de medición A) Irradiación solar, B) Cámara termográfica y C) Multímetro digital.

A) se observa el equipo que fue utilizado para monitorear la radiación solar con la que se contaba cada vez que se realizaba cada una de las pruebas del SFVA.

Cámara termografía: FLIR i3, es pequeña y ligera. Es sólo cuestión de «apuntar, apretar y detectar» para lograr imágenes con información infrarroja que se necesita. En la

### 4.3 Prueba de la instalación al SFVA en el nodo de CD utilizando un socket con corrosión y carga resistiva.

Del kit de pruebas se utilizó, el sensor de corriente y voltaje, la tarjeta DAQ, LabVIEW y tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_l$  y  $V_{in}$ . Para el experimento se utilizó un socket con el fenómeno de corrosión tal como se observa en la Figura 4-5, alimentando una carga de 150 W de una lámpara incandescente bajo la condición de 120 V en CA.



*Figura 4-5 Socket utilizado para la prueba de corrosión.*

Para la prueba se cambió el cable en las terminales del socket, para que todas las conexiones del circuito tuvieran un mismo conductor, cuidando que el efecto de corrosión permaneciera en las terminales, utilizando un conductor calibre 12 AWG de la marca VIAKON que soporta temperaturas no mayores a 90 °C y un voltaje de 600 V. El circuito y las conexiones

efectuadas se observan en la Figura 4-6, teniendo una irradiación solar de  $1243 \text{ W/m}^2$  que es lo equivalente a  $99.5 \text{ V}$  en CD.

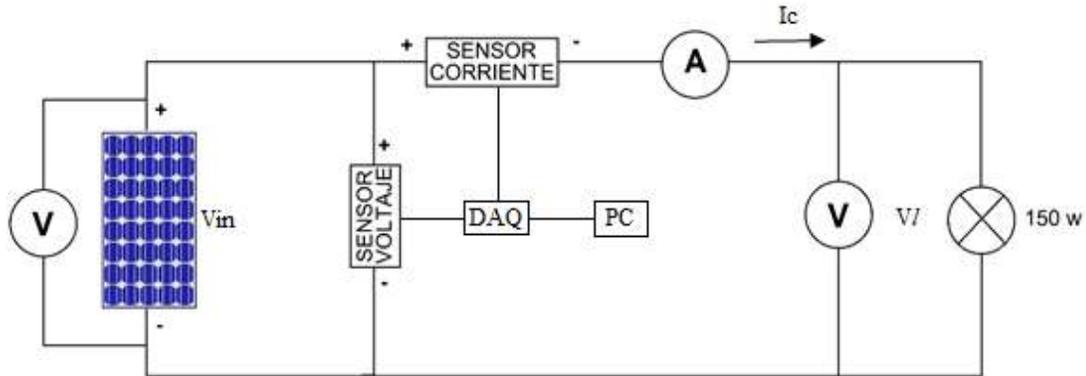


Figura 4-6 Diagrama del circuito para la prueba con el socket con corrosión.

en la Figura 4-7 se observa la imagen de la prueba realizada con el socket con corrosión, ya con el conductor cambiado en el socket y el equipo utilizado, teniendo amarres bien ejecutados y aislamiento con cinta adhesiva de presión ya que es capaz de resistir condiciones de temperaturas extremas, corrosión, humedad y altos voltajes.

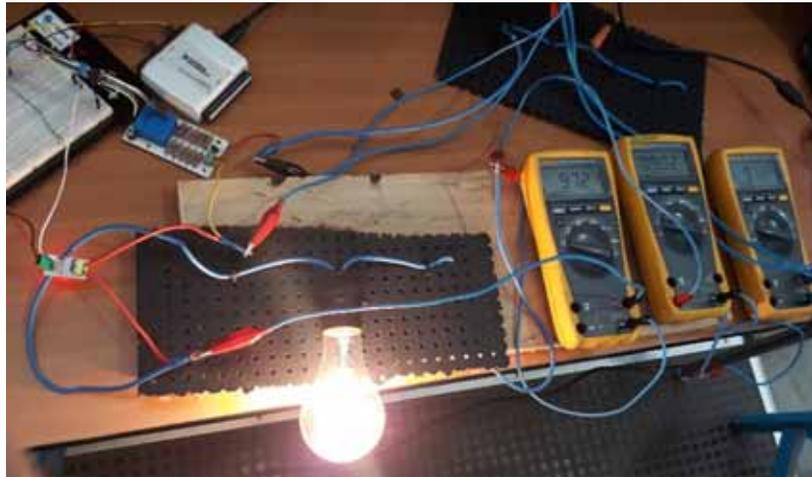


Figura 4-7 Circuito ejecutado con el socket y carga de  $150 \text{ W}$ .

En la Tabla 4-2 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas del socket con corrosión y una carga de  $150 \text{ W}$ , teniendo una potencia de  $84.74 \text{ W}$  y una regulación de voltaje de  $2.21\%$ , lo cual nos indica una pérdida mínima del  $2\%$  en SFVA.

Radiación solar	Temperatura		Voltaje en vacío	Voltaje con carga ( $V_{in}$ )	Corriente con carga ( $I_c$ )	Voltaje lámpara ( $V_l$ )	Potencia $P_{CD} = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje $VR_{CD}$
	SFVA	Conductor						

1243 $W/m^2$	66.3 °C	23.6 °C	99.5 V <sub>CD</sub>	97.6 V <sub>CD</sub>	0.921 A <sub>CD</sub>	97.1 V <sub>CD</sub>	84.74 W	2.21 %
-----------------	---------	---------	----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	---------	--------

Tabla 4-2 Datos de la primera prueba del banco de pruebas.

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CD, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 4-8 se muestra la gráfica de voltaje en Excel con los datos muestreados con el sensor de voltaje, la tarjeta DAQ y labVIEW quienes son los elementos del kit de pruebas, donde no se observa ningún cambio en la señal, teniendo una carga lineal de 97.3 V de CD. Para la prueba se tiene un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s de muestra.

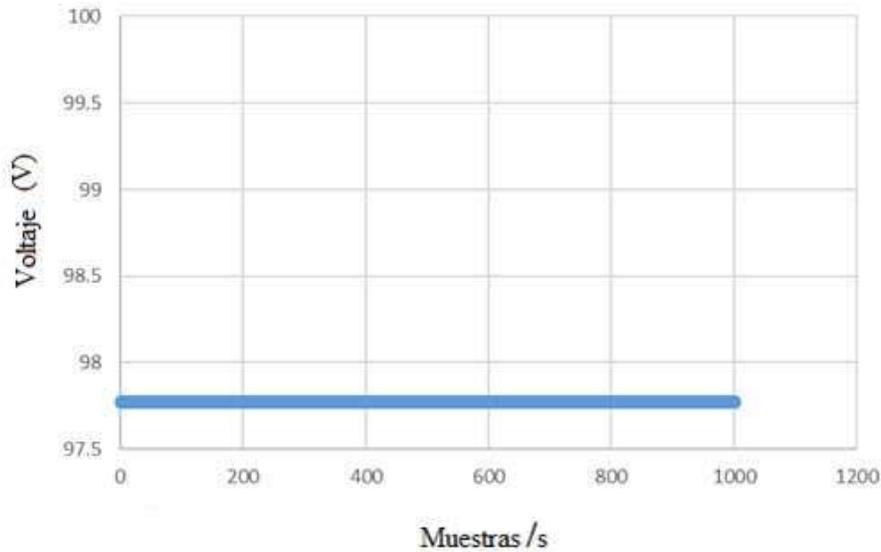


Figura 4-8 Gráfica de voltaje de la prueba con el socket con corrosión.

En la Figura 4-9 se muestra la gráfica de corriente en Excel con los datos muestreados, no se observa ningún cambio durante un segundo, teniendo una corriente lineal de 0.90 A. Se tiene un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s de muestra.

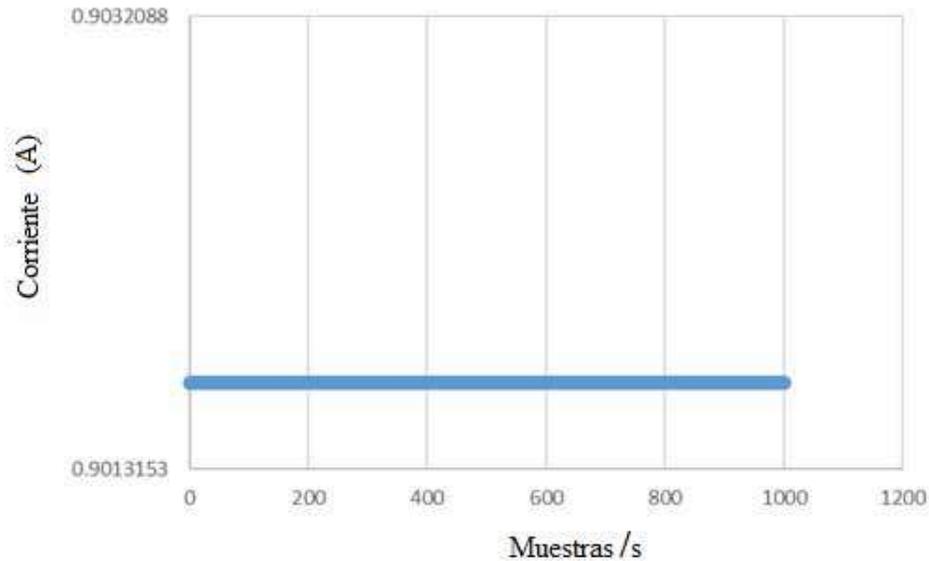


Figura 4-9 Gráfica de corriente de la prueba con el socket con corrosión.

#### 4.4 Pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga fija de 40 $\Omega$ .

Utilizando el kit de pruebas y adicionalmente tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_r$  y  $V_{in}$  y para las conexiones se utiliza un conductor calibre 12 AWG de la marca VIAKON THW y una carga resistiva de alambre nicromo de 40  $\Omega$ . Se realizarán las pruebas sin falso contacto y con falso contacto para observar cómo se comporta el SFVA ante esta falla.

##### 4.4.1 Prueba sin falso contacto.

En la Figura 4-10 se muestra el circuito realizado sin ningún falso contacto, con amarres en las uniones bien ejecutados y aislados para observar cómo se comporta el SFVA y tener un registro numérico con la carga de 40  $\Omega$ , equivalente a 270 W considerando el voltaje en vacío de 100.4 V, con una irradiación solar de 1219  $W/m^2$  equivalente a 100.4 V.

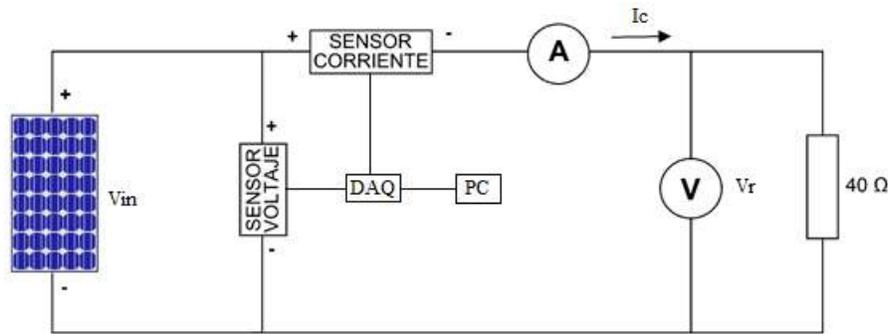


Figura 4-10 Diagrama del circuito con carga fija de  $40 \Omega$  sin falso contacto.

En la Figura 4-11 A) se observa la detección de puntos calientes en el circuito con la cámara termográfica y en la Figura 4-11 B) se observa el circuito ejecutado con el kit de pruebas y la carga fija de  $40 \Omega$ .



Figura 4-11 Imagen A) registro de temperatura, B) Circuito ejecutado con carga fija de  $40 \Omega$ .

En la Tabla 4-3 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas con la carga de  $40 \Omega$  sin falso contacto teniendo una potencia de 219.02 W y una regulación de voltaje de 8.06 %, lo cual nos indica una pérdida de más del 8% en SFVA.

Tabla 4-3 Datos de la prueba con carga de  $40 \Omega$ , sin falso contacto.

Radiación solar	Temperatura		Voltaje en vacío	Voltaje con carga ( $V_{in}$ )	Corriente con carga ( $I_c$ )	Voltaje resistencia ( $V_r$ )	Potencia $P_{CD} = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje $VR_{CD}$
	SFVA	Conductor						
1219 $W/m^2$	55.7 °C	24.4 °C	100.4V <sub>CD</sub>	92.3 V <sub>CD</sub>	2.373 A <sub>CD</sub>	91.7 V <sub>CD</sub>	219.02 W	8.06 %

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CD, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 4-12 se observa la gráfica voltaje sin ningún cambio en su forma de señal de 92.3 V, con un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s.

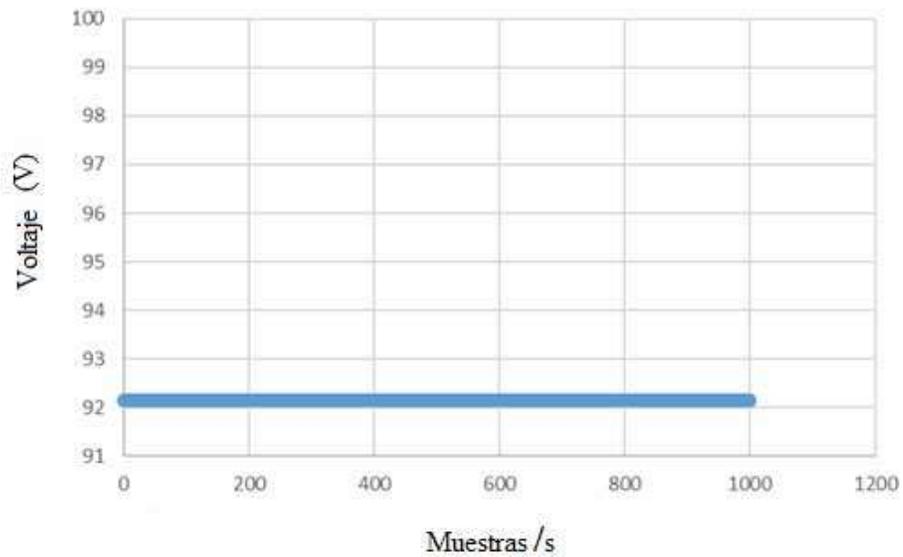


Figura 4-12 Gráfica de voltaje de la prueba con carga de  $40 \Omega$ , sin falso contacto.

En la Figura 4-13 se observa la gráfica de Corriente sin ningún cambio en su forma de señal con un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s.

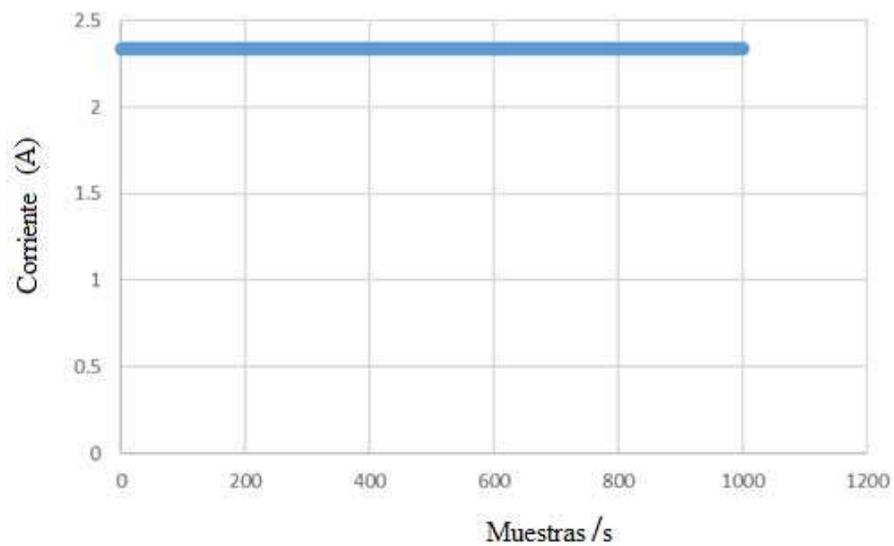


Figura 4-13 Gráfica de corriente de la prueba sin falso contacto.

#### 4.4.2 Prueba con falso contacto.

En la Figura 4-14 se muestra el circuito realizado con amarres mal ejecutados sin aislar, para provocar un falso contacto y observar cómo se comporta el SFVA y tener un registro numérico con la carga de  $40 \Omega$ . Con una irradiación solar de  $1195 \text{ W/m}^2$  equivalente a  $100.5 \text{ V}$ .

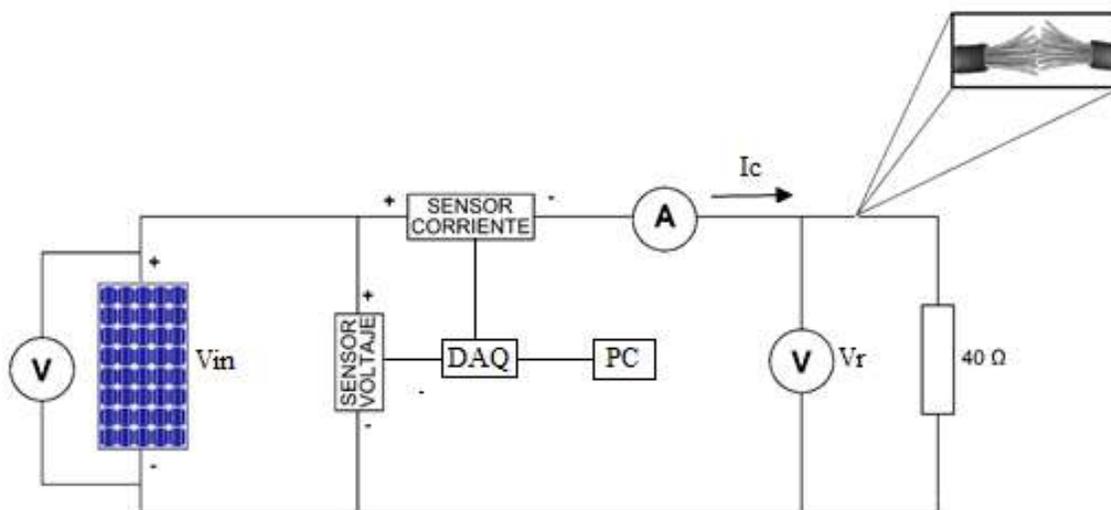


Figura 4-14 Diagrama del circuito con carga fija de  $40 \Omega$  y falso contacto.

En la Figura 4-15 se observa el falso contacto provocado en el circuito de la Figura 4-14, obteniendo una flama color verde y muy intensa, donde fue necesario tomar medidas de seguridad al momento de ejecutar el falso contacto debido al riesgo de sufrir alguna quemadura.



*Figura 4-15 Imagen del falso contacto provocado con carga fija de 40  $\Omega$ .*

En la Tabla 4-4 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas registrando los valores máximos y mínimos a la hora de ejecutar el falso contacto, ya que no existen valores fijos ante la falla. Se detecta una mayor temperatura en el conductor donde se ejecuta el falso contacto, alcanzando los 96.2 °C.

*Tabla 4-4 Datos de la prueba con carga fija 40  $\Omega$  y falso contacto.*

Radiación solar	Temperatura		Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima	Corriente mínima
	SFVA	Conductor				
1195 $W/m^2$	70.2 °C	96.2 °C	100.5 $V_{CD}$	90.15 $V_{CD}$	2.487 $A_{CD}$	0 $V_{CD}$

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de muestra obtenida con el kit de pruebas con más de un minuto, es decir más de 60 000 Muestras/s las cuales se analizan mediante la señal de CD, si se detecta algún cambio en ellas es ahí donde se enfoca el análisis de cada gráfica.

En la Figura 4-16 se observa la caída del voltaje nominal durante el periodo donde se ejecuta el falso contacto, se tiene un registro de 35 000 Muestras/s equivalente a 35 s, teniendo 30 s con la falla de falso contacto.

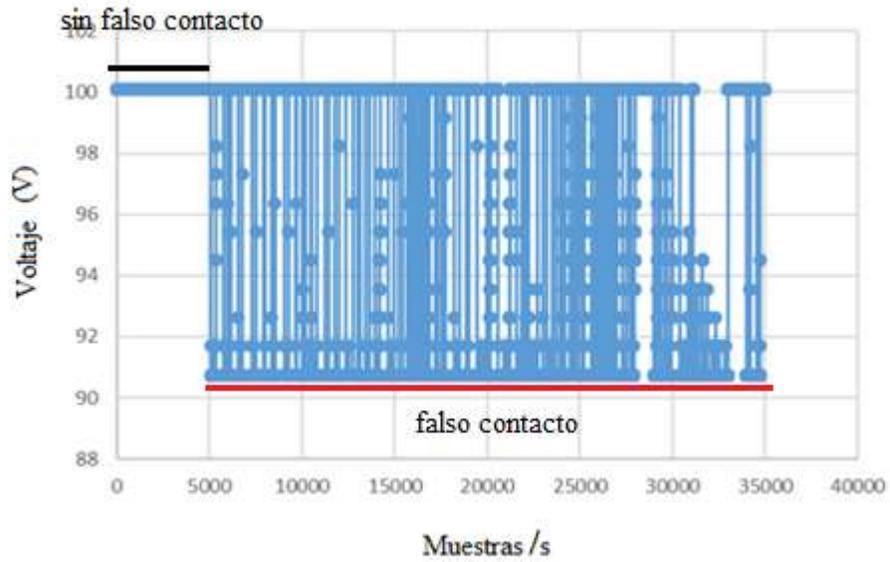


Figura 4-16 Gráfica de voltaje de la prueba con carga fija  $40 \Omega$  y falso contacto.

En la Figura 4-17 se observa el aumento de la corriente nominal durante el periodo donde se ejecuta el falso contacto, se tiene un registro de 35 000 Muestras/s equivalente a 35 s.

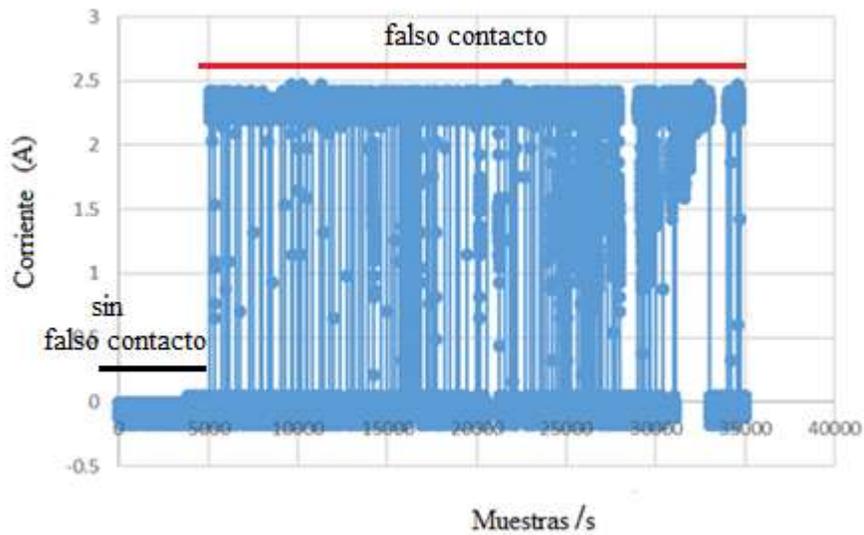


Figura 4-17 Gráfica de corriente prueba con carga fija  $40 \Omega$  y falso contacto.

#### 4.5 Pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga de 360 w.

Para la ejecución de esta prueba se utilizará una carga resistiva de 360 W con un arreglo en paralelo de tres lámparas incandescentes de 100 W, 110 W y 150 W, con una condición de voltaje de 120 V en CA. Utilizando el kit de pruebas y tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_I$  y  $V_{in}$ , se realizarán tres pruebas con dicha carga las cuales son sin falso contacto, con falso contacto y carga variable para observar cómo se comporta el SFVA ante estas circunstancias. Se utilizó un conductor calibre 12 AWG de la marca VIAKON.

##### 4.5.1 Prueba sin falso contacto.

En la Figura 4-18 se muestra el circuito realizado sin ningún falso contacto, con amarres en las uniones bien ejecutados y aislados para observar cómo se comporta el SFVA y tener un registro numérico con la carga de 360 W. Con una irradiación solar de  $1027 \text{ W/m}^2$  equivalente a 100.2 V

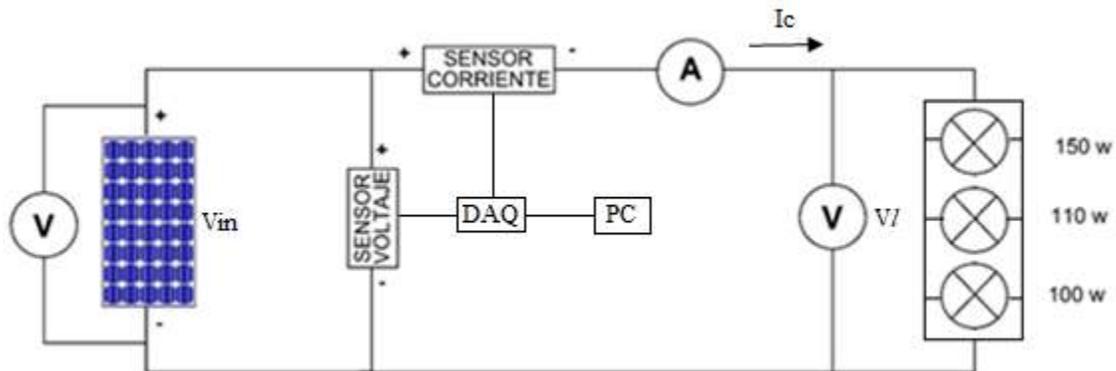


Figura 4-18 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.

En la Tabla 4-5 se muestran los datos obtenidos con el kit de pruebas de la carga fija sin falso contacto, se observa una potencia de 107.86 W y una regulación de voltaje de 41.17%.

Tabla 4-5 Datos de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.

Radiación solar	Temperatura		Voltaje en vacío	Voltaje con carga ( $V_{in}$ )	Corriente con carga ( $I_c$ )	Voltaje lámparas ( $V_I$ )	Potencia $P_{CD} = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje $VR_{CD}$
	SFVA	Conductor						
$1027 \text{ W/m}^2$	$65.3 \text{ }^\circ\text{C}$	$26.3 \text{ }^\circ\text{C}$	$100.2 \text{ V}_{CD}$	$58.94 \text{ V}_{CD}$	$1.839 \text{ A}_{CD}$	$58.75 \text{ V}_{CD}$	107.86 W	41.17 %

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de muestra obtenida con el kit de pruebas con más de 60 000 Muestras/s las cuales se analizan mediante la señal de CD.

En la Figura 4-19 se observa la gráfica de voltaje sin ninguna perturbación en la señal de 58.94 V, con un registro de 40 000 Muestras/s equivalente a 40 s.

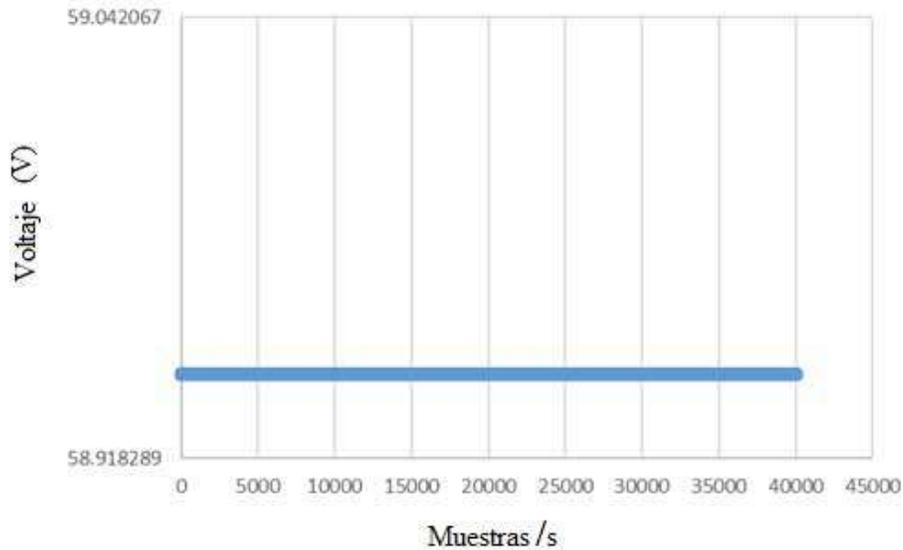


Figura 4-19 Gráfica de voltaje de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.

En la Figura 4-20 se observa la gráfica de corriente sin ninguna perturbación en la señal de 1.839 de CD, con un registro de 40 000 Muestras/s equivalente a 40 s.

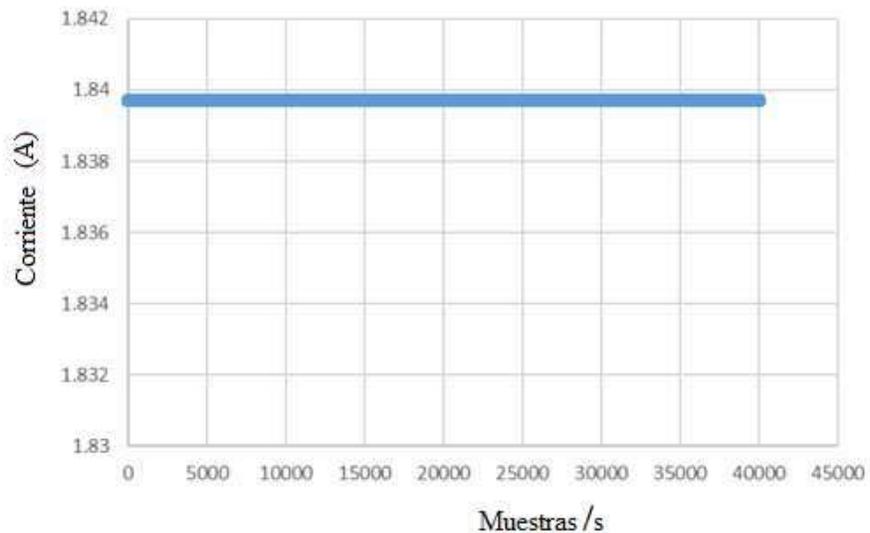


Figura 4-20 Gráfica de corriente de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto.

#### 4.5.2 Prueba con falso contacto.

En la Figura 4-21 se muestra el circuito realizado con amarres en las uniones mal ejecutadas sin aislar, para provocar un falso contacto y observar cómo se comporta el SFVA y tener un registro numérico con la carga de 360 W. Con una irradiación solar de  $1195 \text{ W/m}^2$  equivalente a 100.5 V en paneles solares.

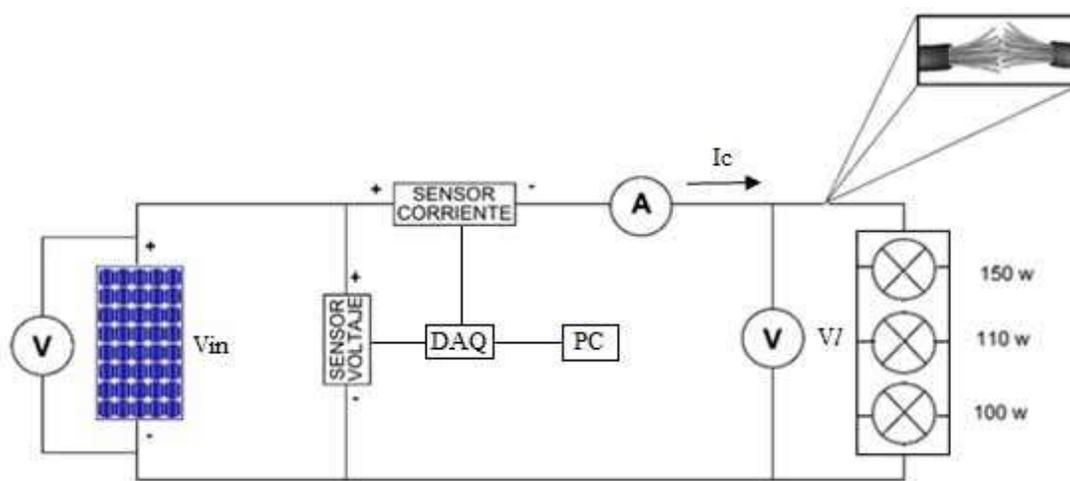


Figura 4-21 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 W y falso contacto.

En la Figura 4-22 se observa un destello de flama color verdosa al momento de ejecutar el falso contacto.

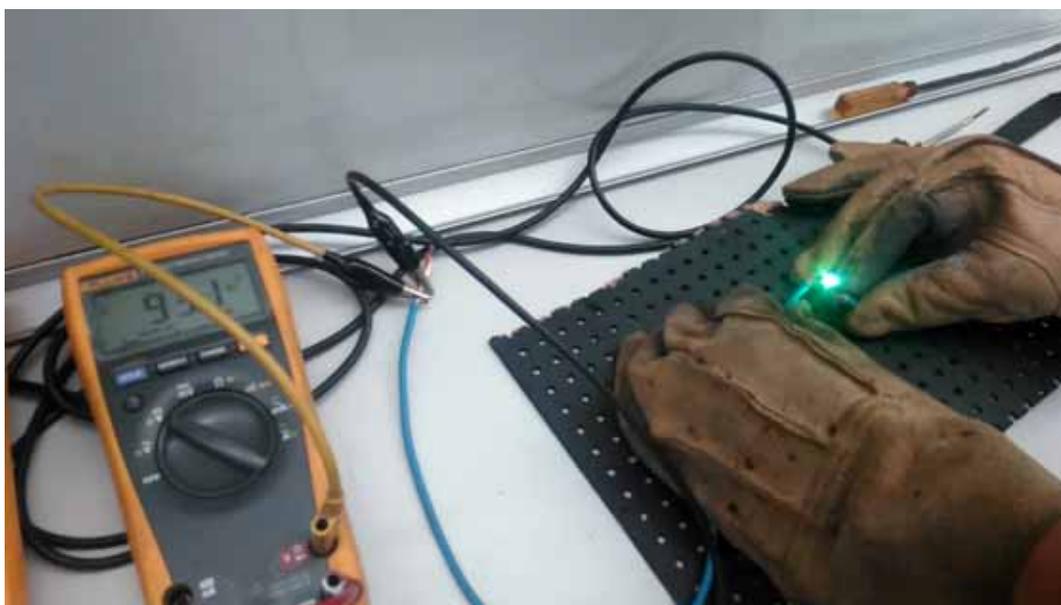


Figura 4-22 Imagen del falso contacto provocado con carga de 360 w.

En la

Radiación solar	Temperatura		Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
	SFVA	Conductor				
1195 W/m <sup>2</sup>	71 °C	96.7 °C	100.5 VCD	10.5 VCD	3.687 ACD	0 VCD

Tabla 4-6 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas registrando los valores máximos y mínimos a la hora de ejecutar el falso contacto, ya que no existen valores fijos ante la falla. Se detecta una mayor temperatura en el conductor alcanzando los 96.6 °C.

*Tabla 4-6 Datos de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.*

Radiación solar	Temperatura		Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
	SFVA	Conductor				
1195 W/m <sup>2</sup>	71 °C	96.7 °C	100.5 V <sub>CD</sub>	10.5 V <sub>CD</sub>	3.687 A <sub>CD</sub>	0 V <sub>CD</sub>

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de muestra obtenida con el kit de pruebas con más de un minuto, es decir más de 60 000 Muestras/s las cuales se analizan mediante la señal de CD, si se detecta algún cambio en ellas es ahí donde se enfoca el análisis de cada gráfica.

En la Figura 4-23 se observa una perturbación en el voltaje con picos de voltaje mínimos al valor en vacío, se tiene un registro de 50 000 Muestras/s equivalente a 50 s de muestra, se observa un cambio del voltaje durante 44 segundos.

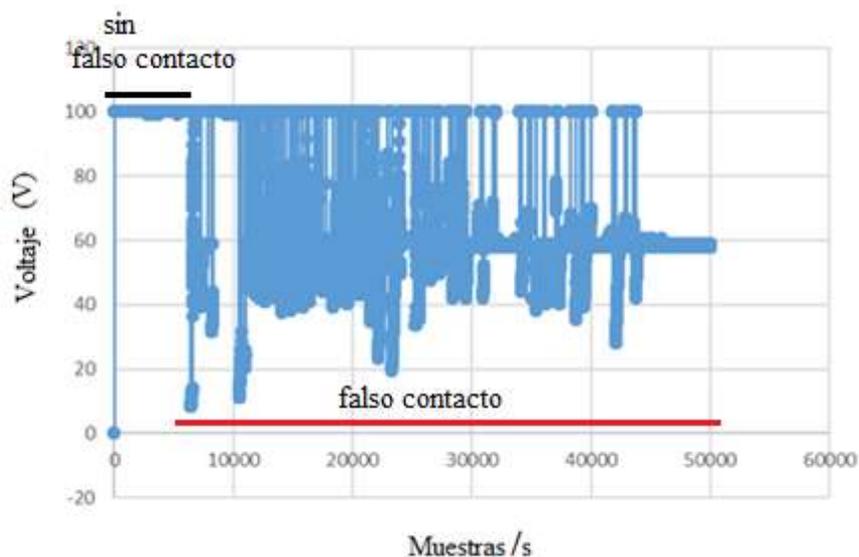


Figura 4-23 Gráfica de voltaje de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.

En la Figura 4-24 se observa una perturbación en la corriente con picos máximos de corriente alcanzando los 3.68 A, donde se tiene un registro de 50 000 Muestras/s equivalente a 50 s de muestra, se observa un cambio de la corriente durante 44 segundos.

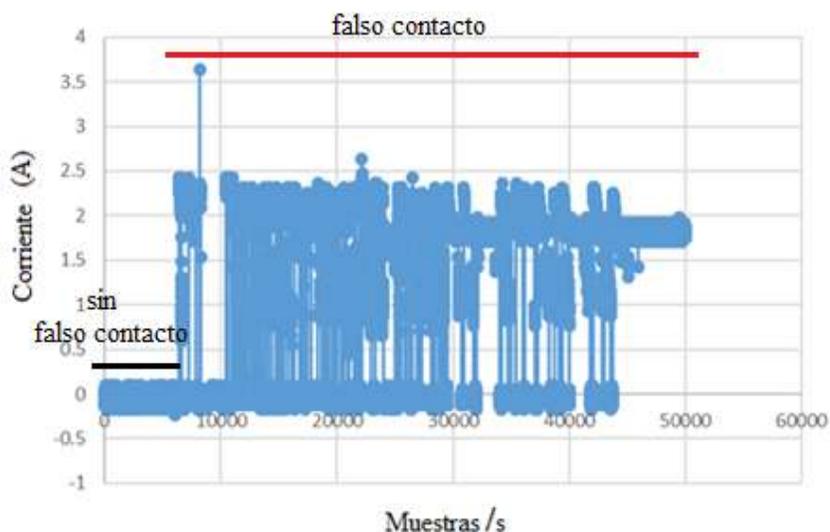


Figura 4-24 Gráfica de corriente de la prueba con falso contacto con carga de 360 W.

#### 4.5.3 Efecto de variación de la carga de 360 W.

La carga resistiva de 360 W trabaja bajo condiciones de operación de 120 V en CA, formada por tres lámparas incandescentes (100 w, 110 w y 150 w).

Se irá disminuyendo de menor a mayor carga, hasta quitar todas las lámparas, para observar cómo se comporta el SFVA y tener un registro numérico con carga variable de 360 W.

En la Figura 4-25 se muestra el circuito con la carga completa de las tres lámparas incandescentes teniendo un total de 360 w de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga completa en SFVA.

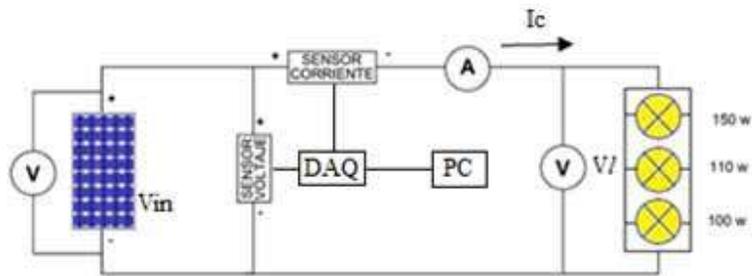


Figura 4-25 Diagrama del circuito para la prueba con carga completa de 360 w.

En la Figura 4-26 se muestra el circuito con la carga disminuida a dos lámparas incandescentes (110 W y 150 W) teniendo un total de 260 W de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en SFVA.

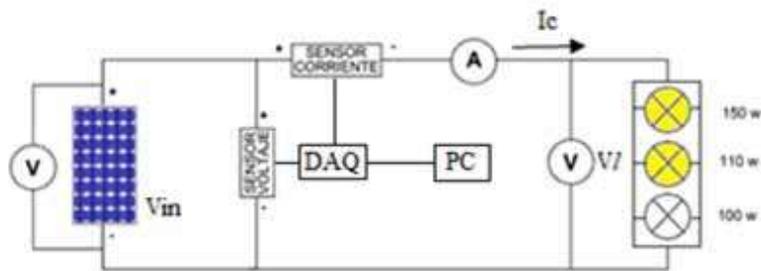


Figura 4-26 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 260 W.

En la Figura 4-27 se muestra el circuito con la carga disminuida a una sola lámpara incandescente teniendo un total de 150 w de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en SFVA.

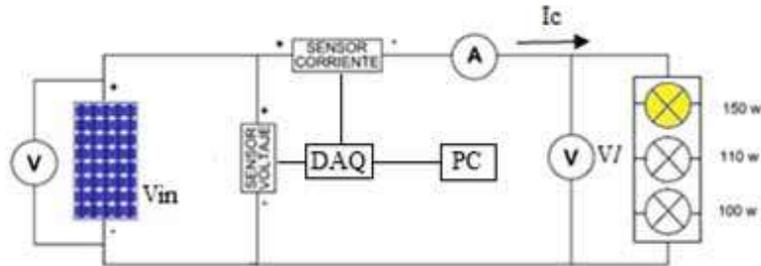


Figura 4-27 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 150 W.

En la Figura 4-28 se muestra el circuito sin ninguna carga conectada teniendo un total de 0 w de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en SFVA.

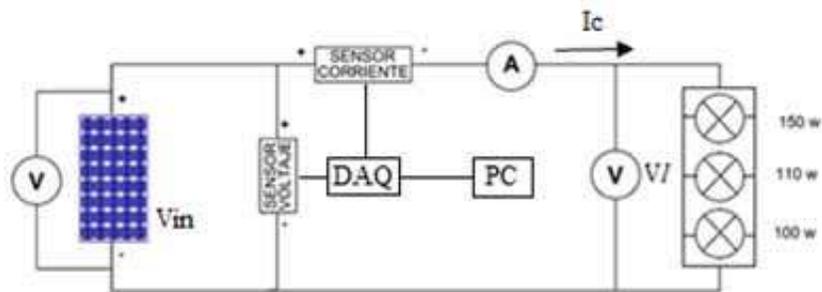


Figura 4-28 Diagrama del circuito para la prueba sin ninguna carga.

Posteriormente se fue conectando la carga de menor a mayor potencia. Se observa que:

- a mayor corriente, menor voltaje.
- a menor corriente mayor voltaje.

Esto debido a la naturaleza del panel.

En la Figura 4-29 se observa la gráfica de voltaje donde se aprecia una perturbación con la carga de 150 W, se tiene un voltaje pico provocado por el efecto joule es por ello que no es proporcional a la hora en que se vuelve a ir conectando la carga, se tiene un registro de 40 000 Muestras/s equivalente a 40 s.

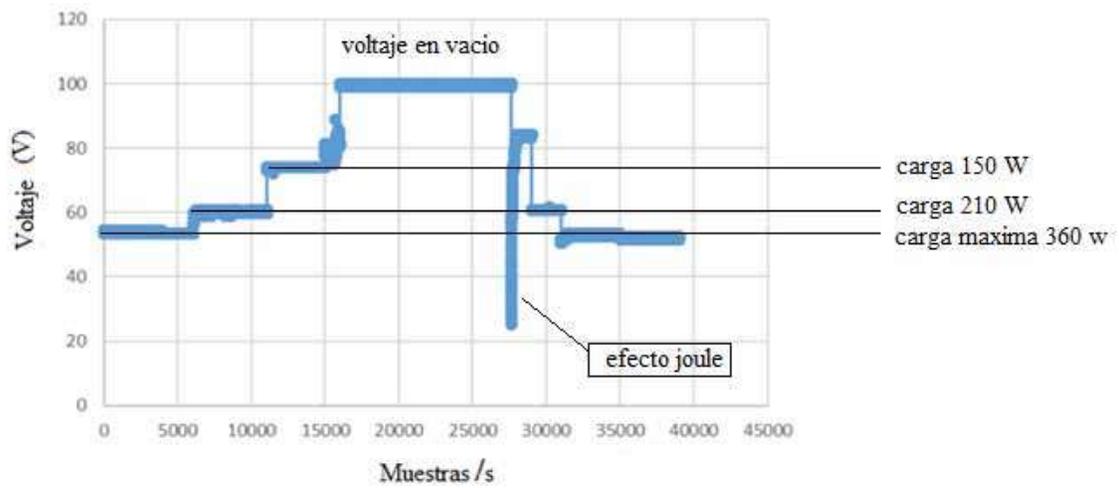


Figura 4-29 Gráfica de voltaje de la carga variable.

En la Figura 4-30 se observa la gráfica de corriente con la perturbación de offset, se tiene un registro de 40 000 Muestras/s equivalente a 40 s.

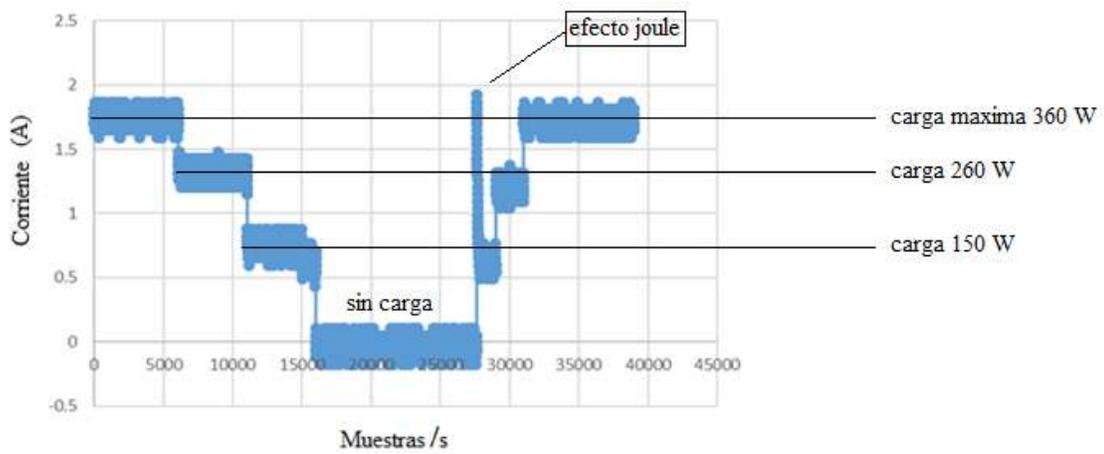


Figura 4-30 Gráfica de corriente de la carga variable.

# **CAPÍTULO V**

## **RÉPLICACIÓN DE PRUEBAS EN CA.**

## 5 RÉPLICA DE PRUEBAS EN CA.

En este capítulo se replican las fallas del SFVA con el mismo banco de pruebas y el equipo utilizado del capítulo 4; a excepción del medidor de irradiación solar. Utilizado las mismas condiciones de voltaje promedio, pero ahora con valores RMS (valor promedio cuadrático) en CA, es decir, si teníamos un voltaje de CD igual a 100 V, se ajustó la fuente de CA al mismo 100  $V_{RMS}$ . Con la intención de comparar las caídas de tensión RMS, los cambios de temperatura en los conductores y una fuente de CA que no se comporta como el SFVA.

La intención de replicar y comparar las pruebas en CA, es observar cómo se comportan las cargas y el conductor en la instalación de los circuitos.

### 5.1 Fuente de corriente alterna.

La fuente de CA que se utilizó se encuentra en LIE de la UMSNH que se utilizan para prácticas en el laboratorio, que es una fuente trifásica variable de 0-120  $V_{RMS}$ , para alimentar los circuitos resistivos, replicando los voltajes obtenidos del SFVA que oscilan en un rango de 98.87  $V_{CD}$  a 100.4  $V_{CD}$  para realizar las pruebas en CA.



Figura 5-1 Fuente de alimentación en CA.

## 5.2 Réplica de la Prueba de una instalación eléctrica con un socket con corrosión y carga resistiva en CA.

Para la réplica de la prueba se utilizó el mismo equipo para la prueba del SFVA en CD, lo único que cambia es la alimentación en CA, utilizando los mismos componentes del kit de pruebas y tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_I$  y  $V_{in}$ . Para el experimento se utilizó el mismo socket deteriorado por la corrosión que se observa en la Figura 4-5 del capítulo 4, alimentando la misma carga de una lámpara incandescente de 150 W bajo la condición de 120 V en CA.

El circuito implementado con el kit de pruebas y la alimentación en CA se observan en la Figura 5-2 utilizando el mismo conductor calibre 12 AWG en las conexiones del circuito.

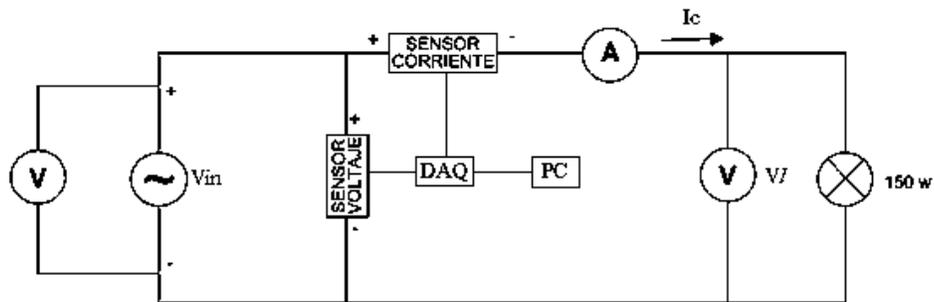


Figura 5-2 Diagrama del circuito para la prueba con el socket con corrosión en CA.

en la Figura 5-3 se observa la prueba implementada con el socket con corrosión y el equipo del kit de pruebas.

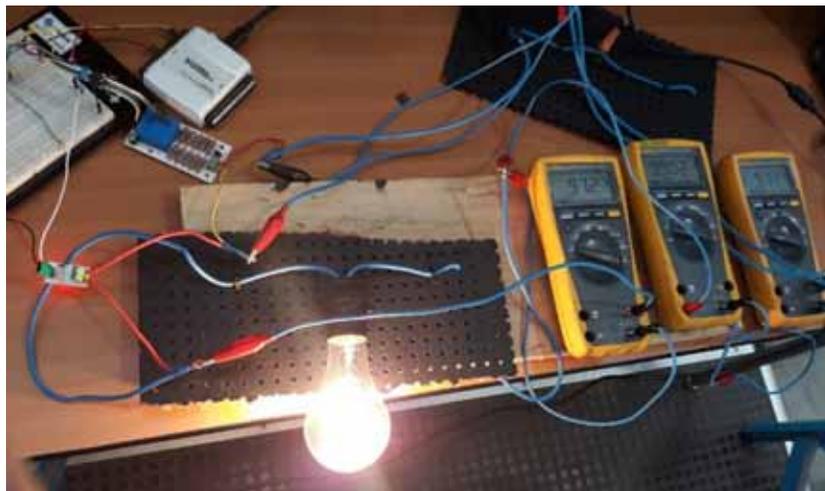


Figura 5-3 Imagen del circuito ejecutado prueba con el socket con corrosión en CA.

En la Tabla 5-1 se observan los resultados obtenidos con el kit de pruebas del socket con corrosión y una carga de 150 W, teniendo una potencia de 89.46 W y una regulación de voltaje de 2.27%.

Tabla 5-1 Datos prueba con el socket con corrosión en CA.

Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje con carga (Vin)	Corriente con carga (Ic)	Voltaje lámpara (Vl)	Potencia $P_{CA} = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje $V_{R_{CA}}$
23.2 °C	99.5V <sub>RMS</sub>	97.24V <sub>RMS</sub>	0.92 A <sub>RMS</sub>	97.3 V <sub>RMS</sub>	89.46 W	2.27 %

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de muestra obtenida con el kit de pruebas con más de un minuto, es decir más de 60 000 Muestras/s las cuales se analizan mediante la señal de CD, si se detecta algún cambio en ellas es ahí donde se enfoca el análisis de cada gráfica.

En la Figura 5-4 se observa la gráfica de voltaje con 6 ciclos en CA, no se observa ninguna variación en la señal, se tiene un registro de 100 Muestras/s equivalente a 0.1 s para tener una mejor análisis de la señal.

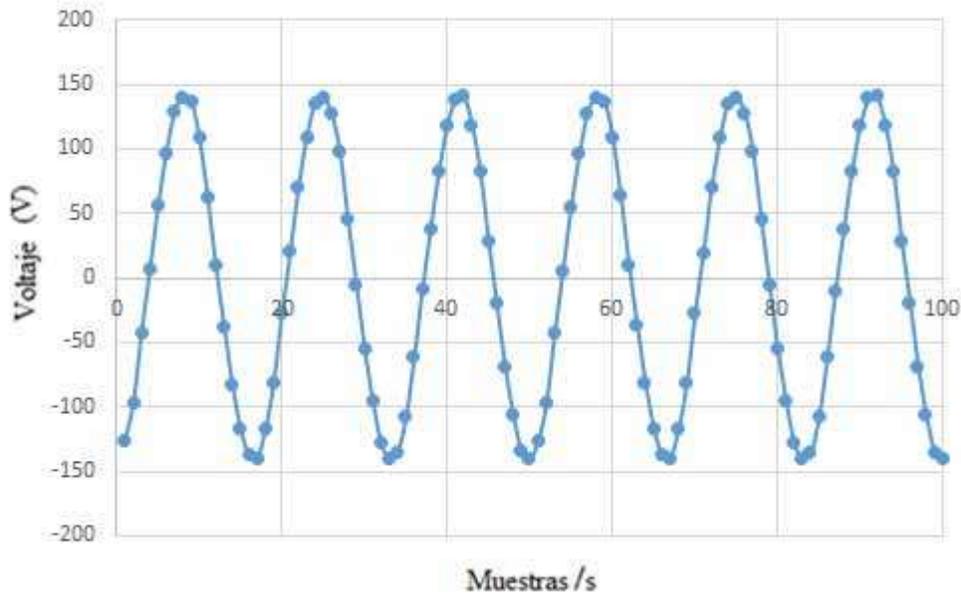


Figura 5-4 Gráfica de voltaje de la prueba con el socket con corrosión en CA.

En la Figura 5-5 se observa la gráfica de corriente con 6 ciclos en CA, no se observa ninguna variación en la señal, se tiene un registro de 100 Muestras/s equivalente a 0.1 s para tener una mejor análisis de la señal.

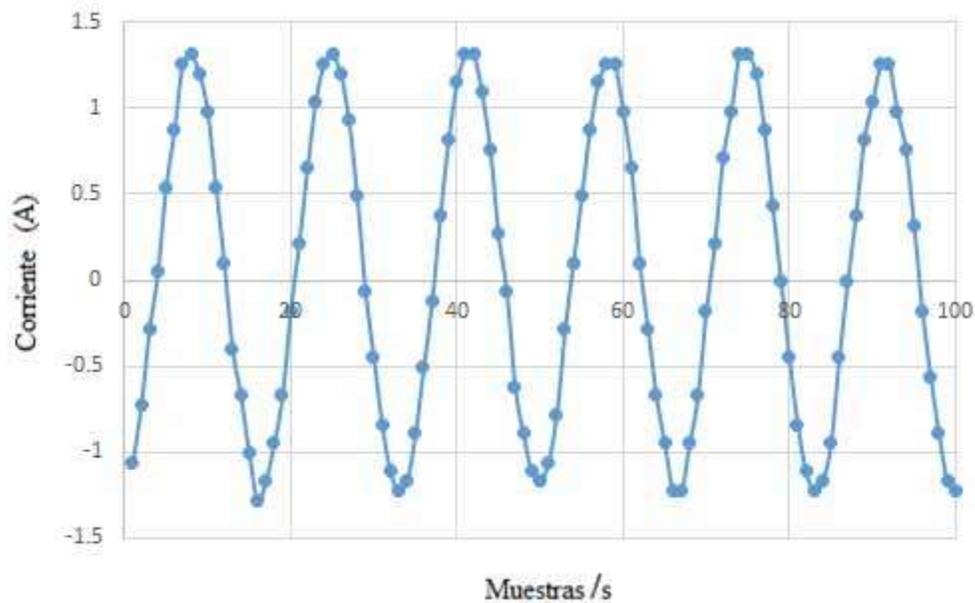


Figura 5-5 Gráfica de corriente de la prueba con el socket con corrosión en CA.

### 5.3 Replica de las pruebas de una instalación con carga fija de 40 $\Omega$ en CA.

Se realizarán las mismas pruebas con la carga resistiva de alambre de nicromo de 40  $\Omega$  sin falso contacto y con falso contacto para observar cómo se comporta esta falla en CA y posteriormente ser comparada con la prueba en el SFVA. Utilizando el mismo kit de pruebas y adicionalmente tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_r$  y  $V_{in}$ , para las conexiones se utiliza el mismo conductor calibre 12 AWG de la marca VIAKON.

#### 5.3.1 Prueba sin falso contacto.

En la Figura 5-6 se muestra el circuito realizado sin ningún falso contacto, con amarres en las uniones bien ejecutados y aislados para observar cómo se comporta la carga de 40  $\Omega$  en CA y tener un registro numérico.

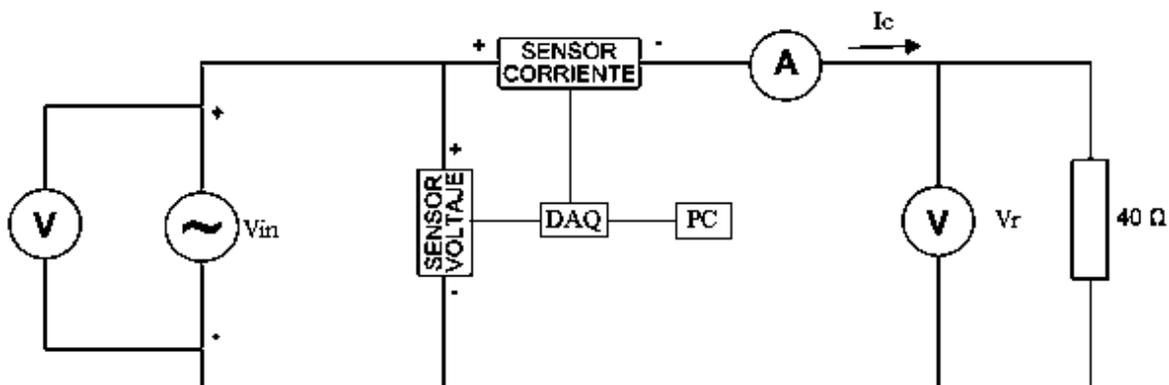


Figura 5-6 Diagrama del circuito con carga fija de 40 Ω sin falso contacto en CA.

En la Figura 5-7 se observa el circuito ejecutado con el kit de pruebas en CA, donde se observa las conexiones del circuito.

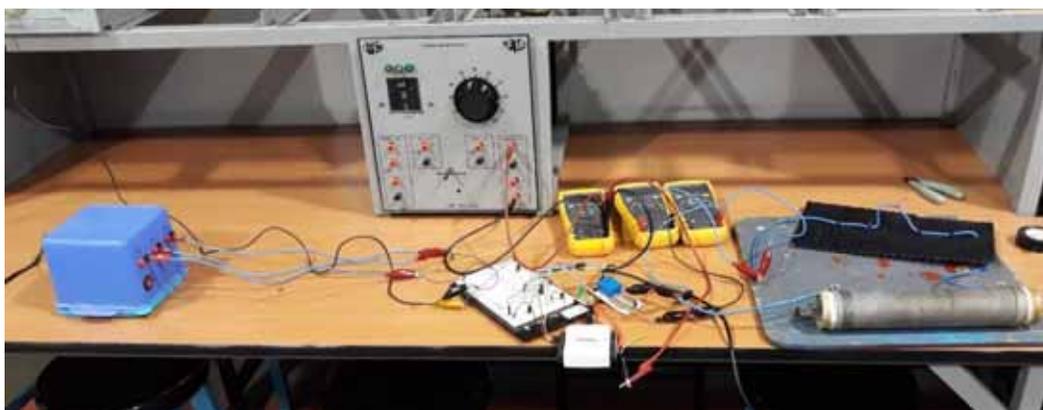


Figura 5-7 Imagen del circuito ejecutado de la prueba con carga fija de 40 Ω en CA.

En la Tabla 5-2 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas con la carga de 40 Ω sin falso contacto en CA, teniendo una potencia de 243.29 W y una regulación de voltaje de 4.48 %, lo cual nos indica una pérdida de más del 4% en CA.

Tabla 5-2 Datos la prueba con carga fija de 40 Ω en CA.

Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje con carga (V <sub>in</sub> )	Corriente con carga (I <sub>c</sub> )	Voltaje resistencia (V <sub>r</sub> )	Potencia P <sub>CA</sub> = V <sub>in</sub> * I <sub>c</sub>	Regulación de voltaje VR <sub>CA</sub>
23.6 °C	100.4V <sub>RMS</sub>	95.9 V <sub>RMS</sub>	2.537 A <sub>RMS</sub>	95.1 V <sub>RMS</sub>	243.29 W	4.48 %

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CA, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 5-8 se observa la gráfica de voltaje con 7 ciclos en CA, no se observa ninguna variación en la señal, se tiene un registro de 130 Muestras/s equivalente a 0.13 s para tener una mejor análisis de la señal.

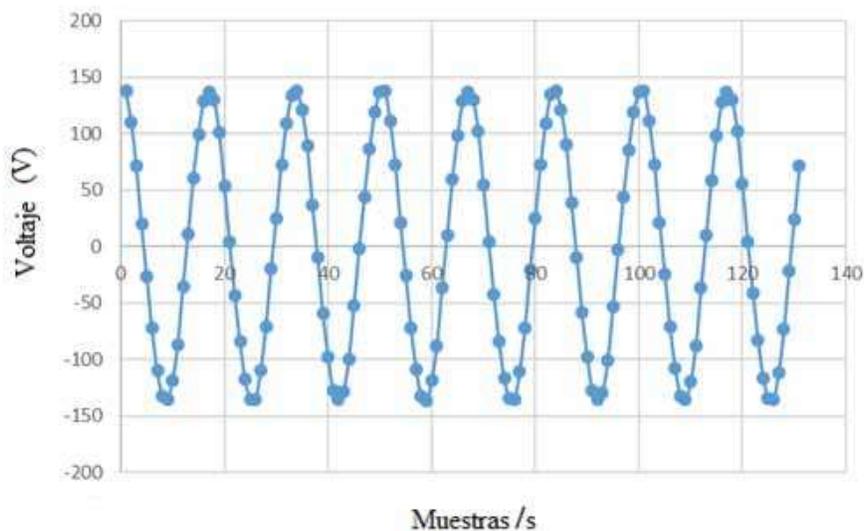


Figura 5-8 Gráfica de voltaje prueba con carga fija de  $40 \Omega$  en CA.

En la Figura 5-9 se observa la gráfica de corriente con 7 ciclos en CA, no se observa ninguna variación en la señal, se tiene un registro de 130 Muestras/s equivalente a 0.13 s para tener un mejor análisis de la señal.

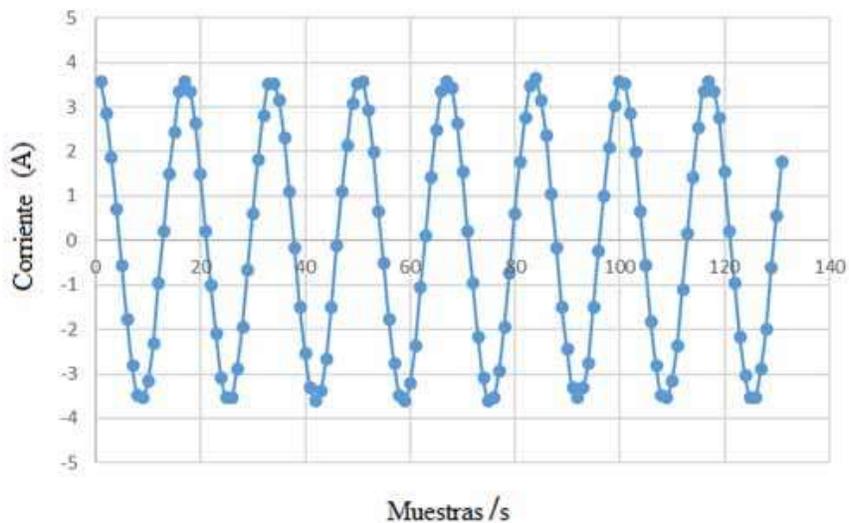


Figura 5-9 Gráfica de corriente prueba con carga fija de  $40 \Omega$  en CA.

### 5.3.2 Prueba con falso contacto.

En la Figura 5-10 se muestra el circuito realizado con amarres en las uniones mal ejecutadas sin aislar, para provocar un falso contacto en terminales de unión para observar cómo se comporta la carga de  $40\ \Omega$  en CA y tener un registro numérico.

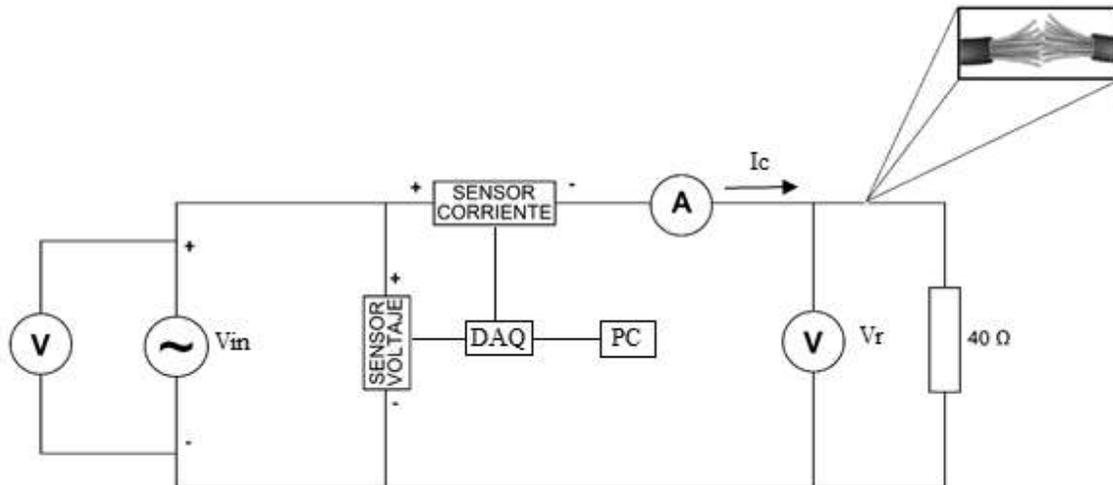


Figura 5-10 Diagrama del circuito con carga fija de  $40\ \Omega$  y falso contacto en CA.

En la Figura 5-11 se observa el falso contacto provocado en el circuito de la Figura 5-10, obteniendo una flama color amarillenta y muy débil.

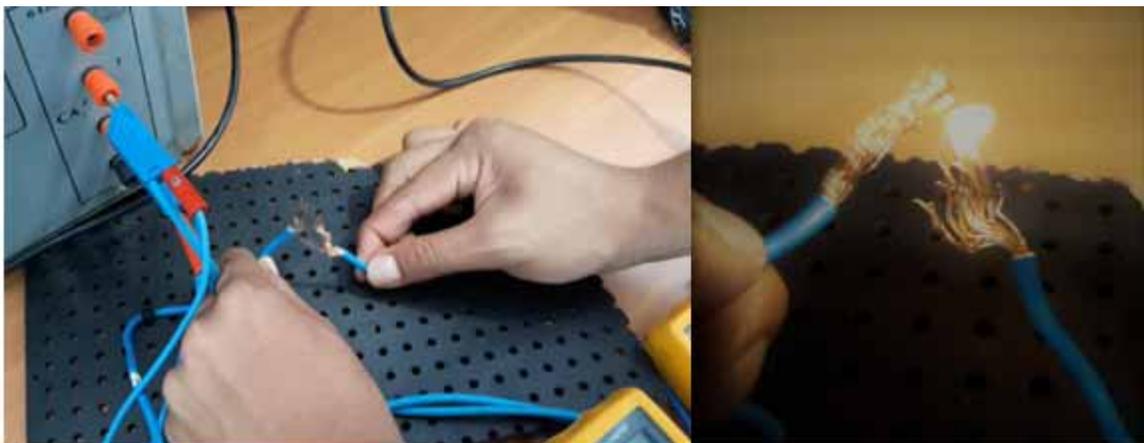


Figura 5-11 Imagen del falso contacto provocado con carga fija de  $40\ \Omega$  en CA.

En la Tabla 5-3 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas registrando los valores máximos y mínimos a la hora de ejecutar el falso contacto, ya que no existen valores fijos ante la falla. Se detecta una temperatura de  $31.9\ ^\circ\text{C}$  en el conductor donde se ejecuta el falso contacto.

Tabla 5-3 Datos con carga fija de 40  $\Omega$  y falso contacto en CA.

Temperatura conductor	Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
31.9 ° C	100.5V <sub>RMS</sub>	96.8 V <sub>RMS</sub>	2.56 A <sub>RMS</sub>	0 A <sub>RMS</sub>

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CA, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 5-12 se observa la gráfica de voltaje con 9 ciclos en CA, se observa que el voltaje promedio no varía significativamente ante el falso contacto, la variación en la señal es mínima, se tiene un registro de 150 Muestras/s equivalente a 0.15 s para tener una mejor análisis de la señal.

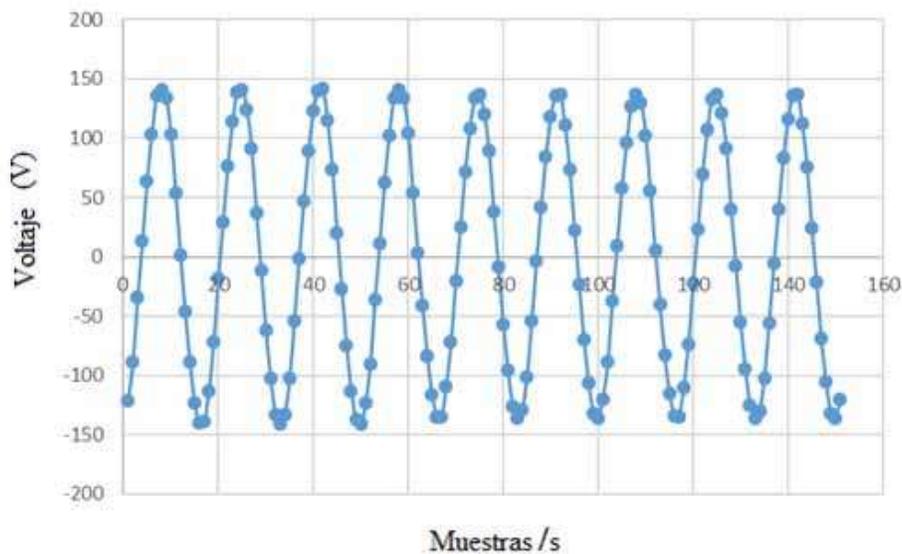


Figura 5-12 Gráfica de voltaje con carga fija de 40  $\Omega$  y falso contacto en CA.

En la Figura 5-13 se observa la gráfica de corriente con solo 5 ciclos en CA, se observa que la corriente varía significativamente ante el falso contacto, la variación en la señal es notoria, teniendo picos máximos y mínimos de la corriente senoidal (CA), se tiene un registro de 150 Muestras/s equivalente a 0.15 s para tener una mejor análisis de la señal.

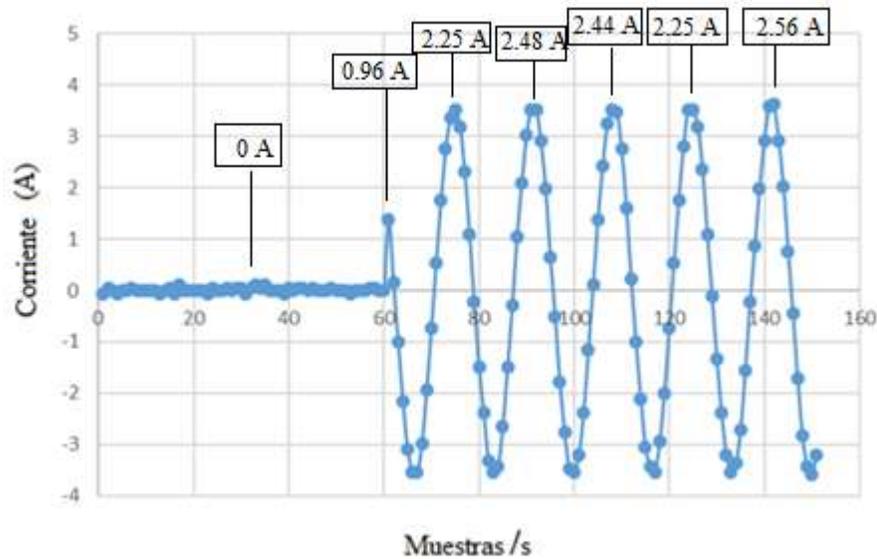


Figura 5-13 Gráfica de corriente con carga fija de  $40 \Omega$  y falso contacto en CA.

## 5.4 Réplica de pruebas a la instalación de una carga de 360 W en CA.

Para la réplica de esta prueba se utilizará la misma carga resistiva de 360 W con el arreglo en paralelo de tres lámparas incandescentes de 100 W, 110 W y 150 W, con una condición de voltaje de 120 V en CA. Utilizando el kit de pruebas y tres multímetros digitales para el registro de  $I_c$ ,  $V_l$  y  $V_{in}$ , se realizarán tres pruebas con dicha carga las cuales son: sin falso contacto, con falso contacto y carga variable para observar cómo se comporta ante estas circunstancias en CA y realizar la comparación con el nodo de CD del SFVA. Se utilizó para todos los circuitos el conductor calibre 12 AWG de la marca VIAKON.

### 5.4.1 Prueba sin falso contacto.

En la Figura 5-14 se muestra el circuito realizado sin ningún falso contacto, con amarres en las uniones bien ejecutados y aislados para observar cómo se comporta la carga de 360 W en CA y tener un registro numérico para la comparación con el nodo de CD del SFVA.

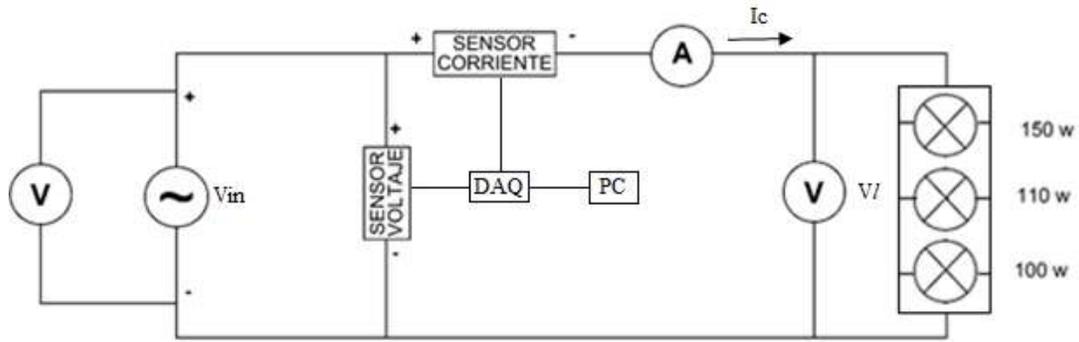


Figura 5-14 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.

En la Tabla 5-4 se muestran los datos obtenidos con el kit de pruebas, con carga fija de 360 W, sin falso contacto, se observa una potencia de 236.92 W y una regulación de voltaje de 2.49%.

Tabla 5-4 Datos de la prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.

Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje con carga ( $V_{in}$ )	Corriente con carga ( $I_c$ )	Voltaje lámparas ( $V_l$ )	Potencia $P_{CA} = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje $VR_{CA}$
23.3 ° C	100.2V <sub>RMS</sub>	97.7 V <sub>RMS</sub>	2.425A <sub>RMS</sub>	97.3 V <sub>RMS</sub>	236.92 W	2.49 %

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CA, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 5-15 se observa la gráfica de voltaje con 8 ciclos en CA, al analizar la parte de la muestra se tiene un efecto joule, marcado en el cuadro verde al encender la alimentación en CA, el voltaje varía en la señal y posteriormente se atenúa, se tiene un registro de 160 Muestras/s equivalente a 0.16 s para tener una mejor análisis de la señal.

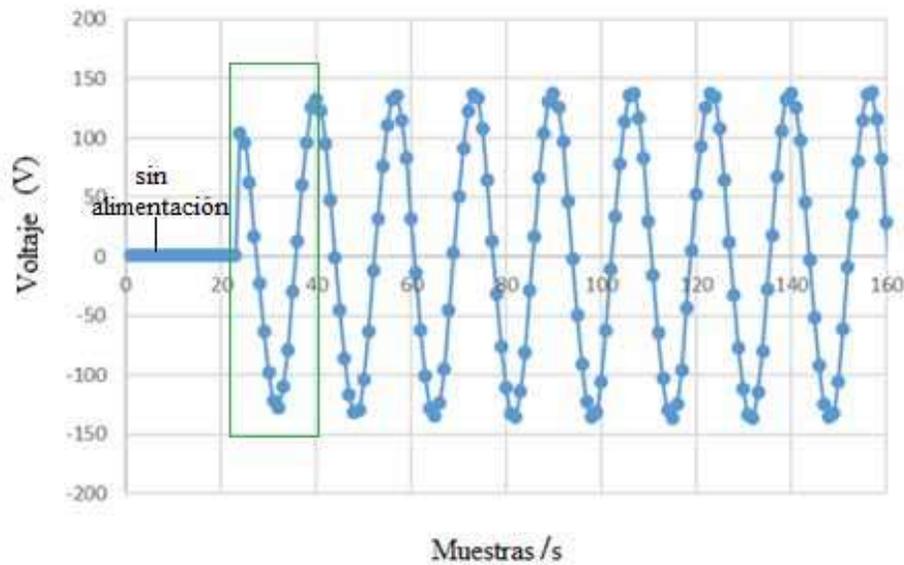


Figura 5-15 Gráfica de voltaje prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.

En la Figura 5-16 se observa la gráfica de corriente en CA, al analizar la parte de la muestra se tiene un efecto joule, marcado en el recuadro verde al momento de encender la alimentación en CA, la corriente varía en la señal más tiempo, se tiene un registro de 160 Muestras/s equivalente a 0.16 s para tener una mejor análisis del efecto en la señal.

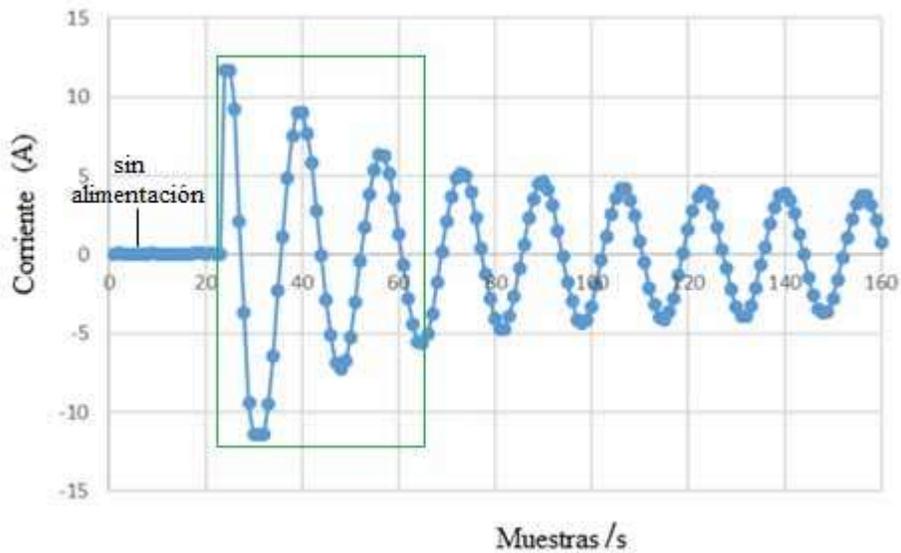


Figura 5-16 Gráfica de corriente prueba con carga de 360 w sin falso contacto en AC.

#### 5.4.2 Prueba con falso contacto.

En la Figura 5-17 se muestra el circuito realizado con amarres en las uniones mal ejecutadas sin aislar, para provocar un falso contacto y observar cómo se comporta la carga de 360 W en CA y tener un registro numérico.

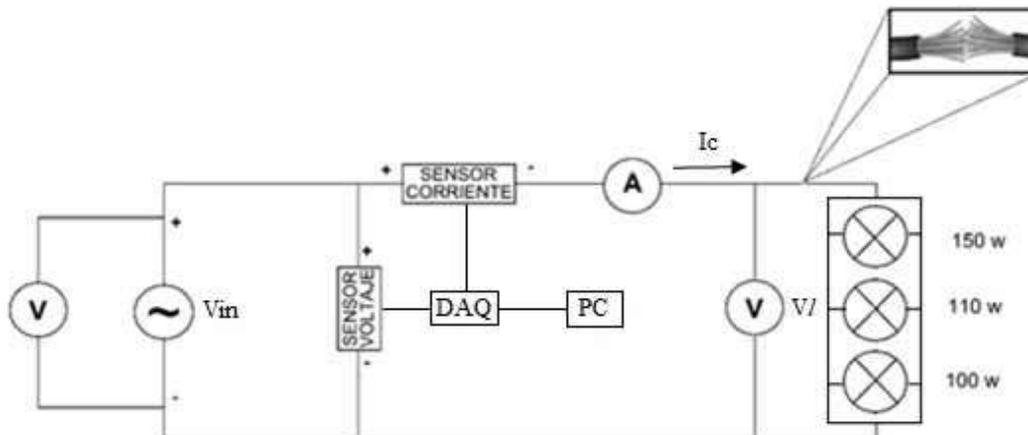


Figura 5-17 Diagrama del circuito prueba con carga de 360 w con falso contacto en AC.

En la Figura 5-18 se observa el falso contacto provocado en el circuito de la Figura 5-17, obteniendo una flama color amarillenta y muy débil.

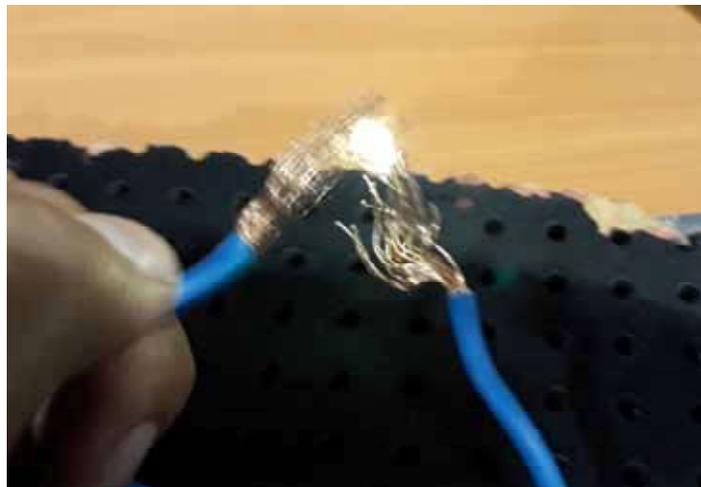


Figura 5-18 Imagen de falso contacto con carga de 360 w en AC.

En la Tabla 5-5 se observan los datos obtenidos con el kit de pruebas registrando los valores máximos y mínimos a la hora de ejecutar el falso contacto, ya que no existen valores fijos ante la falla. Se detecta una temperatura en el conductor de 32.5 °C.

Tabla 5-5 Datos de la prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA.

Temperatura conductor	Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
32.5 ° C	99.89 V <sub>RMS</sub>	97.24 V <sub>RMS</sub>	6.19 A <sub>RMS</sub>	0 A <sub>RMS</sub>

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son una parte de la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CA, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 5-19 se observa la gráfica de voltaje en CA, se observa que el voltaje no varía significativamente ante el falso contacto, la variación en la señal es mínima, se tiene un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s para tener el análisis de la señal con mayor muestreo.

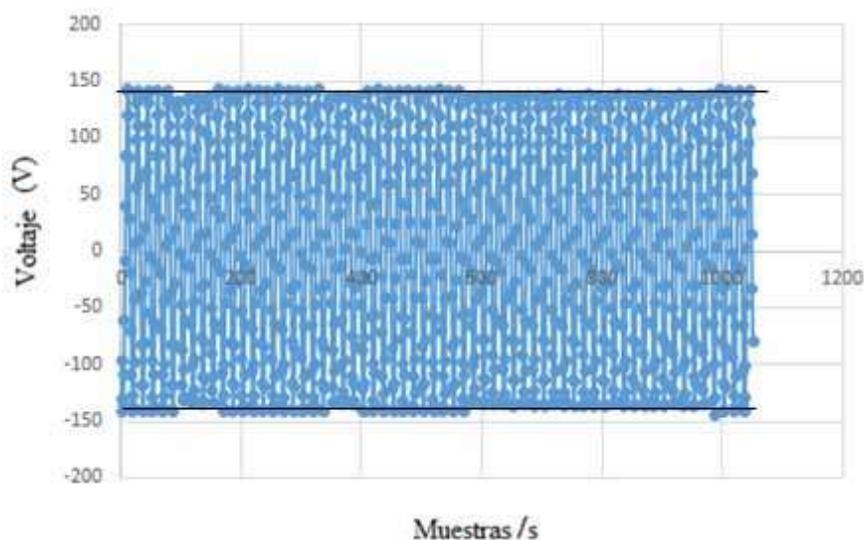


Figura 5-19 Gráfica de voltaje prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA.

En la Figura 5-20 se observa la gráfica de voltaje en CA, se observa que el voltaje no varía significativamente ante el falso contacto, la variación en la señal es mínima, se tiene un registro de 1 000 Muestras/s equivalente a 1 s para tener el análisis de la señal con mayor muestreo.

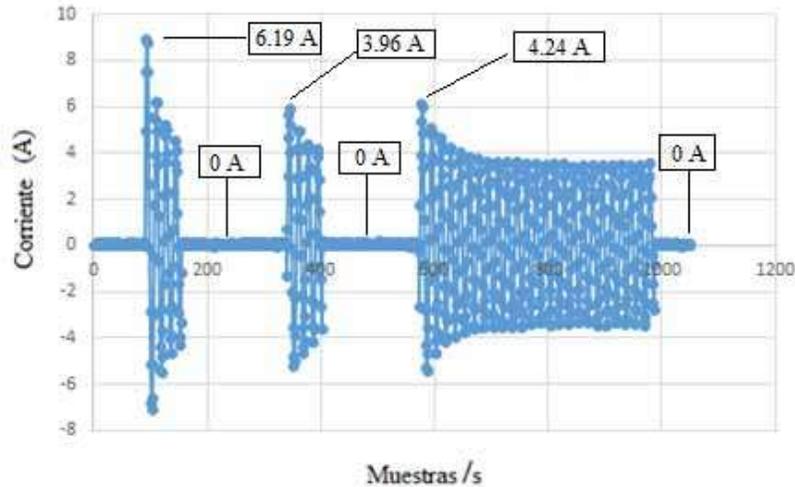


Figura 5-20 Gráfica de corriente prueba con falso contacto con carga de 360 W en CA.

### 5.4.3 Efecto de variación de la carga de 360 W en CA.

La carga resistiva de las tres lámparas (100 w, 110 w y 150 w) trabaja bajo condiciones de operación de 120 V; teniendo el total de 360 W. Se irá disminuyendo de menor a mayor carga, hasta quitar todas las lámparas, para provocar una carga variable a la fuente de CA.

En la Figura 5-21 se muestra el circuito con la carga completa de las tres lámparas incandescentes teniendo un total de 360 W de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga completa en la fuente de CA.

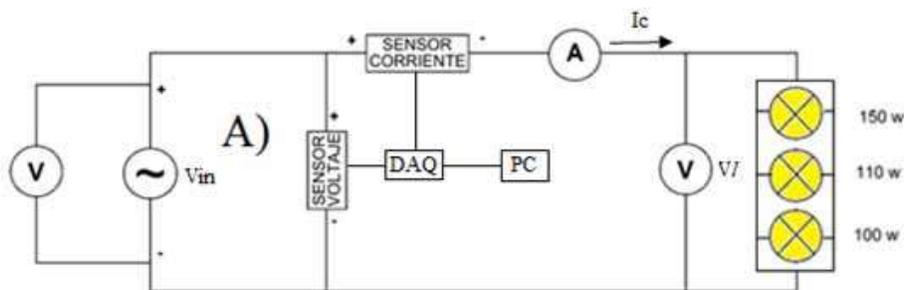


Figura 5-21 Diagrama del circuito para la prueba con carga completa de 360 w en CA.

En la Figura 5-22 se muestra el circuito con la carga disminuida a dos lámparas incandescentes (110 W y 150 W) teniendo un total de 260 W de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en CA.

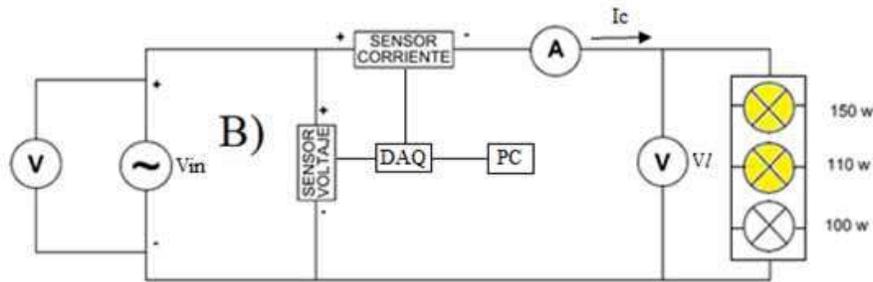


Figura 5-22 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 260 W en CA.

En la Figura 5-23 se muestra el circuito con la carga disminuida a una sola lámpara incandescente teniendo un total de 150 w de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en CA.

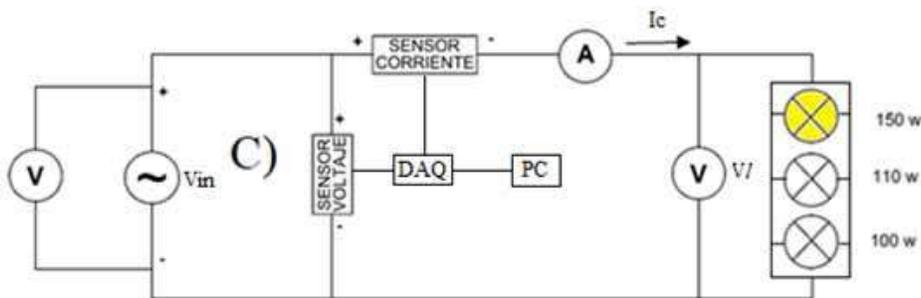


Figura 5-23 Diagrama del circuito para la prueba con carga de 150 W en CA.

En la Figura 5-24 se muestra el circuito sin ninguna carga conectada teniendo un total de 0 w de carga resistiva, con amarres y uniones bien ejecutados para observar y tener un registro numérico de carga variable en CA.

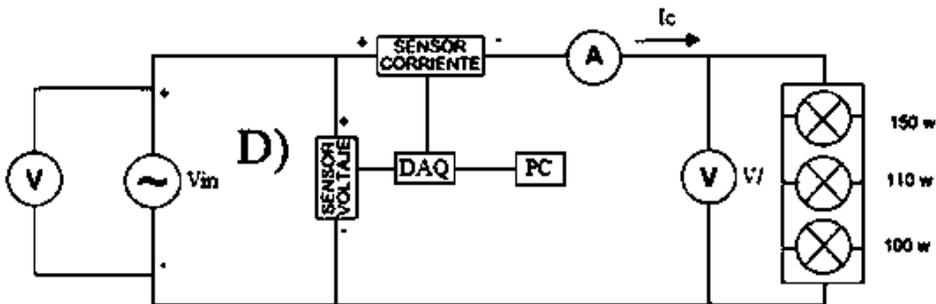


Figura 5-24 Diagrama del circuito para la prueba sin ninguna carga en CA.

Las gráficas en Excel de voltaje y corriente, son la muestra obtenida con el kit de pruebas, las cuales se analizan mediante la señal de CA, observando si se presenta algún cambio en ellas.

En la Figura 5-25 se observa la gráfica de voltaje donde se aprecia una ligera variación en el voltaje con las diferentes cargas, donde el voltaje RMS es casi constante, se tiene un registro de 45 000 Muestras/s equivalente a 45s.

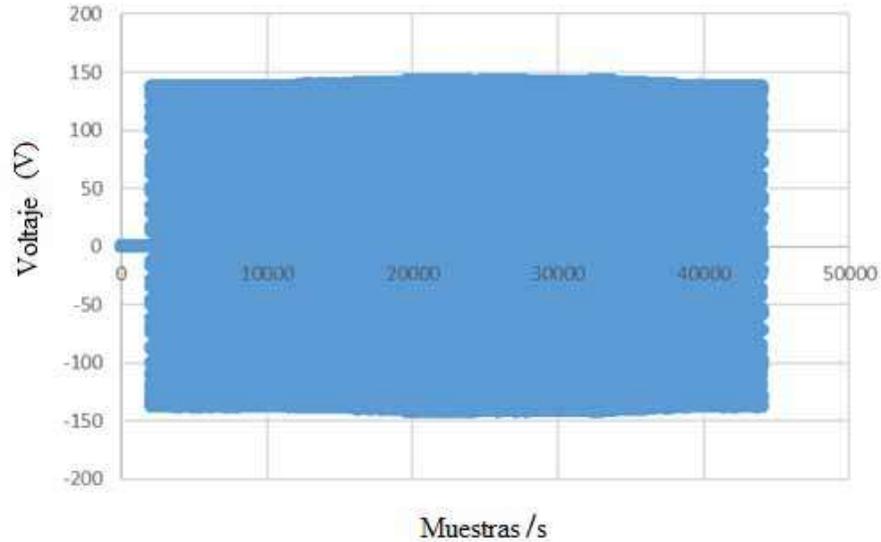


Figura 5-25 Gráfica de voltaje prueba con carga variable de 360 w en CA.

En la Figura 5-26 se observa la gráfica donde se aprecia la variación de la corriente con las diferentes cargas, se tiene un registro de 45 000 Muestras/s equivalente a 45 s.

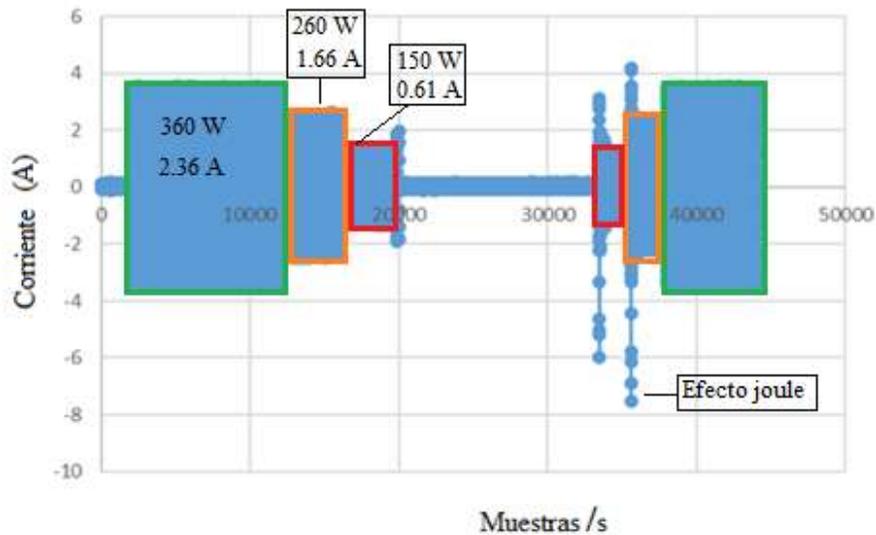


Figura 5-26 Gráfica de corriente prueba con carga variable de 360 w en CA.

# **CAPÍTULO VI**

## **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

## 6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Comparación de resultados en base a las pruebas efectuadas en el SFVA y en la réplica de las pruebas en CA, analizando cada una de ellas.

### 6.1 Comparación de la prueba de la instalación al SFVA en el nodo de CD utilizando un socket con corrosión y carga resistiva.

En la Tabla 6-1 se observa la comparación de la prueba del socket con corrosión en ambas corrientes teniendo una mayor potencia en CA, y resultados muy similares en la regulación de voltaje; considerando los valores de voltaje promedio cuadráticos (RMS) en CA son cercanos a los valores promedio en CD.

Tabla 6-1 Comparación de la prueba socket con corrosión.

Corriente	Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje lámpara (V <sub>l</sub> )	Potencia $P = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje VR
CD (SFVA)	23.6 °C	99.5 V <sub>CD</sub>	97.1 V <sub>CD</sub>	84.74 W	2.21 %
CA	23.2 °C	99.5 V <sub>RMS</sub>	97.3 V <sub>RMS</sub>	89.46 W	2.27 %

### 6.2 Comparación de las pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga fija de 40 Ω.

En la Tabla 6-2 se observa la comparación de resultados de la prueba con carga fija de 40 Ω sin falso contacto, se observa una mayor temperatura del conductor en el SFVA, mayor potencia consumida en CA y regulación de voltaje mayor en el SFVA.

Tabla 6-2 Comparación de la prueba carga fija sin falso contacto.

Corriente	Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje resistencia (V <sub>r</sub> )	Potencia $P = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje VR
CD (SFVA)	24.4 °C	100.4 V <sub>CD</sub>	91.7 V <sub>CD</sub>	219.02 W	8.06 %
CA	23.6 °C	100.4 V <sub>RMS</sub>	95.1 V <sub>RMS</sub>	243.29 W	4.48 %

En la Tabla 6-3 se observa la comparación de la prueba con carga de  $40\ \Omega$  con falso contacto, se observa una variación mínima de voltaje en CA, mayor temperatura del conductor en el SFVA, la corriente se comporta similar en ambas, teniendo resultados equivalentes.

*Tabla 6-3 Comparación de la prueba carga fija con falso contacto.*

corriente	Temperatura conductor	Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
CD (SFVA)	96.2 °C	100.5 V <sub>CD</sub>	90.15 V <sub>CD</sub>	2.487 A <sub>CD</sub>	0 A <sub>CD</sub>
CA	31.9 °C	100.5 V <sub>RMS</sub>	96.8 V <sub>RMS</sub>	2.56 A <sub>RMS</sub>	0 A <sub>RMS</sub>

### 6.2.1 Comparación de flamas de falso contacto.

Falso contacto en el SFVA: Se observó que al realizar el falso contacto, con una corriente: 2.287 A<sub>CD</sub> se destellaba una flama color verde, muy intensa al momento de ejecutarse el falso contacto, tal como se observa en la Figura 6-1.

Réplica del falso contacto en CA: Se observó que al realizar el falso contacto, con una corriente: 2.449 A<sub>RMS</sub> se presentó una flama color amarillenta, muy débil tal como se observa en la Figura 6-2.



*Figura 6-1 Imágenes de la flama del falso contacto en CD.*



*Figura 6-2 Imágenes de la flama del falso contacto en CA.*

### 6.2.2 Comparación de temperatura de ambos falsos contactos (CD y CA).

Se puede observar que al momento de ejecutar los falsos contactos, donde se tiene mayor temperatura en el conductor es el falso contacto de CD, obteniendo más de 96 °C como se observa en la Figura 6-3A), en comparación de la temperatura del conductor en el falso contacto de CA teniendo menor temperatura con 31.9°C tal como se observa en la Figura 6-3B).

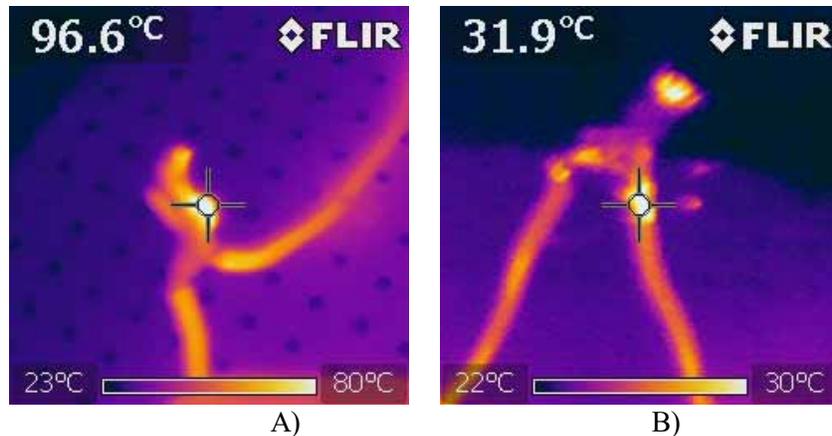


Figura 6-3 Temperatura del falso contacto A) CD y B) CA.

### 6.3 Comparación de las pruebas a la instalación de un SFVA en el nodo de CD con carga de 360 W.

En la Tabla 6-4 se observa la comparación de la prueba con carga de 360 W a un voltaje de 127V sin falso contacto en ambas corrientes, observando que el SFVA no se pudo obtener una configuración de conexiones en serie que permitiera un voltaje de 127V, sea real para la operación de los 360W, obteniendo un voltaje de 100.4 V en circuito abierto; la mayor potencia obtenida fue en CA, ya que la fuente más regulable que el SFVA.

Tabla 6-4 Comparación de la prueba carga con 360 W sin falso contacto.

Corriente	Temperatura conductor	Voltaje en vacío	Voltaje lámpara (VI)	Potencia $P = V_{in} * I_c$	Regulación de voltaje VR
CD (SFVA)	26.3 °C	100.2 V <sub>CD</sub>	58.75V <sub>CD</sub>	107.86 W	41.17 %
CA	23.3 °C	100.2 V <sub>RMS</sub>	97.3 V <sub>RMS</sub>	236.92 W	2.49 %

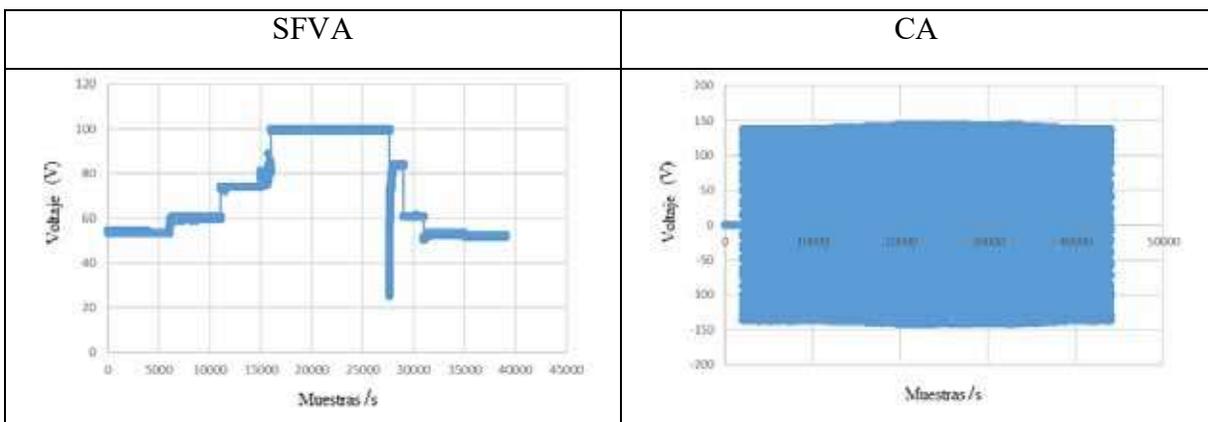
En la Tabla 6-5 se observa la comparación de la prueba con carga de 360 W con falso contacto, teniendo caída de voltaje de 90 V en el SFVA, una variación de corriente de 0 a 3.68 A en CD y obteniendo una temperatura en el conductor cerca de los 80 °C a comparación de la fuente de CA.

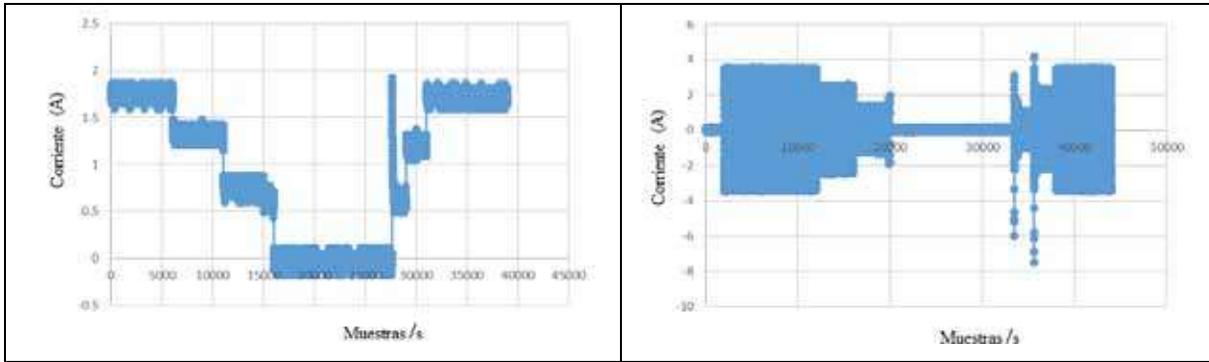
Tabla 6-5 Comparación de la prueba carga con 360 W con falso contacto.

Corriente	Temperatura conductor	Voltaje máximo promedio	Voltaje mínimo promedio	Corriente máxima promedio	Corriente mínima promedio
CD (SFVA)	96.7 °C	100.5 V <sub>CD</sub>	10.5 V <sub>CD</sub>	3.687 A <sub>CD</sub>	0 A <sub>CD</sub>
CA	32.5 °C	99.89V <sub>RMS</sub>	97.24 V <sub>RMS</sub>	6.19 A <sub>RMS</sub>	0 A <sub>RMS</sub>

En la Tabla 6-6 se observa la comparación las gráficas del efecto de variación de carga de 360 W en ambas corrientes, se observa que el voltaje el CA varía muy poco, a comparación del SFVA varía el voltaje, disminuyendo el mismo dependiendo de la carga con la que se tenga. Por otra parte, ambas corrientes se comportan de manera similar variando proporcionalmente al no tener carga se tiene una corriente de cero Amperes, y a medida que se introduce carga aumenta el valor de la corriente.

Tabla 6-6 Comparación de la prueba de variación de carga de 360 W.





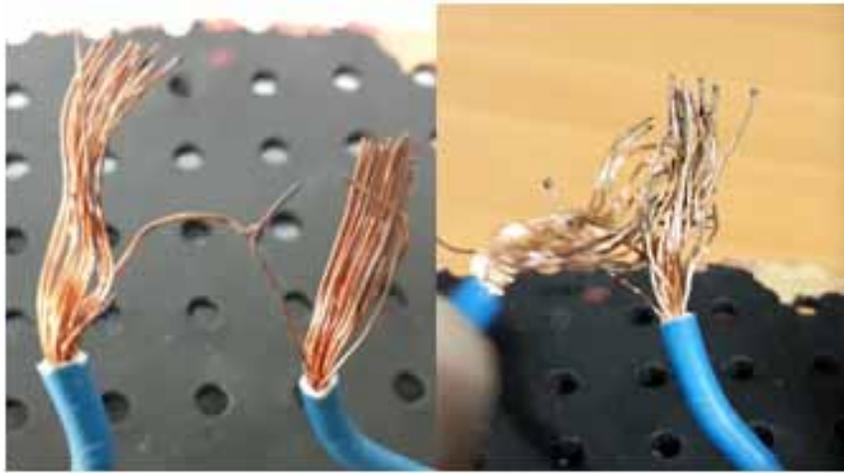
#### 6.4 Comparación de daños al conductor al provocar el falso contacto.

SFVA: En la

Figura 6-4 A) se aprecian los daños en el conductor al efectuar el falso contacto en CD donde creo una especie de escoria en los hilos del conductor y la misma temperatura provoco que se unieran dos de los hilos del conductor.

CA: En la

Figura 6-4 B) se aprecian los daños en el conductor al efectuar el falso contacto en CA donde los hilos fueron afectados por la cristalización, esto provocó que el conductor se volviera frágil y tomara un color negro en las puntas.



A)

B)

*Figura 6-4 Daños al conductor A) en CD y B) en CA.*

# **CAPÍTULO VII**

## **CONCLUSIONES**

## **7 CONCLUSIONES**

### **7.1 Conclusión de la prueba utilizando un socket con corrosión y carga resistiva en SFVA y CA.**

En base a los datos registrados en ambas corrientes (CD del SFVA y CA) de la Tabla 6-1 se concluye que el SFVA con un socket deteriorado por la corrosión con cargas pequeñas de 150 W, donde la regulación de voltaje es mínima en ambas pruebas y obteniendo menos pérdidas.

### **7.2 Conclusión de las pruebas con carga fija de 40 $\Omega$ .**

En base a los datos registrados en ambas corrientes (CD del SFVA y CA) de la Tabla 6-2 donde se comparan los resultados de una instalación con la carga fija de 40  $\Omega$  sin ningún falso contacto, se concluye que la carga en el SFVA se tienen mayores pérdidas a la caída de tensión y mayor temperatura en los conductores, a comparación de CA.

En la Tabla 6-3 se compara la prueba de carga fija de 40  $\Omega$  con falso contacto, donde se concluye que es peligrosa la falla en el SFVA, debido a que presenta mayor aumento de temperatura en el conductor de hasta 96.6°C, por la falla y que a su vez en la operación de los paneles FV provocando una caída de tensión de 10V<sub>CD</sub> entre el voltaje en vacío (circuito abierto) y con carga, a diferencia que la fuente de CA que la tensión promedio se mantiene con una diferencia de potencial mínima de 3V<sub>RMS</sub>.

### **7.3 Conclusión de las pruebas con carga de 360 W.**

En la Tabla 6-4 se muestra la comparación de la prueba con carga de 360 W sin falso contacto, donde se concluye que en el SFVA se obtiene una mayor regulación de voltaje, se presenta una caída de tensión de 41.45V<sub>CD</sub> de diferencia entre el voltaje en vacío (circuito abierto) y el voltaje con carga fija 360W, así como temperatura en los conductores de 26.3°C y que es dos grados mayor que la prueba anterior.

En la Tabla 6-5 se muestran los resultados obtenidos con la carga de 360 W con falso contacto, se concluye que un falso contacto es más peligroso en el SFVA debido a que presentan mayor temperatura en el conductor de cerca de 96.7°C donde ocurre la falla y existen mayores pérdidas en el SFVA debido a la variación de voltaje en terminales de los

paneles FV, donde la diferencia de potencial es hasta de  $90V_{CD}$  y un consumo de corriente máxima de  $3.687 A_{CD}$ ; todo lo anterior debido a la modo de operación de los paneles FV. En Cambio, con una fuente de CA, donde el voltaje promedio se mantiene casi constante con una variación de  $1V_{RMS}$  y presenta una corriente mayor de  $6.19 A_{RMS}$ , debido a que no presenta variación de voltaje.

En la Tabla 6-6 se muestra la comparación de la prueba de carga variable de 360 W en CD del SFVA y CA, donde se concluye que un SFVA es importante la carga que se alimente, debido a que se debe considerar no rebasar su punto de máxima potencia transferida (MPPT) del sistema, tratando siempre de evitar que el voltaje aumente o disminuya significativamente, a comparación de la fuente CA que el voltaje se mantiene constante debido a que no presenta cambios en la temperatura por efecto joule.

#### **7.4 Conclusiones Generales.**

Utilizando el kit de pruebas: los sensores, la tarjeta DAQ y junto con LabVIEW™ se pudo obtener los registros necesarios para el análisis de formas de ondas del voltaje y la corriente del nodo de CD a la salida del SFVA ante la presencia de Fallas, como los falsos contactos principalmente. Al observar que las pedidas en el SFVA son por las variaciones de voltaje y corriente, a la salida del arreglo de los paneles FV y que posteriormente en las tres fallas que se mostraron en la tesis y se replicaron en CA, al observar que solo existe variación en la corriente y en el voltaje no cambia significativamente; provocando que la regulación de la fuente de CA sea menor.

Al realizar fallas de falso contacto en el nodo CD en un SFVA se observó que son más peligrosas debido a la elevación de la temperatura en los conductores a la variación de la corriente tal como se observó en la Figura 6-3 alcanzando una temperatura de  $96.6^{\circ} C$  provocando quemaduras de tercer grado ocasionando muerte del tejido celular en las personas. Teniendo un riesgo más elevado de quemaduras ante las fallas eléctricas.

En el SFVA existe un voltaje presente siempre ante los diferentes niveles de irradiación solar, aun si la corriente es limitada por el arreglo de los paneles FV (serie o paralelo), donde el manejo y el control del nodo de CD deben ser con precaución, tratando de evitar falsos contactos a la conexión y desconexión del sistema y evitar a toda costa un corto circuito

intencionalmente; esto llega a ocurrir cuando los instaladores cambian su tipo de conexión y el tipo de calibre.

Los arcos eléctricos provocados por fallas de aislamiento o falsos contactos sean en el nodo de CD de un SFVA o en la CA con una fuente variable, corren el mismo riesgo de incendios, de lesiones y aumento de la temperatura.

Las fallas en los SFVA en el nodo de CD se detectan cuando el voltaje en terminales del nodo cambia significativamente, desde el valor de voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$  a voltajes cercanos a cero. La forma más adecuada es por medio de un registro de las variaciones de voltaje, ya que un voltímetro convencional solo muestra el voltaje promedio. Otra forma de saber si existe alguna falla en la instalación eléctrica del nodo de CD, es con el aumento de la temperatura del conductor, también conocido como puntos calientes en CA.

Comparación de las potencias en ambos experimentos (SFVA y CA), Donde es claro determinar que el SFVA existen mayores pérdidas, tanto en la potencia, como en la regulación de voltaje.

Con la propuesta del kit de pruebas que se utilizó en esta tesis, se pueden registrar posibles fallas tanto en voltaje y la corriente en CD y CA, para futuras pruebas.

## **7.5 Trabajos futuros.**

- Realizar las pruebas con cargas inductivas y capacitivas.
- Realizar las pruebas en CA mediante el inversor del SFVA.
- Hacer sistemas de electrónica de potencia, que sean cargas para el nodo de CD, por ejemplo, reguladores e inversores monofásicos o trifásicos (autónomos o interconectados), etc. Que permitan extraer siempre la máxima potencia del SFV, evitando exceder la corriente en el punto máximo de transferencia de energía (MPPT) y el voltaje en terminales del nodo no decaiga a cero.
- Utilizar cargas conmutadas en CD y CA.
- Tener un modelo más completo de SFV autónomos o interconectado, para que en el futuro se desarrollen prácticas en el LIE de la UMSNH.

## **7.6 Recomendaciones ante la presencia de fallas eléctricas.**

Considerando que cualquier elemento del sistema fotovoltaico puede fallar, es completamente necesario que tenga una protección adecuada tales como fusibles magnetotérmicos y descargadores de voltaje adecuados. Las condiciones anormales provocan cambios en las magnitudes de voltaje y corriente.

### **7.6.1 Uso de protecciones.**

Si se usan fusibles para proteger a los circuitos de CD y CA, estos deben estar probados y especificados para su uso, como tener el tamaño, la capacidad de limitación de corriente y el voltaje de operación para impedir un mal uso. Estas exigencias particulares eliminan el uso de fusibles de cristal, cerámica y los de plástico usados en la industria automotriz, como limitadores de corriente en los circuitos derivados, porque no se han probado ni especificado para las aplicaciones de los SFV (Autónomos o Interconectados).

Para proporcionar la máxima protección y mayor rendimiento (mínima caída de voltaje) en los circuitos derivados del nodo de CD (particularmente en los sistemas de 12 y 24 V), la corriente de los conductores tiende a aumentar con la capacidad que demandan los reguladores de corriente que protegen al cable y a la carga, considerando el 125% de la nominal como corriente máxima.

### **7.6.2 Prevención de Cortocircuitos.**

La prevención de corto circuito encierra un incremento considerable de corriente, así como una gran caída de voltaje (una regulación de voltaje más grande implica mayores pérdidas). Las altas corrientes, asociadas a las sobrecargas en una instalación eléctrica entre los diferentes equipos que forman el SFVA, provocan sobrecalentamiento en los conductores [9].

### **7.6.3 Prevención de Falsos contactos**

En la unión o empalmes de cables en los SFVA es necesario que estén bien unidos, incluso soldados si es necesario (dependiendo la cantidad de corriente) que permitan el flujo adecuado de CD, desde el arreglo de PFV hasta regulador y cargas de CD (Inversor); utilizando siempre el calibre y terminales adecuadas.

## 8 REFERENCIAS

- [1] g. d. M. Secretaría de Energía, «Energía para quien más la necesita,» 14 junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/sener/articulos/servicios-integrales-de-energia>. [Último acceso: 2018].
- [2] R. Barazarte, «"La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia",» *Prisma Tecnológico*, nº 4.1, pp. 51-53, 2013.
- [3] U. d. P. V. H. Unibertsitatea, «SINC La ciencia es noticia,» 15 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-corriente-continua-otra-opcion-para-mejorar-el-transporte-de-la-electricidad>. [Último acceso: 28 Noviembre 2018].
- [4] O. O. H. P. E. L. I. & L. V. Oñederra, «Overview of DC technology-Energy conversion,» *Proc. International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2013 (ICREPQ 2013)*, pp. (pp. 1-6), 2013.
- [5] V. G. K. & S. H. Vossos, «Energy savings from direct-DC in US residential buildings.,» *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 223-231., 2014.
- [6] J. A. E. G. Álvarez, «"QUE ES LA CORRIENTE DIRECTA",» Septiembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_directa/ke\\_corriente\\_directa\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_directa/ke_corriente_directa_1.htm). [Último acceso: 12 Octubre 2018].
- [7] J. A. E. G. Álvarez, «Asi funciona,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_alterna/ke\\_corriente\\_alterna\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_alterna/ke_corriente_alterna_3.htm). [Último acceso: 18 Noviembre 2018].
- [8] J. A. E. G. Álvarez, «Así funciona,» 2018. [En línea]. Available: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_directa/ke\\_corriente\\_directa\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_directa/ke_corriente_directa_2.htm). [Último acceso: 2018].
- [9] L. G. M. Zhumi, Diagnostico de la implementacion de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa II Etsari, Cuenca, Ecuador, 2012.
- [10] M. M. R. V. Hernández, simulacion y validacion practica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala interconectado a la red en baja tensión, Morelia, Michoacan, 2017.
- [11] C. T. N. H. S.A.C., «Las fallas Eléctricas mas comunes y peligrosas,» Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://gruponavarro.pe/electricidad-domiciliaria/fallas-electricas/>. [Último acceso: Diciembre 2018].
- [12] C. T. N. H. S.A.C., «Grupo Navarro,» Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://gruponavarro.pe/electricidad-domiciliaria/falso-contacto/>. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [13] G. B. Ramos, Aspectos técnicos a cubrir en la prueba termográfica a equipos eléctricos, Ciudad de Mexico, 2016.
- [14] C. T. N. H. S.A.C., «Grupo Navarro,» Junio 2018. [En línea]. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [15] A. d. I. Eléctricidad, «Aprendiendo de la electricidad,» 18 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://tecnologiaalanhernandez.wordpress.com/2013/01/18/regulacion-de-tension-de-un-transformador/>. [Último acceso: 2019].

- [16] J. I. Huircán, «Convertidores Análogo-Digital y Digital-Análogo: Conceptos Básicos,» 2018.
- [17] C. Magnetico, «campo magnetico,» 15 junio 2009. [En línea]. Available: <http://cmagnetico.blogspot.com/2009/06/efecto-hall.html>. [Último acceso: 2019].
- [18] A. E. & C. A. C. de Normalización, Catálogo de Normas UNE, Madrid, España., 2018.
- [19] N. INSTRUMENTS, «NATIONALS INSTRUMENTS USB-6008,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/es-mx/support/model.usb-6008.html>.
- [20] R. Barazarte, «"La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia",» *Prisma Tecnológico*, vol. , nº 4.1, pp. 51-53, 2016.
- [21] O. Vigil Galan, L. Hernández Garcias y G. Santana Rodriguez, "Fotovoltaicos: Fundamentos y Aplicaciones", DF: Dirección de publicaciones, Instituto Politecnico Nacional, 2011.
- [22] D. O. d. I. F. SEGOB, «DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LAS NORMAS MEXICANAS,» 18 06 2012. [En línea]. Available: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5255134&fecha=18/06/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5255134&fecha=18/06/2012). [Último acceso: 2018].



## Voltage Transducer LV 25-P/SP2

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10..1500 \text{ V}$$



### Electrical data

$I_{PN}$	Primary nominal r.m.s. current	10	mA
$I_P$	Primary current, measuring range	0 .. ±14	mA
$R_P$	Measuring resistance with ±15 V	@ ±10 mA <sub>rms</sub>	100 343 Ω
		@ ±14 mA <sub>rms</sub>	100 183 Ω
$I_{SN}$	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA
$K_P$	Conversion ratio	2500 : 1000	
$V_C$	Supply voltage (±5%)	±15	V
$I_C$	Current consumption	10 + $I_P$	mA
$V_A$	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mm	4.1	kV

### Accuracy - Dynamic performance data

$X_a$	Overall Accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.8	%
$E_L$	Linearity error	<0.2	%
$I_0$	Offset current @ $I_P = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	±0.15 mA
		Max	±0.60 mA
$I_{CT}$	Thermal drift of $I_0$	+25°C .. +85°C	±0.15 ±0.60 mA
		-40°C .. +25°C	±0.10 ±0.80 mA
$t_r$	Response time <sup>1</sup> @ 90% of $V_{IN}$	25	µs

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	-40 .. +85	°C
$T_S$	Ambient storage temperature	-45 .. +90	°C
$R_P$	Primary coil resistance @ $T_A = 85^\circ\text{C}$	300	Ω
$R_S$	Secondary coil resistance @ $T_A = 85^\circ\text{C}$	117	Ω
$m$	Mass	22	g
	Standards	EN 50155 : 1995	

**Note:** <sup>1</sup>  $R_P = 25 \text{ k}\Omega$  (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

### Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Special features

- $V_A = 4.1 \text{ kV}$
- $T_A = -40^\circ\text{C} .. +85^\circ\text{C}$
- Railway equipment.

### Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor  $R$ , which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

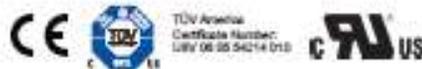
### Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



### Description

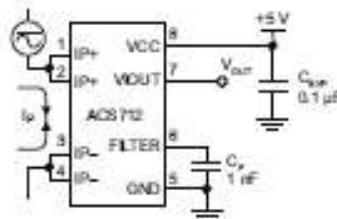
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $\rightarrow V_{\text{OUT}(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{\text{OUT}}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_f$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.