

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

CARACTERIZACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

Para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

FRANCISCO COVARRUBIAS

Asesor de Tesis:

DOCTOR EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Dr. Gilberto González Avalos



Morelia, Michoacán, Febrero del 2018

Agradecimientos

A Dios por haber permitido darme la vida para poder lograr mis objetivos, por darme fortaleza de seguir adelante.

A mis padres José y María Cruz por apoyarme en todo momento, por brindarme la oportunidad de tener una buena educación, y por sus consejos que me han dado en seguir adelante.

A mi hermana Elizabeth, mis amigos por siempre contar con ellos y darme la motivación en seguir luchando.

Al Dr. Gilberto González Avalos y Félix Jiménez Pérez, por haberme apoyado en mi trabajo de tesis.

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis es dedicado a mis padres por todo el apoyo que me dieron y porque siempre creyeron en mí, por darme la oportunidad de haber cursado una carrera profesional, a mis maestros que me brindaron sus conocimientos más que nada, sus lecciones y experiencias para poder formarme como una persona de bien y preparada.

Tabla de Contenido

Agradecimientos.....	II
Dedicatoria.....	III
Tabla de Contenido.....	IV
Resumen	VII
Abstract.....	VIII
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	XIII
Lista de Símbolos y Abreviaturas.....	XIV
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Las Energías Renovables	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Metodología	2
1.5 Contenido de la Tesis	3
Capítulo 2 Antecedentes de Fuentes Renovables	4
2.1 Energía solar.....	4
2.1.1 Tipos de Radiación	4
2.1.2 Aprovechamiento de la Energía Solar	5
2.1.3 Sistemas Pasivos.....	6
2.1.4 Sistema Activo.....	6
2.1.5 Tipos de Colectores	7
2.2 Fotovoltaico.....	11
2.3 Energía Eólica	13
2.4 Energía Mareomotriz.....	16
2.5 Biomasa	17
2.6 Energía Hidráulica.....	19
2.7 Energía geotérmica.....	23
Capítulo 3 Modelado de Celdas Fotovoltaicas	25
3.1 Celda fotovoltaica	25
3.1.1 Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas	25

3.1.2 Semiconductor	26
3.1.3 Semiconductor tipo-N	27
3.1.4 Semiconductor tipo-P	27
3.1.5 Unión del semiconductor P con el N	28
3.2 Construcción de la celda fotovoltaica	29
3.3 Tipos de celdas fotovoltaicas más utilizadas actualmente	30
3.3.1 Por el tipo de materiales:	30
3.3.2 Tipos de celdas fotovoltaicas.....	31
3.4 La plataforma LabVIEW	32
3.5 La estación de trabajo NI-ELVIS.....	33
3.6 La empresa National Instruments.....	34
3.7 El GPIB	34
3.8 Sistema DAQ.....	35
3.8.1 El sensor	36
3.8.2 El dispositivo DAQ	36
3.8.3 Acondicionamiento de señales	37
3.8.4 Convertidor Analógico a Digital (A/D).....	37
3.8.5 Función del ordenador en un sistema DAQ.....	38
3.8.6 El controlador de la DAQ.....	38
3.8.7 El software de la DAQ.....	38
3.9 El instrumento virtual.....	38
3.10 La estación de trabajo NI ELVIS I.....	39
3.11 Características físicas de la estación de trabajo NI ELVIS I.....	39
3.12 Instrumentos virtuales que tiene la estación de trabajo NI ELVIS	44
Capítulo 4 Características de Celdas Fotovoltaicas mediante la Estación NI ELVIS	45
4.1 Pruebas y casos de estudio con la estación de trabajo NI ELVIS	45
4.2 Interfaz de programa ELVIS (Instrument Launcher)	45
4.3 Opciones de medición del DMM (multímetro digital).....	46
4.3.1 Área para medición con el DMM.....	47
4.3.2 Características del DMM como medidor de VDC	47
4.3.3 Características del DMM como medidor de VAC	48

4.3.4 Características del DMM como medidor de ADC	49
4.3.5 Características del DMM como medidor de AAC	50
4.4 Analizador de voltaje vs corriente para dos hilos	51
4.5 Prueba para la obtención de curvas características de las Celdas Fotovoltaicas con analizador de voltaje vs corriente de dos hilos.....	53
4.6 Prueba circuitos con celda fotovoltaica.....	64
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	68
5.1 Conclusiones	68
5.2 Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Apéndice	70

Resumen

El presente trabajo de tesis pretende en conocer las características de varias celdas fotovoltaicas en la estación de trabajo NI ELVIS, utilizando principalmente sus instrumentos virtuales para la visualización y análisis de cada una de las respuestas de estas celdas fotovoltaicas.

La empresa NI (National Instruments) fabricó la estación de trabajo NI ELVIS en el año 2003, dicha estación posee 12 modos de operación integrados en un solo módulo y que pueden ser configurados a través de la computadora. La estación de trabajo NI ELVIS es uno de los desarrollos innovadores de NI, ya que posee herramientas y opera con instrumentos virtuales a través del ordenador, lo cual presenta una manera más flexible para realizar análisis en circuitos eléctricos.

Palabras clave

Celda, NI ELVIS, Fotovoltaica, Estación, Policristalina, Monocristalina, Instrumento virtual, Voltaje, Corriente, Energía, Medición.

Abstract

This thesis work aims to know the characteristics of several photovoltaic cells in the NI ELVIS workstation, mainly using their virtual instruments for the visualization and analysis of each of the responses of these photovoltaic cells.

The company NI (National Instruments) manufactured the NI ELVIS workstation in 2003, this station has 12 operating modes integrated in a single module and that can be configured through the computer. The NI ELVIS workstation is one of the innovative developments of NI, since it has tools and operates with virtual instruments through the computer, which presents a more flexible way to perform analyzes in electrical circuits.

Lista de figuras

Figura 2.1 Tipo de Radiación	5
Figura 2.2 Sistema Pasivo	6
Figura 2.3 Colector de placa plana.	7
Figura 2.4 Colector solar de media temperatura.....	8
Figura 2.5 Sistema de seguimiento.....	9
Figura 2.6 Central de torre.....	10
Figura 2.7 Vista de una central de torre.....	11
Figura 2.8 Sistema Fotovoltaico	12
Figura 2.9 Elementos de un panel Fotovoltaico	13
Figura 2.10 Molino Persa eje vertical.....	14
Figura 2.11 Molino típico del siglo XV	14
Figura 2.12 Molino al inicio de la revolución industrial	15
Figura 2.13 Aerogenerador.....	15
Figura 2.14 Las olas del mar, fuente de energía renovable	16
Figura 2.15 Diversos equipos de aprovechamiento de energía mareomotriz.....	17
Figura 2.16 Energía solar.....	18
Figura 2.17 Origen de la Biomasa	19
Figura 2.18 Central Hidroeléctrica	20
Figura 2.19 Vista de una central hidroeléctrica	21
Figura 2.20 Esquema de turbina Kaplan	21
Figura 2.21 Rodete Francis para gran potencia	22
Figura 2.22 Rueda Pelton	22
Figura 2.23 Generadores Eléctricos.....	23
Figura 2.24 Energía Geotérmica.....	23
Figura 2.25 Vista de una planta geotermoeléctrica	24
Figura 2.26 Obtención y reinyección	24
Figura 3.1 Efecto fotovoltaico.....	25
Figura 3.2 Flujo de electrones y corriente en una célula solar	26
Figura 3.3 Impureza de arsénico en el material tipo N.....	27

Figura 3.4 Impureza de boro en el material tipo P	27
Figura 3.5 Unión con el semiconductor P con el N.....	28
Figura 3.6 Proceso de construcción.....	29
Figura 3.7 Paneles fotovoltaicos interconectados	30
Figura 3.8 Tipos de células fotovoltaicas	31
Figura 3.9 a) Silicio monocristalino y b) silicio policristalino	32
Figura 3.10 Fundadores de la compañía National Instruments	34
Figura 3.11 Conector GPIB	35
Figura 3.12 Conexión mediante el GPIB.....	35
Figura 3.13 Sistema DAQ basado en PC.....	36
Figura 3.14 Proceso de la conversión A/D	38
Figura 3.15 Dimensiones de la estación de trabajo NI ELVIS.....	40
Figura 3.16 Vista de la parte frontal de la estación de trabajo NI ELVIS I	41
Figura 3.17 Vista de la parte trasera de la estación de trabajo NI ELVIS I	41
Figura 3.18 Diagrama de conexión del hardware NI ELVIS a una computadora.....	42
Figura 3.19 Representación de la tarjeta protoboard de la estación de trabajo NI ELVIS...	43
Figura 4.1 Ventana principal del programa de la estación NI ELVI.....	45
Figura 4.2 Ventana de opciones de medición del DMM.....	46
Figura 4.3 Área de medición del DMM en el NI ELVIS	47
Figura 4.4 Ventana del DMM de NI ELVIS como medidor de VDC.....	48
Figura 4.5 Ventana del DMM como medidor de VAC	49
Figura 4.6 Ventana del DMM como medidor de ADC de NI ELVIS.....	50
Figura 4.7 Ventana del DMM como medidor de AAC del NI ELVIS.....	51
Figura 4.8 Ventana del analizador de voltaje vs corriente de dos hilos	52
Figura 4.9 Conexión de una celda en la estación de trabajo NI ELVIS	53
Figura 4.10 Información específica de la celda RADOX.....	54
Figura 4.11 Celda Fotovoltaica Monocristalina	54
Figura 4.12 a) Lámpara de LED, b) Lámpara tipo espiral, c) Foco incandescente	55
Figura 4.13 Diagrama de prueba	55
Figura 4.14 Curva característica de la celda monocristalina obtenida mediante NI ELVIS a 1 metro de distancia.....	56

Figura 4.15 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocristalina a 1 metro de distancia	56
Figura 4.16 Curva característica de la celda monocristalina con luz incandescente a 1m ...	57
Figura 4.17 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 1m de distancia	57
Figura 4.18 Curva característica de la celda monocristalina obtenida mediante NI ELVIS a 30 cm de distancia	58
Figura 4.19 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocristalina a 30 cm de distancia	58
Figura 4.20 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocristalina a 30 cm de distancia	59
Figura 4.21 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 30 cm de distancia	59
Figura 4.22 Celda fotovoltaica policristalina	60
Figura 4.23 Curva característica de la celda policristalina obtenida mediante NI ELVIS a 1 m de distancia	60
Figura 4.24 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica policristalina a 1m de distancia	61
Figura 4.25 Curva característica de la celda policristalina con luz incandescente a 1m	61
Figura 4.26 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 1m de distancia	62
Figura 4.27 Curva característica de la celda policristalina obtenida mediante NI ELVIS a 30cm de distancia	62
Figura 4.28 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica policristalina a 30cm de distancia	63
Figura 4.29 Curva característica de la celda policristalina con luz incandescente a 30cm ..	63
Figura 4.30 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 30 cm de distancia	64
Figura 4.31 Celda fotovoltaica con resistencia en serie	64
Figura 4.32 Respuesta del circuito 1	65
Figura 4.33 Celda fotovoltaica con resistencia en paralelo	66

Figura 4.34 Respuesta circuito 2 (Celda en paralelo con resistencia de 220Ω)	66
Figura 4.35 Celda fotovoltaica con resistencias en conexión serie paralelo	67
Figura 4.36 Respuesta del circuito 3	67

Lista de tablas

4.1 Conexión del analizador de voltaje vs corriente para dos hilos	52
--	----

Lista de Símbolos y Abreviaturas

A	Amperes
Sb	Antimonio
As	Arsénico
GaAs	Arseniuro de galio
AlGa As	Arseniuro de galio-aluminio
BNC	Bayonet Neill-Concelman (Borne de Rápida Conexión/Desconexión)
B	Boro
Cm	Centímetro
Cu	Cobre
CCP	Colector cilindro-parabólico
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
P	Fosforo
InP	Fosfuro de indio
Ga	Galio
GPIB	General Purpose Interface Bus
Ge	Germanio
°C	Grado Celsius
Hz	Hertz
In	Indio
Kcal	Kilocaloría
Kg	Kilogramo

Km	Kilómetro
Km ²	Kilómetro cuadrado
KWh	Kilowatt-hora
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
MW	Megawatt
m ²	Metro cuadrado
NI	National Instruments
Si	Silicio
CdS	Sulfato de cadmio
CdTe	Telururo de cadmio
T	Temperatura
VI	Virtual Instrument (Instrumento Virtual)
V	Volts

Capítulo 1

Introducción

1.1 Las Energías Renovables

La energía se define como la capacidad de realizar un trabajo. Se llama energía renovable a la energía que se puede aprovechar ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible en la Tierra no disminuye a medida que se aprovecha y porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Como se sabe, la principal fuente de energía renovable es el sol. En la atmósfera terrestre se convierte en una variedad de efectos, algunos tienen importancia como recursos energéticos, tal es el caso de la energía eólica (del viento), la energía de la biomasa (organismos vegetales y animales), la energía hidráulica (movimiento del agua en las corrientes de ríos), la diferencia de temperaturas en los océanos y la energía de las olas del mar.

También se denomina limpia porque su obtención y explotación no generan efectos contrarios como el caso de combustibles fósiles que nos lleva a resultados como efectos invernadero, cambios climáticos y degradación progresiva del ecosistema mundial.

El combustible fósil o fuente de energía no renovable es aquella que esta almacenada en cantidades fijas, en el interior del subsuelo. Estos recursos se agotan conforme se consumen. El petróleo, el gas natural, el carbón mineral, y el uranio constituyen estas fuentes. Las reservas disponibles dependen de la factibilidad técnica y económica de su explotación, del descubrimiento de nuevos yacimientos y del ritmo de extracción y consumo.

El uso cada vez mayor de energía procedente de combustibles fósiles, con el consiguiente agotamiento, el alto costo, el crecimiento poblacional y con ella se incrementa la demanda de energía ha conducido a la obtención de nuevas fuentes de energías para el desarrollo económico mundial.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es en caracterizar las celdas fotovoltaicas entendiéndose en conocer las características de varias celdas fotovoltaicas como es su respuesta a diferentes cambios de luz, a diferentes distancias en diferentes tipos de celdas fotovoltaicas, utilizando la estación de trabajo NI ELVIS.

1.3 Justificación

La aplicación de este tipo de energía renovable es muy importante, debido a que la dependencia de los combustibles fósiles representa un gran problema. Provocando contaminación del aire, del agua y del suelo, y producen gases de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

Este recurso de energía renovable ofrece una alternativa limpia que a los combustibles fósiles, provocando ninguna contaminación.

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad, de un modo directo. Aprovechando la energía del Sol para producir energía eléctrica.

Este recurso no se ha explotado en su totalidad, por lo que es necesario realizar una investigación, y encontrar sus características ya que las celdas fotovoltaicas están fabricadas con materiales con propiedades específicas para la conversión de generar energía eléctrica de una manera que no contamine el medio ambiente y genere energía limpia.

1.4 Metodología

Investigación bibliográfica sobre las fuentes renovables ubicando a las celdas fotovoltaicas como una de ellas. Descripción de una celda fotovoltaica de manera amplia. Se efectuará a realizar la experimentación para comprobar las características de las diferentes celdas fotovoltaicas a utilizar.

1.5 Contenido de la Tesis

En el Capítulo 1 se da una breve introducción a este trabajo, se muestra la importancia que tienen las fuentes renovables.

En el Capítulo 2 se describen los antecedentes de las fuentes renovables para ubicar a las celdas fotovoltaicas en el ambiente como una fuente renovable.

En el Capítulo 3 se describe el modelado de una celda fotovoltaica de una manera más detallada viendo sus componentes.

En el Capítulo 4 se realiza la experimentación de una celda para comprobar algunas de las características del modelado encontrado en el capítulo 3.

En el Capítulo 5 se muestran las conclusiones a las que se llegó después de haber realizado algunas pruebas y casos de estudio con la estación de trabajo NI ELVIS.

Capítulo 2

Antecedentes de Fuentes Renovables

2.1 Energía solar

El sol es una inmensa esfera gaseosa con un diámetro de 1 400 000 km. La Tierra da vueltas alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica de la cual el Sol ocupa un foco, la distancia media de la Tierra al Sol es de 150, 000, 000 Km. Es mínima hacia Enero y máxima a fines de Junio.

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, se produce directamente desde la fuente (el sol) hacia afuera en todas las direcciones. La radiación es un proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio. Todas las formas de radiación son producidas por cargas aceleradas. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas.

La atmósfera en su mayoría es transparente a la radiación solar entrante. Considerando, que al tope de la atmósfera llega un 100% de radiación solar, solo un 25% llega directamente a la superficie de la Tierra y un 26% es dispersado por la atmosfera como radiación difusa hacia la superficie (esto hace que un 51% de radiación llegue a la superficie terrestre). Un 19% es absorbido por las nubes y gases atmosféricos. El otro 30% se pierde hacia el espacio, de este valor, la atmósfera dispersa un 6%, las nubes reflejan un 20% y el suelo refleja el otro 4%.

2.1.1 Tipos de Radiación

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

- a) - Radiación directa: La que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica.
- b) - Radiación difusa: es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna.

- c) - Radiación terrestre: La que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc.
- d) - Radiación total: La suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie.

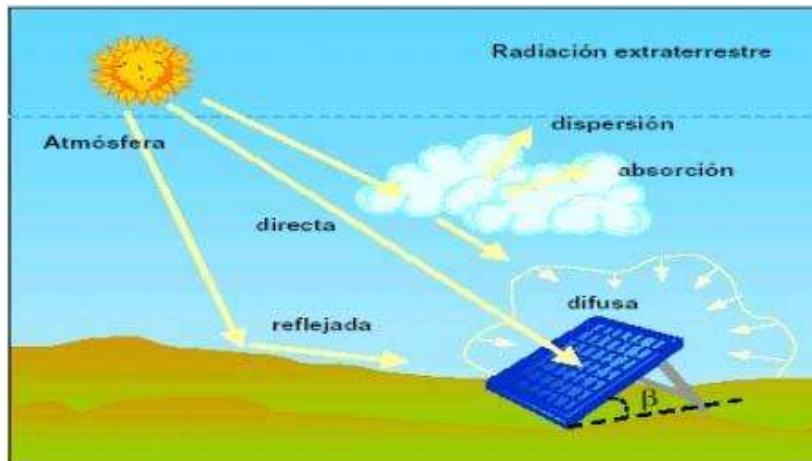


Figura 2.1 Tipo de Radiación

La atmósfera ejerce un efecto de redistribución de la radiación que recibe del Sol. Por ejemplo, en un día muy despejado, una parte relativamente pequeña se convierte en radiación difusa, como se muestra en la Figura 2.1, mientras que la mayor parte permanece como directa. La radiación difusa, es la que proviene del cielo azul. En cambio, en un día nublado, la redistribución de la radiación es mucho más notable. Las nubes densas tienen un albedo (fracción de energía reflejada) muy alta, lo cual hace que, en un día densamente nublado, una gran parte de la radiación solar se refleje al espacio exterior. Además, la energía que logra pasar a través de las nubes, es únicamente radiación difusa.

2.1.2 Aprovechamiento de la Energía Solar

La radiación solar se puede aprovechar de tres distintas maneras:

- a) - Directa: Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como Luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción como tecnología simple.
- b) - Térmica: Se denomina “térmica” la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, secado, etc., son aplicaciones térmicas.
- c) - Fotovoltaicas: Se llama “fotovoltaica” la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

2.1.3 Sistemas Pasivos

La energía solar térmica pasiva permite producir energía sin necesidad de utilizar ningún medio mecánico. El proceso térmico pasivo es un proceso totalmente natural en el que el sol se emplea para el calentamiento del agua circulante por conductos o placas que posteriormente es utilizada para la climatización de ambientes o el agua caliente sanitaria, tanto a nivel doméstico como industrial. El agua caliente se aprovecha directamente o se almacena en un depósito para su posterior uso. En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de un sistema pasivo.

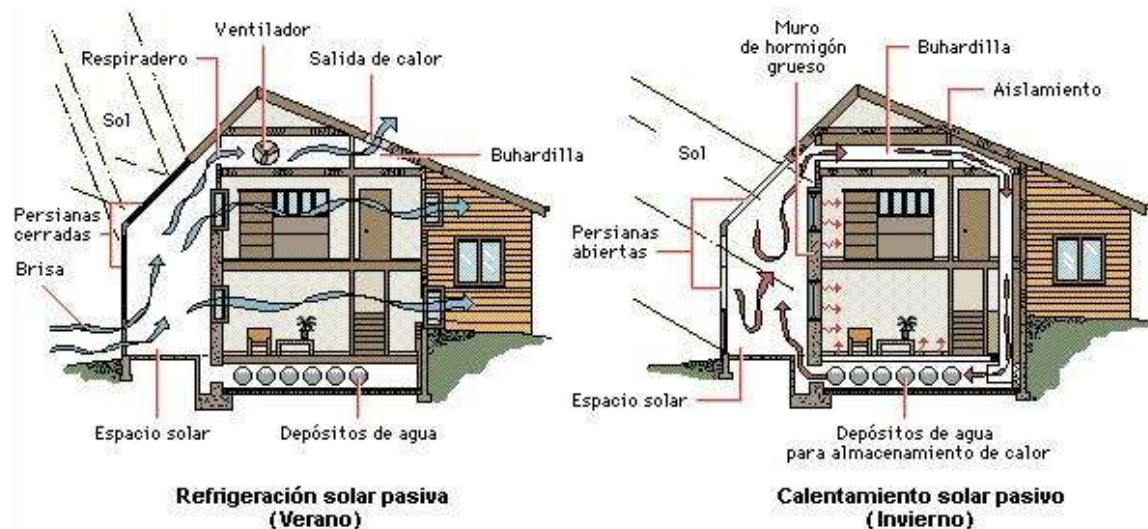


Figura 2.2 Sistema Pasivo

2.1.4 Sistema Activo

La energía solar térmica activa obtiene electricidad a partir de una serie de tecnologías que permiten la transformación del calor obtenido por la radiación solar. La radiación solar directa se concentra por diversos métodos en las centrales solares obteniéndose calor a media o alta temperatura.

El funcionamiento consiste en concentrar la luz solar mediante espejos (heliostatos), cilindros o discos parabólicos para alcanzar altas temperaturas que se utilizan para generar vapor y activar una turbina que produce electricidad por medio de un generador. En este no se producen las emisiones contaminantes de las centrales térmicas convencionales.

2.1.5 Tipos de Colectores

La tecnología utilizada en la captación de la energía solar térmica de forma activa se puede clasificar, en función del margen de temperatura que se requiera, en tecnologías de:

- Baja temperatura ($T < 90^{\circ}\text{C}$).
- Media temperatura ($90^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$).
- Alta temperatura ($T < 400^{\circ}\text{C}$)

a) - Colectores para la conversión térmica de baja temperatura

La tecnología solar térmica de baja temperatura se suele destinar al calentamiento de agua, por debajo de su punto de ebullición, para uso como agua caliente sanitaria. Los colectores empleados en esta tecnología dependen del tipo de instalación.

La captación solar está constituido, generalmente, por los denominados colectores solares térmicos planos o paneles solares térmicos planos, pertenecientes al grupo denominado sin concentración, es decir, a aquellos que utilizan la energía solar con la misma intensidad con la que ésta incide, (Figura 2.3).

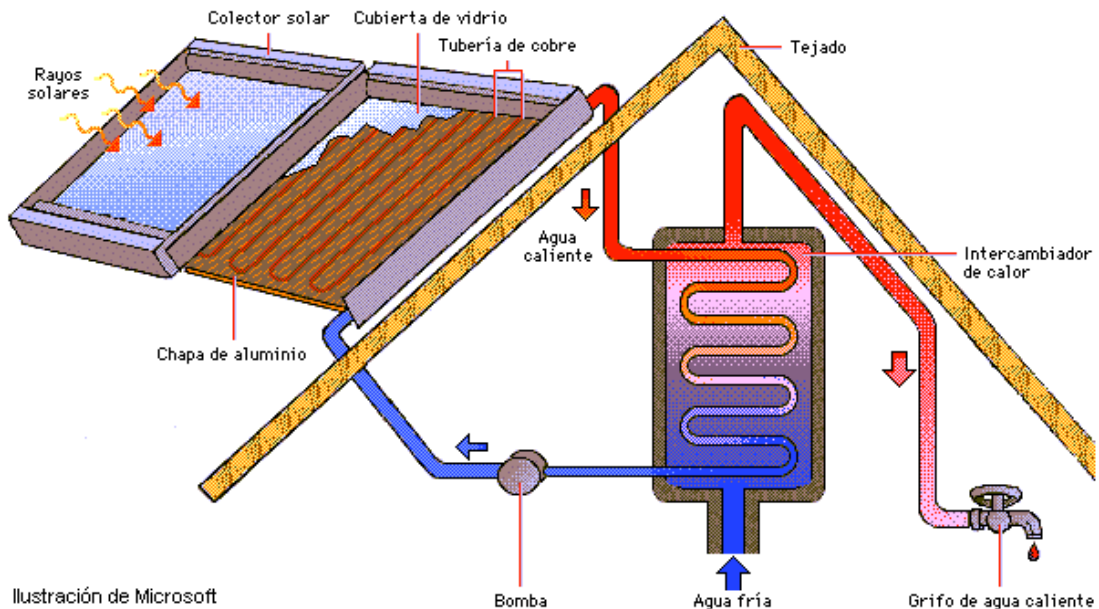


Figura 2.3 Colector de placa plana.

Los colectores planos están compuestos generalmente por los siguientes elementos:

- Cubierta transparente
- Superficie captadora de la radiación solar
- Tubería por donde circula el fluido que transfiere el calor captado
- Aislamiento térmico
- Carcasa

b) - Colectores para la conversión térmica de media temperatura

La tecnología solar térmica de media temperatura suele tener dos aplicaciones diferentes:

- La producción de calor en procesos industriales. Por ejemplo, vapor a temperaturas superiores a los 150° C.
- La generación de electricidad mediante la conexión del fluido caliente (hasta 400° C) utilizado por los colectores a un sistema convencional de producción de electricidad a partir de un ciclo térmico.

La captación de esta tecnología está constituida, generalmente, por los denominados colectores de concentración. Estos colectores concentran la radiación solar que recibe la superficie captadora en un elemento receptor de superficie muy reducida (Figura 2.4), siendo capaces de proporcionar temperaturas de hasta 400°C con buenos rendimientos. Con estos colectores se logra que la radiación solar caliente a media temperatura un fluido primario (aceite).



Figura 2.4 Colector solar de media temperatura

Aunque el colector de concentración cilíndrico-parabólico es el más extendido (Figura 2.5) hay que señalar que existe diversidad de tipos. Todos los modelos disponen de un sistema de seguimiento con el propósito de orientarlos en la mejor posición para captar eficazmente la radiación solar durante el transcurso del día.

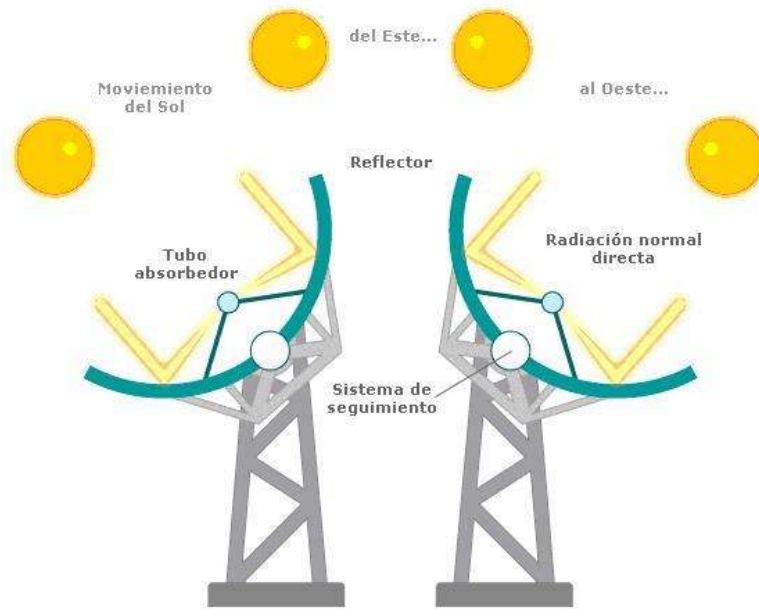


Figura 2.5 Sistema de seguimiento

Sin embargo, a diferencia de los colectores empleados en la tecnología solar de baja temperatura, los colectores de concentración captan la radiación directa, pero desaprovechan la radiación solar difusa, por lo tanto, no resultan apropiados en zonas de cierta nubosidad.

Esta tecnología es la más madura dentro del mercado de la solar termoeléctrica. Se empezó a usar en los años 80, y actualmente hay centrales en Europa y EE.UU. La potencia típica de estas centrales es de entre 50 MW y 200 MW.

c) - Colectores para la conversión térmica de alta temperatura

La tecnología solar térmica de alta temperatura se suele destinar fundamentalmente a la generación de energía eléctrica.

La captación de esta tecnología debe conseguir factores de concentración de la radiación muy superiores a los logrados con los colectores típicamente empleados en la tecnología solar térmica de media temperatura, así como la reducción de las pérdidas por radiación y convección al exterior. Estos objetivos se intentan lograr utilizando concentradores de foco puntual. Donde enfocan hacia un mismo punto toda la radiación solar captada. El sistema más extendido es una central de torre.

Consisten en una serie de espejos orientados, denominados helióstatos que reflejan la radiación sobre una caldera situada en una torre central (Figuras 2.6).

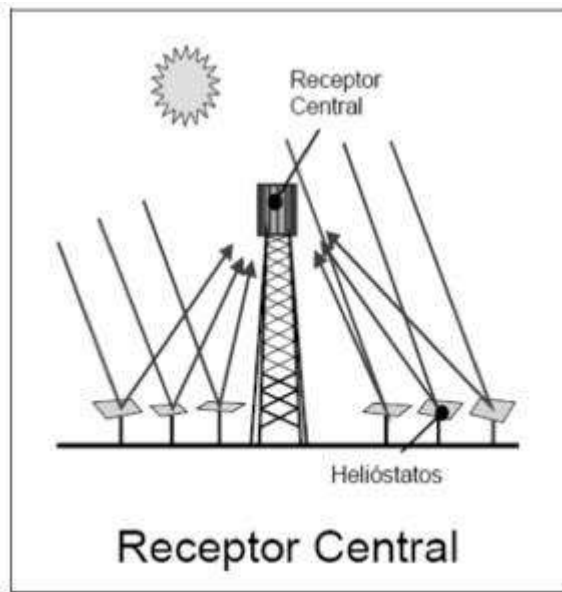


Figura 2.6 Central de torre

La primera central comercial de este tipo se terminó en junio de 2007 en España. La PS10 de 10 MW, en Solúcar (Sevilla). Junto a la PS10 (Figura 2.7), puede verse la PS20, de próxima inauguración, 300 MW de energía solar están siendo construidos en la plataforma Solúcar, electricidad limpia a partir de tecnología de torre y CCP.





Figura 2.7 Vista de una central de torre

2.2 Fotovoltaico

Edmund Becquerel, un físico francés, fue el primero en descubrir en 1839 que ciertos materiales podían generar pequeñas corrientes eléctricas cuando eran expuestos a la luz, sucedió cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apreció un aumento de la generación eléctrica con la luz. El siguiente paso lo dio en 1873 Willoughby Smith al observar el efecto fotovoltaico que ya descubriera Bequerel, pero esta vez en un medio sólido como el selenio. Sin embargo, se necesitaron a partir de aquí todavía más de 100 años para que la tecnología solar fotovoltaica alcanzase un grado de desarrollo que permitiese su uso en aplicaciones prácticas. Este último hallazgo condujo en 1977 a W. G. Adams y R. E. Day a producir su primera célula fotovoltaica fabricada en este tipo de material.

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

De forma general, pueden señalarse los siguientes componentes empleados en esta tecnología (Figura 2.8):

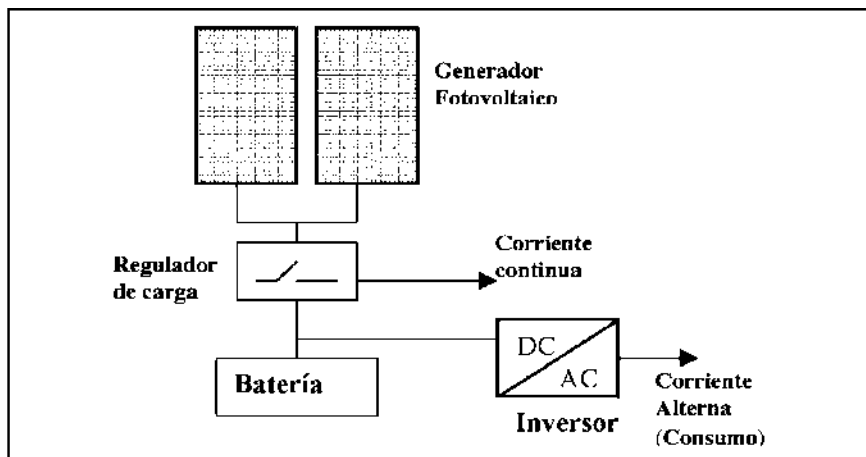


Figura 2.8 Sistema Fotovoltaico

- Captación
- Almacenamiento
- Regulador
- Convertidor
- Consumo

La captación está constituida por el panel fotovoltaico, el cual tiene como función convertir la radiación solar que incide sobre él en electricidad. El panel, cuya superficie más habitual se encuentra entre $0,5 \text{ m}^2$ y $0,8 \text{ m}^2$, está integrado por un conjunto de células fotovoltaicas que se conectan en serie y paralelo con el propósito de lograr, para una radiación dada, unos determinados niveles de tensión e intensidad eléctrica. Asimismo, la estructura del panel proporciona resistencia mecánica y estanqueidad a las células, facilita la evacuación del calor de las mismas, incrementando así su rendimiento, y favorece la optimización de la captación de la radiación solar, Figura 2.9.

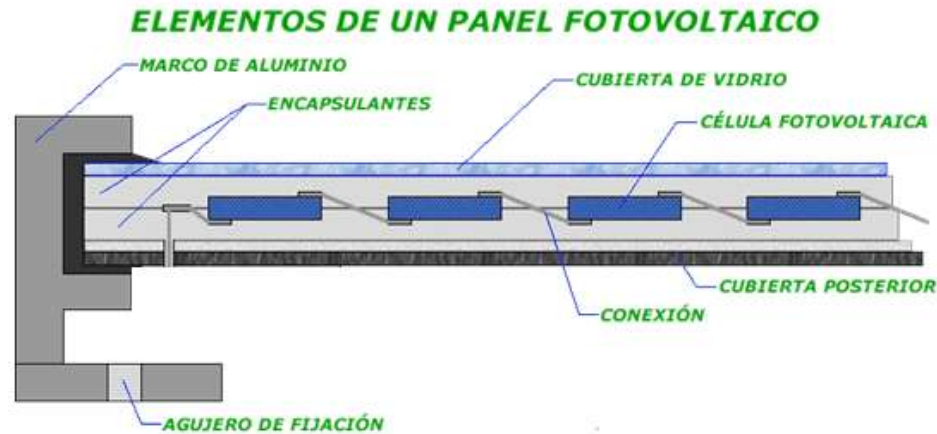


Figura 2.9 Elementos de un panel Fotovoltaico

El sistema de almacenamiento tiene como función almacenar la energía eléctrica generada que no está siendo utilizada por el consumidor, ya que al ser la radiación solar variable no podría garantizarse, en el caso de ausencia de este subsistema, el suministro de energía en todo momento.

El sistema de almacenamiento está compuesto por baterías conectadas en serie o en paralelo. De los distintos tipos de baterías que pueden ser empleadas, las de plomo ácido son las que mejor se adaptan a este tipo de generación, de hecho más del 90% del mercado corresponde a este tipo de baterías.

El sistema de regulación tiene como función evitar que las baterías reciban más energía que la máxima que éstas son capaces de almacenar y prevenir las sobrecargas que agotarían en exceso la carga de las mismas.

El convertidor de corriente es el encargado de adaptar la energía producida por el panel fotovoltaico o la almacenada en las baterías, que es de tipo continuo, al tipo de energía, continua o alterna, solicitada por las cargas. En el caso de que la carga requiera consumir corriente alterna, el convertidor consiste en un inversor, el cuál transforma la tensión e intensidad continuas en tensión y corriente alternas.

2.3 Energía Eólica

La energía eólica o energía del viento es generada por las corrientes en la capa de aire de la atmósfera, las cuales se forman por el calentamiento no homogéneo del sol que provoca diferencias de temperatura y presión en el aire.

Esa energía cinética del viento puede transformarse en energía útil, mecánica o eléctrica. Transformando en energía mecánica, la energía eólica se ha aprovechado desde tiempos remotos para mover embarcaciones o las aspas de molinos de viento.

El primer molino de viento que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical. Este molino se utilizaba para moler grano y fue de uso corriente en la antigua Persia, posiblemente varios siglos antes de nuestra era, Figura 2.10. Las máquinas eólicas han experimentado una considerable y larga evolución durante un período de más de 2,000 años. Durante ese largo período histórico pueden señalarse diversas etapas de desarrollo. Desde las primeras máquinas conocidas hasta el siglo XV la evolución es lenta y de escaso desarrollo técnico, Figura 2.11.

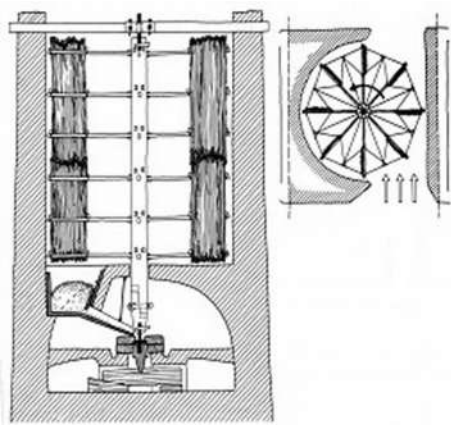


Figura 2.10 Molino Persa eje vertical



Figura 2.11 Molino típico del siglo XV

En el período comprendido entre el comienzo del Renacimiento y el inicio de la Revolución Industrial se multiplican las invenciones que utilizan las ruedas hidráulicas o los molinos de viento como fuerza impulsora, Figura 2.12. Desde mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX se desarrolla la teoría aerodinámica y otras ciencias de carácter técnico, lo que origina que las máquinas eólicas sufran una completa transformación. Una de las primeras máquinas eólicas construida expresamente para producir electricidad (aerogenerador) data del año 1892 y su diseño fue llevado a cabo por el profesor Lacour en Dinamarca.



Figura 2.12 Molino al inicio de la revolución industrial

A partir de la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días se producen importantes modificaciones de carácter técnico, que se traducen en la utilización de materiales más ligeros y resistentes, y el empleo de sistemas electrónicos de regulación y control. La tecnología de la energía eólica está teniendo un vertiginoso desarrollo. En la actualidad, más de cuarenta mil turbinas de medio tamaño están en funcionamiento en el mundo, fundamentalmente en Europa, Estados Unidos y la India. Estas máquinas pueden producir anualmente alrededor de 20,000 millones de kWh de electricidad a partir de la energía cinética del viento.

Su uso para generar energía eléctrica es más reciente, empleándose actualmente aerogeneradores montados en torres de 30 metros de altura (Figura 2.13), ya que la velocidad del viento aumenta a mayor distancia del suelo.

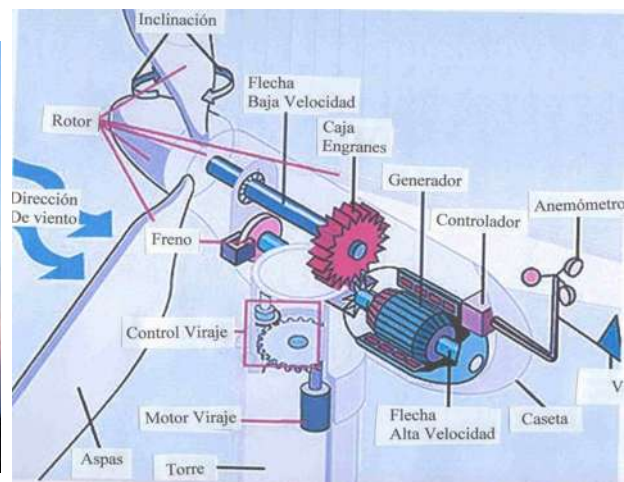


Figura 2.13 Aerogenerador

Beneficios

- El combustible, que es el viento es gratuito y renovable.
- Las plantas eoloelectricas no arrojan ningún tipo de emisiones ni de desechos, por lo que no contamina.
- Ocupan una mínima parte del terreno, conservándose el uso original del suelo sin perturbar las actividades de las comunidades.
- Tienen bajo costo de mantenimiento.

2.4 Energía Mareomotriz

Las mareas de los océanos constituyen una fuente gratuita, limpia e inagotable de energía, figura 2.14. Los océanos, con una superficie de 361 millones de km^2 y un volumen de 1370 km^3 , actúan como sistemas colectores y de almacenamiento, lo cual se manifiesta de diversas formas, olas (energía eólica), y gradientes térmicos, gradientes salinos y corrientes marinas (energía solar mareotérmica).



Figura 2.14 Las olas del mar, fuente de energía renovable

A estas formas de energía hay que sumar la de las mareas (energía mareomotriz) debido a la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol, y a la rotación de la Tierra.

Los mares y los océanos son una fuente de energía prácticamente inagotable. Muchos han sido los proyectos propuestos para aprovechar el enorme potencial energético contenido en el movimiento perpetuo de sus aguas, pero la mayoría no se han realizado a causa de los efectos corrosivos del agua salada sobre las partes metálicas, de las condiciones atmosféricas adversas. Las dificultades de transporte de energía producida y los elevados gastos que supone.



Figura 2.15 Diversos equipos de aprovechamiento de energía mareomotriz

Las principales fuentes para aprovechar la energía del mar son:

-Energía de las mareas:

Las mareas son un movimiento cíclico alternativo de ascenso y descenso del nivel del agua del mar, producto de la acción gravitatoria de la Luna y el Sol y favorecido por la poca viscosidad del agua. Este movimiento de subida y bajada del nivel del agua es aprovechado en las centrales mareomotrices para generar energía eléctrica, Figura 2.15.

-Energía de las olas:

La principal fuente de energía de las olas es el sol. El calentamiento desigual de la superficie terrestre genera viento, y este, al pasar por encima del agua, genera olas. Los dispositivos que se están experimentando o que están en proyecto son muchos, aunque la mayoría utilizan el mismo principio: la ola presiona sobre un cuerpo que comprime el fluido (líquido o gas) el cual acciona una turbina.

-Energía térmica de los océanos:

La diferencia de temperatura entre las capas superficiales y las profundidades de los océanos se puede aprovechar para desencadenar un ciclo termodinámico y obtener energía eléctrica.

2.5 Biomasa

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético.

La energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animal.

El valor energético de la biomasa de material vegetal proviene originalmente de la energía solar (Figura 2.16) a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que a su vez se alimentan de plantas u otros animales) o en los desechos que producen, se llama bioenergía. Durante proceso de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía a menudo en la forma de calor y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis.



Figura 2.16 Energía solar

Este proceso de captación de la energía solar y su acumulación en las plantas y árboles como energía química es un proceso bien conocido. Los carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar y al formarse aquellos, cada átomo gramo de carbono absorbe 112 kcal de energía solar, que es precisamente la que después de recuperar, en parte con la combustión de la celulosa o de los combustibles obtenidos a partir de ella (gas, alcohol, etc.). En la figura 2.17 se ilustra un diagrama del origen de la biomasa.

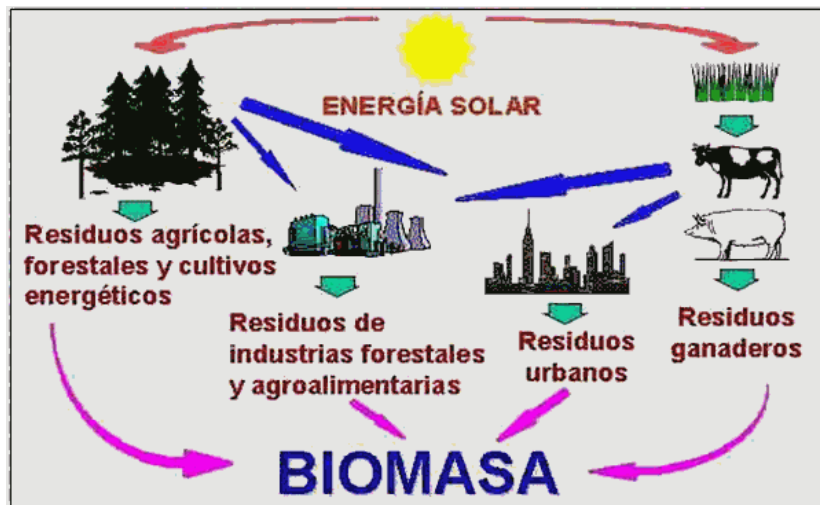


Figura 2.17 Origen de la Biomasa

En la naturaleza, en última instancia toda la biomasa se descompone a sus moléculas elementales acompañada por la liberación de calor. Por lo tanto, la liberación de energía de conversión de la biomasa en energía útil imita procesos naturales pero en una tasa más rápida. Por lo tanto, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. Al utilizar esta energía recicla al carbón y no añade dióxido de carbono al medio ambiente, en contraste con los combustibles fósiles. De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La biomasa puede utilizarse directamente por ejemplo combustión de madera para la calefacción y cocinar o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso; ejemplo: etanol a partir de cosecha del azúcar o biogás de la basura animal.

2.6 Energía Hidráulica

La energía hidráulica es aquella que aprovecha la energía del agua para generar energía eléctrica. Donde primero se tiene contenida grandes cantidades de agua que tienen una energía potencial, que por la gravedad adquiere energía cinética, al momento de pasar de un nivel alto a un nivel más bajo por medio de unas tuberías de conducción, debido a la masa y velocidad, el agua produce un empuje en las turbinas (Figura 2.18), las cuales transforman la energía hidráulica en energía mecánica. Esta energía se propaga en unos generadores que están acoplados a las turbinas y transforman a energía eléctrica. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es

devuelta río abajo (Figura 2.19). Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos.

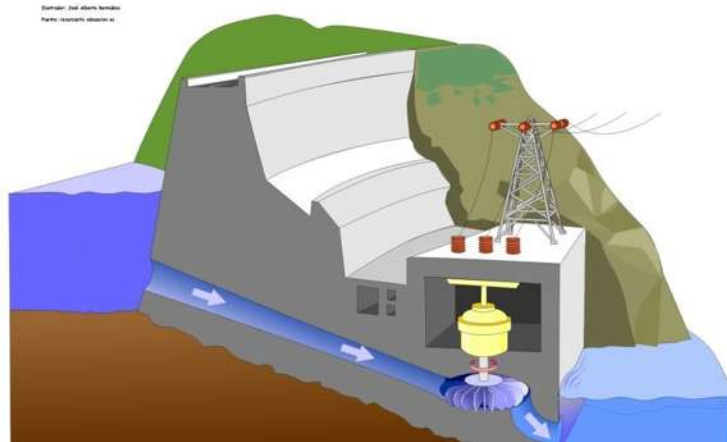


Figura 2.18 Central Hidroeléctrica

La fuerza del agua ha sido utilizada durante mucho tiempo para moler trigo, pero fue con la Revolución Industrial, y especialmente a partir del siglo XIX, cuando comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. El bajo caudal del verano y otoño, unido a los hielos del invierno hacían necesaria la construcción de grandes presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El principal impulso de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad. A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de energía hidroeléctrica eran Canadá y Estados Unidos.



Figura 2.19 Vista de una central hidroeléctrica

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. En la figura 2.20 se aprecia cómo el agua que llega a alta presión en la turbina, incide en sus álabes, haciendo girar su eje, el cual va conectado a un generador produciendo en éste energía eléctrica. Luego el agua sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y van conectados con árboles verticales.

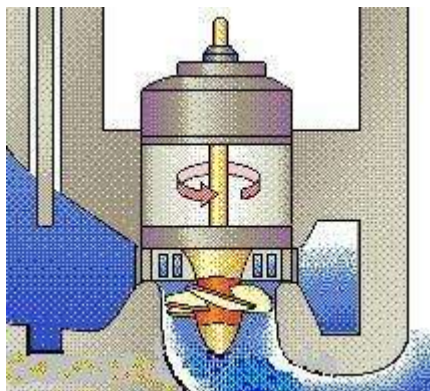


Figura 2.20 Esquema de turbina Kaplan

El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis (Figura 2.21) se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos, y las turbinas Pelton (Figura 2.22) para grandes saltos y pequeños caudales.



Figura 2.21 Rodete Francis para gran potencia

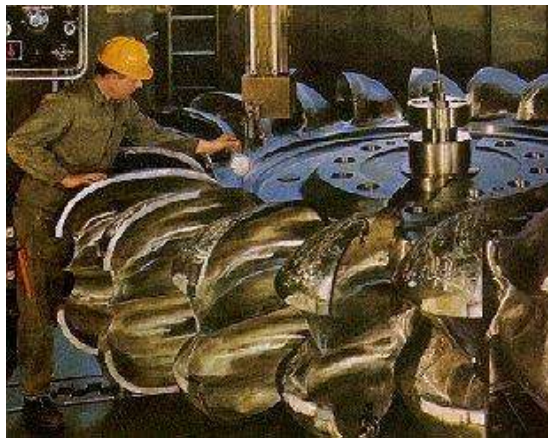


Figura 2.22 Rueda Pelton

En la figura 2.23 se aprecia un conjunto de generadores, bajo los cuales están conectadas turbinas que reciben el movimiento del agua. A su vez, los generadores están conectados a transformadores en donde se regula el voltaje necesario para posteriormente transmitir la corriente eléctrica.



Figura 2.23 Generadores Eléctricos

2.7 Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella que consiste en extraer el calor del magma de la Tierra mediante el agua que se encuentra en las profundidades del planeta calentadas por dicho magma y sube a la superficie en forma de vapor (Figura 2.24).

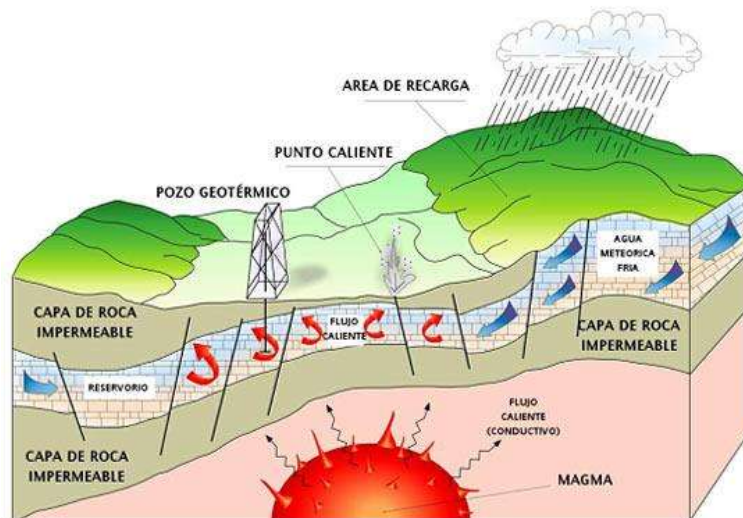


Figura 2.24 Energía Geotérmica

La Tierra tiene una importante actividad geológica. Su núcleo es una esfera de magma a temperatura y presión muy alta. De hecho, el calor aumenta según se desciende hacia el centro de la Tierra.

El magma se encuentra cerca de la superficie terrestre en zonas con alta actividad volcánica. En algunos casos el vapor o el agua caliente brotan espontáneamente. En otros casos, es necesario inyectar agua en pozos y extraerla como vapor.

La energía geotérmica es muy eficiente y limpia, ya tiene muchas aplicaciones. Es posible generar electricidad en las plantas llamadas geotermoeléctricas figura 2.25 mediante procesos térmicos.



Figura 2.25 Vista de una planta geotermoeléctrica

Lo habitual es que las plantas de energía geotérmicas funcionen con un mínimo de dos pozos figura 2.26, de uno se obtiene el agua caliente, mientras que el otro se utiliza para reinyectar el caudal obtenido ya enfriado en el acuífero. Este sistema permite mantener el caudal del agua del yacimiento.

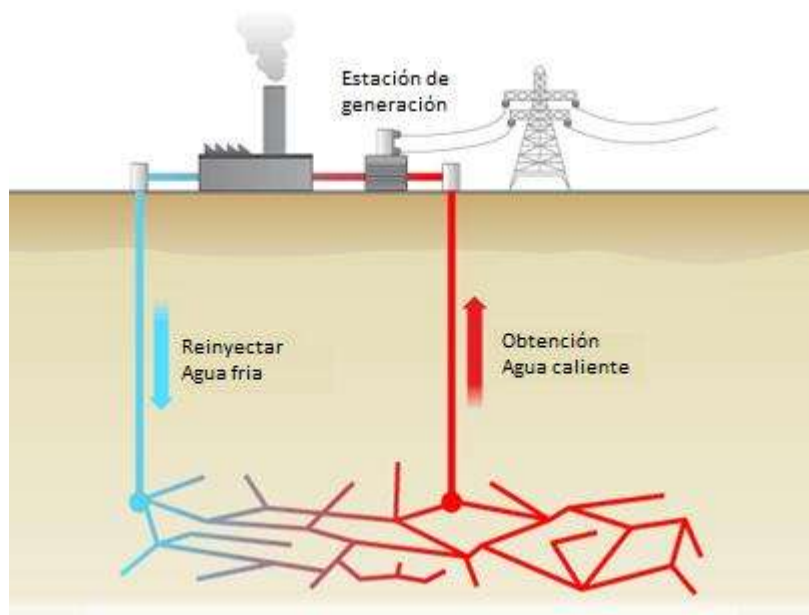


Figura 2.26 Obtención y reinyección

Capítulo 3

Modelado de Celdas Fotovoltaicas

3.1 Celda fotovoltaica

La celda fotovoltaica es un sistema que convierte directamente la luz solar en electricidad. Fabricada con materiales semiconductores que, por efecto fotovoltaico, genera corriente eléctrica cuando incide sobre el la radiación solar.

3.1.1 Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad. La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del voltaje o de potencial entre las capas, figura 3.1. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil para una aplicación determinada.

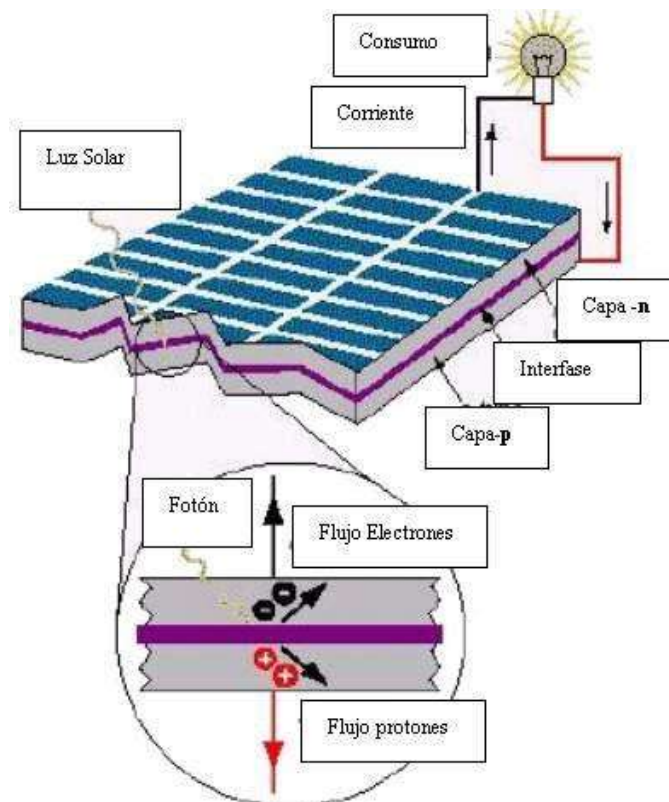


Figura 3.1 Efecto fotovoltaico

Cuando incide luz solar sobre ella, los electrones son golpeados y extraídos de los átomos del material semiconductor. Como se han dispuesto conductores eléctricos en forma de una rejilla que cubre ambas caras del semiconductor, figura 3.2, los electrones circulan para formar una corriente eléctrica que aporta energía. Cuando la luz solar pega en una celda fotovoltaica puede ser: reflejada, absorbida o pasar limpiamente a través de esta. No obstante, solo aquella luz absorbida es la que va a generar electricidad. La energía de la luz es transferida a electrones en los átomos de la celda fotovoltaica. Estos escapan de sus posiciones normales en los átomos del material semiconductor fotovoltaico y se convierten en parte del flujo eléctrico.

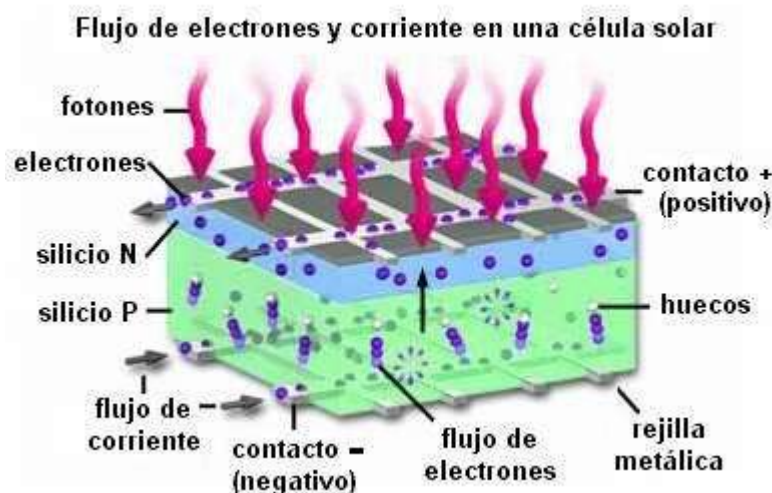


Figura 3.2 Flujo de electrones y corriente en una célula solar

Para inducir el campo eléctrico construido dentro de una célula fotovoltaica, se ponen dos capas de materiales semiconductores ligeramente distintas en contacto entre sí. La primera es una capa semiconductor del tipo-n con abundancia de electrones con carga negativa. La otra capa semiconductor es del tipo-p con abundancia de "huecos" que tienen una carga positiva.

3.1.2 Semiconductor

El término semiconductor revela por sí mismo una idea de sus características. Se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como el flujo de carga, presión, la radiación que incide o la temperatura. Las características de los materiales semiconductores pueden ser alteradas por la adición de ciertos átomos de impureza a un material semiconductor relativamente puro. Se le somete a un proceso llamado dopaje, con el fin de aumentar su conductividad.

3.1.3 Semiconductor tipo-N

El material tipo N se crea a través de la introducción de elementos de impureza pentavalentes (con 5 electrones de valencia) como el antimonio (Sb), arsénico (As) y el fósforo (P). El donante aporta electrones en exceso, los cuales al no encontrarse enlazados, se moverán fácilmente por la red cristalina aumentando su conductividad. De ese modo, el material tipo N se denomina donador de electrones, figura 3.3.

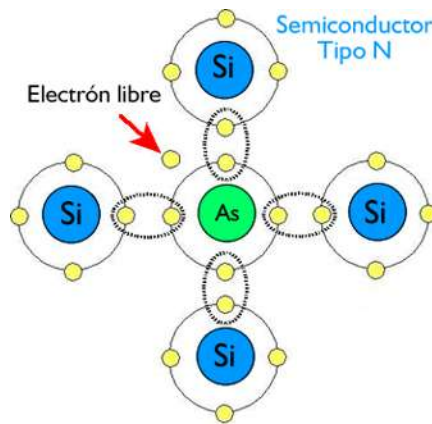


Figura 3.3 Impureza de arsénico en el material tipo N

3.1.4 Semiconductor tipo-P

El material tipo P se forma mediante el dopado de un cristal puro de germanio o de silicio con átomos de impureza que poseen 3 electrones de valencia, como el boro (B), galio (Ga) e indio (In). Puesto que no aportan 4 electrones necesarios para establecer los 4 enlaces covalentes, en la red cristalina estos átomos presentan un defecto de electrones. De esa manera se originan huecos que aceptan el paso de electrones que no pertenecen a la red cristalina. Así el material tipo P se le denomina donador de huecos (aceptador de electrones) figura 3.4.

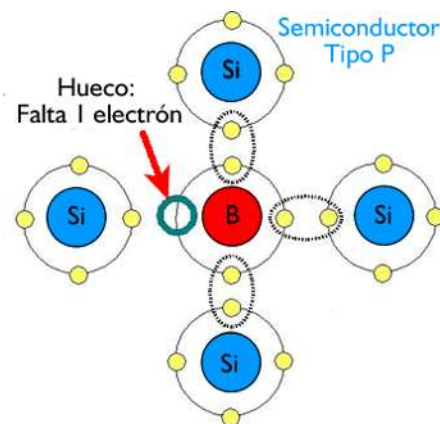


Figura 3.4 Impureza de boro en el material tipo P

3.1.5 Unión del semiconductor P con el N

Un trozo de semiconductor P dispone de más huecos libres, o portadores mayoritarios, que de electrones libres, o portadores minoritarios, pero la carga neta del mismo es neutra. Lo contrario sucede con el semiconductor de tipo N, en el que los portadores mayoritarios son los electrones, pero también en conjunto dispone de una carga neutra. Al colocar parte del semiconductor de tipo P junto a otra parte de semiconductor de tipo N, debido a la ley de la difusión los electrones de la zona N, con alta concentración de los mismos, tienden a dirigirse a la zona P, que apenas los tiene, sucediendo lo contrario con los huecos, que tratan de dirigirse de la zona P a la N, propiciando su encuentro y neutralización en la zona de unión, figura 3.5. Al encontrarse un electrón con un hueco desaparece el electrón libre, que pasa a ocupar el lugar del hueco, y por lo tanto también desaparece este último, formándose en dicha zona de unión una estructura estable y neutra. Unión del semiconductor P con el N. Como quiera que la zona N era en principio neutra y al colocarla junto a la zona P pierde electrones libres, cada vez va siendo más positiva, mientras que la zona P, al perder huecos, se hace cada vez más negativa. Así aparece una diferencia de potencial entre las zonas N y P, separadas por la zona de unión que es neutra.

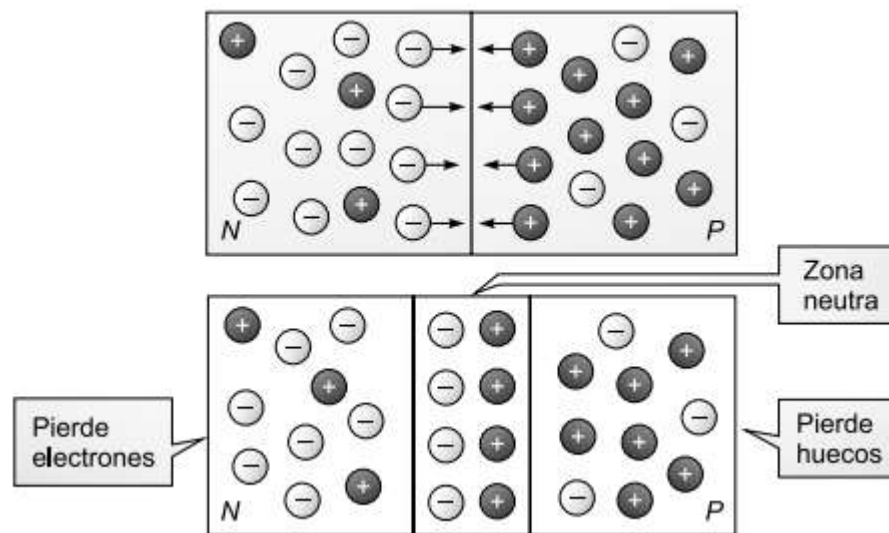


Figura 3.5 Unión con el semiconductor P con el N

La tensión que aparece entre las zonas N y P, llamada barrera de potencial, se opone a la ley de la difusión, puesto que el potencial positivo que se va creando en la zona N repele a los huecos que se acercan de P, y el potencial negativo de la zona P repele a los electrones de la zona N. Cuando ambas zonas han perdido cierta cantidad de portadores mayoritarios, que se han recombinado, la barrera de potencial creada impide la continuación de la difusión y, por tanto, la igualación de las concentraciones de ambas zonas.

La barrera de potencial es del orden de 0.2 V cuando el semiconductor es de Ge y de unos 0.5 V cuando es de Si.

Para la mayoría de aplicaciones en que están relacionadas las celdas fotovoltaicas resulta insuficiente la diferencia de potencial de 0.5 Volts generada por una celda, de esta manera las celdas tienen que ser colocadas en serie para que, en conjunto, proporcionen el voltaje adecuado. De la misma manera varias de esas series pueden ser colocadas en paralelo para incrementar la corriente.

3.2 Construcción de la celda fotovoltaica

Las celdas de Silicio mono cristalino representan el estado comercial de la tecnología fotovoltaica. Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas, figura 3.6; posteriormente el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente las obleas se pulen por ambas caras. Durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original. Una vez pulidas las obleas se introduce a alta temperatura un material dopante, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo p si se le añadió boro, o tipo n si se añadió fósforo. La mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 Volts, independientemente del área superficial de la celda, sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará.



Figura 3.6 Proceso de construcción

Posteriormente, las celdas interconectadas en serie y sus conexiones eléctricas se encapsulan y se colocan entre dos placas que pueden ser de vidrio, o bien una de vidrio superior y una posterior plástica o metálica. Para absorber esfuerzos mecánicos y con propósitos de montaje se añade un marco metálico. La unidad resultante recibe el nombre de módulo o panel fotovoltaico, el módulo es típicamente la unidad básica de los sistemas fotovoltaicos. Los módulos pueden interconectarse en serie y/o paralelo para formar un arreglo. Como se muestra en la siguiente figura 3.7.



Figura 3.7 Paneles fotovoltaicos interconectados

Una función importante del encapsulado en los módulos es que las celdas puedan quedar protegidas para que operen bajo condiciones de climas cambiantes, o de posibles daños mecánicos producidos por aves, polvo o piedras. El encapsulado proveerá suficiente rigidez para sujetar a las celdas y sus interconexiones, figura 2.9. También tiene la función de aislar eléctricamente a las celdas respecto a posibles rupturas dieléctricas. Para los adhesivos encapsulantes y capas intermedias se utilizan resinas de silicón que tienen excelente estabilidad ante la radiación ultravioleta, baja absorción de la luz visible, y son suficientemente elásticas para reducir los esfuerzos térmicos en el módulo.

3.3 Tipos de celdas fotovoltaicas más utilizadas actualmente

3.3.1 Por el tipo de materiales:

Dentro de esta clasificación destacamos tres tipos:

- De material simple: el material más utilizado es el silicio (Si), aunque también se utilizan el germanio (Ge) y selenio (Se).

- De compuestos binarios: los compuestos binarios que se han investigado han sido muchos, aunque lo más habituales han sido: CdTe, AsGa, InP, CdS.
- De compuestos ternarios: entre otros cabe destacar algunos compuestos como AlGaAs, y los compuestos de estructura calcopirita basados en el Cu, como CuInSe₂.

3.3.2 Tipos de celdas fotovoltaicas

Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas en el mercado, cada una de ellas tiene diferentes características, las más comunes se pueden ver en la figura 3.8.

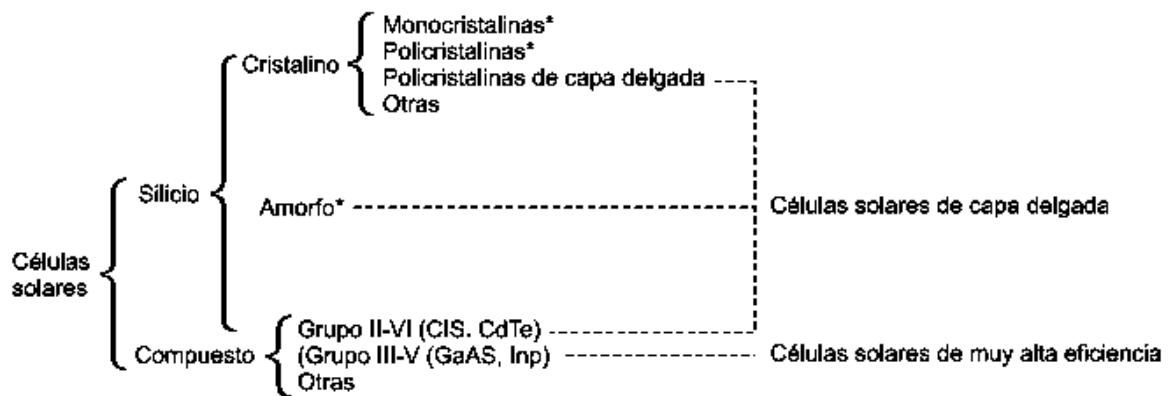


Figura 3.8 Tipos de células fotovoltaicas

- Silicio monocristalino

La mayoría de las celdas o células actualmente en el mercado son monocristalinas. El proceso de fabricación es el siguiente: El silicio se purifica, se funde y se cristaliza en lingotes. Los lingotes son cortados en finas obleas para hacer células individuales. Las células monocristalinas tienen un color uniforme, generalmente azul o negro. Las más comunes son Si, AsGa, CdTe, estos son los más eficientes y los más caros de producir.

- Silicio policristalino

Las células policristalinas se fabrican de forma similar a las monocristalinas. La principal diferencia es que se utiliza un silicio de bajo costo. Generalmente redonda en una reducción en la eficiencia, pero los fabricantes defienden que el precio por kW es menor.

La superficie de las células policristalinas tiene un patrón aleatorio de cristalización en lugar del color homogéneo de las células monocristalinas, figura 3.9.

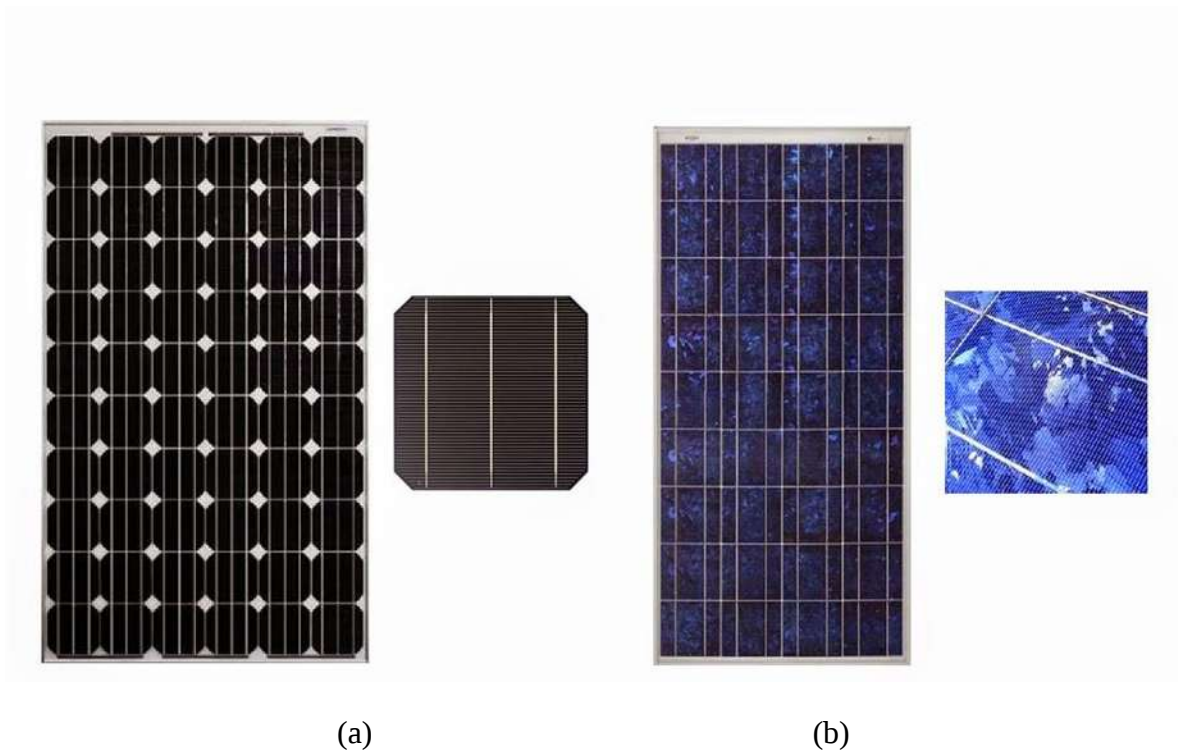


Figura 3.9 a) Silicio monocristalino y b) silicio policristalino

- Células amorfas

Estas son manufacturadas mediante la colocación de una fina capa de amorfo (no cristalino) de silicio sobre una amplia variedad de superficies. Estos son los menos eficientes y menos costosos de producir de los tres tipos. Debido a la naturaleza amorfa de la capa fina, es flexible, y si se fabrica sobre una superficie flexible, el panel solar entero puede ser flexible.

Una característica de las celdas solares amorfa es que su potencia se reduce con el tiempo, especialmente durante los primeros meses, después de los cuales son básicamente estables. La salida de la cita de un grupo amorfo que se produce después de esta estabilización.

3.4 La plataforma LabVIEW

LabView su significado Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, este programa fue creado por National Instruments (1976), salió al mercado por primera vez en 1986. Este software fue utilizado para el desarrollo de instrumentos virtuales, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no solo al control de todo tipo de electrónica, sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc.

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se muestran a continuación:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- 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.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo, son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs.

3.5 La estación de trabajo NI-ELVIS

El avance de la tecnología y la combinación de sistemas computacionales, componentes electrónicos y los recursos necesarios han permitido el desarrollo y construcción de sistemas de adquisición de datos.

La tarjeta de adquisición de datos más conocida como la DAQ (Data Acquisition) permite realizar la medición tanto variables eléctricas (voltaje, corriente, resistencia, etc.) como físicas (a través de transductores), esto puede lograrse con la ayuda del ordenador e instrumentación virtuales que pueden ser programadas desde un software especial, lo cual representa una poderosa herramienta que ha logrado resolver problemas de ingeniería y ampliar el campo de investigación en el área de la instrumentación.

La instrumentación ha sido de gran importancia dentro de las ingenierías, ya que esta se ha convertido en una herramienta popular de medición, ya que opera de manera similar como un instrumento de medición común, pero teniendo en cuenta límites de operación, ya que estos detalles se ven reflejados en el tipo de ordenador que se utiliza, así como sus características, una de estas es la velocidad de procesamiento.

Gracias al desarrollo de instrumentos virtuales, la compañía National Instruments logró unir las capacidades que poseen algunos instrumentos en un sólo aparato llamado NI-ELVIS, permitiendo al usuario realizar con facilidad pruebas sobre circuitos electrónicos analógicos y digitales, ya que nos facilita la visualización de señales, así como las lecturas de variables eléctricas. Además, cabe mencionar que dicha estación puede representar un gran ahorro de espacio en el área de trabajo y económicamente.

3.6 La empresa National Instruments

National Instruments (NI), es una empresa fundada en 1976 por James Truchard, Bill Nowlin y Jeff Kodosky en Austin, Texas, figura 3.10.



Figura 3.10 Fundadores de la compañía National Instruments

El origen de la empresa National Instruments comenzó cuando James Truchard termino su doctorado, se reunió con Jeff Kodosky y Bill Nowlin, pronto se dedicaron a desarrollar productos con el GPIB, el cual es un dispositivo utilizado para la comunicación con un ordenador. Tiempo después en la década de los 80's crearon su primer producto llamado LabVIEW, gracias a esto fueron creciendo espontáneamente y se dedicaron al desarrollo y venta de productos como hardware y software.

3.7 El GPIB

GPIB es un estándar de conexión que permite la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida, como pueden ser generadores de funciones, osciloscopios, etc. Las siglas corresponden a General Purpose Interface Bus, pero a pesar de este nombre, fue diseñado específicamente para la conexión de instrumentos de medida.

Fue creado en 1965 por la compañía Hewlett-Packard, que lo denominó originalmente HP-IB, y se popularizó con rapidez, debido a sus altas tasas de transferencia de datos (8Mbytes/s). En 1975, para evitar la dispersión de características, los principales fabricantes acordaron la estandarización del GPIB (IEEE 488.1), centrándose en las características

eléctricas y mecánicas de bus. En 1987 tuvo lugar una segunda estandarización (IEEE 488.2) figura 3.11, que delimitó de forma más concreta la programación del GPIB, definiendo comandos de aparatos, formato de mensajes y estado de los instrumentos.



Figura 3.11 Conector GPIB

En la figura 3.12, se muestra la conexión de dispositivos con el ordenador a través de bus GPIB, que permite enviar o recibir información de cualquier equipo o dispositivo, así como también la comunicación con instrumentos de medición.

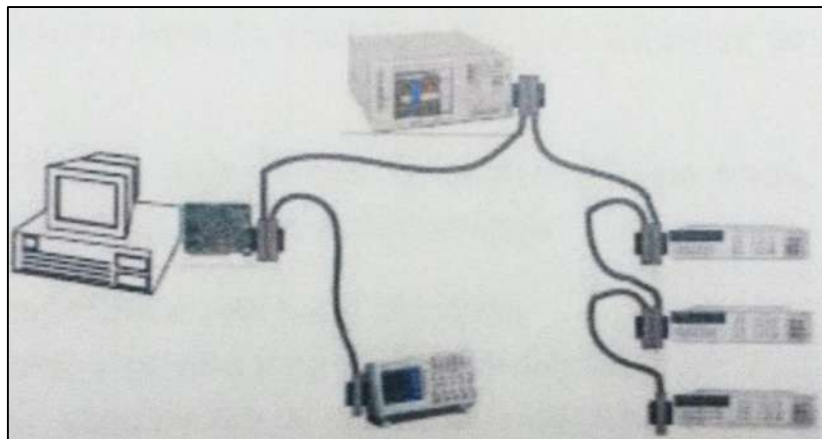


Figura 3.12 Conexión mediante el GPIB

3.8 Sistema DAQ

Un sistema DAQ es un proceso donde se realiza una medición de una magnitud física, a través de una computadora y mediante una tarjeta DAQ, donde el ordenador cuenta con un software establecido para dicha medición. Los sistemas DAQ aprovechan la potencia del procesamiento de la computadora, la visualización y habilidades de conectividad hacia los ordenadores.

El proceso a seguir con las señales desde la adquisición de estas, por medio del sensor adecuado, hasta la digitalización consta de tres etapas:

1. Conversión de la magnitud a una señal eléctrica.
2. Adaptación de la señal eléctrica para su lectura digital.
3. Sistema hardware de adquisición de datos, generalmente a través de un computador

A continuación en la figura 3.13 se muestra un sistema DAQ basado en PC.



Figura 3.13 Sistema DAQ basado en PC

3.8.1 El sensor

Los sensores también conocidos como transductores son dispositivos capaces de convertir una magnitud física, como puede ser la corriente, el voltaje, la temperatura, la presión, el valor de pH, etc., en una diferencia de potencial o una variación de intensidad, es decir, realizan una conversión de energía y suministran información sobre el estado y tamaño de la magnitud.

Algunos sensores pueden requerir de componentes adicionales y circuitos para presentar correctamente una señal que pueda ser leída con precisión y seguridad por un dispositivo.

3.8.2 El dispositivo DAQ

Los dispositivos DAQ tienen cuatro elementos estándares: entradas analógicas, salidas analógicas, E/S digitales y contadores, este dispositivo es el hardware que actúa como el interfaz de comunicación entre la computadora y las señales provenientes del transductor, las función principal de este dispositivo es digitalizar las señales analógicas, esto para que la computadora pueda procesar dicha información proveniente de la DAQ.

Algunas de sus características:

- Número de canales analógicos
- Velocidad de muestra
- Resolución
- Rango de entrada
- Capacidad de temporización
- Forma de comunicarse con el computador
- Conexión USB, PCI, PCI Express y Ethernet

3.8.3 Acondicionamiento de señales

El objetivo del acondicionamiento de señal es generar, a partir de lo obtenido por los sensores, una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos suelen admitir niveles de tensión que van entre unos márgenes determinados: -10V, a 10V, 0 a 10V, 0 a 5V, etc.

Las funciones principales que va a tener que realizar el acondicionador de señal son las siguientes:

- Transformación
- Amplificación
- Conversión por medio de optoacopladores
- Filtrado
- Excitación
- Linealización

3.8.4 Convertidor Analógico a Digital (A/D)

Es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario, para que la computadora pueda leer dicha información recibida.

La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo.

A continuación en la figura 3.14 se muestra el proceso de la conversión A/D

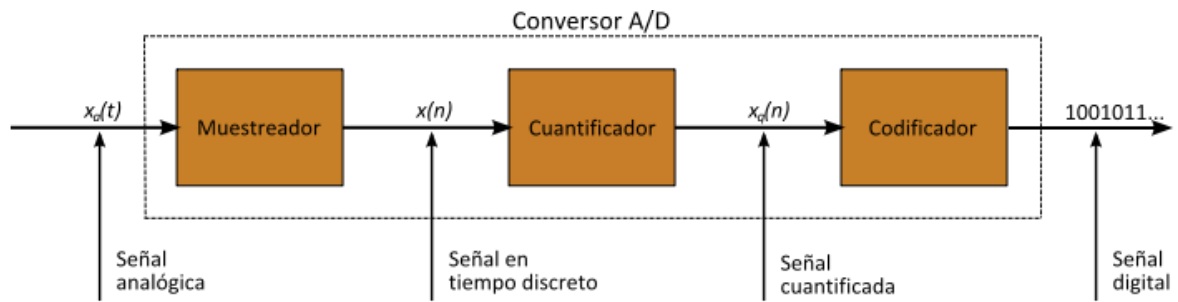


Figura 3.14 Proceso de la conversión A/D

3.8.5 Función del ordenador en un sistema DAQ

El ordenador juega un papel muy importante dentro de un sistema DAQ, ya que en este podemos instalar el software de la tarjeta DAQ que se está utilizando para así poder controlar su operación y de esta manera será posible utilizar dicho dispositivo para procesar, visualizar y almacenar datos de la medición.

3.8.6 El controlador de la DAQ

El software controlador, es el encargado de que exista la comunicación entre la DAQ y el software instalado en el ordenador.

Una de las características que existen en estos controladores es que debe de ser compatible con el sistema operativo donde se tiene instalado el software de la tarjeta que se le desea instalar dicho controlador.

3.8.7 El software de la DAQ

El software de la aplicación facilita la interacción entre el ordenador y el usuario para lograr adquirir, analizar, presentar datos de medidas y ser manipulados para determinados fines.

3.9 El instrumento virtual

La instrumentación virtual es un concepto que se introdujo por la compañía National Instruments en el año 2001. Pero en el año 1983, Truchard y Kodosky, ambos fundadores de National Instruments, tomaron la decisión de enfrentar el problema de fabricar un software que permitiera utilizar la computadora personal como un instrumento para realizar mediciones.

Un instrumento virtual es un conjunto de programas y equipos con una interface gráfica que tiene la apariencia y el aspecto de un instrumento físico, donde el usuario puede manipular el instrumento a través del panel gráfico como si fuese un instrumento real.

Una de las características fijas de un instrumento virtual, es la de que contienen convertidores A/D, circuitos acondicionadores de señal, microprocesadores, memorias y un bus interno, esto lleva a convertir señales del mundo real, analizarlas y presentarlas como resultados al usuario.

3.10 La estación de trabajo NI ELVIS I

La compañía National Instruments fabricó en el año 2003 la estación de trabajo NI ELVIS I Figura 3.15, la cual está compuesta por instrumentos virtuales, software y hardware.

La plataforma NI ELVIS I, por sus siglas en ingles de Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite I (Conjunto de laboratorio educativo de instrumentación virtual I), es un diseño basado en LabVIEW con un entorno para la elaboración de prototipos, que National Instruments construyó con una combinación de hardware y software, para que estudiantes, académicos y otros usuarios cuenten con una plataforma que tenga características de un laboratorio de Electrónica.

La plataforma NI ELVIS I consigue desarrollar una valiosa herramienta, que permite a los estudiantes reforzar sus conocimientos y lograr una mayor comprensión de los mismos, que muchas veces resulta complicado conseguir por los medios tradicionales, a diferencia del NI ELVIS que es un laboratorio completo, tanto físico como virtual.

3.11 Características físicas de la estación de trabajo NI ELVIS I

En la figura 3.15 se muestra las dimensiones (cm), así como su peso (kg) de la estación de trabajo NI ELVIS.



Figura 3.15 Dimensiones de la estación de trabajo NI ELVIS

- Ancho: 31.7 cm
- Altura: 12.7 cm
- Largo: 38.4 cm
- Peso: 4 kg

En la figura 3.16 se muestra la parte frontal de la estación de trabajo, así como se describe los puntos señalados.

1. Led indicador de encendido/apagado.
2. Led indicador de encendido/apagado.
3. Estado de comunicación BYPASS/NORMAL.
4. Fuentes variables controladas (0 – (+/-) 12) V.
5. Generador de funciones.
6. Bornes de conexión Voltaje/Corriente.
7. Conexión BNC para el osciloscopio.

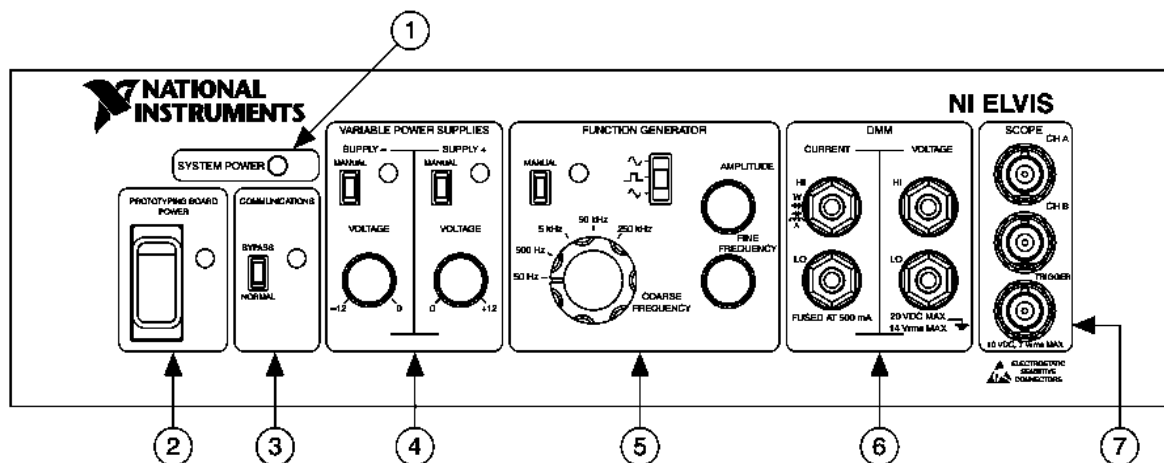


Figura 3.16 Vista de la parte frontal de la estación de trabajo NI ELVIS I

En la figura 3.17 se muestra la parte trasera de la estación de trabajo y la descripción de los puntos señalados.

1. Interruptor principal del módulo NI ELVIS I
2. Conector de alimentación de AC/CD
3. Conector a dispositivo DAQ de 68 pines

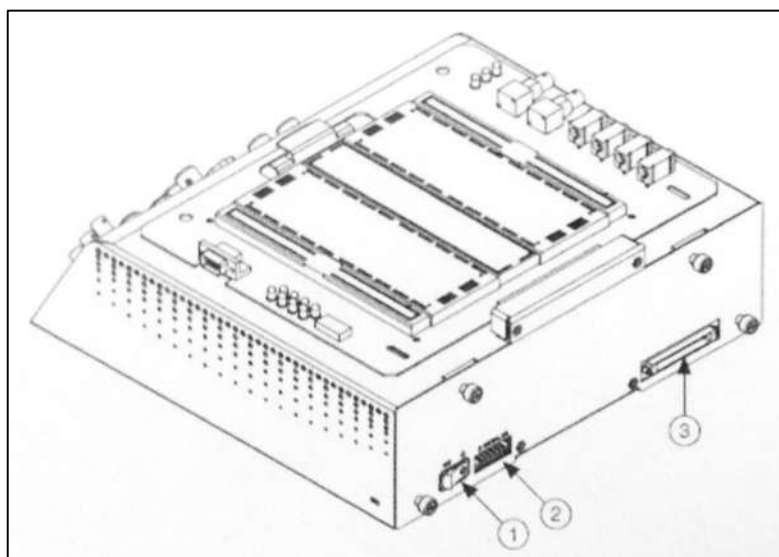


Figura 3.17 Vista de la parte trasera de la estación de trabajo NI ELVIS I

Las consideraciones ambientales para que la estación de trabajo NI ELVIS I opere correctamente:

- Rango de temperatura de operación (0 a 40 °C)
- Temperatura de almacenamiento (-20 a 70 °C)

- Humedad (10 al 90% de humedad relativa)
- Altitud máxima 2000 m.s.n.m
- Grado de contaminación (únicamente en interiores)

En la figura 3.18 se muestra el diagrama de conexión de los accesorios de la parte del hardware necesarios para utilizar la estación de trabajo NI ELVIS.

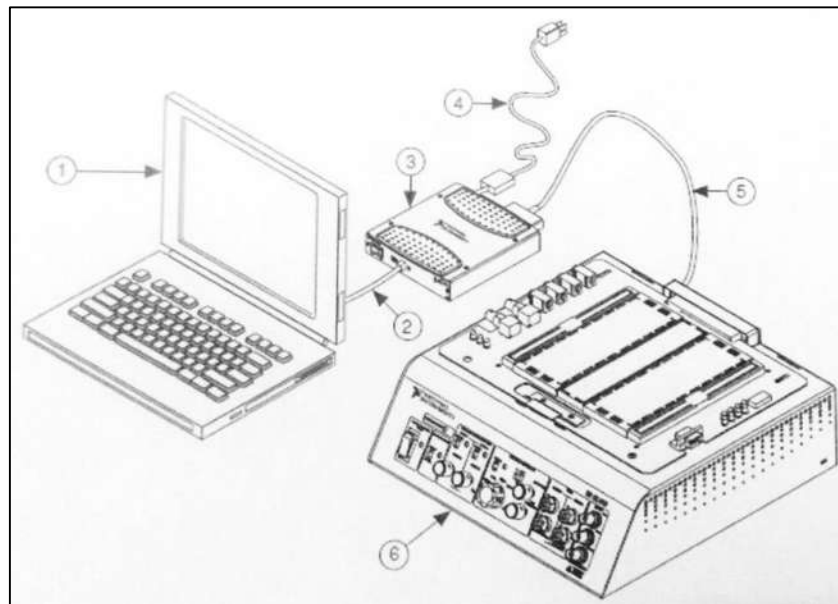


Figura 3.18 Diagrama de conexión del hardware NI ELVIS a una computadora

En la figura 3.18 se ilustran los puntos donde:

1. Computadora portátil
2. Cable USB
3. Interfaz de comunicación NI-USB M series 6251 con terminal a masa
4. Cable de alimentación de la interfaz de comunicación NI-USB M series
5. Cable blindado del NI-USB M series para comunicación de datos
6. Estación de trabajo NI ELVIS

En la figura 3.19, se presenta la tarjeta protoboard que se encuentra sobre la estación de trabajo NI ELVIS, así como la descripción de sus componentes:

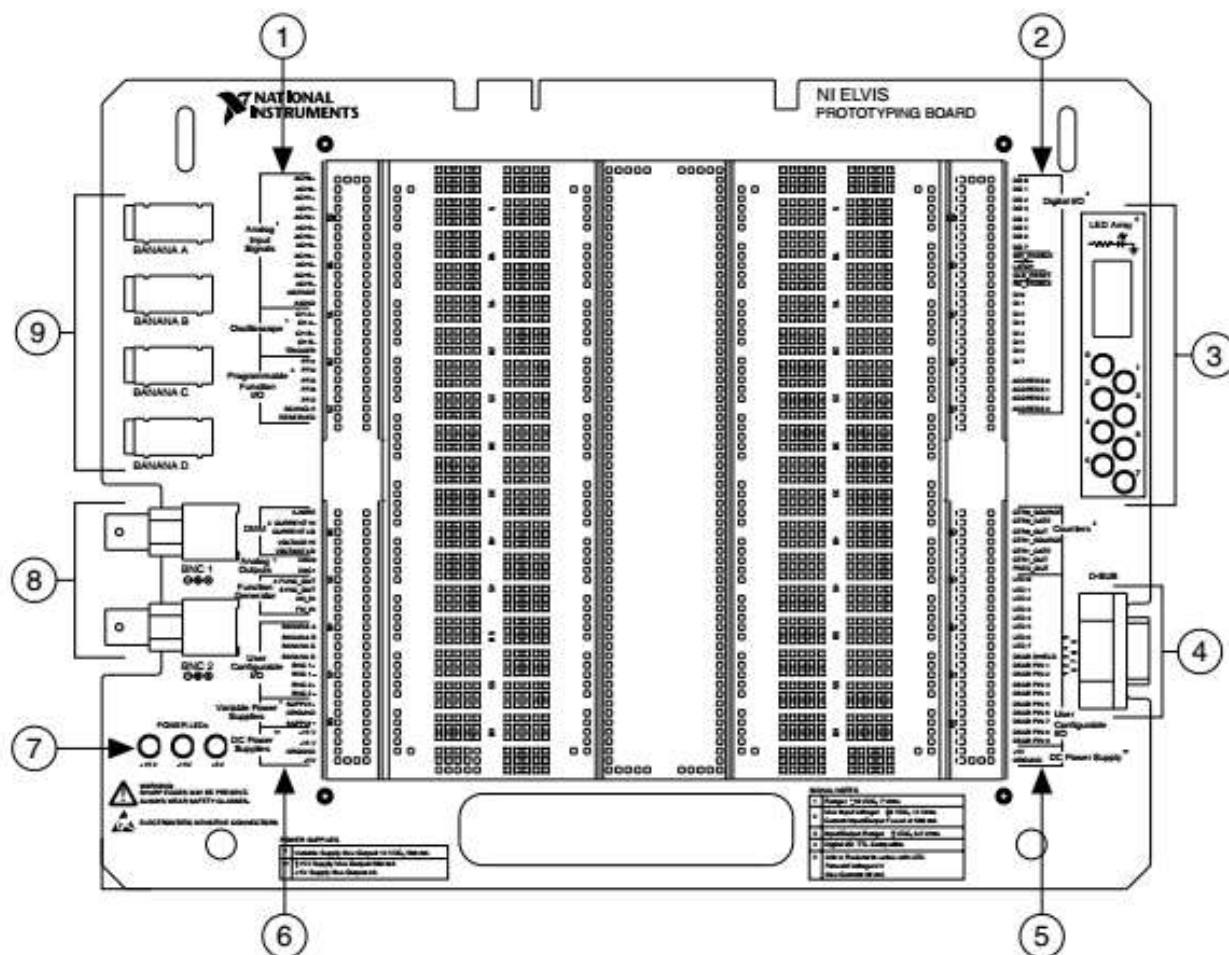


Figura 3.19 Representación de la tarjeta protoboard de la estación de trabajo NI ELVIS

1. Entrada analógicas, filas de Entrada/Salida programable, osciloscopio.
2. Entradas/salidas para señales digitales.
3. Arreglo de LED's.
4. Sub-conector D-9.
5. Conector/Timmer, configuración de Entradas/Salidas por el usuario, filas con señal de CD.
6. DMM, salidas analógicas, fuentes variables de CD y configuración de Entradas y Salidas de conectores banana y BNC.
7. LED's indicadores de energía.
8. Conectores banana.

3.12 Instrumentos virtuales que tiene la estación de trabajo NI ELVIS

A continuación se muestran los instrumentos virtuales con los que cuenta NI ELVIS:

1. Generador de onda arbitraria
2. Analizador de bode
3. Bus de lectura binaria
4. Bus de escritura binaria
5. Multímetro digital (DMM)
6. Analizador de señal dinámica (DSA)
7. Generador de funciones (FGEN)
8. Osciloscopio
9. Analizador de impedancia
10. Analizador de voltaje vs corriente para dos hilos
11. Analizador de voltaje vs corriente para tres hilos
12. Fuentes variables de voltaje (+/-)

Capítulo 4

Características de Celdas Fotovoltaicas mediante la Estación NI ELVIS

4.1 Pruebas y casos de estudio con la estación de trabajo NI ELVIS

En este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron al utilizar la estación de trabajo NI ELVIS I, basándonos en esta, principalmente en dos instrumentos virtuales de su software como fueron (multímetro digital (DMM) y analizador de voltaje vs corriente de dos hilos), se realizaron pruebas con celdas fotovoltaicas, esto con la finalidad de demostrar la obtención de su curva característica de cada uno de las celdas.

4.2 Interfaz de programa ELVIS (Instrument Launcher)

Al ejecutar el programa ELVIS se espera un momento hasta que aparezca la ventana (SFP), para así comenzar y seleccionar el instrumento virtual que se desee utilizar, como se muestra en la figura 4.1.

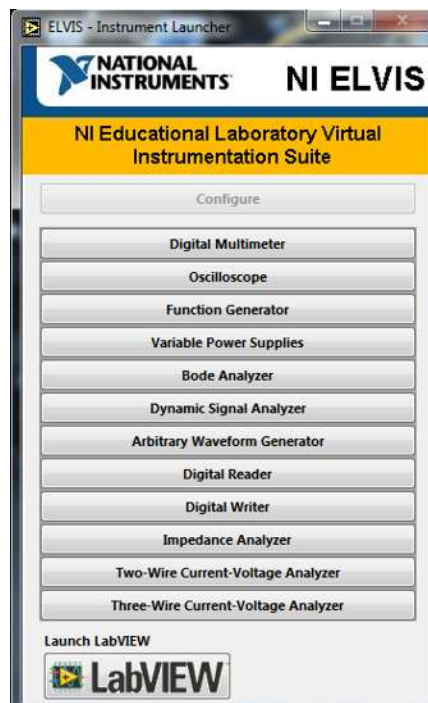


Figura 4.1 Ventana principal del programa de la estación NI ELVI

4.3 Opciones de medición del DMM (multímetro digital)

En la figura 4.2, se muestra la ventana del DMM, desde el ordenador donde podemos indicar el tipo de medición que desea realizar, opciones de configuración y la sección donde se puede visualizar la lectura entregada por el instrumento de medición.

Características:

1. Voltaje de CD
2. Voltaje de CA
3. Corriente de CD
4. Corriente de CA
5. Resistencia (Ω)
6. Capacitancia (F)
7. Inductancia (H)
8. Prueba de diodos
9. Continuidad

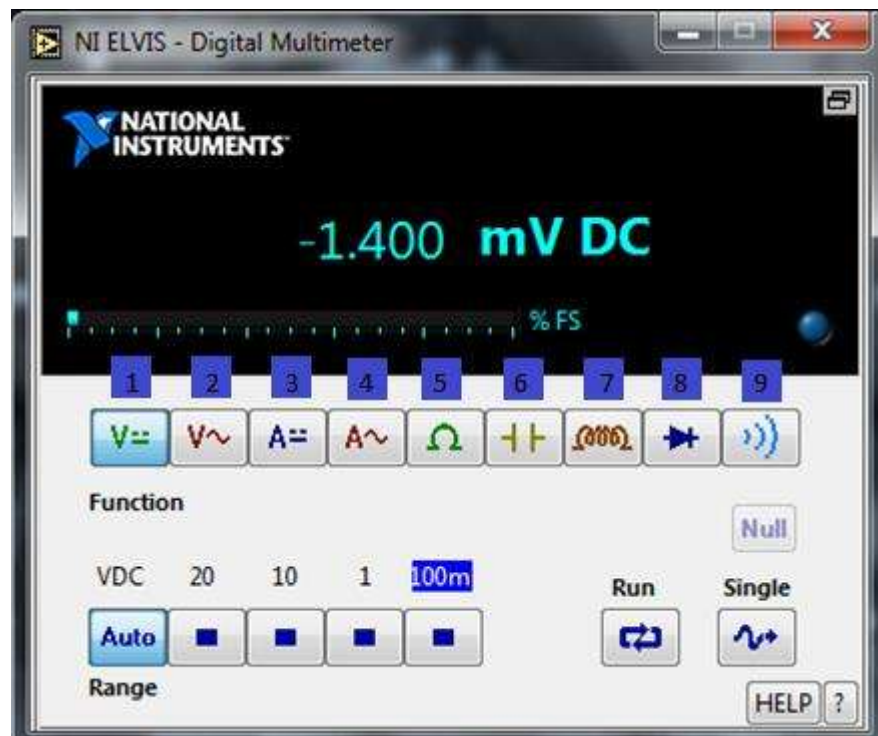


Figura 4.2 Ventana de opciones de medición del DMM

Las funciones adicionales del DMM mostradas en la figura 4.2 son las siguientes:

Null: Permite aumentar la precisión del instrumento de cada medición que se realice.

Single: Entrega sólo una muestra de la medición realizada.

Run: Permite ejecutar o detener la operación del instrumento de medición.

HELP: Permite obtener ayuda a través de internet.

?: Permite escribir características del instrumento.

4.3.1 Área para medición con el DMM

En la figura 4.3 se muestra físicamente las dos maneras de poder realizar la medición de un circuito con el instrumento DMM, la primera forma es en el área del protoboard y la segunda es en el área de clavijas. Pero esto se puede realizar solo de una forma de las que se mencionaron anteriormente, ya que si utilizan ambas cosas se puede generar un corto circuito.

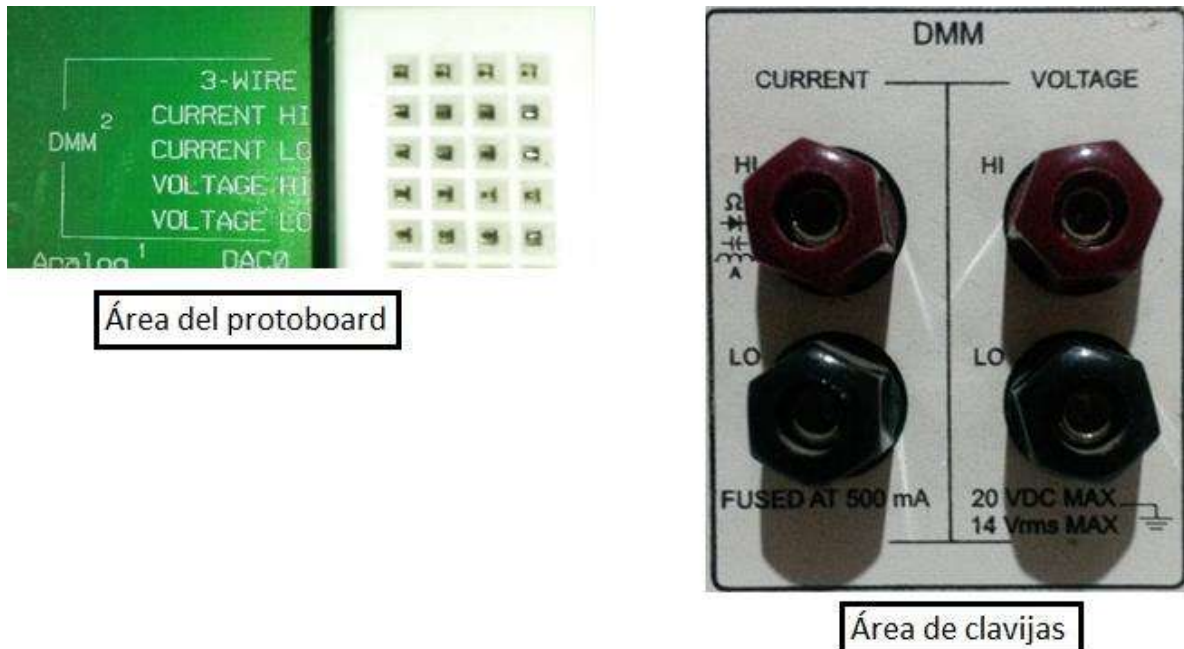


Figura 4.3 Área de medición del DMM en el NI ELVIS

4.3.2 Características del DMM como medidor de VDC

El Instrumento DMM como medidor de VDC tiene las siguientes características:

- Se tiene una precisión de lectura alrededor de 0.3%.
- El límite de medición es de $\pm 20\text{VDC}$ dividido en cuatro escalas o auto-rango.

- La impedancia de entrada del instrumento es alrededor de $1\text{M}\Omega$.

La figura 4.4 muestra la ventana del DMM como medidor de VDC.

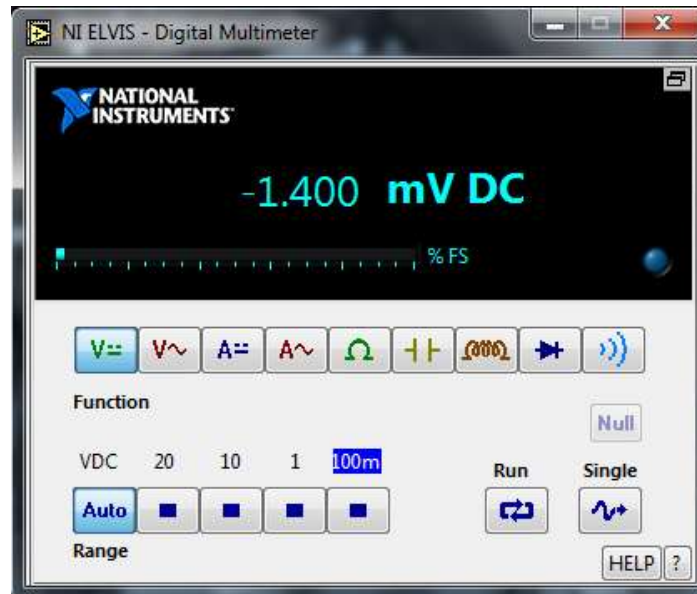


Figura 4.4 Ventana del DMM de NI ELVIS como medidor de VDC

Las escalas que posee el medidor de VDC son las siguientes:

- 0 a +/- 100mV
- 0 a +/- 1V
- 0 a +/- 10V
- 0 a +/- 20V

Cuando se tenga una medición que sobrepase el límite de medición +/- 20V, se activará una protección de sobre-voltaje formada por un circuito sólido que protegerán la estación de trabajo NI ELVIS aislándola de la medición.

4.3.3 Características del DMM como medidor de VAC

El instrumento DMM como medidor de VAC tiene las siguientes características:

- El grado de precisión de la lectura es de 0.3%.
- El límite de medición máxima es de 14 V_{rms} , el cual se encuentra dividido en cuatro escalas o auto rango.
- La impedancia de entrada de este instrumento es aproximadamente de $1\text{M}\Omega$.

La figura 4.5 muestra la ventana del DMM como medidor de VAC.

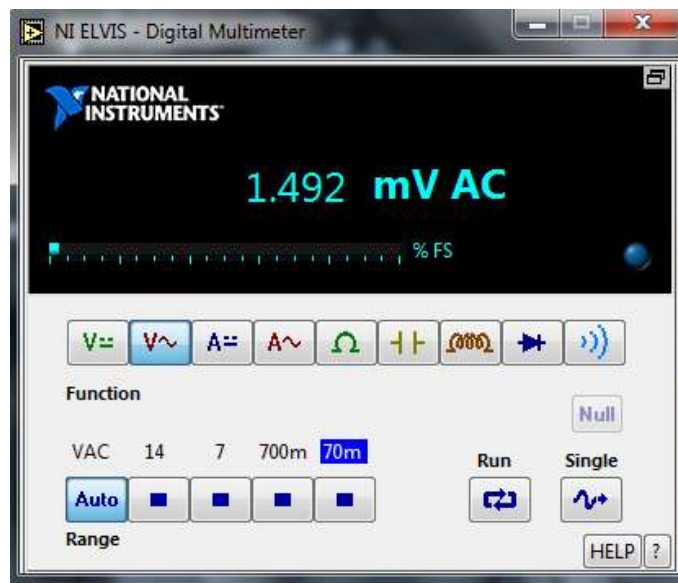


Figura 4.5 Ventana del DMM como medidor de VAC

Las escalas que posee el medidor de VAC son las siguientes:

- 0 a 70 m Vrms
- 0 a 700 m Vrms
- 0 a 7 Vrms
- 0 a 14 Vrms

Si se sobrepasa el valor del límite de 14 Vrms, entonces se activará una protección de sobre-voltaje formado por un circuito de estado sólido que protegerá la estación de trabajo NI ELVIS.

4.3.4 Características del DMM como medidor de ADC

El instrumento DMM como medidor de ADC, figura 4.6 tiene las siguientes características:

- El instrumento tiene una precisión de DC de 0.25% y un error de +/- 3 mA.
- Se tiene una banda de rechazo en modo común de 70 dB/min.
- Se tiene un límite de medición de +/- 250 mA dividido en dos escalas o auto rango.
- Su resolución varía de 12 a 16 bits dependiendo de la configuración de la DAQ.

- Se dispone de una resistencia de derivación (shunt) de $0.5\ \Omega$.
- El voltaje de carga es de aproximadamente 2 mV/mA .



Figura 4.6 Ventana del DMM como medidor de ADC de NI ELVIS

Las escalas que tiene el medidor de ADC son las siguientes:

- 0 a $\pm 50\text{ mA}$
- 0 a $\pm 250\text{ mA}$

Cuando la corriente supera el límite en la medición de $\pm 250\text{ mA}$, se activará la protección fusible para aislar la falla en la estación de trabajo NI ELVIS.

4.3.5 Características del DMM como medidor de AAC

El instrumento DMM como medidor de AAC tiene las siguientes características:

- El instrumento tiene una precisión de 0.25% como un error aproximado a los $\pm 3\text{ mA}$
- Se tiene una banda de rechazo en modo común que alcanza los 70 dB/min .
- El límite de medición del instrumento es de $\pm 250\text{ mA}$, dividido en dos escalas o auto rango.
- Su resolución va de los 12 a los 16 bits dependiendo de la configuración de la DAQ.
- Se tiene instalado una resistencia de derivación de $0.5\ \Omega$.
- El voltaje de carga del instrumento es de aproximadamente 2 mV/mA .

La figura 4.7 muestra la ventana del DMM como medidor de AAC.



Figura 4.7 Ventana del DMM como medidor de AAC del NI ELVIS

Las escalas que tiene el medidor de ACC son las siguientes:

- 0 a +/- 50 mA_{rms}
- 0 a +/- 250 mA_{rms}

En el caso que la corriente AC de medición supere el límite de +/- 250 mA, se activará la protección fusible para aislar la falla en la estación de trabajo NI ELVIS.

4.4 Analizador de voltaje vs corriente para dos hilos

Este instrumento virtual nos permite obtener gráficamente la respuesta real de diodos semiconductores, donde las gráficas son representadas por “voltaje vs corriente”.

El analizador de voltaje vs corriente para dos hilos de la estación de trabajo NI ELVIS tiene las siguientes características:

- El máximo valor de corriente que puede aplicar es de +/- 10 mA.
- El barrido de voltaje que se pueda aplicar es de -10V a +10V.

En la figura 4.8 se muestra la ventana del analizador de voltaje vs corriente de dos hilos.

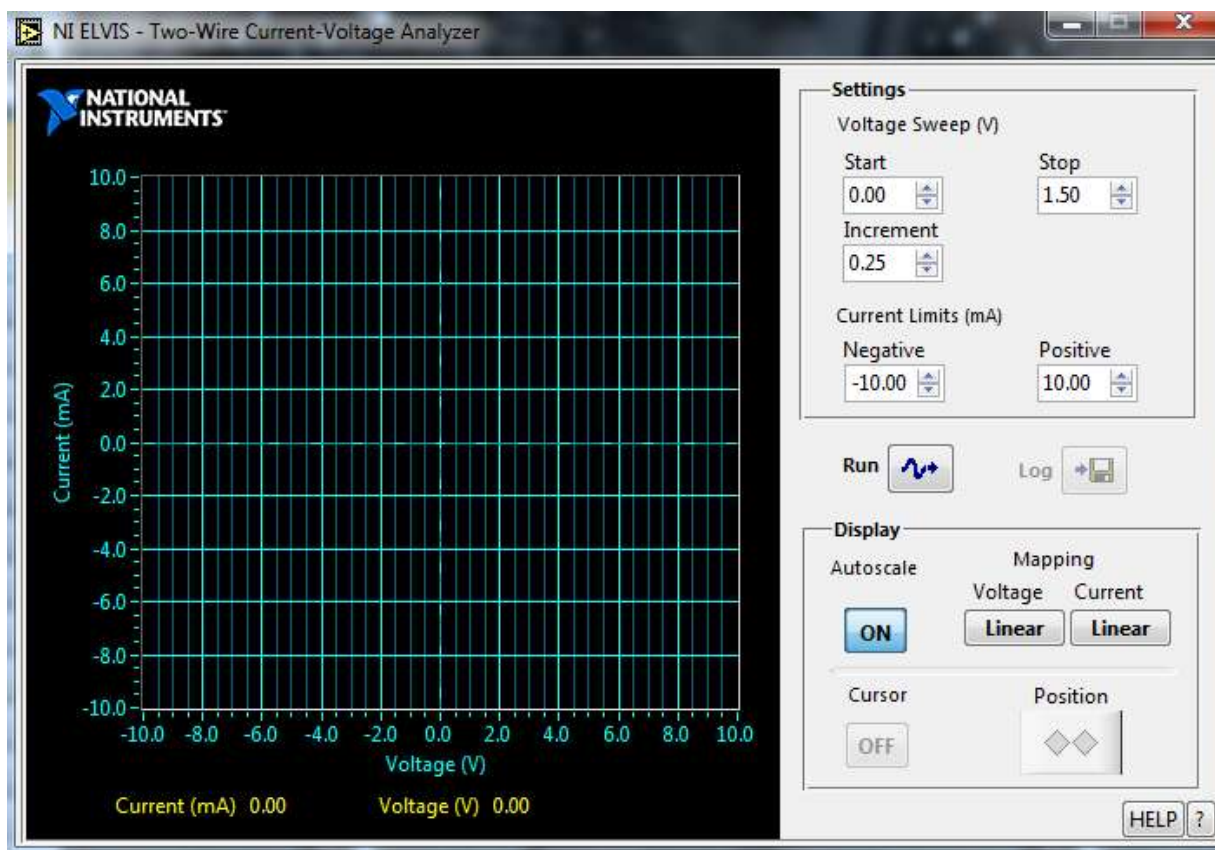


Figura 4.8 Ventana del analizador de voltaje vs corriente de dos hilos

Para utilizar el analizador de voltaje vs corriente de dos hilos, se deben conectar los diodos semiconductores como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Conexión del analizador de voltaje vs corriente para dos hilos

Terminal del diodo	Conexión en el protoboard de NI ELVIS
Ánodo (A)	Current Hi
Cátodo (K)	Current Low

4.5 Prueba para la obtención de curvas características de las Celdas Fotovoltaicas con analizador de voltaje vs corriente de dos hilos.

Se realizaron pruebas con diferentes tipos de celdas fotovoltaicas en la estación de trabajo NI ELVIS, para esto se utilizó el instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos) del software de la estación de trabajo, el propósito de utilizar dicho instrumento virtual fue para obtener las curvas características de estas celdas fotovoltaicas propuestas.

Para poder obtener las curvas características de estas celdas, se muestra a continuación cómo se realizó la conexión de la celda en la estación de trabajo, figura 4.9.

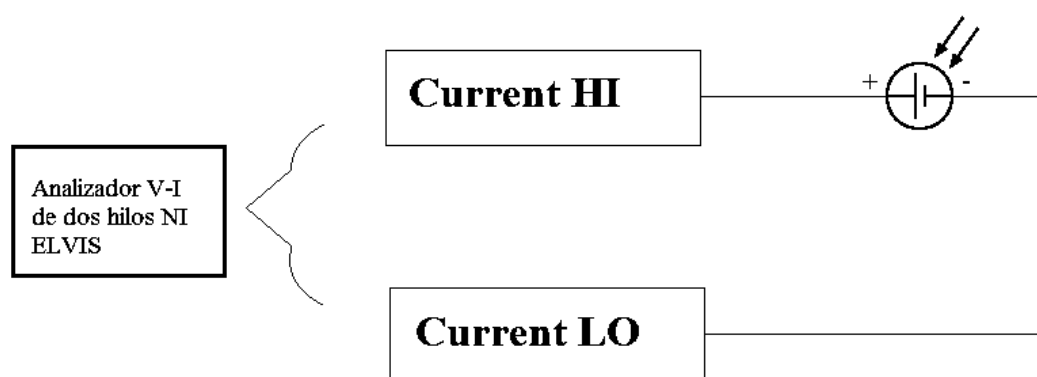


Figura 4.9 Conexión de una celda en la estación de trabajo NI ELVIS

A continuación se muestran las curvas características de las celdas fotovoltaicas propuestas:

- **Celda fotovoltaica (Monocristalina)**

En la figura 4.10 se muestra las especificaciones de la celda Fotovoltaica monocristalina marca RADOX figura 4.11 que proporciona el fabricante.

RADOX		
CÉLULA SOLAR		
Clave	Especificaciones	Tamaño
870 - 246	1,5 V= 100 mA	6 X 3 cm
870 - 247	3 V= 100 mA	5,5 X 5,5 cm
870 - 248	6 V= 100 mA	8,7 X 5,7 cm
870 - 249	12 V= 100 mA	11 X 9,5 cm
870 - 250	6 V= 100 mA	9,5 X 5,5 cm
870 - 252	4 V= 200 mA	8 X 8 cm
870 - 253	5 V= 280 mA	10 X 10 cm
Características • Gran durabilidad. • Ideales para proyectos escolares. • Amigable con el medio ambiente.		
Producto Celular con Contenido 100% RADOX, Hecho en Chile. Importado por SA ELECTRONICA S.A. de C.V. Av. Central 200 - 3. Colonia Santa Fe, Ciudad de México, México. C.P. 06700, México, D.F. Tel: 55 52 11 11 11. E-mail: ventas@radox.com.mx		

Figura 4.10 Información específica de la celda RADOX



Figura 4.11 Celda Fotovoltaica Monocristalina

A continuación se procedió a conectar la celda fotovoltaica sobre la protoboard de la estación de trabajo como se indica en el diagrama de la figura 4.10, utilizamos tres lámparas diferentes de 7W, 25W y 100W como se muestra en la figura 4.12 para estas pruebas.



a) Lámpara de LED 7W



b) Lámpara tipo espiral luz blanca 25W



c) Foco incandescente 100W

Figura 4.12 a) Lámpara de LED, b) Lámpara tipo espiral, c) Foco incandescente

Se realizaron dos mediciones a diferentes distancias de la celda fotovoltaica a un metro y 30 centímetros, figura 4.13

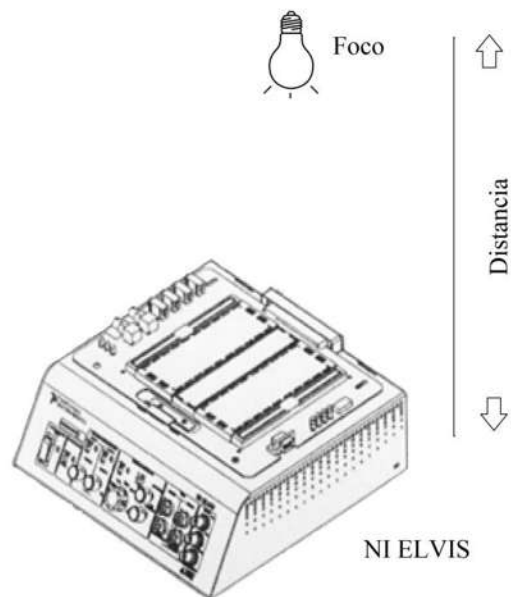


Figura 4.13 Diagrama de prueba

Por lo cual se obtuvieron la siguientes respuestas en el instrumento virtual utilizando (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos).

-La primera respuesta a un metro de distancia:

Utilizando la Lámpara LED 7W su curva característica se muestra en la figura 4.14.

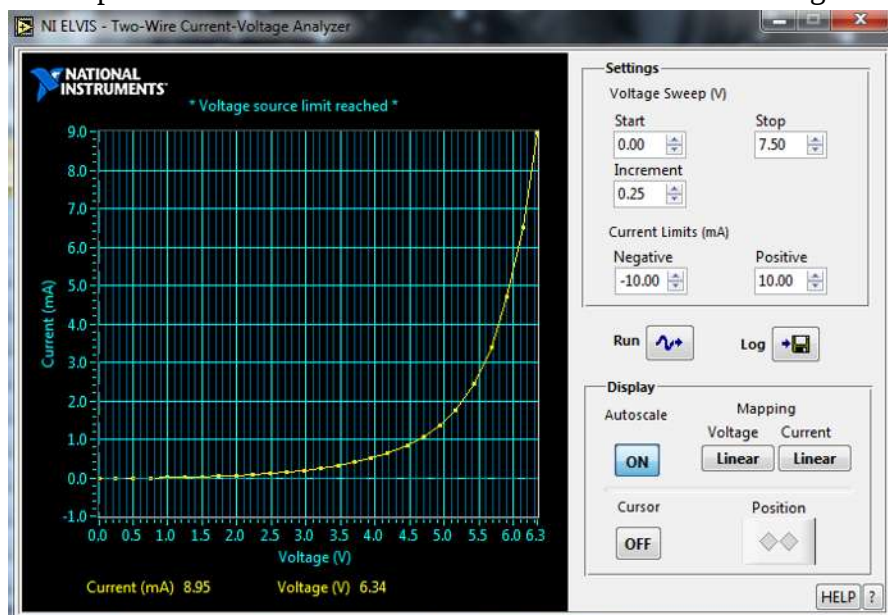


Figura 4.14 Curva característica de la celda monocristalina obtenida mediante NI ELVIS a 1 metro de distancia

Utilizando la Lámpara tipo espiral con luz blanca de 25W, figura 4.15.

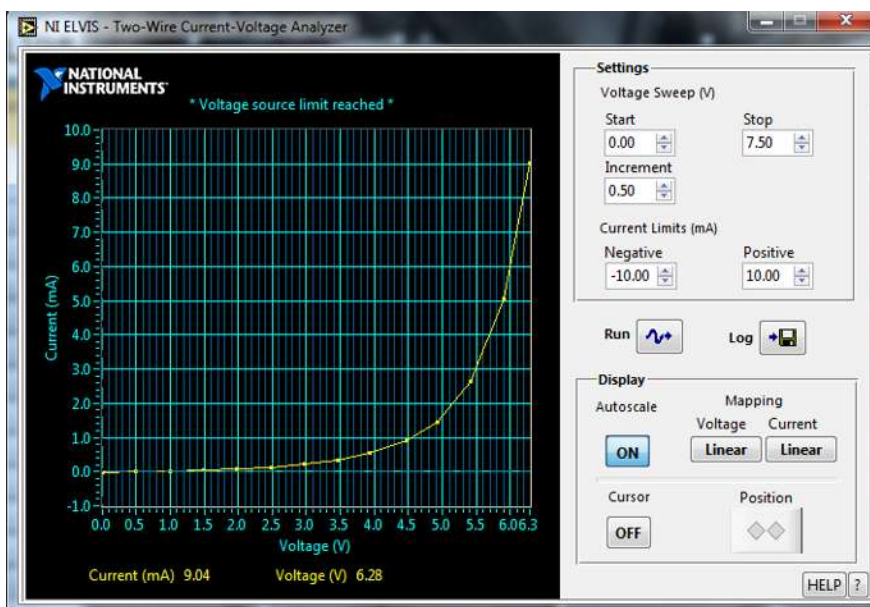


Figura 4.15 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocristalina a 1 metro de distancia

Utilizando un foco incandescente de 100W, figura 4.16.

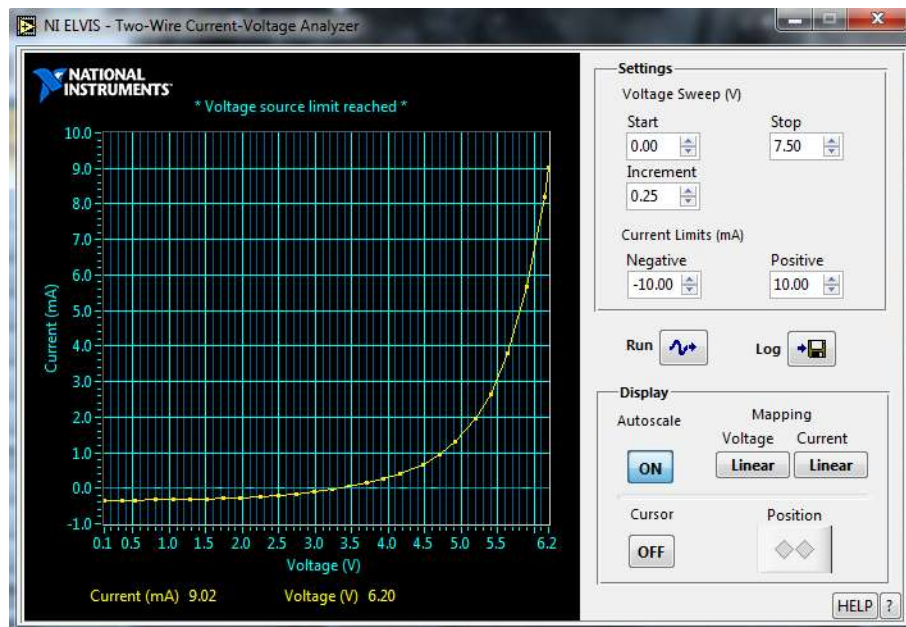


Figura 4.16 Curva característica de la celda monocristalina con luz incandescente a 1m

Como se observa en la figura 4.17 tenemos los siguientes voltajes obtenidos a un metro de distancia de la celda fotovoltaica monocristalina utilizando el DMM como medidor de VDC.



a) Lámpara LED



b) Lámpara con luz blanca



c) Foco incandescente

Figura 4.17 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 1m de distancia

Notar que el voltaje generado máximo en la celda fotovoltaica se alcanza con el foco incandescente.

-La segunda respuesta a 30 centímetros de distancia:

Utilizando la Lámpara LED 7W su curva característica se muestra en la figura 4.18.

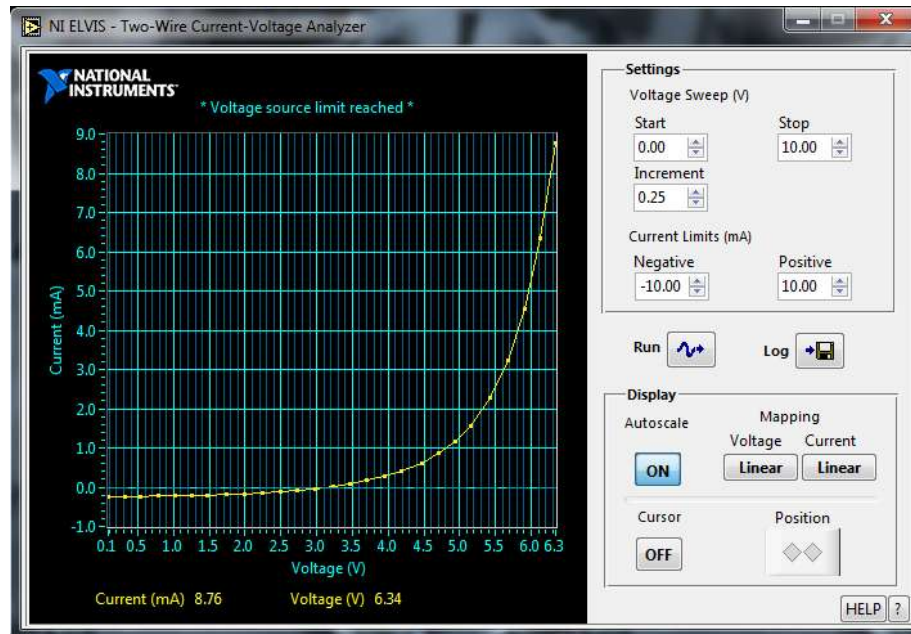


Figura 4.18 Curva característica de la celda monocrystalina obtenida mediante NI ELVIS a 30 cm de distancia

Utilizando la Lámpara tipo espiral con luz blanca de 25W, figura 4.19.

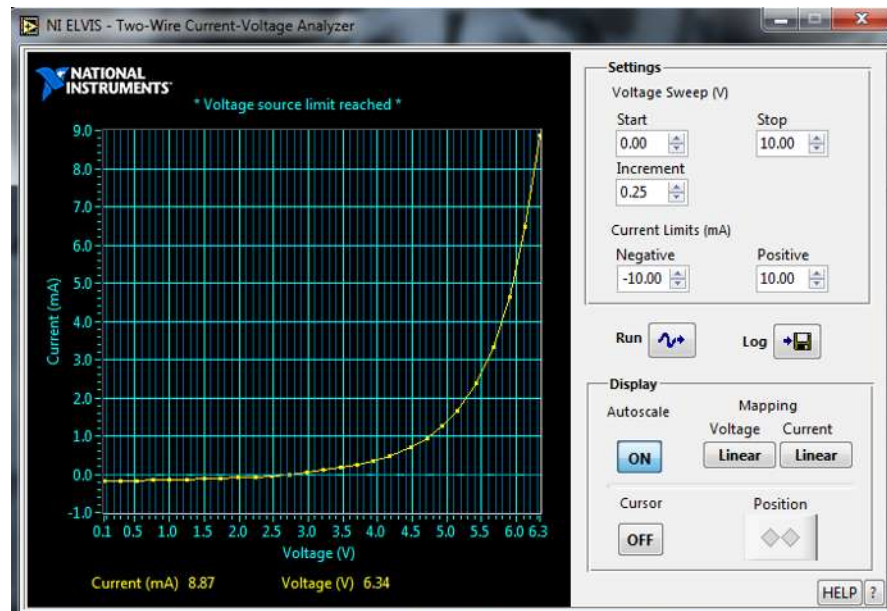


Figura 4.19 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocrystalina a 30 cm de distancia

Utilizando un foco incandescente de 100W, figura 4.20.

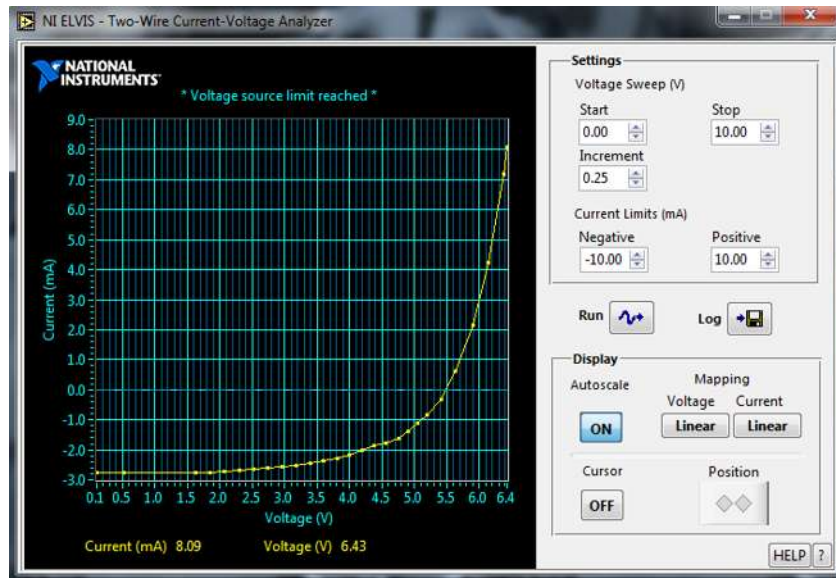


Figura 4.20 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica monocristalina a 30 cm de distancia

Como se observa en la figura 4.21 tenemos los siguientes voltajes obtenidos a 30 centímetros de distancia de la celda fotovoltaica monocristalina utilizando el DMM como medidor de VDC.



a) Lámpara LED

b) Lámpara con luz blanca

c) Foco incandescente

Figura 4.21 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 30 cm de distancia

Nuevamente, el voltaje máximo en la celda fotovoltaica se obtiene con el foco incandescente. En esta prueba experimental se consiguen voltajes mayores a la distancia de 30 centímetros respecto a 1 metro de distancia entre la fuente de luz y la celda fotovoltaica.

Celda fotovoltaica (Policristalina)

En la figura 4.22 se muestra la celda Fotovoltaica policristalina utilizada en la prueba de la obtención curva V-I.



Figura 4.22 Celda fotovoltaica policristalina

A continuación se procedió a conectar la celda fotovoltaica sobre la protoboard de la estación de trabajo como se indica en el diagrama de la figura 4.10, y se mostrará la respuesta que se obtuvo al implementar la conexión con la ayuda del analizador de voltaje vs corriente de dos hilos.

-Las respuestas a un metro de distancia son las siguientes:

Utilizando la Lámpara LED 7W su curva característica se muestra en la figura 4.23.

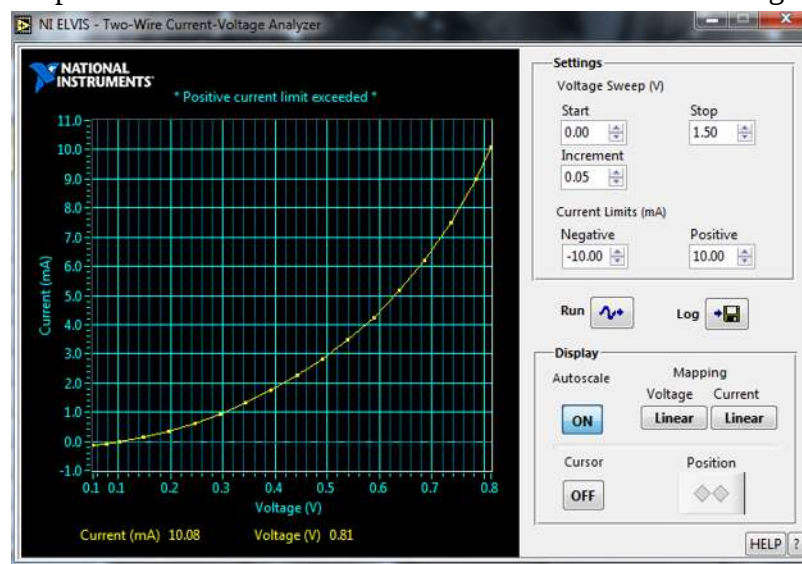


Figura 4.23 Curva característica de la celda policristalina obtenida mediante NI ELVIS a 1 m de distancia

Utilizando la Lámpara tipo espiral con luz blanca de 25W, figura 4.24.

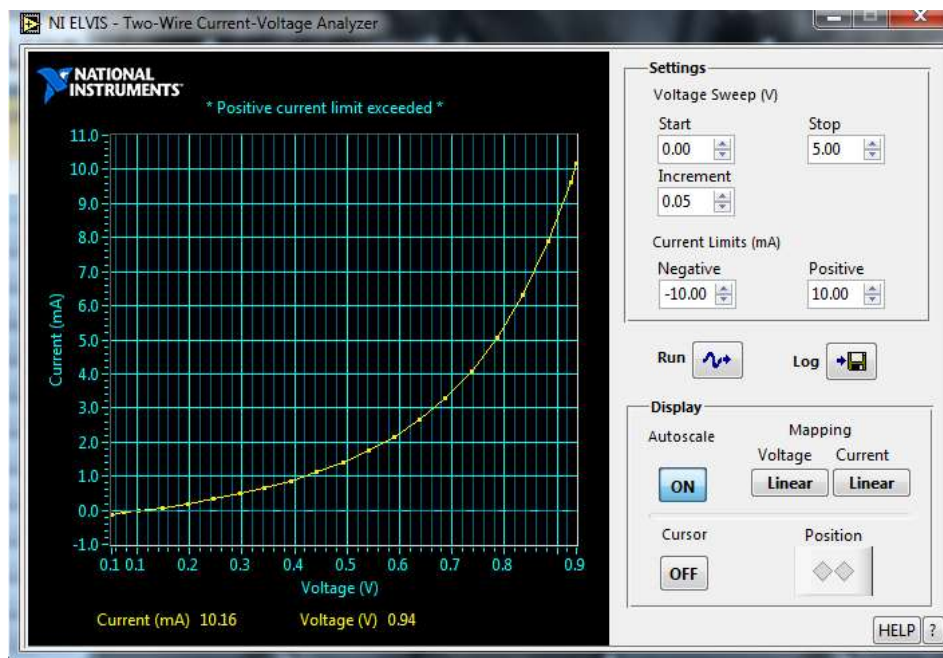


Figura 4.24 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica policristalina a 1m de distancia

Utilizando un foco incandescente de 100W, figura 4.25.

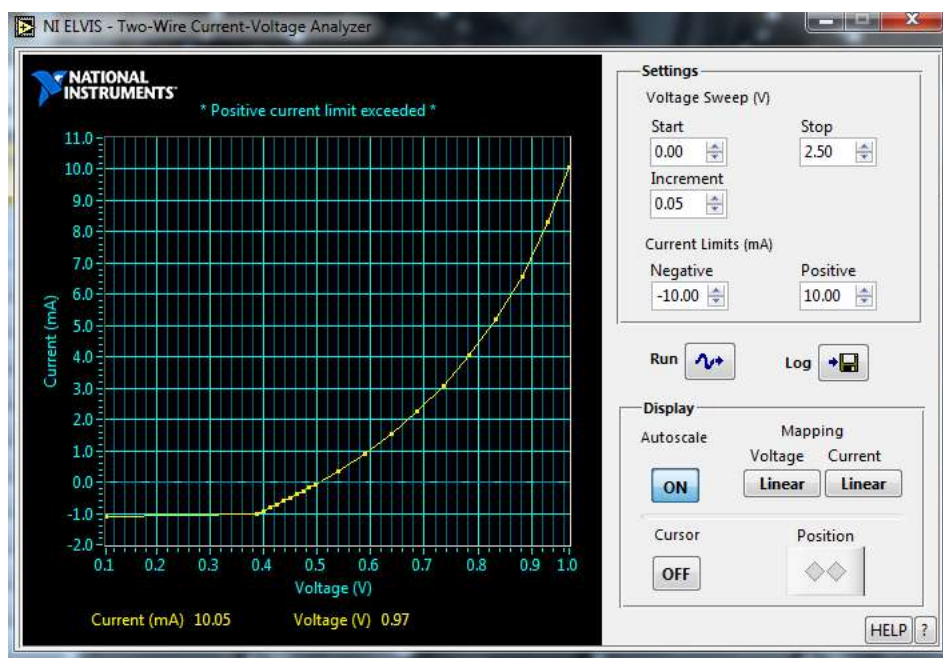


Figura 4.25 Curva característica de la celda policristalina con luz incandescente a 1m

Como se observa en la figura 4.26 tenemos los siguientes voltajes obtenidos a un metro de distancia de la celda fotovoltaica policristalina utilizando el DMM como medidor de VDC.



a) Lámpara LED

b) Lámpara con luz blanca

c) Foco incandescente

Figura 4.26 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 1m de distancia

-Las respuestas a 30 centímetros de distancia son las siguientes:

Utilizando la Lámpara LED 7W su curva característica se muestra en la figura 4.27.

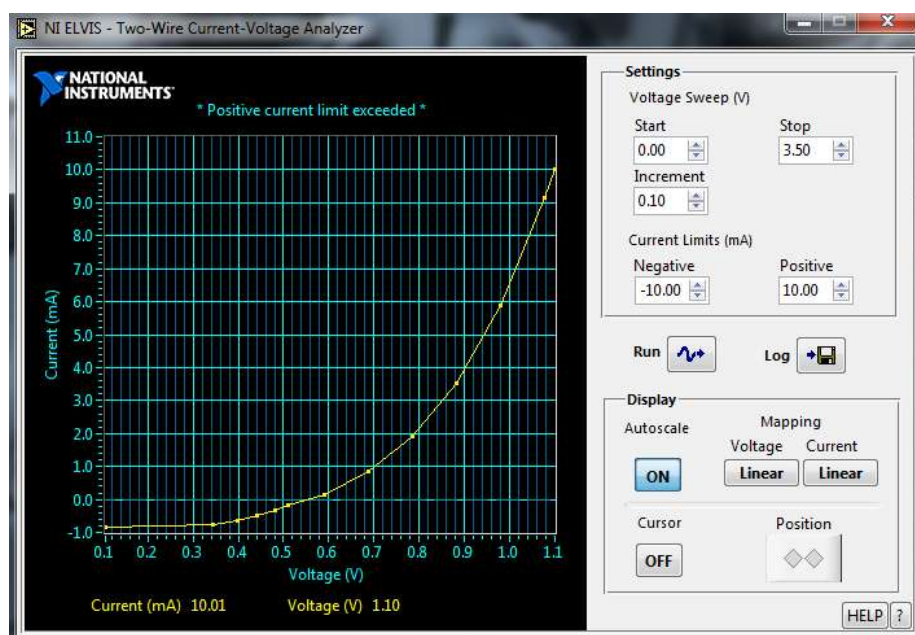


Figura 4.27 Curva característica de la celda policristalina obtenida mediante NI ELVIS a 30cm de distancia

Utilizando la Lámpara tipo espiral con luz blanca de 25W, figura 4.28.

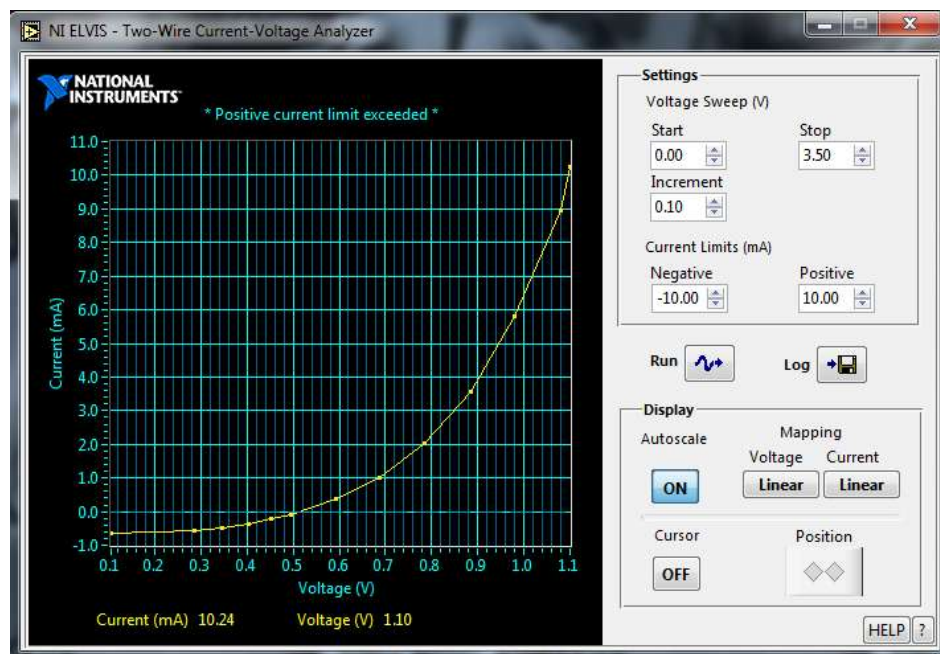


Figura 4.28 Curva característica V-I de la celda fotovoltaica policristalina a 30cm de distancia

Utilizando un foco incandescente de 100W, figura 4.29.

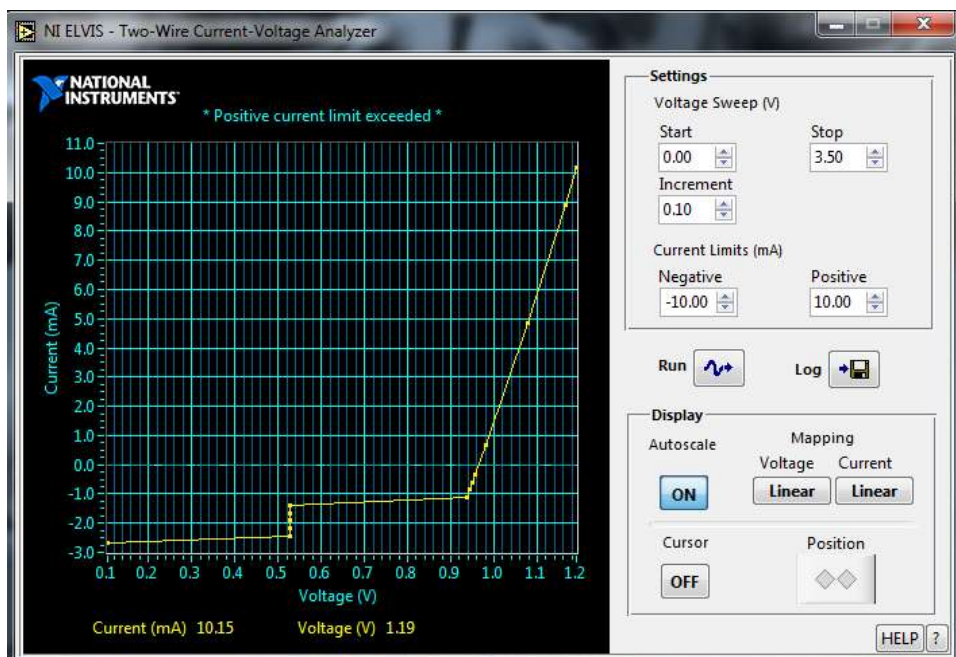


Figura 4.29 Curva característica de la celda policristalina con luz incandescente a 30cm

Como se observa en la figura 4.30 tenemos los siguientes voltajes obtenidos a 30 centímetros de distancia de la celda fotovoltaica policristalina utilizando el DMM como medidor de VDC.



a) Lámpara LED

b) Lámpara con luz blanca

c) Foco incandescente

Figura 4.30 Voltaje obtenido por la radiación de los tres tipos de lámpara a 30 cm de distancia

4.6 Prueba circuitos con celda fotovoltaica

A continuación se muestran las pruebas realizadas en circuitos con la celda fotovoltaica monocristalina, implementados sobre la estación de trabajo NI ELVIS se obtuvieron las respuestas de estos circuitos, con la ayuda del instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos), del software de la estación de trabajo.

- Circuito 1

El primer circuito de análisis se muestra en la figura 4.31.

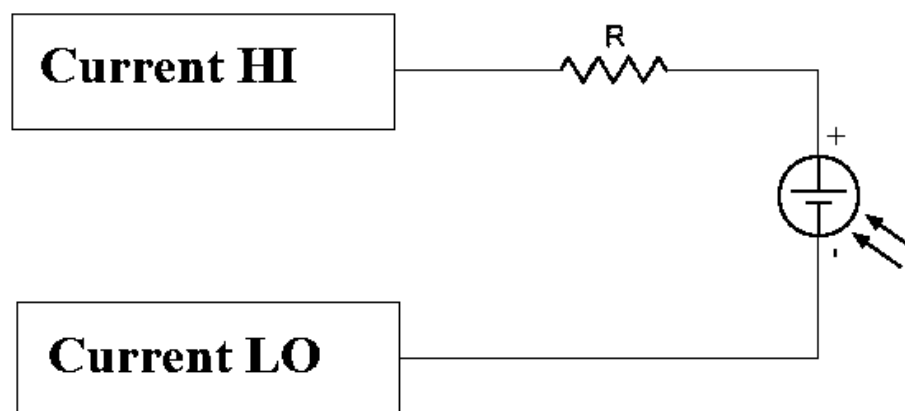


Figura 4.31 Celda fotovoltaica con resistencia en serie

A continuación se muestra la respuesta del circuito anterior en el instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos), figura 4.32.

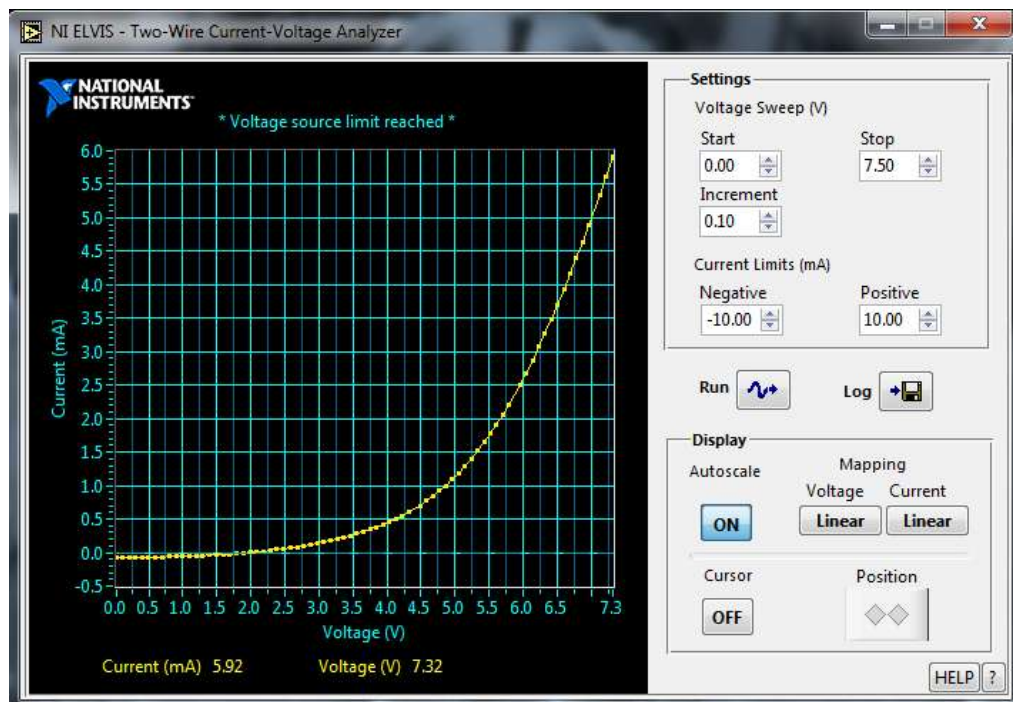


Figura 4.32 Respuesta del circuito 1

Como se observa en la figura 4.32, es la respuesta que se obtuvo del circuito 1, se tiene un voltaje de 7.32V, esto se debe a la resistencia de 220Ω conectada en serie con la celda, donde la tensión es mayor en aquella zona que presenta una mayor obstrucción a la corriente y tenemos una corriente máxima de 5.92Amp.

La configuración de parámetros del instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos), fue la siguiente y para todas las pruebas de circuitos con la celda fotovoltaica:

- Barrido en voltaje: de 0V a 7.50V.
- Incrementos de: 0.10V
- Límite de corriente del instrumento virtual para la prueba realizada: 10mA.

Donde utilizamos el foco de luz blanca como fuente de iluminación para la celda a 30 centímetros de distancia para las pruebas y resistencias de 220Ω .

Notar que el comportamiento corriente-voltaje depende de la fotocelda y la resistencia, únicamente afectará su magnitud.

- Circuito 2

El segundo circuito de análisis se ilustra en la figura 4.33.

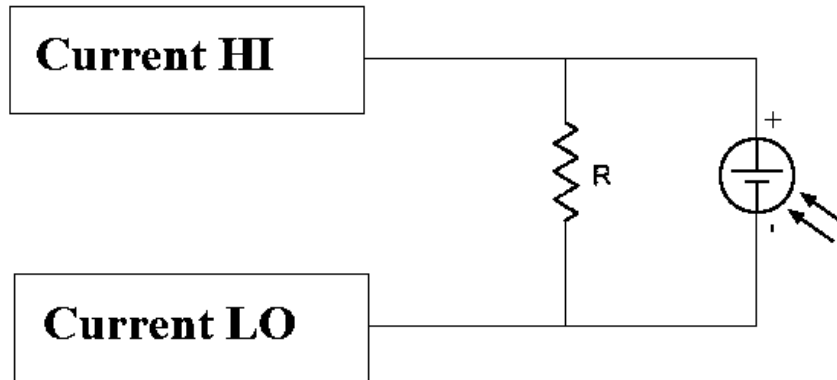


Figura 4.33 Celda fotovoltaica con resistencia en paralelo

A continuación se muestra la respuesta del circuito 2, en el instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos) de la estación de trabajo, figura 4.34.

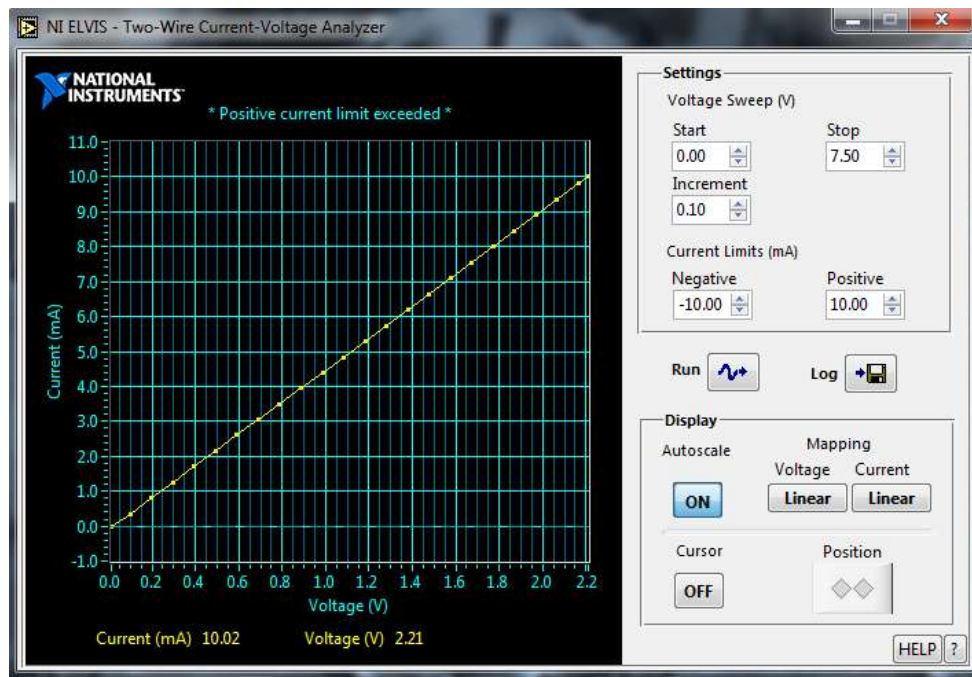


Figura 4.34 Respuesta circuito 2 (Celda en paralelo con resistencia de 220Ω)

Como se muestra en la figura 4.34, se observa que la corriente aumenta en comparación a la respuesta del circuito 1, se obtiene la corriente máxima de 10.02mA a un valor de tensión de 2.21V, empieza a conducir desde $t=0$ por la resistencia.

- Circuito 3

En la figura 4.35 se muestra el último circuito analizado.

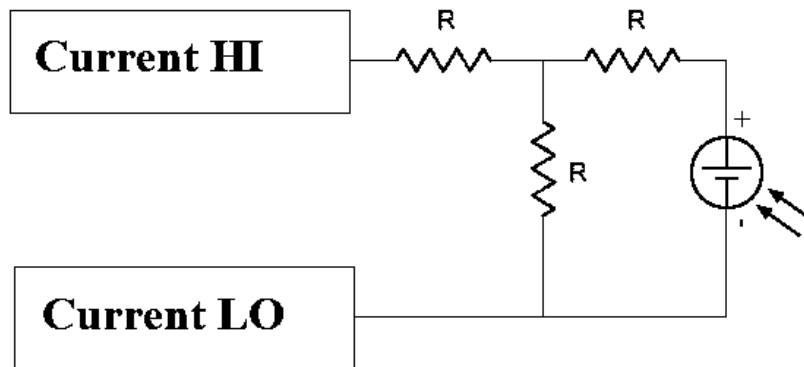


Figura 4.35 Celda fotovoltaica con resistencias en conexión serie paralelo

A continuación se muestra la respuesta del circuito 3, en el instrumento virtual (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos) de la estación de trabajo, figura 4.36.

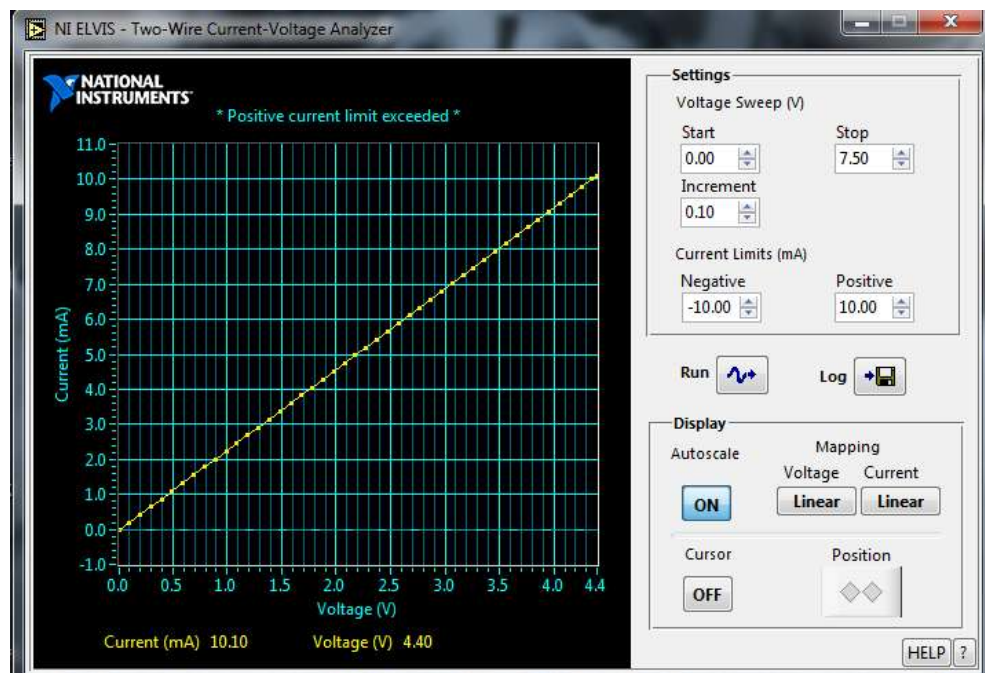


Figura 4.36 Respuesta del circuito 3

Como se muestra en la figura, del circuito 3, tenemos un valor máximo de corriente de 10.10mA, a un valor de tensión de 4.40V. En este caso, la corriente dependerá más de las resistencias y la celda determina una pequeña fuente de suministro.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

En el trabajo de tesis que realice, se analizó algunas celdas fotovoltaicas como monocristalina y policristalina, obteniendo su curva característica I-V dando a conocer su respuesta a diferentes cambios de luz, a diferentes distancias a través de la instrumentación virtual utilizando la estación de trabajo NI ELVIS.

El uso de la instrumentación virtual es un gran avance en el desarrollo de conocimientos para estudiantes de algunas áreas de ingeniería, el cual permite comprender el funcionamiento de instrumentos físicos trabajando de manera virtual, además la utilización de herramientas virtuales hace posible la implementación y desarrollo de proyectos de ingeniería de forma muy accesible económicamente hablando.

Durante el desarrollo de este trabajo nos basamos en dos instrumentos virtuales (analizador de voltaje vs corriente de dos hilos y el DMM como medidor de VDC), esto para poder monitorear y manipular nuestra curva I-V de las celdas fotovoltaicas propuestas con las que se trabajó, como fueron la celda monocristalina y la celda policristalina.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda cursos de capacitación con instrumentos virtuales, para su aplicación en planteles educativos para estudiantes que se están desarrollando en el área de la electrónica y en el área de eléctrica, para así poder fortalecer los conocimientos adquiridos en clase y llevarlos a la práctica.

Bibliografía

- [1]. Guillén Solís, Omar. Energía renovable: una perspectiva ingenieril. México: Trillas, 2004.
- [2]. José A.C. González, Roque C. Pérez, Antonio C. Santos, Manuel-A.C Gil. (2009). Centrales de energía renovables: Generación eléctrica con energías renovables. Rearson educación. Madrid.
- [3]. Aarón Alejandro Ibarra Pérez. Caracterización de dispositivos semiconductores en la plataforma NI ELVIS. Tesis Profesional, Ingeniero Electrónico, UMICH. Abril 2016.
- [4]. National Instrument, NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS), Hardare User Manual.p. 1-98, Agosto, 2008.
- [5]. <http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- [6]. <http://www.ni.com>
- [7]. <http://www.ni.com/data-acquisition>

Apéndice

Hoja de especificación de datos de la celda fotovoltaica policristalina.



PS-815

Panel Solar
de 9,5 x 6,5 cm

Solar Panel

Manual de Instrucciones
Instruction Manual



V0.0

0813a

Antes de utilizar su nuevo producto Steren, lea este instructivo para evitar cualquier mal funcionamiento.

Before using your new Steren's product, please read this instruction manual to prevent any damage.

IMPORTANTE / IMPORTANT



La información que se muestra en este manual sirve únicamente como referencia sobre el producto. Debido a actualizaciones pueden existir diferencias. Por favor, consulte nuestra página web (www.steren.com) para obtener la versión más reciente del instructivo.

The instructions of this manual are for reference about the product. There may be differences due to updates. Please check our website (www.steren.com) to obtain the latest version of the instruction manual.

PRECAUCIONES / CAUTIONS

- Siempre utilice un paño suave, limpio y seco para limpiar el equipo.
- No intente abrir el equipo, puede ocasionar mal funcionamiento y anular la garantía.
- No use ni almacene este equipo en lugares donde existan goteras o salpicaduras de agua.

- Always use a soft, clean, dry cloth to clean the equipment.
- Do not try to open the equipment, it may cause a malfunction and void the warranty.
- Do not use or store this equipment in wet or damp places.

CARACTERÍSTICAS / HIGHLIGHTS

Panel solar de 0,9 V $\pm$ 400 mA en una sola pieza de 9,5 x 6,5 cm, fabricado con celda de un solo cristal de alto grado solar y fibra de vidrio, que resiste el aire salado, el viento y la corrosión por efectos del clima, así como la radiación solar.

Está protegido contra los rayos UV y la oxidación, las celdas están construidas con policarbonato y caja de plástico sellada con resina epóxica.

The solar panel is manufactured with a single crystal high grade cell and durable fiber glass, it resists the salted air, wind, weather and solar radiation.

Solar panel is resistant against UV rays and oxidation, cells are built with polycarbonate, plastic housing with epoxy sealed.

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS

Salida: 0,9 V $\pm$ 400 mA

Output: 0.9 V $\pm$ 400 mA

MODO DE USO / HOW TO USE

1.- Conecte el dispositivo que quiere alimentar a las terminales del panel.

2.- Verifique la polaridad.

3.- Dirija el panel hacia el sol. Comenzará a obtener salida eléctrica.

1.- Connect the device you want to power to panel's terminals.

2.- Verify the polarity.

3.- Aim the panel toward the sun. You have to start to get electrical output.



Nota: Cables no incluidos, es posible que el panel no funcione con luz artificial.
Note: Cables not included, the panel may not work with artificial light.