



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
MATERIALES AVANZADOS**

**ENERGIAS RENOVABLES: ESPECIALIDAD
ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ENERGÍAS RENOVABLES

**MÓDULO FOTOVOLTAICO PARA ENTRENAMIENTO DE ALUMNOS
DEL CENTRO DE DESARROLLO DE
ENERGÍAS RENOVABLES.**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN ENERGÍAS RENOVABLES**

PRESENTA

JORGE LUIS NERI TREJO
JORGE MATEO HERNÁNDEZ
GERMÁN RESÉNDIZ LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS
DRA. HILDA ESPERANZA ESPARZA PONCE

Índice

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO I Problemática, finalidad y organización	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Propósito de la investigación.....	1
1.3 Objetivo General	2
1.4 Objetivos Específicos	2
CAPITULO II Introducción a la energía solar fotovoltaica	3
2.1 El sol como fuente de energía renovable	3
2.2 Movimientos de la Tierra respecto al sol	4
2.3 Día solar	6
2.4 Sistema Fotovoltaico	7
2.4.1 Módulos fotovoltaicos	8
2.4.2 Medios de almacenamiento (Baterías)	9
2.4.3 El Regulador o Controlador de Carga.....	11
2.4.4 El Inversor.....	12
CÁPITULO III Desarrollo e integración.....	13
3.1 Introducción.....	13
3.2 Desarrollo e integración.....	13
3.2.1 Sistema normativo	14
3.2.2 Sistema estratégico	14
3.2.3 Sistema Ideal	15
3.2.3.1 Diseño Idealizado.....	17
3.3 Diseño Real.....	19
3.3.1 Sistema Real.....	20
3.3.2 Descripción del Sistema Real (MESF)	21
3.4 Diseño y dimensionamiento del MESF	22
3.4.1 Estudio de cargas para la iluminación	22
3.4.2. Dimensionado de las baterías.....	23

3.4.3. Determinación del Tamaño del Arreglo Fotovoltaico.	24
3.4.4. Cálculo del Controlador	25
3.4.5. Inversor	25
3.5. Integración del MESF	26
3.5 Pruebas y resultados del sistema	28
3.5.1 Potencia eléctrica de una celda fotovoltaica	28
3.5.2. Monitoreo del MESF	45
CÁPITULO IV Conclusiones.....	49
4.1 Trabajos Futuros	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXO 1 Protocolo de investigación	54
ANEXO 2 Manual de prácticas.....	62

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas especiales a las que quiero agradecer por su apoyo, ánimo, amistad, conocimientos, paciencia, motivación, comprensión y por su valioso tiempo que me brindaron en esta etapa de mi vida; mi esposa y mi hijo, mis padres, mis hermanos, mis compañeros de estudio y de trabajo, mis amigos, a mi asesor de tesis por su orientación y consejos, en general a todos y cada uno quienes desinteresadamente me apoyaron en este trabajo; pero sobre todo a Dios, por acompañarme en esta aventura dándome la oportunidad de estar vivo, proporcionándome salud, entereza y fortaleza en cada paso que doy, por poner en mi camino a aquellas personas extraordinarias que han sido mi soporte y compañía en todo este periodo de estudio; por todo esto y a todos ellos, ¡Muchas gracias!.

Jorge Luis Neri Trejo

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de alguna u otra manera estuvieron cerca de mí, apoyándome en la realización de este proyecto.

*En particular para:
La Dra. Hilda Esperanza Esparza Ponce, por la dirección de este trabajo, el apoyo y por brindarme una orientación clara, durante la realización de este proyecto.*

*A la familia que formamos mi esposa Marisol y mi hija Diana, por su amor y apoyo incondicional en todo lo que hemos realizado.
A mis padres Lilia y José; mis hermanos, José, Elisa e Irma y sus familias.*

*A toda mi familia extensa.
A mis amigos.*

Jorge Mateo Hernández

A Dios: por haberme permitido vivir.

A mis padres Germán y Natalia; mis abuelitos Cruz y María de Jesús quienes en todo momento, con su amor y comprensión me motivaron a superarme.

A Luisa, Carlos Alejandro y Eduardo por su paciencia, amor y tiempo para terminar una meta importante en nuestras vidas.

A mis amigos: Jaime, Francisco, Eligio, Leonardo, José Luis, Marcelo, Angelina, Marcelo, Fabían, Iván, Juan Alberto, Homero y Joel por su amistad y apoyo.

Al Mtro. Ignacio Alfonso Urquijo Islas por sus consejos, experiencia y ayuda.

Con respeto y agradecimiento a la Dra. Hilda Esperanza Esparza Ponce por su brillante asesoramiento.

A las dos instituciones de mi vida, Centro de Investigación en Materiales Avanzados y a La Universidad Tecnológica de Tulancingo, por brindarme la oportunidad de fortalecer mi desarrollo profesional.

Germán Reséndiz López

RESUMEN

El enfoque de sistemas aplicado a la innovación con una dirección a la planeación estratégica y prospectiva por medio de aplicar un conjunto de métodos y técnicas participativas en la planeación de solución a problemas específicos, permitió identificar la articulación de constructos que de manera ordenada proporcionaron una metodología para planear la innovación y el desarrollo de un equipo didáctico. En esta investigación se plantea un modelo sistémico para el diseño y desarrollo del “Modulo de entrenamiento de un sistema fotovoltaico (MESF) para el centro de desarrollo de energías renovables”, el modelo propuesto está integrado por cuatro sistemas. El objetivo fundamental del trabajo que se presenta consiste en diseñar y construir un sistema fotovoltaico para que los alumnos de la Carrera de Energías Renovables realicen prácticas en el centro de desarrollo de energías renovables de la Universidad Tecnológica de Tulancingo. Se muestran los resultados desde su diseño, el dimensionamiento y variables físicas como son la radiación solar y ubicación geográfica, así como la elección de los componentes del MESF hasta su instalación, puesta en funcionamiento y el monitoreo de parámetros. También se diseñó un manual con 16 prácticas y se desarrollaron dos programas para conocer la curva característica (I-V) de una celda fotovoltaica con uso del software Matlab. Para concluir el MESF es un espacio físico para conocer el funcionamiento de los componentes de un sistema fotovoltaico a través de la realización de prácticas diseñadas y contribuir al desarrollo de competencias, investigaciones experimentos de carácter científico o técnico con la garantía que sea seguro en su operación y participe en la transferencia tecnológica.

ABSTRACT

The focus of systems applied to the innovation directed toward the strategic planning and prospect by means of applying a combination of participatory methods and techniques in the planning of the solution to specific problems, it allowed the identification of the articulation of constructs that in an ordered way gave a methodology for planning innovation in the development of didactic equipments.

In this research a systematic model is planned for the design and development of a "Training model for a photovoltaic system (MESF) for a development center of renewable energies." The proposed model is integrated by four systems. The fundamental objective of the work presented consists of designing and constructing a photovoltaic system so that the students of the Renewable Energies can do their practice in the development center of Renewable Energies of the Universidad Tecnológica de Tulancingo. The results, from the design, dimensionality, and physical variables like solar radiation and geographical location, as well as the selection of the MESF components and their installation, starting them up, and the monitoring of the parameters, are shown. Also, a manual with 16 practices for calculating the characteristic curve (I-V) of a photovoltaic cell using MATLAB software. To conclude, MESF is a physical space for knowing the working of the components of a photovoltaic system through doing the designed practices and contributing to the development of competences and experimental research of a scientific and technical character, with the guarantee that it will be safe in its operation and will participate in technological transfer.

CAPÍTULO I Problemática, finalidad y organización

1.1 Justificación

Para contribuir al logro de la competencia del programa de estudios TSU en Energías Renovables con énfasis en fotovoltaica y de la misma manera a la continuidad del desarrollo de una cultura en el uso racional de la energía a través del conocimiento de la aplicación de las energías renovables, específicamente la energía fotovoltaica y los efectos del cambio climático, así como fomentar el desarrollo sustentable de las mismas.

Proporcionar servicios tecnológicos al sector productivo y social sobre el conocimiento de la aplicación de los sistemas fotovoltaicos para producir energía eléctrica y esta emplearla en sistemas de bombeo, iluminación entre otros.

Hacer conciencia en el uso racional de la energía y promover la aplicación de las energías renovables como es el caso de la energía solar fotovoltaica, para satisfacer la demanda de energía eléctrica.

1.2 Propósito de la investigación

El enfoque de sistemas aplicado a la innovación con una dirección a la planeación estratégica y prospectiva por medio de aplicar un conjunto de métodos y técnicas participativas en la planeación de solución a problemas específicos, deberán ser capaces de contribuir a la elaboración de un modelo sistémico para la innovación producto-tecnología y ser un instrumento que permita identificar la articulación de constructos que de manera ordenada proporcionen un metodología a las universidades tecnológicas para planear la innovación y el desarrollo de un equipo didáctico con base a la tecnología.

Al investigar la importancia de la innovación para el fortalecimiento y la competitividad de las universidades tecnológicas que imparten la carrera de energías renovables, con el modelo propuesto, les facilitará visualizar las necesidades que existen actualmente en el mercado de producción de energías alternas en especial la fotovoltaica de innovación requerida en un horizonte de planeación en el tiempo.

El contar con el módulo de entrenamiento de un sistema fotovoltaico (MESF) para, ayudar a las instituciones de educación superior a promover la participación y compromiso de sus integrantes para buscar el bien común con base a la innovación y a que sus egresados sean competitivos en su campo profesional.

1.3 Objetivo General

Diseñar y construir un sistema fotovoltaico para que los alumnos de la carrera de energías renovables realicen prácticas variando las condiciones del mismo.

1.4 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema fotovoltaico.
- Gestionar y tramitar los recursos económicos para el desarrollo del proyecto.
- Integrar los componentes del sistema fotovoltaico y la instalación, aplicando las normas correspondientes.
- Realizar las pruebas al sistema fotovoltaico y su instalación
- Diseñar el manual de prácticas que integre la aplicación y el funcionamiento de cada uno de los componentes de un sistema fotovoltaico.
- Verificar el desarrollo de las prácticas del manual con respecto al funcionamiento del sistema fotovoltaico.

CAPITULO II Introducción a la energía solar fotovoltaica

2.1 El sol como fuente de energía renovable

En tiempos en los que el calentamiento global es una amenaza real a causa de la contaminación por el uso de combustibles fósiles, la energía proveniente del astro rey se alza como una de las principales alternativas para el cambio de matriz energética.

La energía del Sol proviene de la constante combustión de hidrógeno en su interior, emitiendo gran cantidad de energía radiante de la que la Tierra se beneficia en una ínfima proporción. Al ingresar la energía solar a nuestra atmósfera es afectada por diversos factores como la densidad, la localización geográfica, la orientación de la superficie expuesta, etc.

Existen dos modos de aprovechar la energía solar, en su condición difusa o en su condición directa. Sin embargo, el ser humano aún no ha encontrado la forma de sacarle el máximo provecho a esta energía limpia y siempre renovable. Para darnos una idea de la cantidad de energía que desaprovechamos, el Sol cada año emite cuatro mil veces más energía que la que necesitamos.

Los principales problemas a los que se enfrenta el uso de la energía solar son: la necesidad de múltiples dispositivos que nos permitan atrapar la energía del Sol, esta energía solo puede ser aprovechada en momentos climatológicamente favorables y el costo para su máximo aprovechamiento supera en mucho a los actuales costos de las plantas eléctricas.

El Sol es la fuente de energía más grande que conocemos en la actualidad; ésta es la responsable de la vida en nuestro planeta y además desde los albores de la civilización se ha caracterizado por tener connotaciones divinas.

En lo profundo del centro del sol, la intensa actividad nuclear genera enormes cantidades de radiación, a su vez, esta radiación genera energía lumínica emitida por pequeñas partículas llamadas fotones. Estos fotones no tienen masa física, pero tienen enormes cantidades de energía y *momento*; generando diferentes longitudes de onda de la luz. Algunos fotones formarán luz no visible (infrarroja y ultravioleta), mientras que otros, luz visible (blanca).

Toma tiempo a estos fotones salir desde el centro del sol; les puede tomar un millón años para un llegar a la superficie del núcleo; una vez que alcanzan la superficie del Sol, estos fotones viajan por el espacio a una velocidad de 670 millones de kilómetros por hora; llegando a la tierra en aproximadamente ocho minutos.

En su viaje desde el Sol a la Tierra, los fotones pueden colisionar y son desviados por otras partículas, se destruyen en contacto con cualquier cosa que puede absorber la radiación, generando calor. Es por eso que se siente caliente en un día soleado: su cuerpo está absorbiendo fotones del sol.

Nuestra atmósfera absorbe muchos de estos fotones antes de que alcancen la superficie de la tierra. Esa es una de las dos razones por las que el sol se siente mucho más caliente al medio día. El sol está arriba y los fotones tienen que viajar a través de una capa delgada de la atmósfera para llegar hasta nosotros, en comparación con el final del día, cuando el sol se pone y los fotones tienen que viajar a través de una capa mucho más extensa de la atmósfera.

Esta es también una de las dos razones por las que un día soleado de invierno es mucho más frío que un soleado día en verano. En invierno, cuando su ubicación en la Tierra está inclinada lejos del sol, los fotones viajan a través de una capa mucho más extensa de la atmósfera para llegar a nosotros.

2.2 Movimientos de la Tierra respecto al sol

La órbita de la Tierra es elíptica: hay momentos en que se encuentra más cerca del Sol y otros en que está más lejos. Además, el eje de rotación del planeta está un poco inclinado respecto al plano de la órbita. Al cabo del año parece que el Sol sube y baja.

El camino aparente del Sol se llama eclíptica, y pasa sobre el ecuador de la Tierra a principios de la primavera y del otoño; estos puntos son los equinoccios, en ellos el día y la noche duran igual. Los puntos de la eclíptica más alejados del ecuador se llaman solsticios y señalan el principio del invierno y del verano.

Cerca de los solsticios, los rayos solares caen más verticales sobre uno de los dos hemisferios y lo calientan más, llamándosele verano. Mientras, el otro hemisferio de la Tierra recibe los rayos más inclinados, teniendo que atravesar mayor cantidad de atmosfera y se enfrían antes de llegar a tierra, a esto se le llama invierno.

En la imagen, encontramos en el solsticio de junio o verano que la insolación media en nuestra latitud es de 15 horas a 53° norte, cerca de 17 horas y en el Polo Norte, 24 horas seis meses de luz; mientras que en el Hemisferio Sur empieza el invierno, 6 meses de oscuridad en la Antártida.

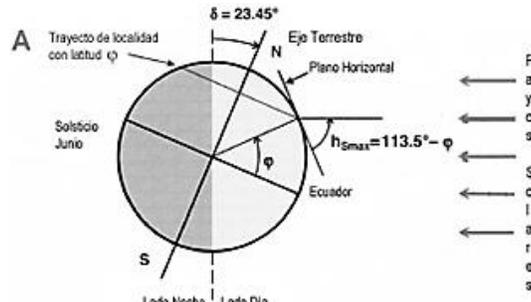


Figura 1. Solsticio de verano

En la imagen B, tenemos la posición de la Tierra en 0° para los dos equinoccios, primavera y otoño (marzo y septiembre). La insolación media es de 12 horas en todas las latitudes geográficas.

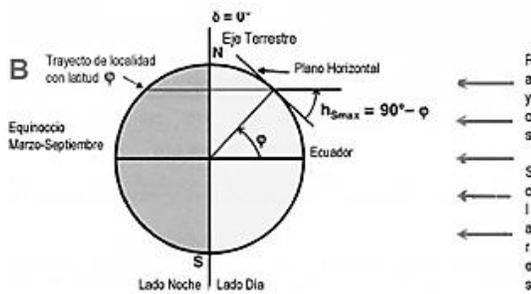


Figura 2. Equinoccio de primavera y otoño

En la imagen C se muestra el solsticio de diciembre o invierno; la insolación media en nuestra latitud es de unas 9 horas; reduciéndose a medida que nos acercamos al Polo Norte donde es de noche y se tienen seis meses de oscuridad. En el Hemisferio Sur se inicia el verano y en el Polo Sur comienzan los seis meses de luz.

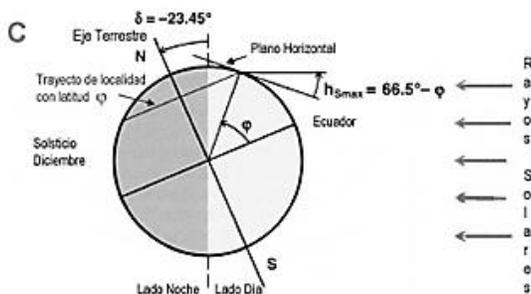


Figura 3. Solsticio de invierno

Al igual que todo el Sistema Solar, la Tierra se mueve por el espacio a unos 20,1 km/s o 72,360 km/h hacia la constelación de Hércules. Sin embargo, la Vía Láctea como un todo, se mueve hacia la constelación de Leo a 600 km/s. (www.astronomia.com)

Traslación: La Tierra y la Luna giran juntas en una órbita elíptica alrededor del Sol. La excentricidad de la órbita es pequeña, tanto que la órbita es prácticamente un círculo. La circunferencia aproximada de la órbita de la Tierra es de 938.900.000 km y nuestro planeta viaja a lo largo de ella a una velocidad de unos 106.000 km/h.

Rotación: La Tierra gira sobre su eje una vez cada 23 horas, 56 minutos y 4,1 segundos. Por lo tanto, un punto del ecuador gira a poco más de 1.600 km/h y un punto de la Tierra a 45° de altitud N, gira a unos 1.073 km/h.

Otros movimientos: Además de estos movimientos primarios, hay otros componentes en el movimiento total de la Tierra como la **precesión** de los equinoccios y la **nutación**, una variación periódica en la inclinación del eje de la Tierra provocada por la atracción gravitacional del Sol y de la Luna.

2.3 Día solar

Comúnmente se denomina día, “al periodo de luz natural entre el amanecer y el ocaso”¹, para distinguirlo así de la noche. La duración del periodo de luz es más constante cuanto más cerca del ecuador se esté y ésta varía con la latitud y la estación; en las regiones polares llega a ser de 24 horas en el verano, con lo que se produce el fenómeno conocido como sol de medianoche.

El día solar es el intervalo entre dos mediodías sucesivos, o dos pasos sucesivos del Sol sobre el mismo meridiano. Tiene una duración distinta según la época del año, debido a la variación de la velocidad de la Tierra en su órbita. La media dura 24 horas 3 minutos y 56,555 segundos de tiempo sidéreo medio, de aquí se crearon los husos horarios para que comunidades cercanas cuenten con el mismo horario, obteniéndose la hora civil, con esto, es posible calcular la hora solar a partir de la hora civil. Para calcular la hora solar es necesario calcular la ecuación del tiempo [Plasencia, 2001]:

$$ET = + 0.1236 \sin X - 0.0043 \cos X + (0.1583 \sin 2X + 0.0608 \cos 2X)$$

X es el ángulo de desviación de acuerdo al día del año N:

$$X = \frac{360^\circ(N-1)}{365.2422}$$

En tanto que la longitud del tiempo estándar del lugar se determina por:

$$LI = (\text{longitud del lugar} - \text{meridiano de referencia}) / 15^\circ$$

¹ Diccionario astronómico: www.astronomia.com

El valor del meridiano de referencia corresponde al del huso horario del lugar donde se desea realizar el cálculo. Para finalmente calcular el tiempo solar (TS):

$$TS = TC - ET - LI$$

2.4 Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos (SF) se pueden definir como un conjunto de elementos convierten la luz del sol directamente en energía eléctrica, mediante el uso de dispositivos conocidos como “celdas solares”. Una celda solar está compuesta de material semiconductor dispuesto en dos capas: P y N. Cuando la radiación del sol incide en la celda fotovoltaica en forma de luz solar, la línea de separación entre P y N actúa como un diodo. Los fotones con suficiente energía que inciden en la celda provocan que los electrones pasen de la capa P a la capa N. Un exceso de electrones se acumula en el lado N mientras que en el lado P se produce un déficit. La diferencia que existe entre la cantidad de electrones es la diferencia de potencial o voltaje, que puede ser usado como una fuente de energía para diferentes aplicaciones. Mientras que la luz siga incidiendo en el panel el voltaje se mantiene, incluso en días nublados, esto es debido a la presencia de radiación difusa de luz.

La energía solar de los (SF) se utiliza para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, lámparas eléctricas generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional que suministre alguna compañía.

Es sumamente necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos. La energía del sol se encuentra disponible en todo el mundo y es importante mencionar que en algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, México es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario realizar un estudio para determinar el potencial solar de un sitio específico donde se pretende instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso del universo y no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante tener en cuenta que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica es necesario contar con un sistema fotovoltaico apropiado de acuerdo a las necesidades, por tanto costo de utilizar la energía solar no

es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se puede decir que un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar de forma directa y eficiente la energía del sol en energía eléctrica
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada por las celdas solares
- Proveer eficiente y adecuadamente la energía producida

Tomando en cuenta el mismo orden mencionado en el párrafo anterior, los elementos encargados de realizar las funciones respectivas en un (SF) son:

- 1.- El módulo o panel fotovoltaico
- 2.-La batería
- 3.- El regulador de carga
- 4.- El inversor

En sistemas fotovoltaicos además de los equipos antes mencionados, es muy importante el uso de protecciones eléctricas para los sistemas tales como fusibles, termomagnéticos para la protección contra sobrecargas o corto circuitos del sistema fotovoltaico. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada.

2.4.1 Módulos fotovoltaicos

Para transformar de forma directa la energía solar en energía eléctrica se realiza mediante en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.

Una celda fotovoltaica es el dispositivo semiconductor que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas están fabricadas principalmente de un grupo de materiales semiconductores de los que destaca principalmente el silicio. El silicio es un material que se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual hace más caro el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica normalmente tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un vatio a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas

son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos están contenidos de 36 celdas fotovoltaicas.

Los paneles solares están protegidos mediante un marco de vidrio y aluminio que tienen la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno). El vidrio frontal es anti reflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

Los módulos solares según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- *Módulos de silicio monocristalino*: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.
- *Módulos de silicio policristalino*: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor.
- *Módulos de silicio amorfo*: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

2.4.2 Medios de almacenamiento (Baterías)

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar lámparas o bombillas televisores, o cualquier aparato electrónico, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos

aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.

- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que pueden producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente.
- b) Los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que se puede tener al comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la imperiosa necesidad de tener que remplazarlas frecuentemente.

La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar.

Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías.

También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo.

Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

2.4.3 El Regulador o Controlador de Carga

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

2.4.4 El Inversor

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas; sino que, también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita.

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 voltios (V) de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 V.

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 120 V ó 110 V de corriente alterna para funcionar. Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio pues 120 ó 110 son los voltajes con el que operan el 95% de los electrodomésticos en América Central, en los sistemas conectados a la red pública convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.

Capítulo III Desarrollo e integración

3.1 Introducción

La intención de presente capítulo es mostrar el desarrollo de la aplicación del sistema del “Modulo de Entrenamiento de un Sistema Fotovoltaico (MESF) para el Centro de Desarrollo de Energías Renovables”; para lo cual siguió el siguiente modelo sistémico

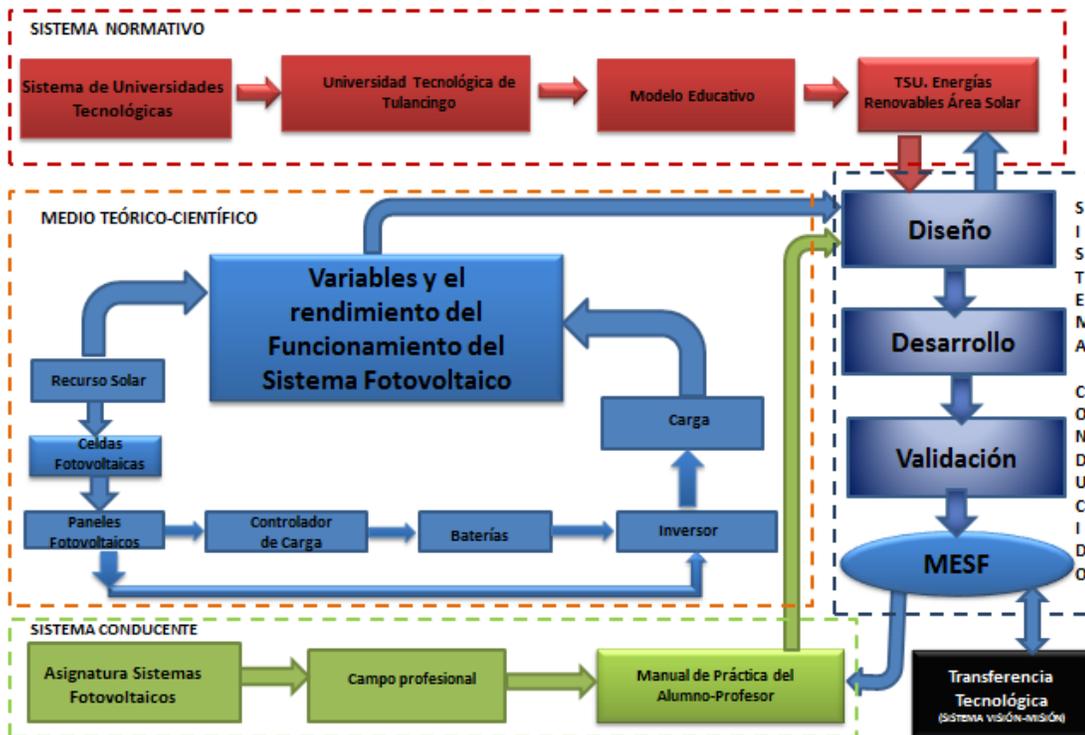


Figura. 4 Modelo sistémico

3.2 Desarrollo e integración

Una vez que se estableció el diseño del MESF, el cual considero los sistemas: normativo, el sistema conductor, el sistema medio teórico-científico, resaltando en este las variables y el rendimiento del funcionamiento del sistema fotovoltaico en sus componentes: paneles fotovoltaicos, controlador de carga, baterías, inversor y la carga, considerando además aspectos importantes normativos de la “Propuesta de especificación técnica para la interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos, con capacidad hasta 30KWp (CFL0000-00)”, establecida por la comisión federal de electricidad y que también aplica para sistemas fotovoltaicos aislados.

3.2.1 Sistema normativo

Con la realización de la técnica “Lluvia de ideas y analogías”: solución creativa de los problemas, se construyeron los principios del laboratorio “Modulo de Entrenamiento de un Sistema Fotovoltaico (MESF) para el Centro de Desarrollo de Energías Renovables”, en los cuales se sintetiza el resultado obtenido de los ideales que se persiguen y que rigen el rumbo.

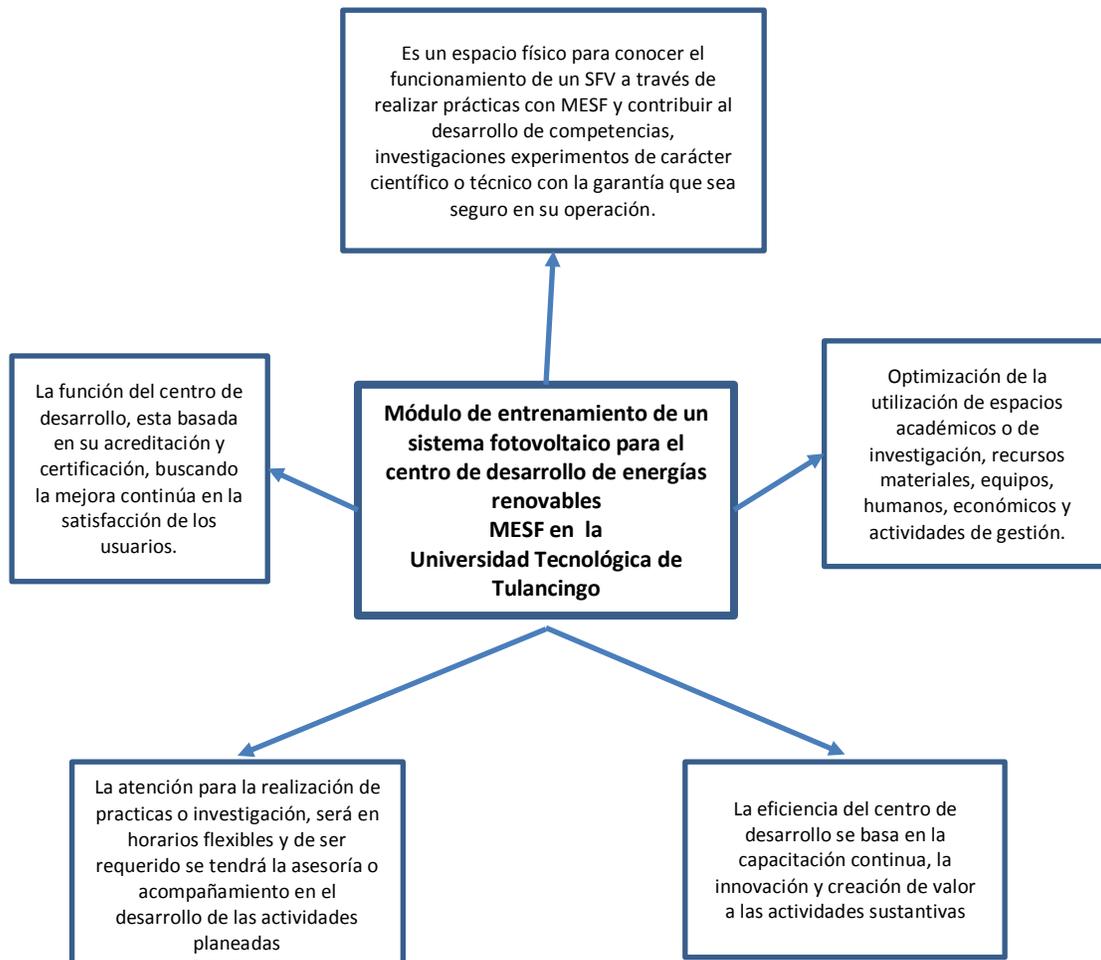


Figura 5 Sistema Normativo

3.2.2 Sistema estratégico

Su finalidad es tener claros los objetivos del MESF y así poder definir un programa de acciones para realizarlos. Por lo que se iniciará con la construcción del sistema idealizado, posteriormente el análisis del sistema real, para contrastar y definir el sistema generado.

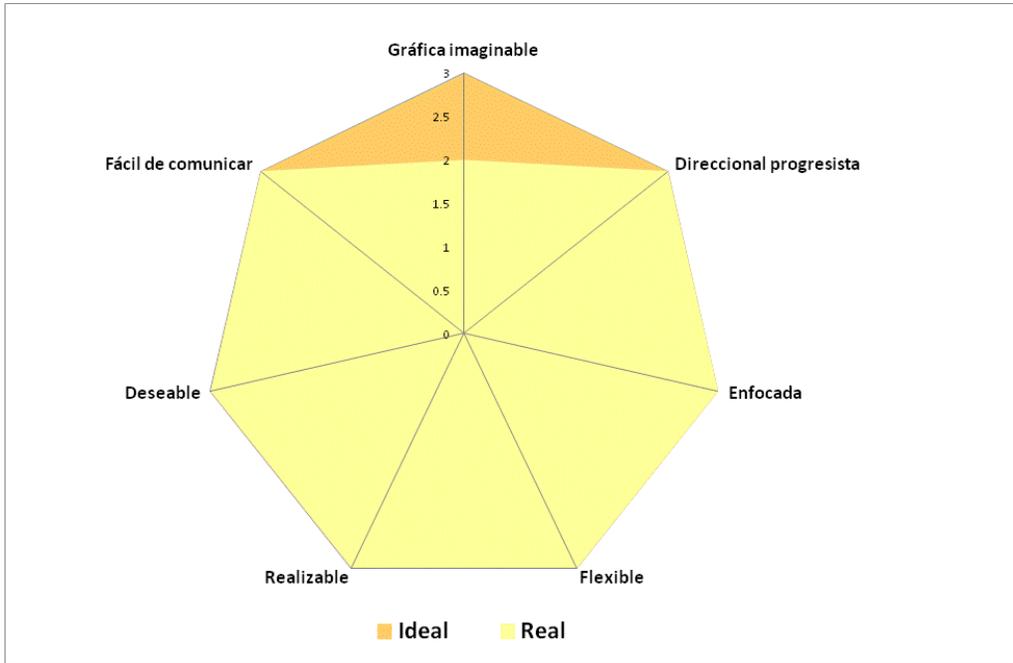
3.2.3 Sistema Ideal

Para la arquitectura de este sistema, se empleó para el Diseño Idealizado la técnica Lluvia de Ideas: solución creativa de los problemas. Los resultados obtenidos son:

COMPONENTES ESENCIALES DE UNA DECLARACION DE MISION	MESF					
	Se menciona claramente					No se menciona
	5	4	3	2	1	0
Clientes	X					
Productos o servicios		X				
Mercados	X					
Tecnología	X					
Interés en la supervivencia, el crecimiento y la rentabilidad	X					
Filosofía	X					
Concepto propio	X					
Preocupación por la imagen pública	X					
Interés en los empleados	X					

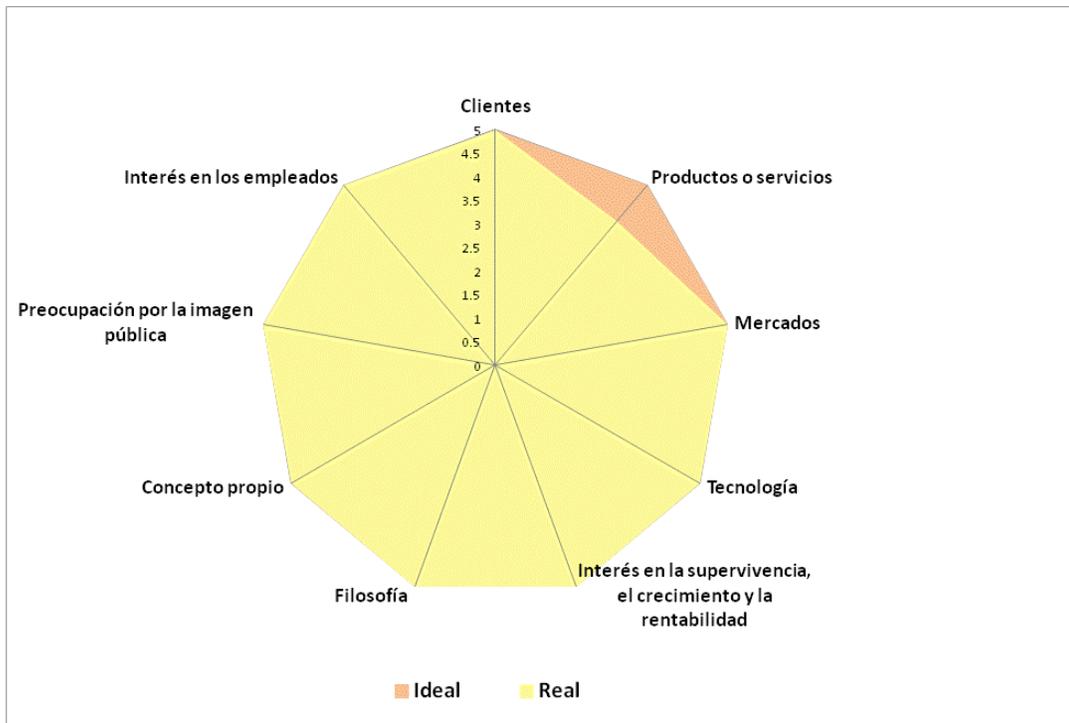
Fuente: David (2003).

Figura 6. Tabla de resultado de lluvia de ideas



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Gráfica de resultados de la evaluación de la visión mejorada MESF



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Gráfica de resultados de la evaluación de la misión mejorada del MESF

3.2.3.1 Diseño Idealizado

Para desarrollar el Diseño Idealizado, se emplean la combinación de las técnicas lluvia de ideas, diseño idealizado. El resultado obtenido empieza con mostrar las especificaciones del sistema mediante una lista de los tópicos que deben ser considerados. Una forma de guía es la formulación de cuestionamientos y respuestas como:

¿Qué distinguirían al MESF para el Estudio de los sistemas fotovoltaicos?

- Aplicación de tecnologías innovadoras.
- La lectura de los factores ambientales debe ser automatizada con la alternativa de ser almacenada para posteriores análisis.
- La disposición de las conexiones de los módulos debe ser flexible de tal forma que permita el trabajo individual como en equipo.
- El MESF proporciona el valor de parámetros de temperatura ambiental, irradiancia, la temperatura del panel pero también permite la combinación de los mismos para el análisis interrelacional de las variables ambientales del mismo.
- Utilización de sistemas computacionales para la simulación del funcionamiento del MESF.
- Distribución funcional de los dispositivos del sistema para evitar distracciones y sugerencias en el desempeño de los usuarios al simular la actividad laboral.
- Espacio facilitador de investigación en el estudio de los sistemas fotovoltaicos.
- Habilitar el laboratorio con un sistema de grabación de las actividades para su reproducción y análisis.
- Debe de contar con un sistema de transferencia de datos vía internet para que se pueda monitorear el funcionamiento del mismo a distancia.

¿Qué atributos del MESF para el Estudio Operacional de los sistemas fotovoltaicos lograría su aceptación por los usuarios?

- Funcional
- Innovador
- Pedagógico
- Atractivo y fácil de utilizar
- Práctico
- Versátil
- Creativo
- Fácil de mantenimiento

Con base a la información obtenida a través de las preguntas anteriores, se redacta la propuesta de Diseño idealizado del sistema.

El MESF es el mejor espacio diseñado y seguro para la realización, de investigación, capacitación y adiestramiento en el estudio del trabajo para el Estudio Operacional de sistemas fotovoltaicos.

Los usuarios (académicos, estudiantes o personal a capacitar) podrán hacer uso del MESF de forma presencial tanto físicamente como a distancia.

- A distancia está limitada la practica solamente al monitoreo por parte del usuario a través de su pantalla de trabajo, a variables como son irradiancia, temperatura, voltaje, corriente.
- De forma presencial con el MESF, los usuarios pueden tomar diferentes roles en el desarrollo de la práctica. Pueden programar los valores de las variables a estudiar. Pueden almacenar las diferentes lecturas de las variables en estudio, grabar las operaciones del proceso a analizar y posteriormente seguir analizándolo, compartirlo con los usuarios a distancia o presenciales para un mayor análisis.

La reservación para la utilización del MESF se puede realizar a través de los siguientes medios: presentarse en las instalaciones donde se encuentra físicamente el centro de desarrollo, vía internet o por medio de mensaje del celular.

Los encargados del MESF, disfrutan de su labor y se capacitan constantemente para ofrecer un mejor servicio, demostrando con ello el compromiso con los usuarios para mejorar sus competencias y habilidades en el aprendizaje e investigación del estudio del trabajo. Por parte del personal de soporte y académico, no hay interrupción de prácticas en el centro de desarrollo.

El acondicionamiento del MESF es tal, que simula un ambiente de trabajo en el que se pueden conocer las variables de temperatura de los paneles, temperatura ambiente, irradiancia; tiene la premisa de ser siempre seguro para sus usuarios. Cuenta con los dispositivos tecnológicos para ambientar audiovisualmente el lugar y simular un espacio en el campo profesional. Es tan flexible el MESF que se puede simular la oferta de un servicio.

El equipamiento e instrumentos, están dispuestos de tal forma que no distrae a los practicantes que juegan el rol de usuarios y a los del rol de analistas, les permite guardar lecturas por determinados periodos de tiempo. Si, se requiere la filmación de las operaciones, se podrá filmar desde cuatro puntos básicos para su posterior estudio y análisis.

Los instrumentos de medición pueden ser transportables, con la finalidad ser utilizados en prácticas, estudios o investigaciones de campo, lo que lo hace más versátil.

3.3 Diseño Real

Para iniciar la descripción del recurso didáctico “Modulo de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos”, se muestra en la siguiente figura una descripción en bloques de lo que será en sistema en general.

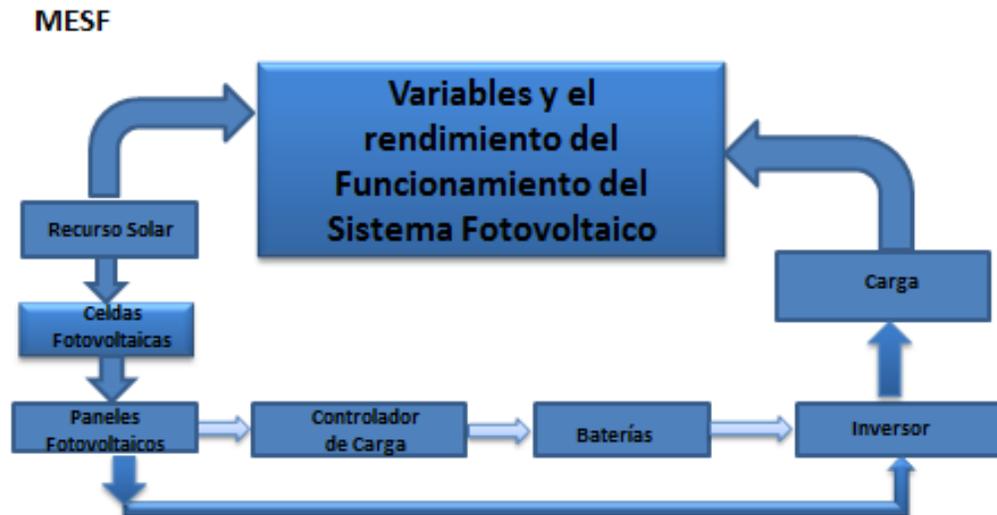


Figura 9. MESF

Se sabe que en todos los sistemas fotovoltaicos, es muy importante considerar las variables que intervienen y el rendimiento que en general este va a tener. Suponer lo anterior, implica tomar una decisión adecuada al momento de elegir cada uno de los componentes del sistema, lo cual va a tener un impacto en cuanto a su funcionalidad y costo, que permitirá determinar si es viable o no su instalación.

Como base principal de todo sistema fotovoltaico, es importante tomar en cuenta el recurso solar de la región donde se pretende instalar, ya que de este depende que el rendimiento y comportamiento de las variables sea el óptimo, así como del resto de los componentes como son: los paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías, inversores, cableado y protecciones eléctricas entre otros.

El MESF permitirá realizar estudio de casos mediante la realización de prácticas, en las que los alumnos intervengan de forma grupal, individual y estudiar el comportamiento del sistema en su totalidad o por partes; es importante que el alumno dentro de las competencias que debe adquirir para integrarse al campo laboral muestre las habilidades para proponer, diseñar, integrar y así dar solución a problemas relacionados a la energía solar fotovoltaica.

El entrenador para el estudio de los sistemas fotovoltaicos, se encuentra físicamente en el Centro de Desarrollo de Energías del área electromecánica en la Universidad

Tecnológica de Tulancingo en el estado de Hidalgo (Figura 10), y constituye una de las herramientas didácticas para la enseñanza del estudio de los sistemas fotovoltaicos, el cual es utilizado en las prácticas de la asignatura: Celdas Fotovoltaicas, energías renovables.

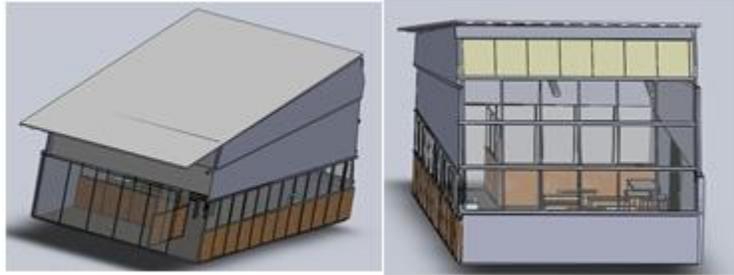


Figura 10. Centro de desarrollo de energías renovables

3.3.1 Sistema Real

Para iniciar la descripción del recurso didáctico conocido como: Modulo de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos (figura 11).

Este módulo de entrenamiento, se encuentra físicamente en la Universidad Politécnica de Tezomoc Pue., y constituye una de las herramientas didácticas para la enseñanza del estudio de la energía solar fotovoltaica, el cual es utilizado en las prácticas de las asignaturas: Celdas solares, energías renovables, estaciones meteorológicas, entre otras.



Figura 11. Entrenador modular de energía solar fotovoltaica. Modelo (MINI-EESF)

Especificaciones

Principales características:

- Suministro y Consumo a 12 V (CC).
- Suministro y Consumo en corriente alterna (CA).
- Suministro a la red eléctrica pública.

Módulo fotovoltaico:

Panel solar (policristalino) montado sobre una estructura de aluminio anodizado, con ruedas para su movilidad, con célula calibrada para medir la irradiación solar.

Está compuesto de una serie de 36 células fotovoltaicas (35 x 55mm) de alto rendimiento y tiene una potencia típica de 50Wp a una tensión de 17 VCC.

Tanto las protecciones como los materiales utilizados le confieren una muy buena resistencia al agua, a la abrasión, al impacto de granizo y a otros factores ambientales adversos.

Datos técnicos:

- Potencia máxima nominal: 66W.
- Voltaje en el punto máximo de potencia (V_{mpp}): 17,8V.
- Corriente en el punto máximo de potencia (I_{mpp}): 3,70A.
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): 4,05A.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): 22,25V.
- Dimensiones: 660 x 35,5 x 780 mm. Peso: 3 Kg. aprox.
- Batería, que ofrece unas óptimas prestaciones en aplicaciones de baja potencia.
Capacidad: 32 Ah con 96 Wh por día.
- Conjunto de cables de interconexión.
- Bastidor en aluminio anodizado para la colocación de los módulos.

3.3.2 Descripción del Sistema Real (MESF)

De acuerdo a la imagen presentada anteriormente, el entrenado modular de energía solar fotovoltaica, se describe a continuación, desglosando cada una de sus módulos:

Módulos:

- ES10. Controlador de carga solar con detección automática del voltaje de operación de 12V ó 24V

- ES20. Módulo de cargas que incorpora dos lámparas de 12V, 50W, con interruptores independientes.
- ES30. Inversor CC/CA
- ES40. Módulo de medidas de tensión CA hasta 250V. y CC hasta 250V.
- ES50. Módulo de cargas que incorpora dos lámparas de 220V. ó 110V., 50 W., con interruptores independientes.
- ES80. Módulo de medidas de la irradiación solar (W/m²) y la corriente hasta 10 A.
- ES90. Módulo de cargador de baterías de 12 VCC.
- EE-KIT2. Kit de Inversor para la Conexión a la Red Eléctrica.

DIMENSIONES Y PESOS

MINI-EESF:

Bastidor con los módulos: Dimensiones: 1300 x 370 x 750 mm. aprox.

Peso: 35 Kg. aprox.

Módulo fotovoltaico: Dimensiones: 730 x 510 x 1150 mm. Aprox.

Peso: 10 Kg. aprox.

Kit Inversor para Conexión a la Red Eléctrica: Dimensiones: 490 x 330 x 410 mm. Aprox.

Peso: 15 Kg. aprox.

3.4 Diseño y dimensionamiento del MESF

Con fundamento en los modelos anteriormente mencionados como son: el sistema ideal, sistema real y sistemas que existen en el mercado, se realiza el diseño y dimensionado del MESF tomando en cuenta las debilidades y fortalezas de los sistemas existentes, puntos que son importantes para la didáctica en la enseñanza de los sistemas fotovoltaicos dentro de la institución, para lo cual se dimensiona el sistema considerando la carga total instalada, recurso solar en la región, componentes existentes en el mercado, días de autonomía, tipos de cargas y su uso.

3.4.1 Estudio de cargas para la iluminación

Se determinó la cantidad de carga instalada en iluminación en el centro de desarrollo de energías renovables, para poder realizar el dimensionamiento general del MESF, únicamente se consideró la iluminación como base para el dimensionamiento y la adquisición del equipo ya que es la carga que principalmente se estará variando para plantear distintos casos en los manuales de prácticas, aunque es importante mencionar que también se tomarán en cuenta para algunas prácticas dispositivos de uso dentro del aula tales como cañón, laptop entre otros.

Las lámparas que se encuentran instaladas en el centro de desarrollo de energías, son lámparas fluorescentes de 2x75Watts, son lámparas de balastro inductivo.



Figura 12. Lámparas del centro de desarrollo de energías renovables

En la tabla siguiente se muestra la cantidad de lámparas, así como la cantidad de Wh total de acuerdo a las horas y días de uso por día.

Cargas individuales	Cantidad	Watts	Uso Horas/Días	Uso Días/Semana	Watts Hora Total
Lámparas Fluorescentes	6	450	5	6	2250
					2250 W

3.4.2. Dimensionado de las baterías

Como se trata de un sistema aislado o autónomo es necesario que tenga baterías de respaldo. Una parte fundamental del dimensionamiento del MESF se encuentra en el dimensionado de la capacidad de almacenamiento de energía, para ello se tomó en cuenta el voltaje al que trabajara el sistema en corriente directa, la eficiencia del inversor y la carga promedio de corriente alterna por día, se calculan los amperes-hora promedio por día como se muestra en la siguiente expresión.

$$Amp - hora - prom - dia = \frac{\left[\left(\frac{carga_prom_C.A_por_día}{\eta_{inv}} \right) + carga_prom_en_C.D \right]}{voltaje_del_sitema}$$

Dónde: $\eta_{inv} = eficiencia_del_inversor = 0.9$

Considerando el sistema con una tensión de 24Volts en corriente directa.

Amper-hora promedio por día = 104.17 A

Para este sistema se usaran baterías de 6 volts 225Ah marca XXXX por lo tanto se requieren 4 baterías conectadas en serie para obtener el voltaje de 48 Volts de corriente directa.

El número de baterías conectadas en paralelo se calcula de la siguiente manera:

$$No.Baterias _ en _ paralelo = \frac{\left(Amperes - \frac{hora _ promedio}{día} \times No.de _ días _ de _ autonomía \right)}{(Capacidad _ de _ la _ batería _ en _ Ah _ x _ profundidad _ de _ descarga)}$$

Considerando 4 días de autonomía del sistema y un 50% la profundidad de descarga se tiene:

No. Baterías en paralelo = 3.7038 ó bien 4 arreglos en paralelo.



Figura 13. Arreglo de baterías en paralelo

Considerando que las baterías en paralelo son arreglos de 4 baterías en serie se tiene un total de: 16 baterías de 6V a 225Ah.

Una vez dimensionado el banco de baterías se determinó el arreglo fotovoltaico necesario para cargar el arreglo de baterías.

3.4.3. Determinación del Tamaño del Arreglo Fotovoltaico.

Para determinar el tamaño del arreglo fotovoltaico, se calcula primero la corriente total pico para el arreglo considerando los amperes-hora promedio por día, la eficiencia de las baterías y las horas solar pico, cuyo valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{pico _ arreglo} = \frac{Amperes _ hora _ prom _ día}{\eta B x HSP}$$

Dónde:

$$\eta_B = \text{Eficiencia de las baterías (se puede tomar 0.8)}$$

HSP= Horas solar pico (4.2 el mínimo para Tulancingo – Pachuca Hidalgo)

I pico arreglo = 31.0029 Amperes

Numero de módulos en paralelo = I pico arreglo/ I pico módulo

Número de módulos en paralelo = 5.3918 ó bien 6 módulos en paralelo.

Los módulos a emplear son de una potencia de 200Watts marca Enesol de silicio policristalino.



Figura 14. Arreglo fotovoltaico

3.4.4. Cálculo del Controlador

Icc arreglo = 1.25 x Icc módulo x No. de módulos en paralelo

$$= 1.25 \times 6.46 \times 6 = 48.45 \text{ Amperes}$$

El controlador elegido considerando un futuro crecimiento del sistema es de 80 Amperes.

Modelo (FLEXmax 80)

3.4.5. Inversor

El inversor es un dispositivo para el cual no se necesita realizar un calculo en especial, solamente se tiene que buscar un modelo que cumpla con las condiciones de corriente y voltaje que resulta de los cálculos anteriores, por lo tanto se decidió por uno de la marca Outback con la siguientes características:

Voltaje nominal en C.D	24Volts
Voltaje nominal en C.A	110Volts
Potencia de operación	2500 Watts

3.5. Integración del MESF

Para la integración del MESF se realizaron pruebas previas a la instalación verificando el estado de equipo según sus manuales técnicos de cada elemento. Dichas pruebas permitieron comprobar los alcances del equipo para el desarrollo de prácticas y los aspectos importantes a considerar en la instalación. (Figura 15)



Figura15. Pruebas de sistema fotovoltaico

Con relación a las características eléctricas de los elementos principales adquiridos como son: inversor, controlador de carga, paneles solares, baterías entre otros, se determinó que el voltaje de operación óptimo del sistema debe ser de 24 Vcd.

Al considerar el voltaje de operación del sistema, se formaron arreglos de 4 baterías de 6 Volts en serie para obtener la tensión necesaria del MESF.

De acuerdo al proyecto generado para la instalación se determinó que la instalación de los paneles solares fotovoltaicos serían instalados en el techo del centro de desarrollo de energías renovables, para lo cual fue necesario el diseño de la estructura que soportaría dichos paneles.

La estructura fue diseñada de perfil metálico pintado con anticorrosivo, para soportar la carga de los paneles y la fuerza del viento en esa zona; cabe resaltar que en esta región

se tiene una velocidad media estimada anual del viento de 3 metros por segundo a una altura de 10 metros.

La estructura fue fijada al techado del centro de desarrollo de energías renovables con pijas auto taladrantes galvanizadas para soportar la corrosión, ya que la estructura y sus componentes deban soportar en tiempo, la vida útil de los paneles.

Una vez fija la estructura de soporte se procedió con la fijación de los paneles solares (Figura 16)



Figura 16. Fijación de paneles solares en la estructura

Con los paneles fijos se procedió a realizar el cableado y canalización del sistema, considerando un par de hilos independiente para cada panel con el fin de realizar combinaciones serie paralelo en el MESF en un futuro. Figura 14.



Figura 17. Canalización y cableado.

Con base en el diseño planeado y las normas de instalación pertinentes (Figura 18), se procedió a realizar la fijación de tablero del MESF (Figura 19)

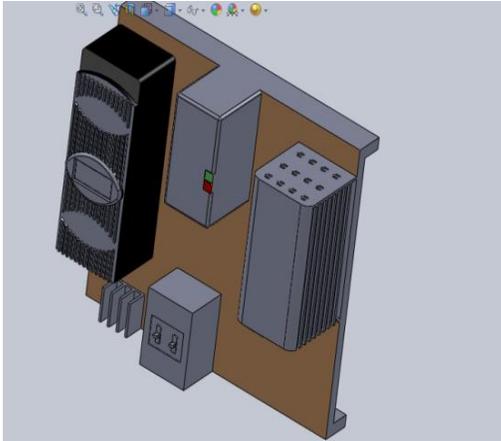


Figura 18 Diseño del tablero MESF



Figura 19. Tablero MESF

3.5 Pruebas y resultados del sistema

3.5.1 Potencia eléctrica de una celda fotovoltaica

Un aspecto importante de una celda fotovoltaica es la gráfica de V-I esta define la potencia eléctrica, pero no es fácil determinar su comportamiento cuando los factores como son irradiancia y temperatura ambiental la afectan. De la misma manera conocer el punto más alto es decir la potencia máxima es así como se determinan dos casos: el octava de celdas que se basa en el método de áreas y cuando la diferencia es muy pequeña 1×10^{-8} determina la potencia máxima. El novena de celdas en el que se utiliza el método de Newton Raphson el cual es un método de aproximación; para ambos se emplea el software de Matlab y a continuación se muestran las gráficas correspondientes para las corridas y se observa como ambos métodos convergen.

A continuación se muestra la simplificación del modelo matemático de una celda fotovoltaica, la cual se debe a la dificultad que presenta, en especial la variable de intensidad de corriente I se encuentra como coeficiente y exponente, la única manera es hacer como se explica en el siguiente desarrollo:

$$I = I_1 - I_0 \left(e^{\frac{V+RsI}{nV_t}} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Al multiplicar y eliminar los paréntesis se tiene que

$$I = I_1 - I_0 e^{\frac{V+RsI}{nV_t}} + I_0$$

Al despejar las intensidades de corriente I_1 e I_0 al miembro izquierdo.

$$I - I_1 - I_0 = -I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}}$$

Al despejar $-I_0$ al miembro del lado derecho.

$$\frac{I_0 + I_1 - I}{I_0} = e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}}$$

Al aplicar logaritmo natural a ambos miembros de la ecuación

$$\ln \left(\frac{I_1 - I}{I_0} + 1 \right) = \ln \left(e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \right)$$

Se tiene la expresión.

$$\ln \left(\frac{I_1 - I + I_0}{I_0} \right) = \frac{V + R_S I}{nV_t}$$

Despejando nV_t al miembro izquierdo se tiene.

$$nV_t * \ln \left(\frac{I_1 - I + I_0}{I_0} \right) = V + R_S I$$

Al pasar el término $R_S I$ al miembro derecho tenemos.

$$nV_t * \ln \left(\frac{I_1 - I + I_0}{I_0} \right) - R_S I = V$$

Al simplificar I_0 se obtiene V

$$nV_t * \ln \left(\frac{I_1 - I}{I_0} + 1 \right) - R_S I = V \quad \text{Ecuación 2}$$

La potencia eléctrica es.

$$P = V \cdot I \quad \text{Ecuación 3}$$

Al sustituir la ecuación 1 en la ecuación 3 se tiene.

$$P = V(I_1 - I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} + I_0)$$

Y al derivar parcialmente la potencia con respecto al voltaje.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = V \left(-\frac{I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}}}{nV_t} \right) + \left(I_1 - I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} + I_0 \right)$$

Y al multiplicar V y eliminar los paréntesis.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = -\frac{I_0 V e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}}}{nV_t} + I_1 - I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} + I_0$$

Al factorizar $e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}}$ se tiene.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(-\frac{I_0 V}{nV_t} - I_0 \right) + I_1 + I_0$$

Al factorizar $-I_0$ se tiene.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = -I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V}{nV_t} + 1 \right) + I_1 + I_0$$

Nuevamente al factorizar I_0 se tiene la ecuación 4

$$\frac{\partial P}{\partial V} = I_0 \left[1 - e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V}{nV_t} + 1 \right) \right] + I_1 \quad \text{Ecuación 4}$$

Para determinar la potencia máxima se iguala la ecuación 4 a cero.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0$$

$$0 = I_0 \left[1 - e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V}{nV_t} + 1 \right) \right] + I_1$$

Al eliminar los paréntesis rectangulares se tiene.

$$0 = I_0 - I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V}{nV_t} + 1 \right) + I_1$$

Y despejando I_0 e I_1 al miembro izquierdo se tiene

$$-I_0 - I_1 = -I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V}{nV_t} + 1 \right)$$

Al hacer la suma de fracciones.

$$-I_1 - I_0 = -I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_t}} \left(\frac{V + nV_t}{nV_t} \right)$$

Y al multiplicar por -1 ambos miembros de la ecuación.

$$I_1 + I_0 = I_0 e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} \left(\frac{V + nV_t}{nV_t} \right)$$

Al despejar $\left(\frac{V+nV_t}{nV_t} \right)$ se tiene.

$$\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{(V + nV_t)} = I_0 e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}}$$

Despejando I_0

$$\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} = e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}}$$

Al aplicar logaritmo natural en ambos miembros.

$$\text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right] = \text{Ln} \left(e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} \right)$$

y simplificando se tiene

$$\text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right] = \frac{V + R_s I}{nV_t}$$

Al despejar nV_t se tiene.

$$nV_t \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right] = V + R_s I$$

Y despejar V dividir por R_s se tiene la ecuación 5.

$\frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right] - \frac{V}{R_s} = I$	<p>Ecuación 5 (Intensidad de corriente cuando se tiene la máxima potencia)</p>
---	--

Con respecto a la ecuación 1

$$I = I_1 - I_0 \left(e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} - 1 \right)$$

Despejando I e Igualando a cero la ecuación 1 se tiene

$$0 = I_1 - I_0 \left(e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} - 1 \right) - I$$

$$I_1 - I_0 \left(e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} - 1 \right) - I = 0$$

Eliminando el paréntesis se tiene la ecuación 6.

$$I_1 - I_0 e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} + I_0 - I = 0 \quad \text{Ecuación 6}$$

Y al sustituir el valor I de la ecuación 5 en la ecuación 6 (para encontrar las raíces).

$$I_1 - I_0 e^{\frac{V+R_s \left(\frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] - \frac{V}{R_s} \right)}{nV_t}} + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Al simplificar R_s se tiene.

$$I_1 - I_0 e^{\frac{v+nV_t \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] - V}{nV_t}} + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Al eliminar V y simplificar nV_t

$$I_1 - I_0 e^{\text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right]} + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Y simplificar el logaritmo natural

$$I_1 - I_0 \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Y al simplificar I_0

$$I_1 - I_0 \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Se tiene

$$I_1 - \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{(V+nV_t)} \right] + I_0 - \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)} \right] + \frac{V}{R_s} = 0$$

Al despejar el término que contiene el logaritmo natural se tiene

$$I_1 + I_0 - \frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{(V+nV_t)} + \frac{V}{R_s} = \frac{nV_t}{R_s} \text{Ln} \frac{(nV_t)(I_1+I_0)}{I_0(V+nV_t)}$$

Y despejando el término $\frac{nV_t}{R_s}$ y al multiplicar los elementos.

$$\frac{R_s}{nV_t}(I_1 + I_0) - \frac{R_s(I_1 + I_0)}{(V + nV_t)} + \frac{V}{nV_t} = \text{Ln} \frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)}$$

Al sumar las fracciones algebraicas del miembro izquierdo.

$$\frac{(V + nV_t)R_s(I_1 + I_0) - R_s(I_1 + I_0)nV_t + V(V + nV_t)}{(nV_t)(V + nV_t)} = \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

Al realizar la multiplicación.

$$\frac{R_s(VI_1 + VI_0 + nV_tI_1 + nV_tI_0) - R_s nV_t I_1 - R_s nV_t I_0 + V^2 + VnV_t}{(nV_t)(V + nV_t)} = \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

$$\frac{R_sVI_1 + R_sVI_0 + R_s nV_tI_1 + R_s nV_tI_0 - R_s nV_t I_1 - R_s nV_t I_0 + V^2 + VnV_t}{(nV_t)(V + nV_t)} = \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

Al eliminar términos semejantes se tiene.

$$\frac{VR_sI_1 + VR_sI_0 + nR_sV_tI_1 + nR_sV_tI_0 - nR_sV_t I_1 - nR_sV_t I_0 + V^2 + VnV_t}{(nV_t)(V + nV_t)} = \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

Al Factorizar VR_s se tiene.

$$\frac{V^2 + (I_1 + I_0)VR_s + VnV_t}{(nV_t)(V + nV_t)} = \text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

Al aplicar el antilogaritmo a ambos miembros de la ecuación y factorizar a V.

$$e^{\frac{V^2 + [(I_1 + I_0)R_s + nV_t]V}{(nV_t)(V + nV_t)}} = e^{\text{Ln} \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]}$$

$$e^{\frac{V^2 + [(I_1 + I_0)R_s + nV_t]V}{(nV_t)(V + nV_t)}} = \left[\frac{(nV_t)(I_1 + I_0)}{I_0(V + nV_t)} \right]$$

Haciendo $A = nV_t$

$$e^{\frac{V^2 + ((I_1 + I_0)R_s + A)V}{(A)(V + A)}} = \frac{(A)(I_1 + I_0)}{(I_0)(V + A)}$$

Haciendo $B=(I_1 + I_0)R_s + A$

$$e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} = \frac{(A)(I_1 + I_0)}{(I_0)(V + A)}$$

Ahora hacemos $C=\frac{(A)(I_1+I_0)}{(I_0)}$

$$e^{\left[\frac{V^2+BV}{A(V+A)}\right]} = \frac{C}{V + A}$$

Igualando a cero se tiene $f(V)=0$ y es la ecuación 7.

$$e^{\left[\frac{V^2+BV}{A(V+A)}\right]} - \frac{C}{V + A} = 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

Obtención de las funciones $f(V), f'(V), f''(V)$ para el método de Newton-Raphson.

$$f(V) = e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} - \frac{C}{V + A}$$

Derivando con respecto a V la ecuación 7.

$$\frac{d}{dV} f(V) = \frac{d}{dV} \left[e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} - \frac{C}{V + A} \right]$$

$$f'(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \frac{d}{dV} \left(\frac{V^2 + BV}{(V + A)} \right) + \frac{C}{(V + A)^2}$$

$$f'(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left(\frac{(V + A) \frac{d}{dV} (V^2 + BV) - (V^2 + BV)}{(V + A)^2} \right) + \frac{C}{(V + A)^2}$$

$$f'(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left(\frac{(V + A)(2V + B) - V^2 - BV}{(V + A)^2} \right) + \frac{C}{(V + A)^2}$$

$$f'(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left(\frac{2V^2 + BV + 2AV + AB - V^2 - BV}{(V + A)^2} \right) + \frac{C}{(V + A)^2}$$

Se obtiene la ecuación 8.

$f'(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{(V + A)^2} \right) + \frac{C}{(V + A)^2}$	Ecuación 8
---	------------

Derivando la ecuación 8 con respecto a V se tiene.

$$\frac{d}{dV} f'(V) = \frac{d}{dV} \left[\frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{(V + A)^2} \right) + \frac{C}{(V + A)^2} \right]$$

Y aplicando las fórmulas de derivadas fundamentales de la suma y el producto de funciones se tiene

$$f''(V) = \frac{1}{A} \left[e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \left(\frac{(V + A)^2 \frac{d}{dV} (V^2 + 2AV + AB) - (V^2 + 2AV + AB) \frac{d}{dV} (V + A)^2}{(V + A)^4} \right) + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{(V + A)^2} \right) e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \frac{d}{dV} \left(\frac{V^2 + BV}{A(V + A)} \right) \right] - \frac{2C}{(V + A)^3}$$

Desarrollando se tiene.

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left[\frac{(V + A)^2 (2V + 2A) - 2(V^2 + 2AV + AB)(V + A)}{(V + A)^4} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A^2(V + A)^2} \right) \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) \left(\frac{(V + A) \frac{d}{dV} (V^2 + BV) - (V^2 + BV)}{(V + A)^2} \right) - \frac{2C}{(V + A)^3}$$

Al factorizar el 2 en el primer factor del primer elemento y derivando la expresión $(V^2 + BV)$ y cambiando el signo a los términos de $(V^2 + BV)$ se tiene.

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left[\frac{2(V + A)^3 - 2(V^2 + 2AV + AB)(V + A)}{(V + A)^4} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A^2(V + A)^2} \right) \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) \left(\frac{(V + A)(2V + B) - V^2 - BV}{(V + A)^2} \right) - \frac{2C}{(V + A)^3}$$

Al factorizar el (V+A) del primer elemento de la expresión algebraica y al simplificar con el denominador se tiene.

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left[\frac{2(V+A)^2 - 2(V^2 + 2AV + AB)}{(V+A)^3} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A^2(V+A)^2} \right) \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) \left(\frac{2V^2 + BV + 2AV + AB - V^2 - BV}{(V+A)^2} \right) - \frac{2C}{(V+A)^3}$$

Y al obtener el producto del binomio al cuadrado y reducir los términos semejantes.

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left[\frac{2V^2 + 4AV + 2A^2 - 2V^2 - 4AV - 2AB}{(V+A)^3} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A^2(V+A)^2} \right) \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{(V+A)^2} \right) - \frac{2C}{(V+A)^3}$$

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} \left[\frac{2A^2 - 2AB}{(V+A)^3} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A(V+A)^2} \right)^2 \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) - \frac{2C}{(V+A)^3}$$

Al factorizar A y simplificar.

$$f''(V) = \frac{e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}}}{A} A \left[\frac{2A - 2B}{(V+A)^3} \right] + \left(\frac{V^2 + 2AV + AB}{A(V+A)^2} \right)^2 \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) - \frac{2C}{(V+A)^3}$$

Se obtiene la ecuación 9

$$f''(V) = e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \left[\frac{2A - 2B}{(V+A)^3} \right] + \left[\frac{(V^2 + 2AV + AB)^2}{A^2(V+A)^4} \right] \left(e^{\frac{V^2+BV}{A(V+A)}} \right) - \frac{2C}{(V+A)^3} \quad \text{Ecuación 9}$$

El método de Newton-Raphson.

A continuación se explica el método de Newton-Raphson el cual consiste en los siguientes pasos.

1. Se considera un valor de X_1 cercano a la raíz cuando $f(X_1)=0$

2. Calcular el valor de ΔX_1 con la ecuación 10

$$X = X_1 - \frac{f(X_1)}{f'(X_1)} \quad \text{Ecuación 10}$$

3. Calcular el valor de ΔX_2 con la ecuación 11

$$\Delta X_{n+1} = \Delta X_n - \frac{F(\Delta X_n)}{F'(\Delta X_n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

4. Calcular el valor X_2 de la ecuación 12

$$X_2 = X_1 + \Delta X_2 \quad \text{Ecuación 12}$$

5. Hacer las iteraciones desde el paso 2 al paso 4 hasta que se cumpla el criterio de convergencia establecido.

Consideraciones antes de iniciar el método de Newton-Raphson.

Determinar el punto de corriente (I), voltaje (V) y potencia (P) más cercano al punto de potencia máxima (Pmax).

- A. Por lo cual se divide el rango de operación de la corriente de la curva I-V en 10 000 puntos desde $I_{ini}=0$ amperes a I_{final} (donde I_{final} se obtiene de la solución de la serie polinómica de Taylor cuando $V=0$ volts) véase figura 1 y figura 2 .
- B. Se calcula el valor del voltaje correspondiente de cada una de las corrientes (10 000).
- C. Se calcula el valor de la potencia inicial (Potencia n) y de la potencia final (Potencia $n+1$).
- D. Al comparar los resultados de la potencia inicial y la potencia final. Cuando la potencia final es menor o igual a la potencia inicial. Se hace lo siguiente (Y si no se cumple esto se va al punto E):

D1. Se calcula la diferencia de las potencias y si esta es menor o igual 1×10^{-8} Se envía el valor del voltaje inicial, el último calculado al programa de maxpotencia (Método de Newton Raphson) para calcular el voltaje correspondiente a la máxima potencia, con este mismo valor de voltaje calcula el valor de la corriente de máxima potencia y su producto es la potencia máxima.

D2. Por otro lado cuando la diferencia de potencias no es menor o igual a 1×10^{-8} Toma la corriente inicial y la corriente final para determinar un nuevo rango de operación dividiendo nuevamente en 10 000 punto la corriente, y calcula su voltaje correspondiente, y regresa al punto C.

E. Cuando la potencia final es mayor que la potencia inicial entonces se aumenta el ciclo y se regresa al punto C.

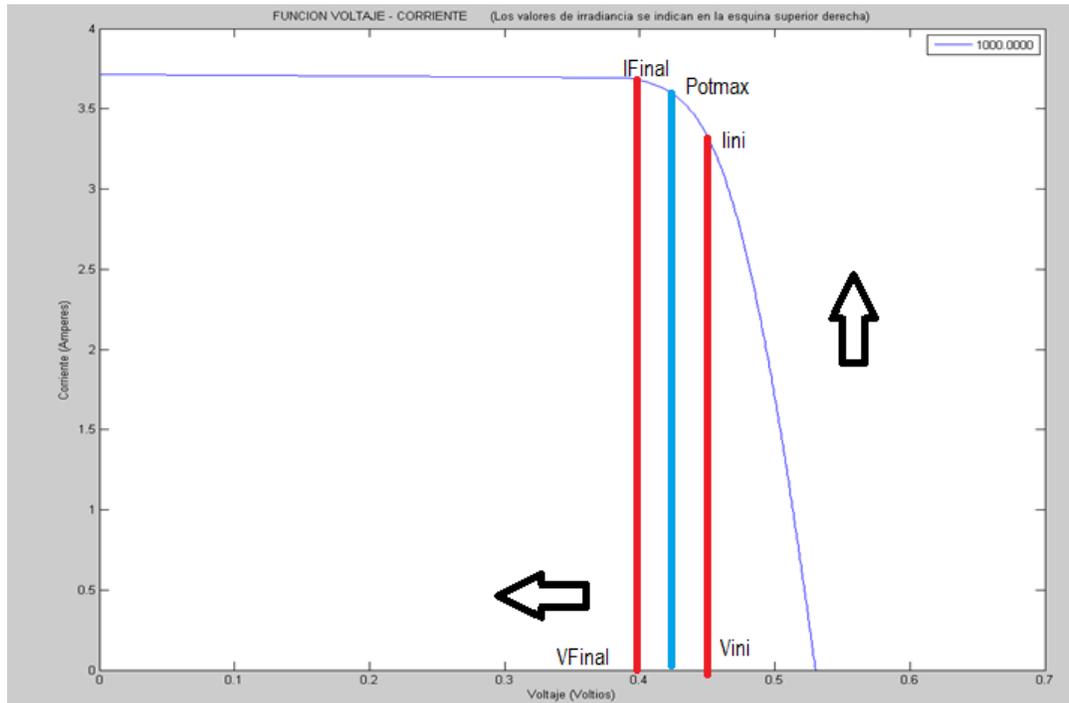


Figura 20. Potencia inicial y potencia final para aproximar a la potencia máxima.

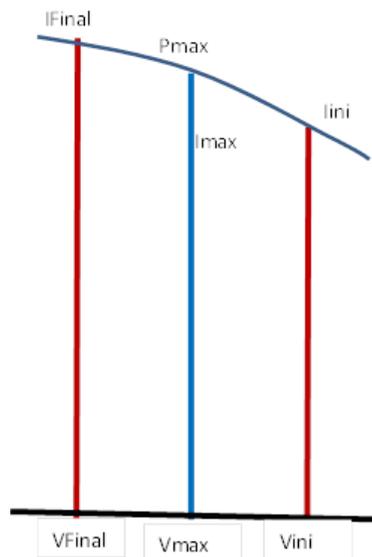


Figura 21. División del nuevo intervalo de corrientes y voltajes para determinar un punto próximo a la potencia máxima.

Una vez determinado el punto cercano del voltaje de la potencia máxima se inicia con el método numérico de Newton-Raphson para determinar el voltaje correspondiente a la potencia máxima, cuando $f(V)=0$. Para lo cual se realizan los cambios de variables correspondientes y a continuación se muestra el programa en matlab maxpotencia.m

```

%Función para calcular el voltaje de la máxima potencia utilizando el
%método de Newton Raphson de segundo orden
function volmax=maxpotencia(n,Vt,Rs,Iu,Ic,vn)
B=n*Vt;C=(Iu+Ic)*Rs+B;D=B*(Iu+Ic)/Ic;flag=0;icx=0;flag1=0;
while flag==0
    icx=icx+1;
    basee=exp((vn^2+C*vn)/(B*(vn+B)));
    fv=basee-D/(vn+B);
    fpv=basee*(vn^2+2*B*vn+B*C)/(B*(vn+B)^2)+D/((vn+B)^2);
    fsv=basee*((2*B-2*C)*(vn+B)^(-3));
    fsv=fsv+basee*((vn^2+2*B*vn+B*C)^2)/((B^2)*(vn+B)^4);
    fsv=fsv-2*D/((vn+B)^3);
    dv1=-fv/fpv; %ecuacion 2.35
    Fdv=(fsv/2)*dv1^2+fpv*dv1+fv;%ecuacion 2.40
    Fpdv=fsv*dv1+fpv;% primera derivada de la ecuación 2.40
    dv2=dv1-Fdv/Fpdv; %ecuacion 2.41
    vn1=vn+dv2;%paso 4 del método
    vn=vn1;
    pdp=abs(exp((vn^2+C*vn)/(B*(vn+B)))-D/(vn+B));
    pdp1(icx)=pdp;vnc(icx)=vn;
    if (pdp<=1e-5)|(icx==300)
        if (icx==300)
            ie=0;flag1=0;
            pdpm=min(pdp1);
            while flag1==0
                ie=ie+1;
                if (pdp1(ie)==pdpm)
                    vn=vnc(ie);
                    flag1=1;
                end;
            end;
        end;
        flag=1;volmax=vn;
    end;
end;
end;

```

En el anexo XXX se presenta codificación del programa usado denominado “Novena de Celdas” en lenguaje de Matlab y en él se observan cada una de las sesiones que integran al caso 1 y caso 2: la integración de datos, una división de casos (caso 1 temperatura constante e irradiancia variable, caso 2 irradiancia constante y temperatura variable), eliminación de voltajes negativos, sesión polinómica para encontrar la intensidad de corriente cuando el $V=0$, el cálculo de potencia máxima dentro del cual se

encuentra el programa del método de Newton-Raphson, la sesión de preparación de datos para graficar y desplegar valores, la sesión de graficación de valores que integra la curva de voltaje contra corriente y la curva de potencia, por último la sesión de despliegue de resultados. Primeramente al ejecutarse el programa se proporcionan las gráficas de corriente contra voltaje y la gráfica de potencia contra voltaje por último proporciona el despliegue de resultados considerando en forma descendente el valor de la irradiancia y el valor de la temperatura, mostrando también la I_{max} , V_{max} y Pot_{max} . Tal como se muestra en el esquema de los programas para la caracterización de una celda fotovoltaica (Figuras 23, 24, 25, 26).

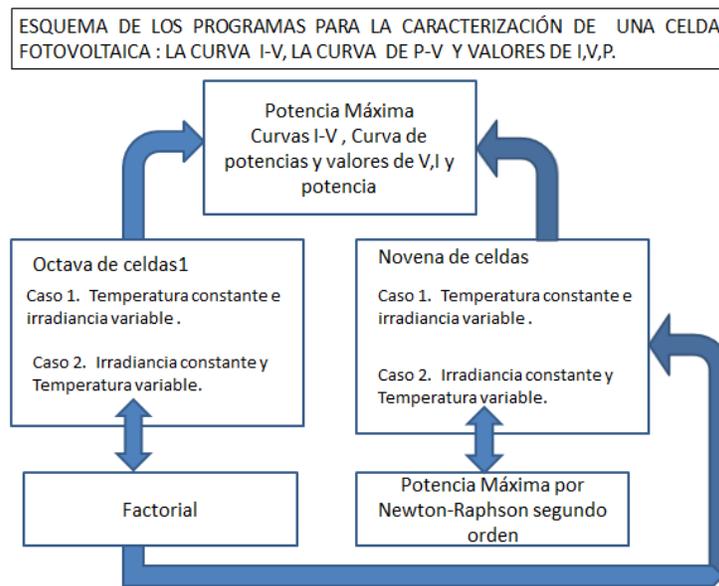


Figura 22. Esquema de los programas para la caracterización de una celda fotovoltaica

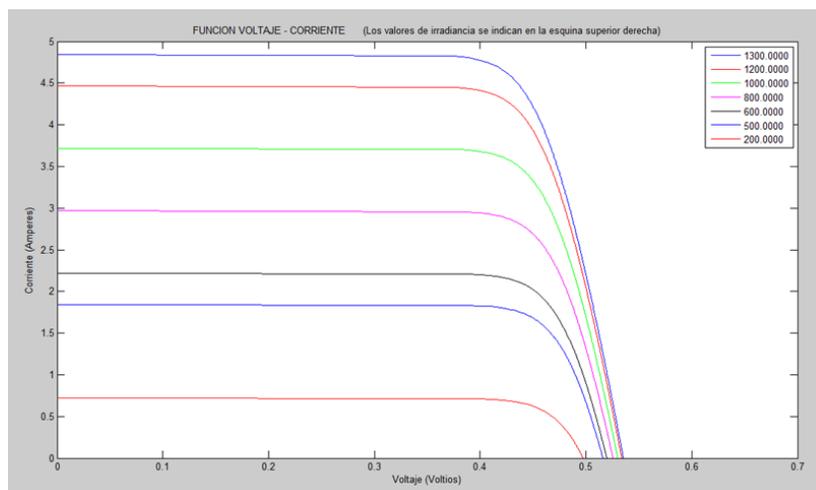


Figura 23. Octava de celdas (Caso 1 temperatura contante 20 C e irradiancia variable).

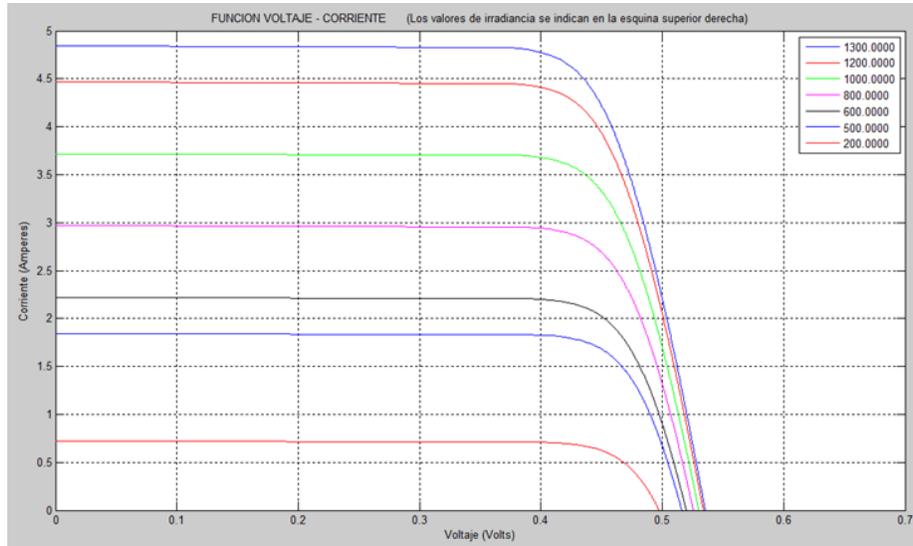


Figura 24. Novena de celdas "Curvas temperatura constante 20C y irradiancia variable".

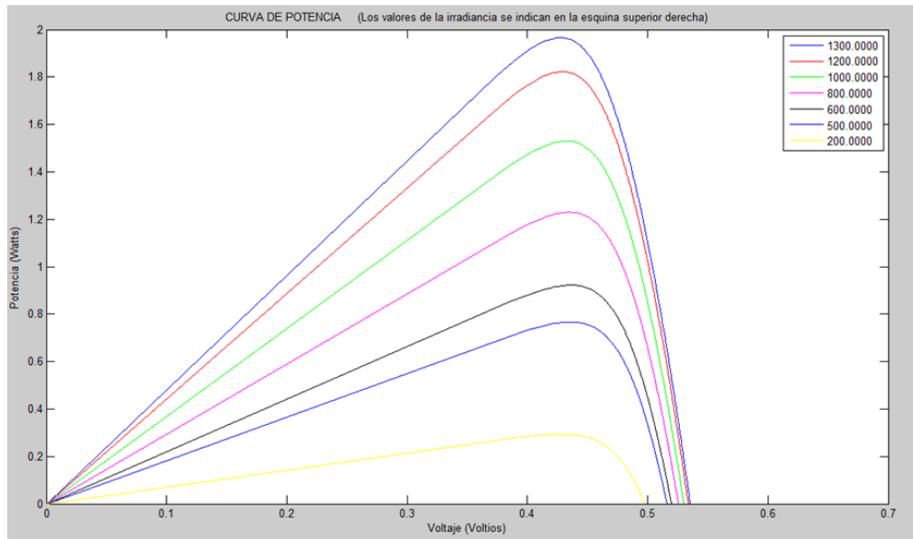


Figura 25. Octava de celdas "Curva de potencia temperatura constante 20C y irradiancia variable".

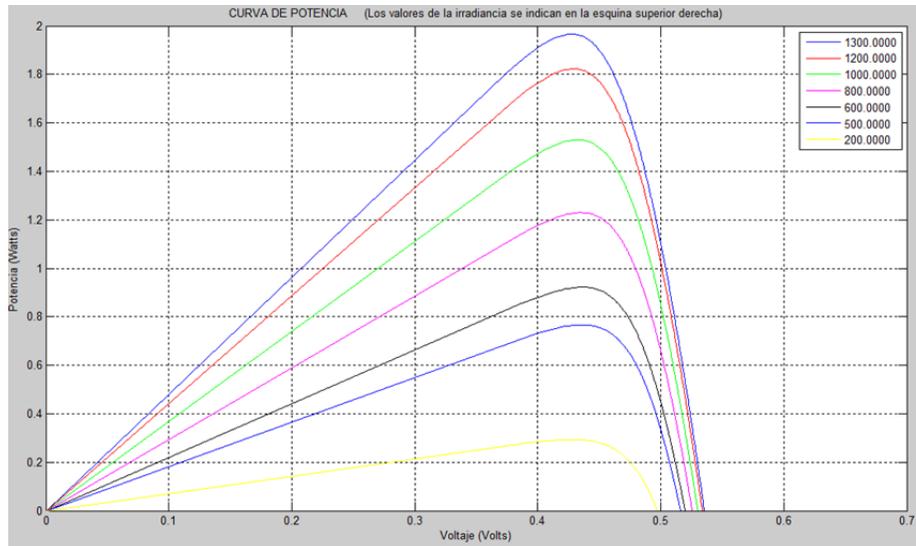


Figura 26. Novena de celdas “Curva de potencia temperatura constante 20 C y irradiancia variable”.

Los datos necesarios para lograr las curvas y el proceso para realizar la simulación, se describen a continuación:

Datos

Octava de celdas

Selecciona uno de los siguientes casos:

[1] Temperatura constante e Irradiancia variable

[2] Temperatura variable e Irradiancia constante

Caso: 1

Dimensiones de la celda (Área)(en cm ²) ?	156.25
Valor de la resistencia en serie (Rs) (en Ohms) ?	10.5e-3
Factor de idealidad (n) ?	0.7902
Energía del Gap a 0 grados Centígrados (Eg) (en eV) ?	1.16
Coeficiente de temperatura alpha (alfagap)(En eV/grado Kelvin) ?	7e-14
Coeficiente de temperatura beta (Beta gap)(En grado Kelvin) ?	1100
Valor de la densidad de corriente de cortocircuito (Jsc) (en A/cm ²)?	0.0240
Factor de temperatura (alfaJsc)(En A/grado centígrado*cm ²) ?	30e-6

Tensión del circuito abierto, (Voc) (En Voltios) ?	0.5196
Valor de la Corriente en corto circuito {Isc} ?	5.2
Número de puntos que se divide el intervalo de la corriente y el voltaje?	250
Temperatura de Trabajo, (T) (En grados Centígrados)?	20
Dame el número de irradiancias?	7
Valor de la irradiancia 1 (en W/cm ² ?	
Valor?	1300
Valor de la irradiancia 2 (en W/cm ² ?	
Valor?	1200
Valor de la irradiancia 3 (en W/cm ² ?	
Valor?	1000
Valor de la irradiancia 4 (en W/cm ² ?	
Valor?	800
Valor de la irradiancia 5 (en W/cm ² ?	
Valor?	600
Valor de la irradiancia 6 (en W/cm ² ?	
Valor?	500
Valor de la irradiancia 7 (en W/cm ² ?	
Valor?	200

Novena de celdas

Potencias (Caso 1. Temperatura constante 20c y irradiancia variable”

OCTAVA DE CELDAS	NOVENA DE CELDAS
MÉTODO DE ÁREAS	MÉTODO NEWTÓN RHAPSON
Con irradiancia de 1300 tenemos: I1 = 4.84218750 VMP = 0.42725060 IMP = 4.59979902 PMP = 1.96526688	Con irradiancia de 1300 tenemos: I1 = 4.84218750 VMP = 0.42481506 IMP = 4.62479208 PMP = 1.96468132
Con irradiancia de 1200 tenemos: I1 = 4.46718750 VMP = 0.42907421 IMP = 4.24662917 PMP = 1.82211905	Con irradiancia de 1200 tenemos: I1 = 4.46718750 VMP = 0.42686466 IMP = 4.26754807 PMP = 1.82166544
Con irradiancia de 1000 tenemos: I1 = 3.71718750 VMP = 0.43232008 IMP = 3.53838153 PMP = 1.52971338	Con irradiancia de 1000 tenemos: I1 = 3.71718750 VMP = 0.43053977 IMP = 3.55242088 PMP = 1.52945847
Con irradiancia de 800 tenemos: I1 = 2.96718750 VMP = 0.43480817 IMP = 2.82779902 PMP = 1.22955011	Con irradiancia de 800 tenemos: I1 = 2.96718750 VMP = 0.43342915 IMP = 2.83650325 PMP = 1.22942320
Con irradiancia de 600 tenemos: I1 = 2.21718750 VMP = 0.43605457 IMP = 2.11518667 PMP = 0.92233682	Con irradiancia de 600 tenemos: I1 = 2.21718750 VMP = 0.43506329 IMP = 2.11988630 PMP = 0.92228472
Con irradiancia de 500 tenemos: I1 = 1.84218750 VMP = 0.43592880 IMP = 1.75817535 PMP = 0.76643927	Con irradiancia de 500 tenemos: I1 = 1.84218750 VMP = 0.43512518 IMP = 1.76135415 PMP = 0.76640954
Con irradiancia de 200 tenemos: I1 = 0.71718750 VMP = 0.42821990 IMP = 0.68471223 PMP = 0.29320740	Con irradiancia de 200 tenemos: I1 = 0.71718750 VMP = 0.42790574 IMP = 0.68521076 PMP = 0.29320562

3.5.2. Monitoreo del MESF

El monitoreo de variables sobre el funcionamiento de partes fundamentales del MESF, se efectuó durante 60 días, esta consistió en verificar el comportamiento de parámetros como son; Amperes Hora acumulado, Kilowatts Hora acumulado, Voltaje de entrada Máximo alcanzado, Corriente de salida máximo alcanzado, Kilowatts Hora máximo, Voltaje de batería máximo y Voltaje de batería mínimo. En cada una de ellas se observa la variabilidad que ha tenido el sistema en los últimos 60 días, apreciándose que dicho sistema tiende a normalizarse. En la figura 27 y 28 se muestra como se dan los cambios en relación proporcional, se nota que los días de estabilidad se dan cuando el sistema ha sido usado de forma convencional y permanente por intervalos de tiempo y de forma continuos.

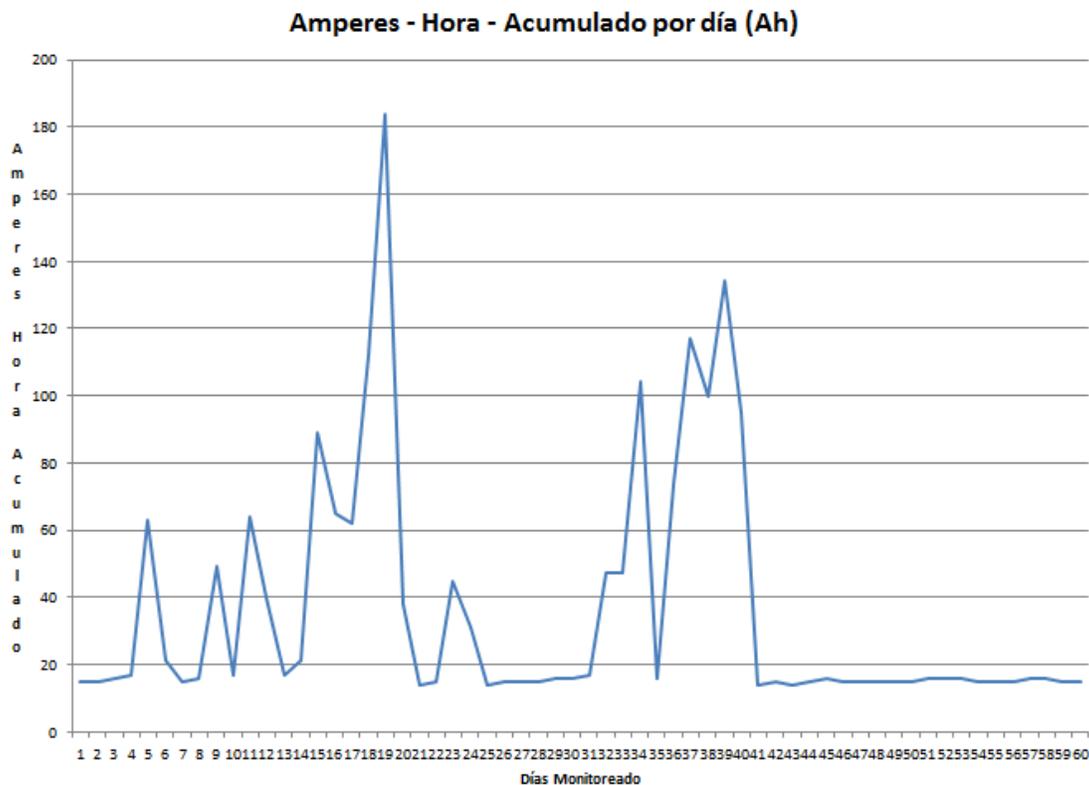


Figura 27. Gráfica: Amperes hora acumulado.

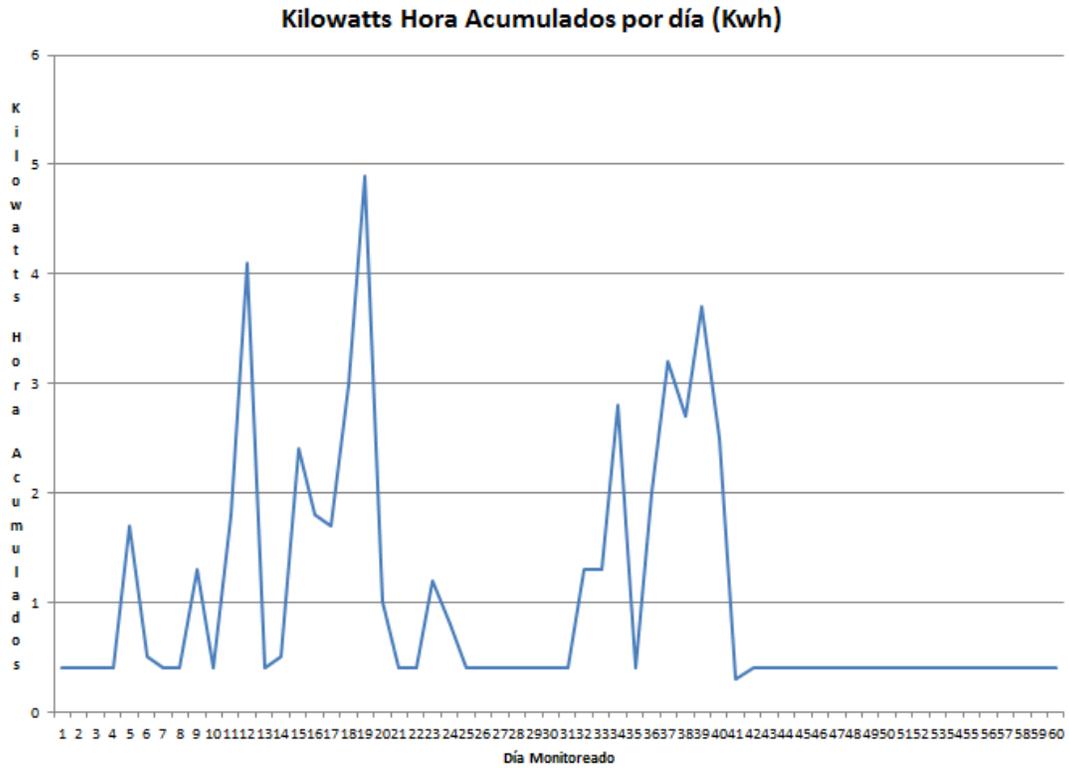


Figura 28. Gráfica: Kilowatts hora acumulado.

Los voltajes de entrada máximo han tenido un comportamiento estable, se muestra en la figura 29 que los picos de voltaje se cortan para mantener el nivel máximo de entrada después de haber alcanzado su nivel mínimo.

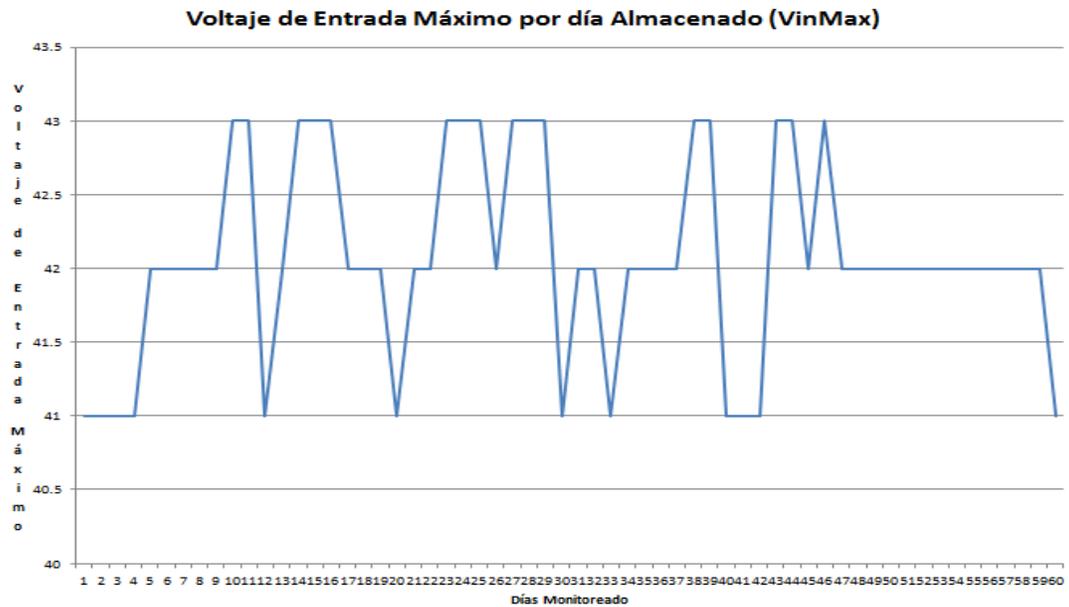


Figura 29: Gráfica: Voltaje de entrada máximo.

En cuanto a la corriente de salida máxima por día y la cantidad de kilowatts hora por día se refiere, se puede también apreciar en la figura 30 y 31 que su comportamiento está en función de la demanda que se tenga, siendo esta proporcional.

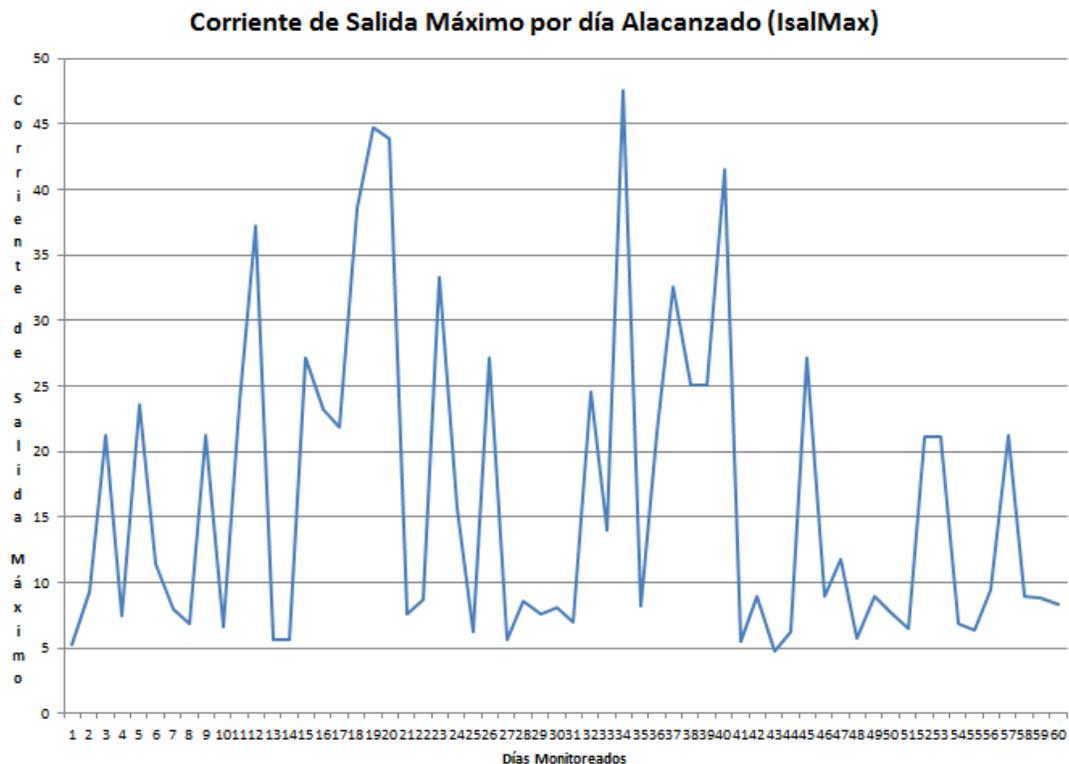


Figura 30. Gráfica: Corriente de salida máxima alcanzada.

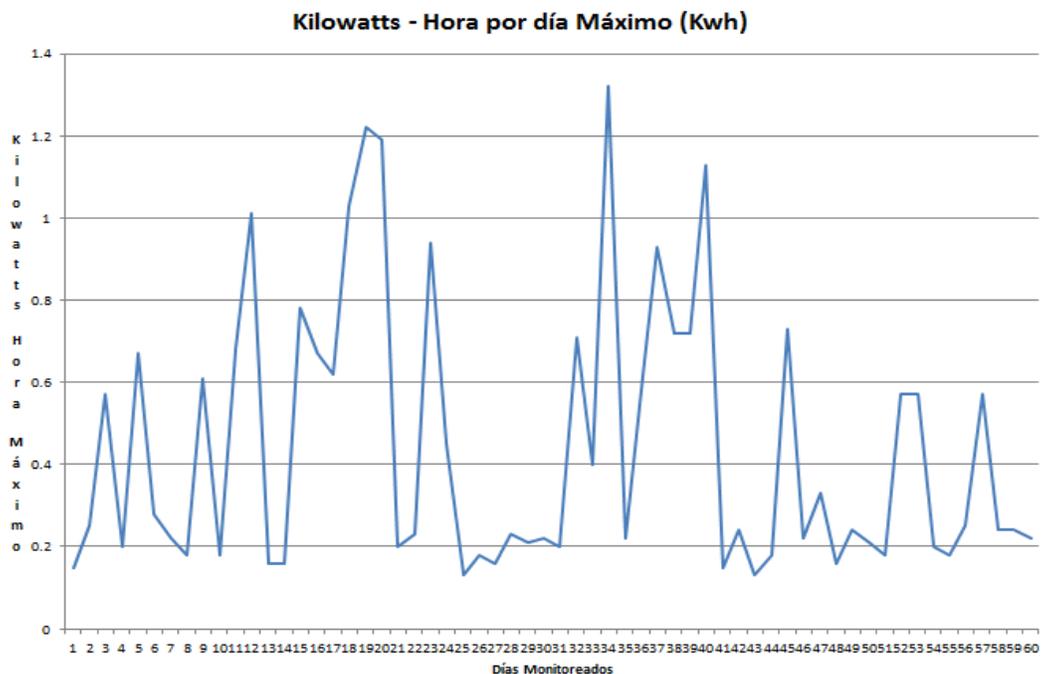


Figura 31. Gráfica: Potencia en kilowatts hora máximo.

En la figura 32 se aprecia el comportamiento del voltaje máximo de la batería, el cual ha sido estable y solo en algunos días se aprecia una variación en el día 58, el cual se debe a que el sistema se apagó y por lo tanto las baterías no se cargaron, llegando a su punto mínimo.

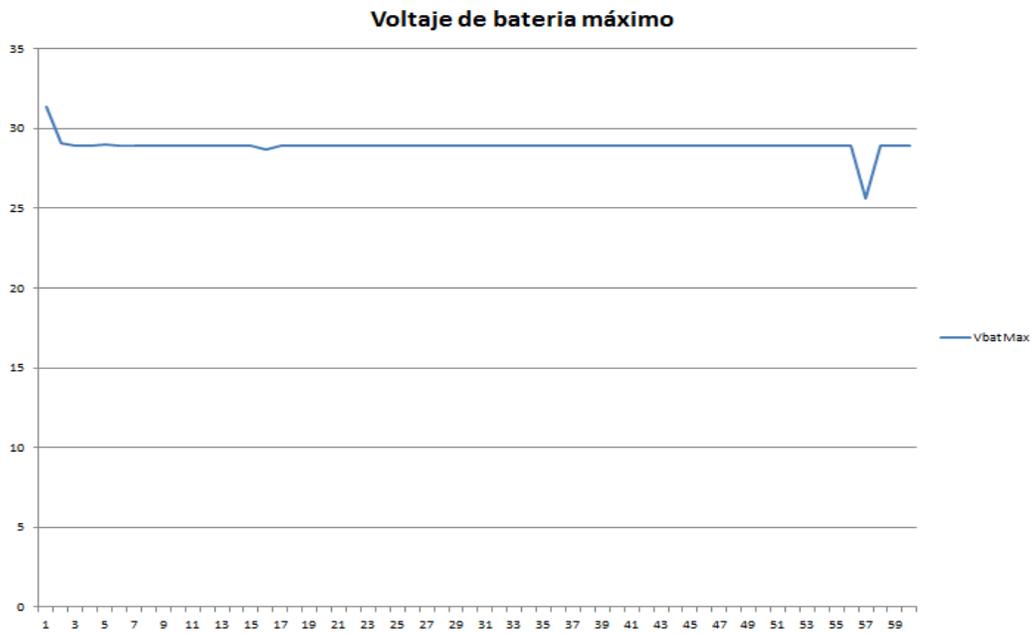


Figura 32. Gráfica: El voltaje máximo de la batería.

Capítulo IV Conclusiones

Se diseñó un sistema fotovoltaico para que los alumnos de la carrera de energías renovables realicen prácticas variando las condiciones del mismo, los resultados muestran la ventaja del uso del enfoque sistémico el cual permitió construir un modelo sistémico del “Modulo de Entrenamiento de un Sistema Fotovoltaico (MESF) y sus componentes como los son: el sistema normativo (contexto de la Universidad Tecnológica de Tulancingo, el modelo educativo y el programa de estudios de la Carrera de Energías Renovables), el sistema conducente (asignatura de sistemas fotovoltaicos, el campo profesional y el manual de prácticas del alumno-profesor), el medio teórico-científico, el sistema conducido el cual contiene las etapas (diseño, desarrollo y validación del MESF el cual contribuye a la transferencia tecnológica.

El asesoramiento fue un aspecto muy importante, es así como se logró dar respuesta a preguntas como son las siguientes: ¿Cómo conseguir los recursos para la compra de los componentes del sistema fotovoltaico? Y ¿Cómo tener el mejor control para su realización y cumplimiento en tiempo?. Es así como se logró gestionar y tramitar los recursos económicos en nuestra institución la Universidad Tecnológica de Tulancingo, a través de la elaboración de un protocolo de investigación en donde se integró el título, resumen, planteamiento del problema, justificación, antecedentes, objetivo general, objetivos específicos, hipótesis, metas, metodología, cronograma de actividades y requerimientos tanto de materiales y componentes del sistema fotovoltaico. El cual fue autorizado y gestionado por la Dirección del Área Electromecánica Industrial a la cual pertenece la Carrera de Energías Renovables. En este sentido se participó también en la elaboración de las bases técnicas de los componentes y materiales del sistema.

Para el cálculo del dimensionamiento se consideraron diferentes variables, una carga para la iluminación de las lámparas fluorescentes de 2250 watts para seis días por semana, el dimensionado de las baterías considerando la eficiencia del inversor de 0.9 y el sistema con una tensión de 24 volts demanda 104.17 Amper-hora por día. Este sistema fotovoltaico usa baterías de 6 volts y de capacidad de 225 Ampere-hora cada una, se consideró 4 días de autonomía y un 50% de descarga es así como se obtienen 4 arreglos en paralelo. Y el tamaño del arreglo fotovoltaico es de 6 módulos en paralelo con una potencia de 200 watts cada uno marca Enesol de silicio policristalino. El controlador por calculo fue de 48.45 amperes y por crecimiento en un futuro del sistema fotovoltaico se adquirió uno 80 amperes modelo FLEXmax 80; la elección del inversor consideró el voltaje nominal de corriente directa de 24 volts, un voltaje nominal de 110 volts de corriente alterna y una potencia de operación de 2500 watts.

Se realizó la instalación de componentes del sistema y se aplicaron las normas correspondientes lo cual consistió primeramente en efectuar pruebas a un panel fotovoltaico de 200 watts con cuatro baterías en serie, el controlador de carga, el inversor

y una carga y variando el ángulo de inclinación del panel así como cubrir el panel con un hule negro. Posteriormente se instaló la estructura en el techo del edificio H donde está ubicado el centro de desarrollo de energías renovables, la orientación del edificio es hacia el sur geográfico y el ángulo de inclinación de la estructura es de acuerdo a la latitud de la ubicación geográfica del municipio de Tulancingo. Se instalaron los seis paneles fotovoltaicos en paralelo y las conexiones eléctricas o bajadas de los cables para cada panel el polo positivo y negativo son independientes.

Se diseñó el tablero del Módulo de Entrenamiento del Sistema Fotovoltaico en el software Solid Works, y se instaló integrando el controlador de carga, el inversor, la conexión de las baterías, la conexión de cada panel fotovoltaico y la caja de colocación de la protección del sistema. Aun lado se colocó el centro de control de carga de la iluminación del centro de desarrollo. Con respecto a la realización de pruebas al sistema fotovoltaico este se logró por medio del monitoreo de parámetros de las variables de su funcionamiento y en este trabajo se reportan 60 días como los son: Amperes Hora acumulado, Kilowatts Hora acumulado, Voltaje de entrada Máximo alcanzado, Corriente de salida máximo alcanzado, Kilowatts Hora máximo, Voltaje de batería máximo y Voltaje de batería mínimo. Al graficarse cada parámetro en función del tiempo se observó que la variabilidad que ha tenido el sistema en los últimos 60 días tiende a normalizarse.

Un aspecto importante de los sistemas fotovoltaicos es estudiar los componentes es así como de la investigación teórica de una celda fotovoltaica en la mayoría de textos presentan la gráfica de V-I la cual define la potencia eléctrica, pero no es fácil determinar su comportamiento cuando los factores como son irradiancia y temperatura ambiental la afectan. De la misma manera conocer el punto más alto es decir la potencia máxima es así como en este trabajo se presentaron dos casos de construcción: el octava de celdas que se basa en el método de áreas y cuando la diferencia es muy pequeña 1×10^{-8} determina la potencia máxima. El novena de celdas en el que se empleó el método de Newton Raphson el cual es un método de aproximación; para ambos se utilizó el software de Matlab y en las corridas del programa se observó y se verificó que ambos métodos convergen. De la misma manera se describió paso a paso el desarrollo de la simplificación del modelo matemático de una celda fotovoltaica, la cual se debe a la dificultad que presenta, en especial la variable de intensidad de corriente I se encuentra como coeficiente y exponente.

Se diseñó un manual de 16 prácticas que integran la aplicación y el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaicos el diseño de cada una de las prácticas consideró: Número de práctica, el título de la práctica, Objetivo, Materiales y/o equipos, desarrollo general, resultados y conclusiones. En cada una de las prácticas cuando se requiere para el desarrollo se incorporaron gráficas, figuras, tablas así como aspectos normativos de los sistemas fotovoltaicos. Los títulos de las prácticas están en

relación directa con los temas importantes del programa de estudios de la asignatura de sistemas fotovoltaicos del programa educativo de TSU en Energías Renovables (Área solar). Es necesario mencionar que se inició con la validación de las prácticas con alumnos de la tercera generación de energías renovables de la Universidad Tecnológica de Tulancingo y con alumnos de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Universidad de Xicotepec Puebla a los cuales se les impartió un curso de Sistemas fotovoltaicos independientes para la iluminación. Y de los comentarios hasta el momento han sido favorables.

Otras instituciones educativas, empresas, organizaciones tanto públicas como privadas, se pueden beneficiar de la experiencia de este trabajo tanto en lo general como la propuesta del modelo sistémico del módulo de entrenamiento del sistema fotovoltaico en la organización como en lo específico en la aplicación del desarrollo de un equipo didáctico.

Esta investigación ayuda sin duda alguna a motivar por conocer más del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos, lo cual nos da origen a nuevos trabajos de investigación con la factibilidad de proponer ante el Cuerpo Académico del Área Electromecánica Industrial una línea de investigación y aplicación de los sistemas fotovoltaicos.

4.1 Trabajos Futuros

Como parte del análisis de resultados obtenidos, se tiene que se debe profundizar en los conceptos teóricos y prácticos del funcionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico. Y en un periodo corto en tiempo se propone lo siguiente:

- Para el MESF se debe diseñar y elaborar un manual de mantenimiento.
- Diseñar y desarrollar cursos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para la iluminación y el bombeo de agua para impartirse en el centro de desarrollo en energías renovables a personas interesadas de las empresas como de la comunidad universitaria.
- Integrar otras prácticas al manual en las que consideren otras variables como son la sombra y condiciones climatológicas.
- Para los programas de Matlab.
 - Agregar un tercer caso en donde se tenga la irradiancia variable y la temperatura variable.
 - Cambiar las condiciones estándar de operación a 25°C y $1000\text{W}/\text{m}^2$
 - Estimar los valores para los parámetros característicos de los por lo menos tres tipos de paneles solares y observar el comportamiento en el modelo.
 - Modificar o elaborar un programa para el funcionamiento de un panel solar.

- Integrar la variable del factor de sombreado para saber el comportamiento de los parámetros de la celda fotovoltaica.

Es vital ubicar a los participantes, sus funciones y jerarquía, así como su rol, en las diferentes etapas del proceso de aplicación del modelo sistémico y su debido acompañamiento y asesoría. Por lo que se recomienda formar en conocimientos y habilidades a personas en las empresas y/o instituciones para conducir este proceso y en la transferencia tecnológica para el diseño, instalación y seguimiento de sistemas fotovoltaicos.

Las empresas, que no cuentan con la capacidad financiera para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos, se recomienda, consideren dentro de su planeación estratégica, la vinculación con centros de investigación, instituciones de educación superior para hacer investigación en desarrollos tecnológicos.

Específicamente se abren con este trabajo de investigación varias perspectivas a explorar considerando los ejes: el estudio de necesidades sociales a través de estudios de mercado específicos a nichos o segmentos de un producto. El eje de proyectos de investigación y desarrollo de tecnologías emergentes para su aplicación y comercialización. Como lo son las energías renovables en este caso los sistemas fotovoltaicos para generar energía eléctrica y aprovechar nuestra ubicación geográfica.

Trabajos futuros Programa novena y octava de celdas.

- Agregar un tercer caso en donde se tenga la irradiancia variable y la temperatura variable.
- Cambiar las condiciones estándar de operación a 25°C y $1000\text{W}/\text{m}^2$
- Estimar los valores para los parámetros característicos de los por lo menos tres tipos de paneles solares y observar el comportamiento en el modelo.
- Elaborar más prácticas en las que se considere el comportamiento de los parámetros que se consideran para la curva característica de las celdas solares.
- Modificar o elaborar un programa para el funcionamiento de un panel solar.
- Integrar la variable del factor de sombreado para saber el comportamiento de los parámetros de la celda fotovoltaica.

Bibliografía

- Gelman O. (1996). Desastres y protección civil Fundamentos de investigación disciplinaria. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México (pp. 20-36).
- Turner S. (2002). Herramientas para el éxito 94 Metodologías de análisis de negocios. México, D.F: Mc Graw Hill (pp. 8 y 44).
- Corona J. ed (2011). Modelos Sistémicos de Gestión. México, D.F: Grupo editorial Patria, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (pp. 58-62, 88-94).
- Pacheco E. (2010) Metodología Crítica de la Investigación Lógica, procedimientos y técnicas. México, D.F: Grupo Editorial Patria (pp.92-100).
- Guash D. (2003) Tesis Doctoral Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos, Universidad de Catalunya, España.
- Applied numerical methods with computer personal, cap. 2 (pp. 79-80).
- Harper E. (2012) *El ABC de las instalaciones eléctricas de los sistemas eólicos y fotovoltaicos* México D.F: Grupo Noriega Editores.
- Boxwell M. (2012) *Solar Electricity Handbook A simple, practical guide to solar energy: how to design and install photovoltaic solar electric systems.* Greenstraam **Publish.**
- La revista fotovoltaica Photon número 7/2012, Julio 2012 (pp.46-63).

ANEXO 1 Protocolo de investigación

	A. Nombre del Formato: PROCOLO DE INVESTIGACIÓN
Coordinación de Investigación	
I. Pagina _____ de _____	
II. Título del Proyecto:	Módulo de entrenamiento de un sistema fotovoltaico para el centro de desarrollo de energías renovables
III. Responsable del proyecto:	Ing. Germán Reséndiz López, Jorge Mateo Hdez. Jorge L. Neri Traje
IV. Cuerpo Académico:	Área Electromecánica Industrial
V. Línea de Investigación:	Investigación Educativa
VI. Fecha de Inicio del Proyecto:	5-ENERO-2012
VII. Fecha de Término de Proyecto:	18-DICIEMBRE-2012
VIII. Participantes:	
Ing. Angelina González Rosas _____	
M. en C. Juan Marcelo Miranda Gómez _____	
Dr. Ivan Toto Arellano _____	
Dr. Pedro Ramírez Ortega _____	
M. en C. Luis García Lechuga _____	
M. en C. Juan Carlos Gonzalez _____	
1. Resumen	
Con este proyecto se aplicará un sistema que mediante un tablero de control flexible, el alumno de la carrera de energías renovables aplique los principios básicos de un sistema fotovoltaico para la iluminación del centro de desarrollo de energías renovables.	
2. Planteamiento del Problema	
Los estudiantes de la carrera de energías renovables, no cuentan con un sistema fotovoltaico didáctico (Modulo de entrenamiento) que permita desarrollar y contribuir al logro de la práctica que es fundamental en su formación como técnico superior universitario en energías renovables, en las asignaturas de Celdas fotovoltaicas, energías Renovables, Colectores solares, química y Física, punto que resalta el modelo educativo del sistema de universidades tecnológicas en su apartado del saber hacer. Por esta razón se debe contar con un sistema fotovoltaico que le permita conocer y comprender el comportamiento y funcionamiento de los elementos del sistema y así adquirir las competencias profesionales. ¿Un Módulo de entrenamiento de un sistema fotovoltaico ayuda a comprender al alumno el funcionamiento de este sistema?	
3. Justificación	
Para contribuir al logro de la competencia del programa de estudios TSU en Energías Renovables con énfasis en fotovoltaica. Contribuir en la continuidad del desarrollo de una cultura en el uso racional de la energía a través del conocimiento de la aplicación de las energías renovables, en este caso de la energía fotovoltaica y favorecer para disminuir el cambio climático, así como fomentar el desarrollo sustentable de las mismas.	
B. Fecha de emisión: 8 de octubre de 2010	C. Código: F-02-003/02

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

1. Página _____ de _____

Proporcionar servicios tecnológicos al sector productivo y social sobre el conocimiento de la aplicación de los sistemas fotovoltaicos para producir energía eléctrica y esta emplearla en sistemas de bombeo, iluminación entre otros.

Fomentar el desarrollo científico y tecnológico de la producción de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos para satisfacer la cada vez mayor demanda de energía eléctrica por el incremento de la población mundial.

4. Antecedentes(Marco Teórico, Estado del Arte o Background)

Cada día, la energía eléctrica es más imprescindible en nuestras vidas y cada día está más limitada y saturada, de ahí que tengamos que recurrir a fuentes de energía renovables, como es el caso de la energía fotovoltaica u otras muchas que ya se conocen tales como: la eólica, biomasa, mini-hidráulica, etc. para abastecernos energéticamente o bien vender energía a las compañías distribuidoras.

A parte de todo esto, se tiene que ser consciente del favor que se le realiza al medioambiente y en general a la naturaleza, ya que como se sabe se habla de fuentes de energía prácticamente limpias y sin apenas daño a los ecosistemas.

La producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso solar, está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Estas celdas están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa. Las celdas se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la celda). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la celda.

En 1839 el físico francés Edmund Becquerel, descubrió el efecto fotovoltaico mientras efectuaba experimentos con una pila electrolítica de dos electrodos sumergidos en una sustancia electrolítica. Esta pila aumentó su generación de electricidad al ser expuesta a la luz. A fines del siglo XIX científicos tales como W. Smith, W Adas y R. Day descubren la fotoconductividad del selenio y construyen la primera celda experimental hecha de una oblea de selenio. En 1904 Albert Einstein publica su artículo acerca del efecto fotovoltaico (junto con su artículo de la teoría de la relatividad), por este documento es galardonado en 1921 con el Premio Nóbel. En 1941 se construye un dispositivo que puede ser llamado

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

I. Página _____ de _____

"celda solar", fue fabricada de selenio y tenía una eficiencia del 1%. La compañía Western Electric fue la primera en comercializar las celdas solares en 1955. ¹estas son componentes importantes del sistema fotovoltaico y dentro de estos se mencionan como los reguladores de carga, si los módulos Fotovoltaicos tienen una tensión nominal superior a la tensión nominal de las baterías o acumuladores usados en las instalaciones.

Este hecho es debido fundamentalmente a dos causas: la tensión nominal del panel debe ser más elevada, para atenuar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura; y la tensión a circuito abierto del panel fotovoltaico debe ser siempre mayor que la tensión máxima de batería, para poder cargarla adecuadamente. Se sabe que, para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de 12 V nominales, se necesita una tensión mínima de 14 V (2.34 V por elemento de batería). La misión del regulador se centra, por lo tanto, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo.

En definitiva, el regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías. La misión del regulador de carga es de suma importancia en la mayoría de los casos, ya que se está trabajando con una fuente de energía totalmente variable y estacional.

5. Objetivo General

Diseñar un tablero de control que permita al alumno comprender el comportamiento de las variables que intervienen en el funcionamiento y el rendimiento de un sistema fotovoltaico.

6. Objetivos Específicos

- Diseñar un tablero para el control flexible del sistema fotovoltaico.
- Gestionar y tramitar los recursos económicos para el desarrollo del proyecto.
- Diseñar el manual de prácticas que integre la aplicación y el funcionamiento de cada uno de los componentes de un sistema fotovoltaico.
- Integrar los componentes del sistema fotovoltaico al tablero de control y la instalación, aplicando las normas correspondientes.

¹ W.H. BLOSS (1993), *Photovoltaics: Solar electricity*, World Solar Summit, Paris.

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

I. Página _____ de _____

- Realizar las pruebas al tablero de control del sistema fotovoltaico y su instalación.
- Verificar el desarrollo de las prácticas del manual con respecto al funcionamiento del tablero de control y del sistema fotovoltaico.

7. Hipótesis

Es posible entender el comportamiento de los principales parámetros y variables que influyen en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos para aplicaciones de iluminación, fluorescentes, sistemas de bombeo entre otras aisladas, mediante el diseño de un tablero de control didáctico.

8. Metas

- Elaborar dos propuestas de tablero didáctico para el control flexible de un sistema fotovoltaico
- Lograr por lo menos dos cotizaciones de proveedores de los componentes del sistema fotovoltaico: paneles, baterías, inversores
- Elaborar un manual de prácticas de cada uno de los componentes y del sistema en su totalidad.
- Construir el tablero aplicando las normas de seguridad correspondientes
- Realizar las pruebas al prototipo para verificar el funcionamiento

Verificar el desarrollo de por lo menos 30% de las prácticas del manual con respecto al funcionamiento del tablero de control y del sistema fotovoltaico.

9. Metodología

Fundamentalmente se trata de una investigación tecnológica la cual tiene como propósito fundamental diseñar un tablero de control que permita al estudiante del Programa Educativo de Energías Renovables comprender el comportamiento de las variables que intervienen en el funcionamiento y el rendimiento de los componentes del sistema fotovoltaico. A continuación se mencionarán las etapas.

Primeramente se revisarán y analizarán las asignaturas relacionadas con los sistemas fotovoltaicos del Programa Educativo de Energías Renovables en este sentido se tienen las asignaturas de quinto cuatrimestre: energías renovables con una duración de siete horas por semana, celdas fotovoltaicas con una duración de seis horas por semana y colectores solares con una duración de cinco horas por semana. Las cuales consideraran aspectos

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

L. Página _____ de _____

importantes en la producción de energía eléctrica a partir del uso de sistemas fotovoltaicos.

Después se consultarán artículos de investigación recientes sobre sistemas fotovoltaicos y materiales didácticos con la finalidad de determinar el propósito, los elementos que integran el material didáctico, las normas aplicables y el funcionamiento para facilitar la enseñanza-aprendizaje de cada uno de los componentes y de la integración del Sistema fotovoltaico. Conocer si se aplicó el enfoque sistémico.

El diseño y el desarrollo del tablero didáctico integrará criterios como lo son: La enseñanza modular, el dimensionamiento de cada uno de los componentes y en su conjunto del sistema, proporcionar los valores de los indicadores del Sistema Fotovoltaico (voltajes, intensidades de corriente eléctrica y potencias) para determinar su eficiencia. Las normas oficiales mexicanas relacionadas, la seguridad industrial y que permita facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los sistemas fotovoltaicos.

También se hará una revisión bibliográfica sobre investigaciones relacionadas con el dimensionamiento y caracterización de los sistemas fotovoltaicos con la finalidad de desarrollar por lo menos dos formas y comparar los resultados correspondientes, al analizar y establecer las ventajas y desventajas correspondientes.

Con respecto a las prácticas estas se diseñarán en formato y en contenido para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje y contribuir al logro de las competencias profesionales esto en función de la integración de los componentes y el funcionamiento del tablero didáctico y del estudiante. Esto es la enseñanza centrada en el alumno y para lograrlo los ejercicios y las prácticas se diseñarán con la finalidad de que alteren las estructuras cognitivas es decir permitir que los estudiantes modifiquen sus esquemas de referencias y realicen su incorporación.

En este proyecto participarán estudiante: dos de La Carrera de Mecatrónica del grupo MEC21, uno de la Carrera de Energías Renovables del grupo ER21y dos alumnos de la Carrera de Procesos de Producción del grupo P51.

Para finalizar se integrará los registros, imágenes y videos correspondiente desde el diseño y los resultados de las las pruebas correspondientes del tablero didáctico así como la aplicación por un docente y un grupo de alumnos.

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

I. Página _____ de _____

1.4. Presupuesto(\$) Desglosado y Calendarizado Enero-Agosto 2005:

CONCEPTO	ACTIVIDADES	MONTO	FECHA
12 baterías Crow CR-225 6 VAH, Modelo YL-230-25B, Modelo CR 6V 225 AH peso 29 Kg, Dimensiones 26X27.3X18.1 Cm capacidad en horas: 5 HRS RATE AH-185 20 HORAS RATE AH-225.	Conectar las baterías en serie	\$25,244.16	15 febrero del 2012
1 controlador de carga feemark FM80-150VDC OUTBACK CON VOLTAJES DE BATERÍA NOMINAL DE 12,24,32,36, 48/54 O 60 VDC...	Realizar las pruebas con cuatro baterías y un panel	\$11,739.86	15 de febrero del 2012
1 INVERSOR HP 24 V 2500 W 120 VCA 60 HZ Marca Enescol	Realizar las pruebas con cuatro baterías y un panel	\$4,942.08	15 de febrero del 2012
1 Panel solar fotovoltaico modulo solar DS-A5-200 24 V 200 W	Realizar las pruebas con cuatro baterías y un panel	\$ 6,364.97	15 de febrero del 2012
200 metros de cable numero 12 Marca IUSA		\$1320.00	15 de Marzo del 2012
10 METROS DE CABLE PARA SOLDAR CALIBRE 00 Marca Arg.	Integrar las grapas para conectar las baterías	\$1656.00	15 de Marzo del 2012
4 cajas de cable numero 14 marca IUSA	Modificar la instalación eléctrica del CD. Energías renovables	\$2,246.40	15 de Marzo del 2012
2 CAJAS DE CABLE NUMERO 12 Marca IUSA	Modificar la instalación eléctrica del CD. Energías renovables	\$1553.60	15 de Marzo del 2012
12 Piezas de tubo conduit pared delgada (13) 3 metros	Modificar la instalación eléctrica del CD. Energías renovables	\$705.60	15 de Marzo del 2012
10 piezas cintas de aislar PVC negra mide 18.3 m de largo, 19 mm	Modificar la instalación eléctrica del CD. Energías renovables	\$100.80	15 de Marzo del 2012
1 planta solar fotovoltaica de bombeo incluye panel, controlador de carga CML 10 PHOCOS CML 10 12/24V, 10 A, UNA BOMBA SHURFLO.....	Conectar y realizar pruebas.	\$ 10,511.56	15 de Marzo del 2012
8 dispositivos para monitorear el parámetros de funcionamiento de los componentes del sistema solar	Conectar los dispositivos	\$30,000.00	15 de Marzo del 2012
Total		\$96,385.03	
Total más IVA		\$111,806.63	
		4	
TOTAL			

15. Bibliografía y Fuentes de Información

Nota: Los documentos deberán entregarse a la través de su Dirección de Carrera, de manera impresa y via correo electrónico. Ambos en letra arial 12 puntos en formato Word.

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Coordinación de Investigación

I. Página _____ de _____


Ing. Angelina González Rosas


M. en C. Juan Marcelo Miranda Gómez

M. en C. Luis García Lechuga

Dr. Ivan Toto Arellano

M. en C. Juan Carlos González

Dr. Pedro Ramírez Ortega

Ing. Germán Reséndiz López

Ing. Jorge Mateo Hernández

Lic. Jorge Luis Neri Trejo

IX. Nombre (s) y Firma(s) del Responsable (s) del Proyecto.

X. Nombre y Firma de cada participante del CA.


Ing. Angelina González Rosas
XI. Nombre y Firma del Presidente del CA.

ANEXO 2 Manual de prácticas



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TULANCINGO

AREA ELECTROMECHANICA

MANUAL DE PRÁCTICAS DEL ALUMNO

CARRERA: ENERGIAS RENOVABLES
ESPECIALIDAD: FOTOVOLTAICA

FEBRERO 2013

PRÁCTICA 1

Tensión del panel solar sin carga

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. *Objetivo.*

Determinar la medida de la tensión del panel solar fotovoltaico sin carga.

2. *Materiales y/o equipos.*

3 Paneles de diferentes potenciales

1 Multímetro digital

1 Pinzas de electricista

1 guantes de carnaza

2 Puntas de caimán

3. *Desarrollo general.*

A continuación se establece el desarrollo que llevará el alumno para cada una de las actividades.

3.1 Arme el circuito de la figura 1

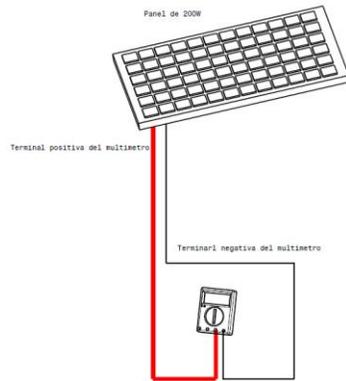


FIGURA 1 Circuito

3.2 Coloque el multímetro (paralelo) en posición para medir voltaje en corriente directa (CD)

3.3 Coloque las puntas del multímetro según corresponda la polaridad para la medición sobre el panel es decir la terminal positiva del panel con la terminal positiva del multímetro, la terminal negativa del panel con la terminal negativa del multímetro.

3.4 Realice la misma medición para la medición para distintas posiciones de los ángulos 0, 30 y 45 grados para cada uno de los paneles.

3.5 Escriba los valores en la tabla 1. Tipo de panel y tensión para cada uno de los paneles fotovoltaicos.

Tabla 1. La tensión de paneles fotovoltaico para los ángulos 0,30 y 45 grados.

Potencia máxima del panel	0 grados	30 grados	45 grados	Tensión máximo	Tensión Mínima

¿Hubo variación significativa en el voltaje a diferentes ángulos del panel fotovoltaico?

¿Cuál es el ángulo óptimo de colocación del panel?

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 2

Datos técnicos de un panel fotovoltaico

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Identificar y familiarizarse con los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de los paneles fotovoltaicos en la placa posterior de los paneles. Por mencionar P_{max} , V_{oc} , I_{sc} , V_{pmax} y I_{pmax} .

2. Materiales y/o equipos.

.

3 Paneles de diferentes potenciales

1 Multímetro digital

1 Pinzas de electricista

1 guantes de carnaza

2 Puntas de caimán

3. Desarrollo general.

3.1 Observe la figura 1 y 2 correspondientes a los datos técnicos de los paneles solares.

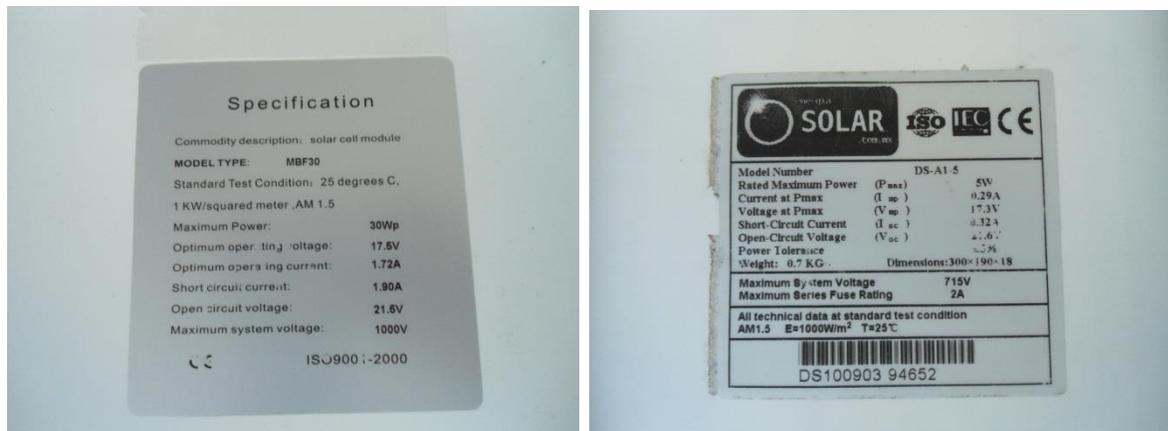


Figura 1 y 2 Datos técnicos de paneles fotovoltaicos.

3.2 Escriba los datos observados en la tabla 1 parámetros y valores de cada panel fotovoltaico.

Tabla Valor de los parámetros por panel fotovoltaico

Parámetro	Panel 1	Panel 2	Panel 3
Pmax			
Voc			
Isc			
Vpmax			
Ipmax			

3.3 Realice los cálculos de la Potencia máxima para cada uno de los paneles fotovoltaicos proporcionados en la figura 1 y 2.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 3

Conexión del panel solar o arreglo de paneles a un controlador de carga.

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	<i>No. de alumnos por reporte</i>	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

El alumno realizara la conexión de los paneles solares con el controlador de carga y verificara la configuración en el display del mismo para el voltaje de entrada y de salida así como para diferentes parámetros del controlador.

2. Materiales y/o equipos.

6 paneles solares fotovoltaicos de 200Watts

1 Controlador de carga de 80Amperes

1Multímetro

1 Guantes de carnaza

1 Manual de operación OUTBACK-FM60-FM80-MPPT.

Varios, cable, herramienta en general.

3. Desarrollo general.

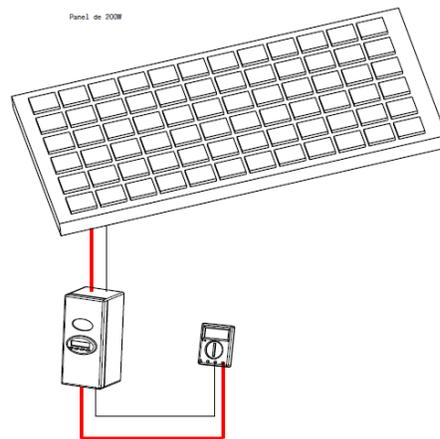


FIGURA 1 Conexión de panel o arreglo fotovoltaico con controlador de carga.

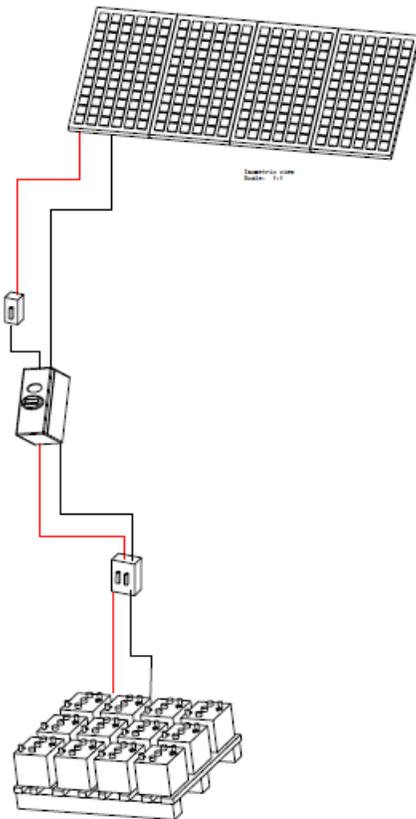


FIGURA 2. Conexión de arreglo fotovoltaico al controlador y baterías.

- Conectar el circuito como se muestra en la figura 1

- Realizar la medición del voltaje de entrada al sistema como se muestra en la figura 1
- Conectar el arreglo de baterías a 24 volts como se muestra en la figura 2 con sus respectivas protecciones eléctricas.
- Navegar en las pantallas del controlador, verificando y configurando los parámetros correspondientes según el manual del controlador. (OUTBACK-FM60-FM80-MPPT).

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 4

Conexión de batería o arreglo de baterías a un controlador de carga.

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Realizar la conexión de las baterías con el controlador de carga, según las especificaciones eléctricas de voltaje establecidas por el fabricante y sus protecciones eléctricas correspondientes.

2. Materiales y/o equipos.

.

1 Controlador de carga

12 Baterías de 6 Volts para sistemas fotovoltaicos

1 Multímetro

2 Protecciones eléctricas de 80Amperes

Varios, cable para baterías, desarmador pinzas de electricista, herramienta en general.

3. Desarrollo general.

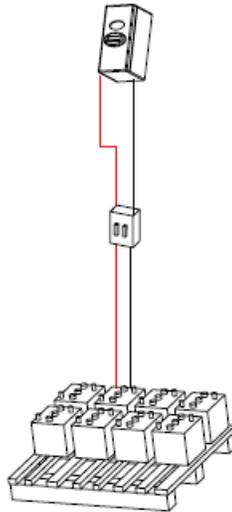


FIGURA 1 Controlador conectado a las baterías

- Conecte un arreglo de baterías para lograr una tensión de 24 Volts
- Siga el procedimiento de la página 25 del manual de operación del controlador outback antes de colocar en marcha el equipo.
- Configure el voltaje correspondiente al arreglo de baterías
- Verifique con un multímetro el voltaje de entrada y asegúrese que sea el mismo mostrado en la pantalla del controlador.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 5.

Familiarización con los parámetros de placa de una batería.

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Conocer e interpretar los datos de placa de baterías de diversos fabricantes resumiéndolos en una tabla comparativa

2. Materiales y/o equipos.

.

1 Multímetro

12 Baterías de descarga profunda

Cables de conexión para baterías

Guantes de carnaza

Hoja técnica de baterías

3. *Desarrollo general.*

Parámetro	Batería 1	Batería 2	Batería 3
Ah			
Voltaje			
Tipo de material			
Temperatura			
Marca			
Eficiencia			
Voc			

4. **Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.**

PRÁCTICA 6

Arreglos serie, paralelo de paneles solares

Fecha			Grupo
No de alumnos por práctica			<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor			
Nombre (s) del alumno (s)			
Tiempo estimado	2	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo.

Verificación de parámetros de un arreglo de paneles solares cuando se conectan en serie, y cuando se conectan en paralelo.

Materiales y/o equipos.

- 6 Paneles solares con $P_p=200W$ y una tensión de 37.5V
- 2 Puntas caimán Cable calibre 18AWG
- 3m de cable calibre 18AWG
- 1 Desarmador punta cruz
- 1 Pinzas de electricista
- 2 Multímetro

2. Desarrollo general.

A) Utilice las medidas de seguridad correspondientes y realice la conexión serie como se muestra en la figura 1 para cuando se tiene un arreglo de 3 paneles solares y un multímetro para realizar la medición.

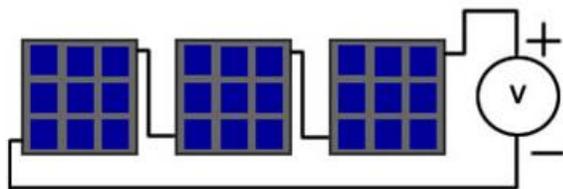


Figura 1

B) Realice la medición de la tensión eléctrica de salida del arreglo y haga sus anotaciones correspondientes.

C) Conecte un panel más al arreglo del punto A y verifique la tensión de salida con un multímetro.

D) Explique cuál es el comportamiento del voltaje, la corriente y la potencia para un arreglo serie.

E) Utilice las medidas de seguridad correspondientes y realice la conexión paralela como se muestra en la figura 2 para cuando se tiene un arreglo de 3 paneles solares y un multímetro para realizar la medición.

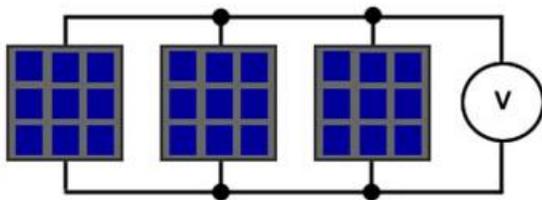


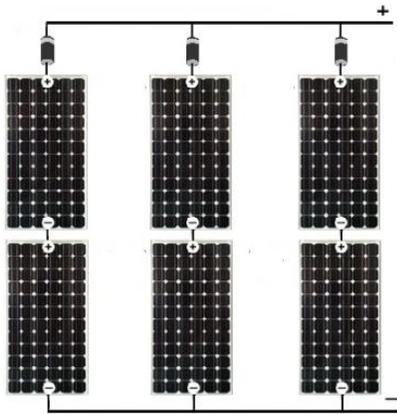
Figura 2

F) Realice la medición de la tensión eléctrica de salida del arreglo y haga sus anotaciones correspondientes.

G) Conecte un panel más al arreglo del punto A y verifique la tensión de salida con un multímetro.

H) Explique cuál es el comportamiento del voltaje, la corriente y la potencia para un arreglo paralelo.

H) Realice los mismos puntos que se realizaron para arreglos serie y paralelo, pero ahora para un circuito mixto de la siguiente figura.



3. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno

PRÁCTICA 7

Características de un controlador de carga

Fecha			Grupo
No de alumnos por práctica			<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor			
Nombre (s) del alumno (s)			
Tiempo estimado	2	<i>Hrs.</i>	<i>Calificación</i>

1. *Objetivo.*

Identificar cada una de las características de un controlador de carga para un sistema fotovoltaico y hacer un análisis de ventajas y desventajas de controladores de diferentes marcas.

2. *Materiales y/o equipos.*

Para esta práctica se requiere de contar con 4 fichas técnicas de diferentes marcas de controladores, así como de sus manuales de operación.

1 Manual y ficha técnica de un controlador OUT-BACK de 80A

1 Manual y ficha técnica de un controlador TRACE de 75A

1 Manual y ficha técnica de un controlador POWER TRACER 150A

1 Manual y ficha técnica de un controlador SOLAREX

1 Multímetro

1 Batería (Con voltaje necesario para alimentar el controlador)

1 Multímetro

Cable de conexión.

3. *Desarrollo general.*

A) Realice las siguientes indicaciones para los controladores de carga.

- Identifique las parte de un controlador
- Identifique la corriente de salida
- Identifique los voltajes de batería
- Identifique si tiene salidas auxiliares
- Identifique su eficiencia
- Identifique si realiza historial en memoria
- Identifique el consumo de energía
- Identifique si es compatible para energía eólica
- Identifique cual es la potencia máxima que soporta de un arreglo fotovoltaico
- Identifique si permite ampliar el sistema
- Identifique peso, dimensiones, garantía del fabricante.
- Identifique si existe un display de programación y la información que es posible consultar y modificar.

B) Realice una comparación con los manuales y hojas técnicas de los controladores del punto A y el controlador existente en el laboratorio de energías renovables.

C) Alimente el controlador de laboratorio de prácticas con las baterías necesarias para alcanzar la tensión de operación y navegue en su menú de acuerdo al manual de operación.

- Configure la tensión de operación en corriente directa
- Configure un password si el equipo lo solicita.
- Mida la tensión en las baterías que alimentan el controlador con un multímetro y verifique en la pantalla del controlador que sea coincidente.
- Identifique los contactos auxiliares del controlador
- Identifique la corriente y voltaje máximos que soportan los contactos auxiliares
- Realice una simulación de configuración del controlador como si ya se fuera instalar.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 8

Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado

Fecha			Grupo
No de alumnos por práctica			<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor			
Nombre (s) del alumno (s)			
Tiempo estimado	2	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo.

Realizar el procedimiento para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado que será instalado en una vivienda.

2. Materiales y/o equipos.

1 Calculadora

1 Formulario

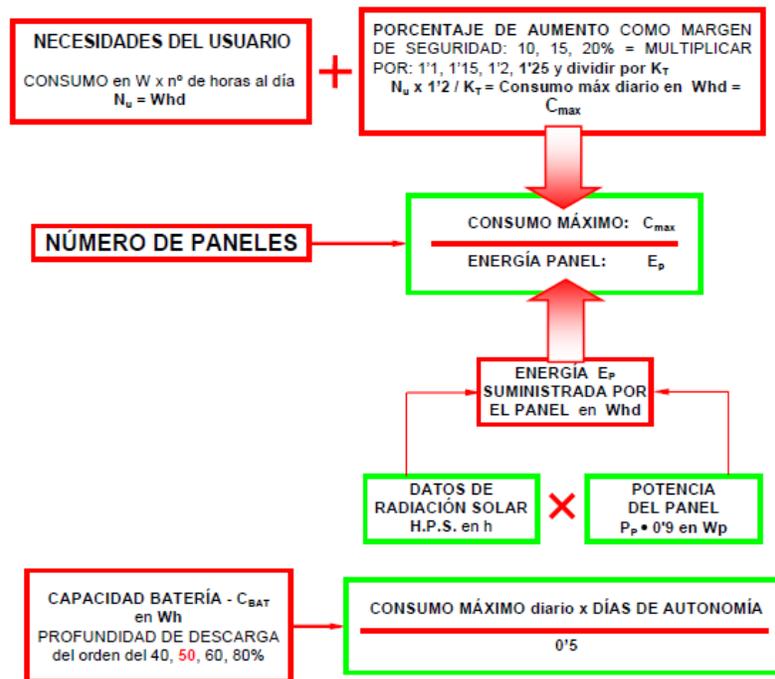
1 Datos de carga instalada en la vivienda

Vivienda de uso permanente, (5 ocupantes), con una media anual de 4.6HPS, 6 días de autonomía, y con una profundidad de descarga del 50%. Con un módulo de 37.5 Vp, 5'3 Ap, 200 Wp. Los receptores son a 12 V c.c.

Uso de baterías de plomo-ácido, nuevas, un regulador de η 90%,

RECEPTOR	CANTIDAD	W/A	Total P	Total I	h •día	Ah•d	Ec
Iluminación sala	2	30			5		
Iluminación cocina	1	15			1'45		
Iluminación baño	2	15			0'75		
Iluminación dormitorio	4	20			0'5		
Televisor color	1	120			4		
Ventilador	1	50			0'5		

3. Desarrollo general.



4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 9

Determinación de la capacidad de almacenamiento de la batería

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

4. Objetivo.

Determinar la capacidad de almacenamiento de la batería.

5. Materiales y/o equipos.

- 1 Panel, controlador y batería
- 1 Multímetro digital
- 1 Multímetro digital de gancho
- 1 Pinzas de electricista
- 1 guantes de carnauba
- 2 Puntas de caimán

6. Desarrollo general.

A continuación se establece el desarrollo que llevará el alumno para cada una de las actividades.

3.1 Es importante hacer notar, que se empieza en el estado totalmente cargado y terminado de la batería (es decir cuando ya no tenemos entrada de carga por el panel solar).

3.2 Coloque el multímetro (paralelo) en posición con la batería para medir voltaje en corriente directa (CD).

3.3 Coloque las puntas del multímetro según corresponda la polaridad para la medición sobre la batería, es decir la terminal positiva la batería con la terminal positiva del multímetro, la terminal negativa de la batería con la terminal negativa del multímetro.

3.4 Conecte una carga (De preferencia un foco) a la batería, con el fin que quede en corto circuito, y mida con el multímetro de gancho el valor de la corriente directa del cable.

3.5 Repita los pasos 3.2 a 3.4 pero para diferentes tiempos, tomando como tiempo cero el primero que se midió, se sugiere que la medición de carga y corriente se haga cada hora durante toda la noche hasta que el sol empiece otra vez a cargar el panel.

3.5 Se recomienda tomar una temperatura ambiente de cada paso, y sacar una temperatura promedio de todos los puntos.

3.6 Escriba los valores en la tabla 1. Como se indica a continuación:

Duración en horas	Voltaje (Volts)	Corriente (Amperes)	Capacidad (Amperes-Hora)
0			
1			
2			
3			
4			
etc.			

A excepción del tiempo cero (En este pasa tal cual como se midió) la capacidad se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Capacidad} = \text{Corriente (A)} * \text{Hora}$$

3.7 Se realiza una gráfica de corriente contra duración en horas.

3.8 Si en algún valor del voltaje está por debajo de los 10.5 volts, hasta ahí se lleva la medición, ya que este es el punto donde la batería esta descargada.

3.9 No se recomienda que la batería se lleve a un estado de descarga total. Ya que esto puede dañar a la batería.

¿Hubo variación significativa en el voltaje en los diferentes tiempos de la batería?

¿En qué punto se encontró la mayor capacidad en amperes?

7. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 10

Determinación de las características eléctricas de una celda fotovoltaica mediante la variación del área de la celda.

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo.

Determinar las características eléctricas de una celda fotovoltaica a través de la elaboración de la curva corriente contra voltaje (I-V) con la variación del área de la celda mediante el uso del programa ejecutable elaborado con el software de Matlab: octavaceldas1.exe.

2. Materiales y/o equipos.

1 programa ejecutable ocatavaceldas1.exe
1 computadora de laboratorio de informática

3. Desarrollo general.

3.1 Haga doble click en el icono del programa octavaceldas1.exe y cuando aparezca en la pantalla figura 1 escoja el caso (1) temperatura constante y irradiancia variable y escriba el número 1.

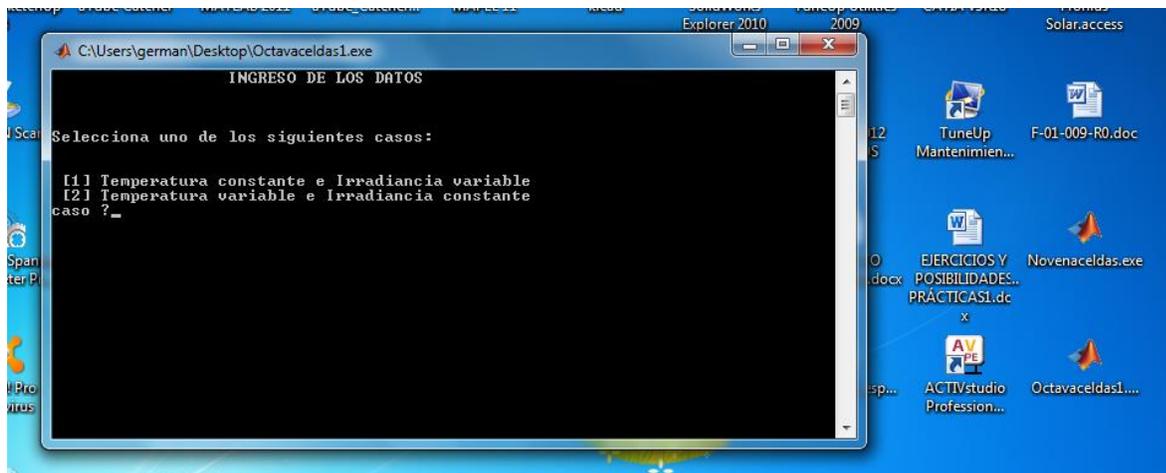


Figura 1. Seleccione el caso (1) al escribir el número 1.

3.2 Escriba cada uno de los siguientes datos como se indican el ingreso de los datos.

INGRESO DE LOS DATOS

Selecciona uno de los siguientes casos:|

[1] Temperatura constante e Irradiancia variable
 [2] Temperatura variable e Irradiancia constante
 caso ?1

Dimensiones de la celda (Area) (en cm^2) ?64
 Valor de la resistencia en serie (R_s) (en Ohms) ?10.5e-3
 Factor de idealidad (n) ?0.7902
 Energia del Gap a 0 grados Centigrados (E_{g0}) (en eV) ?1.16
 Coeficiente de temperatura alpha (alfagap) (En eV/grado Kelvin) ?7e-14
 Coeficiente de temperatura beta (Beta gap) (En grado Kelvin) ?1100
 Valor de la densidad de corriente de cortocircuito (J_{sc}) (en A/cm^2) ?0.024
 Factor de temperatura (alfa J_{sc}) (En $\text{A}/\text{grado centigrado} \cdot \text{cm}^2$) ?30e-6
 Tension del circuito abierto , (V_{oc}) (En Voltios) ?0.5196
 Valor de la Corriente en corto circuito (I_{sc}) ?5.2
 Numero de puntos que se divide el intervalo de la corriente y el voltaje ?250
 Temperatura de Trabajo, (T) (En grados Centrigrados) ?20
 Dame el numero de irradiancias ?5
 Valor de la irradiancia 1 (en W/m^2 ?
 Valor?1200
 Valor de la irradiancia 2 (en W/m^2 ?
 Valor?1000
 Valor de la irradiancia 3 (en W/m^2 ?
 Valor?800
 Valor de la irradiancia 4 (en W/m^2 ?
 Valor?600
 Valor de la irradiancia 5 (en W/m^2 ?
 Valor?400

3.3. Vea las gráficas de voltaje – Corriente y de Voltaje – Potencia que se despliegan y anote los datos para irradiancia de 1000 kW/m². Con el área de 64 cm².

3.4 Corra los datos ahora variando el área a 100 cm². Con otra corrida de la siguiente manera:

INGRESO DE LOS DATOS

Selecciona uno de los siguientes casos:

- [1] Temperatura constante e Irradiancia variable
 - [2] Temperatura variable e Irradiancia constante
- caso ?1

Dimensiones de la celda (Area) (en cm²) ?100
Valor de la resistencia en serie (Rs) (en Ohms) ?10.5e-3
Factor de idealidad (n) ?0.7902
Energia del Gap a 0 grados Centigrados (Eg0) (en eV) ?1.16
Coeficiente de temperatura alpha (alfagap) (En eV/grado Kelvin) ?7e-14
Coeficiente de temperatura beta (Beta gap) (En grado Kelvin) ?1100
Valor de la densidad de corriente de cortocircuito (Jsc) (en A/cm²) ?0.024
Factor de temperatura (alfaJsc) (En A/grado centigrado*cm²) ?30e-6
Tension del circuito abierto , (Voc) (En Voltios) ?0.5196
Valor de la Corriente en corto circuito (Isc) ?5.2
Numero de puntos que se divide el intervalo de la corriente y el voltaje ?250
Temperatura de Trabajo, (T) (En grados Centrigrados) ?20
Dame el numero de irradiancias ?5
Valor de la irradiancia 1 (en W/m² ?
Valor?1200
Valor de la irradiancia 2 (en W/m² ?
Valor?1000
Valor de la irradiancia 3 (en W/m² ?
Valor?800
Valor de la irradiancia 4 (en W/m² ?
Valor?600
Valor de la irradiancia 5 (en W/m² ?
Valor?400

3.5 Vea las gráficas de voltaje – Corriente y de Voltaje – Potencia que se despliegan y anote los datos para irradiancia de 1000 kW/m² con el área de 100 cm².

3.6. Vea las gráficas de voltaje – Corriente y de Voltaje – Potencia que se despliegan y anote los datos para irradiancia de 1000 kW/m². Con el área de 100 cm².

3.7. Compare los datos y las gráficas para los datos de 64cm^2 y 100cm^2 .

¿En que hubo variación en el voltaje en las gráficas de voltaje contra corriente?

¿Cómo vario la potencia entre las dos graficas de potencia?

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 11

Efectos de la temperatura sobre los paneles solares

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. *Objetivo.*

Determinar el efecto de la temperatura sobre el panel solar.

2. *Materiales y/o equipos.*

1 Panel, controlador y batería
1 Multímetro digital
1 Termómetro
1 Multímetro digital de gancho
1 Pinzas de electricista
1 guantes de carnaza
2 Puntas de caimán

3. *Desarrollo general.*

A continuación se establece el desarrollo que llevará el alumno para cada una de las actividades.

3.1 Se recomienda tomar cuatro días de mediciones en tres horarios diferentes, de valores de corriente y voltaje y tomar la temperatura en cada toma, y sacar la temperatura promedio de cada día de las tres tomas.

3.2 El cuadro por día queda de la siguiente manera:

Horario	Voltaje	Corriente	Irradiancia
8:00 am			
12:00 pm			
15:00 pm			
Temperatura promedio del día:			

3.3. De igual manera se repite el cuadro anterior para los tres días siguientes, con los diferentes valores de medición

3.4 Se saca el valor de la potencia es decir $P=V \cdot I$, para cada horario por día. De la siguiente manera:

Valores voltaje- potencia por día		
Horario	Voltaje	Potencia
8:00 am		
12:00 pm		
15:00 pm		

3.5 se comparan las potencias de cada horario por los cuatro días de la siguiente manera:

Horario	Día	Potencia	Temperatura promedio por día
8:00 am			
12:00 pm			
15:00 pm			

¿Hubo variación significativa en la potencia, por horario y por día?

¿A qué temperatura hubo mayor potencia?

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 12

Determinación de las características eléctricas de una celda fotovoltaica mediante la curva corriente contra voltaje (i-v) _método de áreas.

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Determinar las características eléctricas de una celda fotovoltaica a través de la elaboración de la curva corriente contra voltaje (I-V) con el uso del programa ejecutable elaborado con el software de Matlab: octavaceldas.exe.

2. Materiales y/o equipos.

1 programa ejecutable ocatavaceldas1.exe
1 computadora de laboratorio de informática

3. Desarrollo general.

3.1 Haga doble click en el icono del programa octavaceldas1.exe y cuando aparezca en la pantalla figura 1 escoja el caso (1) temperatura constante y irradiancia variable y escriba el número 1.

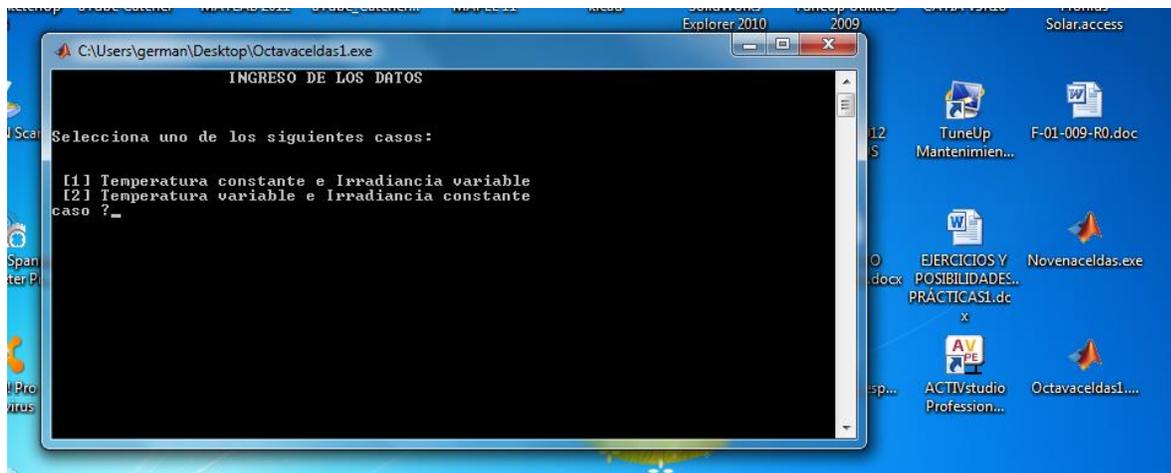


Figura 1. Seleccione el caso (1) al escribir el número 1.

3.2 Escriba cada uno de los siguientes datos como se indican el ingreso de los datos.

Área de la celda de $A=156.25 \text{ cm}^2$

La resistencia en serie $R_s= 10.5e-3$

El factor de idealidad de $n = 0.7902$

El GAP $E_{go}=1.16$

Alfagap= $7e-14$

Betagap= 1100

JSC= 0.0240

AlfaJSC= $30e-6$

Voc= 0.5196

ISC= 5.2

Numero de punto en que se va a dividir la curva en 250 como máximo

Temperatura constante de (t grados centígrados) = 20°c .

Número de irradiancias = 5

1000, 200, 600,500 y 800.

3.3 Escriba en la tabla 1. Irradiancia, I_{max}, V_{max} y Potencia máxima.

Irradiancia w/m ²	I _{max} (Amperes)	V _{max} (Voltios)	Potencia máxima(watts)
1000			
800			
600			
500			
200			

3.4. Ejecute el programa nuevamente y escoja el caso (2) temperatura variable e irradiancia contante de 1000.

3.5 Escriba cada uno de los siguientes datos como se indican el ingreso de los datos.

Área de la celda de $A=156.25 \text{ cm}^2$

La resistencia en serie $R_s= 10.5e-3$

El factor de idealidad de $n = 0.7902$

El GAP $E_{go}=1.16$

Alfagap= $7e-14$

Betagap=1100

JSC=0.0240

AlfaJSC= $30e-6$

Voc=0.5196

ISC=5.2

Numero de punto en que se va a dividir la curva en 250 como máximo

Irradiancia constante de 1000.

Número de temperaturas = 5

70, 20, 50, 15 y 7 en grados centígrados.

3.5 Escriba en la tabla 2. Temperatura, I_{max}, V_{max} y Potencia máxima.

Temperatura °C	I _{max} (Amperes)	V _{max} (Voltios)	Potencia máxima(watts)
70			
50			
20			
15			
07			

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 13

Determinación de las características eléctricas de una celda fotovoltaica mediante la curva corriente contra voltaje (i-v). Método de Newton Raphson.

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	<i>No. de alumnos por reporte</i>	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Determinar las características eléctricas de una celda fotovoltaica a través de la elaboración de la curva corriente contra voltaje (I-V) con el uso del programa ejecutable elaborado con el software de Matlab: el Novenaceldas.exe.

2. Materiales y/o equipos.

1 programa ejecutable novenaceldas.exe
1 computadora de laboratorio de informática

3. Desarrollo general.

3.1 Haga doble click en el icono del programa Novenaceldas.exe y cuando aparezca en la pantalla figura 1 escoja el caso (1) temperatura constante y irradiancia variable y escriba el número 1.

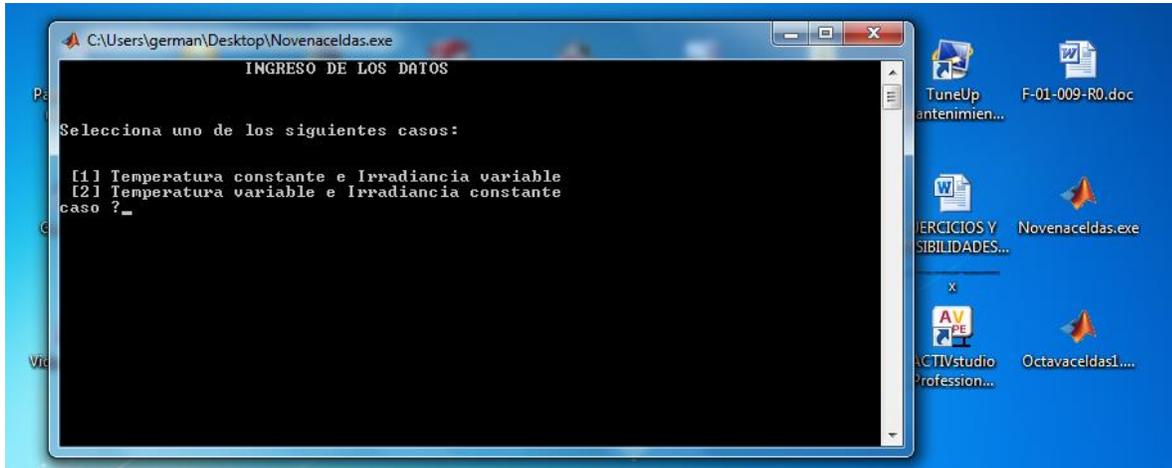


Figura 1. Seleccione el caso (1) al escribir el número 1.

3.2 Escriba cada uno de los siguientes datos como se indican el ingreso de los datos.

Área de la celda de $A=156.25 \text{ cm}^2$
 La resistencia en serie $R_s= 10.5e-3$
 El factor de idealidad de $n = 0.7902$
 El GAP $E_{go}=1.16$
 $\text{Alfagap}=7e-14$
 $\text{Betagap}=1100$
 $\text{JSC}=0.0240$
 $\text{AlfaJSC}=30e-6$
 $\text{Voc}=0.5196$
 $\text{ISC}=5.2$
 Numero de punto en que se va a dividir la curva en 250 como máximo
 Temperatura constante de (t grados centígrados) = 20°C .
 Número de irradiancias = 5
 1000, 200, 600,500 y 800.

3.3 Escriba en la tabla 1. Irradiancia, I_{max} , V_{max} y Potencia máxima.

Irradiancia w/m2	I_{max} (Amperes)	V_{max} (Voltios)	Potencia máxima(watts)
1000			
800			
600			
500			
200			

3.4. Ejecute el programa nuevamente y escoja el caso (2) temperatura variable e irradiancia contante de 1000.

3.5 Escriba cada uno de los siguientes datos como se indican el ingreso de los datos.

Área de la celda de $A=156.25 \text{ cm}^2$

La resistencia en serie $R_s= 10.5e-3$

El factor de idealidad de $n = 0.7902$

El GAP $E_{go}=1.16$

$\text{Alfa}_{gap}=7e-14$

$\text{Beta}_{gap}=1100$

$J_{SC}=0.0240$

$\text{Alfa}_{JSC}=30e-6$

$V_{oc}=0.5196$

$I_{SC}=5.2$

Numero de punto en que se va a dividir la curva en 250 como máximo

Irradiancia constante de 1000.

Número de temperaturas = 5

70, 20, 50, 15 y 7 en grados centígrados.

3.5 Escriba en la tabla 2. Temperatura, I_{max} , V_{max} y Potencia máxima.

Temperatura °C	I_{max} (Amperes)	V_{max} (Voltios)	Potencia máxima(watts)
70			
50			
20			
15			
7			

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 14

Voltaje y estado de carga de la batería

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Comprobar mediante el uso de aparatos de medición, el estado que guarda la batería antes de usarse y por lo menos de 5 días atrás, con los parámetros que arroja el controlador del MESF.

2. Materiales y/o equipos.

1 Panel, controlador y batería
1 Multímetro digital
1 Termómetro
1 Pinzas de electricista
1 guantes de carnaza
2 Puntas de caimán

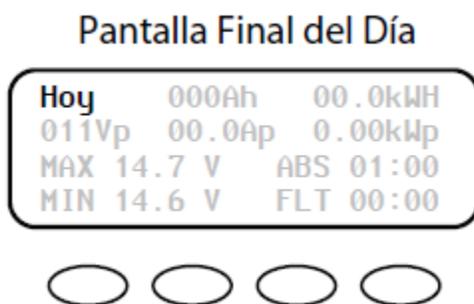
3. Desarrollo general.

- Verificar que no haya dado inicio de la carga de las baterías o que estén desconectadas de las fuentes de carga o que tengan tres horas en reposo.

- Usando los multímetros, verificar los voltajes del banco de baterías y comparar con respecto a la siguiente tabla:

Voltaje nominal de la batería	Carga completa	Óptima (~75%)	Intermedia (~50%)	Baja (~25%)	Descargada
12 V	por encima de 12,6 V	12,3 V	12,0 V	11,7 V	por debajo de 11,4 V
24 V	por encima de 25,2 V	24,6 V	24,0 V	23,4 V	por debajo de 22,8 V
48 V	por encima de 50,4 V	49,2 V	48,0 V	46,8 V	por debajo de 45,6 V
60 V	por encima de 63,0 V	61,5 V	60,0 V	58,5 V	por debajo de 57,0 V

- Entrar a los menús que ofrece el display del controlador y en la pantalla de final de día, verificar la carga con que se quedó un día antes y compararla con los datos medidos.



- Haciendo uso de la pantalla de final de día verificar los datos de la carga de 5 días anteriores y llenar la siguiente tabla:

Día	Voltaje nominal de la batería	Estado de la Carga		
		Optima	Intermedia	Baja
1				
2				
3				
4				
5				

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 15.

Manejo e interpretación de resultados en el regulador FlexMax

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

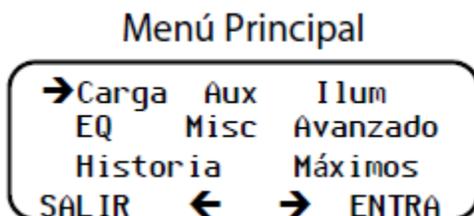
Comprobar mediante el monitor del regulador FlexMax, los parámetros de voltaje máximo de voltaje, Voc, voltaje máximo de circuito abierto.

2. Materiales y/o equipos.

Regulador /Controlador FlexMax OutBack FM80

3. Desarrollo general.

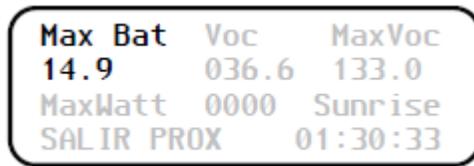
- Ingresar hasta la pantalla principal del regulador



- Desplazarse hasta la pantalla de Máximos



- En la pantalla de máximos se identificarán los parámetros que se piden



- Del manual del usuario propio del equipo, indagar a que se refiere el término “*Sunrise*” e interpretar el resultado que se presenta

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

PRÁCTICA 16.

Interpretación de resultados del historial en el regulador FlexMax

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica		<i>No. de alumnos por reporte</i>
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	<i>Hrs</i>	<i>Calificación</i>

1. Objetivo

Revisar el historial del comportamiento del sistema MESF mediante el monitoreo del regulador/controlador FlexMax

2. Materiales y/o equipos.

Regulador /Controlador FlexMax OutBack FM80

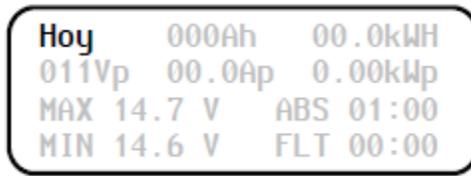
3. Desarrollo general.

- Partiendo de la pantalla “Estado” del regulador, desplazarse hasta el historia y la pantalla “Final de día”, obtener el comportamiento de 60 días de los parámetros: *Amperios hora acumulados, KWH acumulados, voltaje de entrada máximo, corriente de salida máximo, voltaje de batería máximo y mínimo obtenido.*

Pantalla Estado

En	11.6V	0.0 A
Salida	13.8V	0.0 A
	0.000 kW	0.0 kWh
AUX: Apag		Inactivo

Pantalla Final del Día



- De los resultados obtenidos realizar la gráfica correspondiente a cada uno e interpretar el comportamiento de cada uno de ellos.

Día	AmpH	KWH	VinMax	IsalMax	VbatMax	VbatMin
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
...						
...						
...						
58						
59						
60						

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.
