

**MODELO PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE
ALIMENTACIÓN BASADOS EN ENERGIA SOLAR UTILIZADOS EN TERRITORIOS
NACIONALES PARA COMUNICACIONES SATELITALES**

CAMILO LEONARDO SANDOVAL RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA

2004

1

**MODELO PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE
ALIMENTACIÓN BASADOS EN ENERGIA SOLAR UTILIZADOS EN TERRITORIOS
NACIONALES PARA COMUNICACIONES SATELITALES**

CAMILO LEONARDO SANDOVAL RODRÍGUEZ

Trabajo como requisito para optar al titulo de Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA

2004

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos :

Al Profesor Homero Ortega Boada por su confianza y valiosa colaboración.

Al Ingeniero Ismael Grisales por sus oportunos consejos.

A la E³T y J. E. Jaimes Ingenieros por permitir la relación Empresa-Academia.

A la Ingeniera Libia Sofía Sandoval R, por su constancia fidelidad y dedicación hacia mi.

A mis familiares, Madre, Hermanos; amigos y demás personas que de alguna manera colaboraron para lograr con éxito este cometido.

De manera muy especial a Diana Maria Reyes Bravo, por permanecer constante, fiel y presente a pesar de la distancia.

A Carmen Sofía Rodríguez de Sandoval
Modelo y Ejemplo para mi vida

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1.CONCEPTOS BÁSICOS.....	14
1.1.COMUNICACIÓN POR SATELITES.....	14
1.1.1.Clasificación de los satélites artificiales.....	14
1.1.1.1 Satélites orbitales.....	14
1.1.1.2 Satélites geoestacionarios.....	15
1.1.2.Principales componentes de una estación satelital V-sat.....	16
1.1.2.1.Unidad externa O.D.U.....	16
1.1.2.2.Unidad interna I.D.U.....	16
1.1.2.3.Sistema de alimentación eléctrica.....	18
1.2.SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	19
1.2.1.Subsistemas.....	19
1.2.1.1.Subsistema de captación.....	20
1.2.1.2.Subsistema de almacenamiento.....	23
1.2.1.3.Subsistema de regulación de carga.....	29
1.2.1.4.Subsistema de distribución y consumo.....	31
2.PRUEBAS.....	36
3.INSTALACION.....	57
3.1.DIMENSIONAMIENTO DEL SUSBSISTEMA DE CAPTACIÓN.....	57
3.1.1.Voltaje de operación.....	58
3.1.2.Voltaje nominal.....	58
3.1.3.Corriente de generación.....	58
3.1.4.Potencia de consumo.....	58
3.1.5.Coeficiente de Generación.....	58
3.2.DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	59
3.3.DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA DE REGULACIÓN.....	60

3.4.INSTALACION FÍSICA DEL SISTEMA COMPLETO.....	61
3.4.1.Generalidades.....	61
3.4.1.1 Estructura y Gabinete	61
3.4.2.Herramienta a utilizar.....	62
3.4.2.1 Montaje de estructura y Gabinete	63
3.4.3.Instalación del regulador.....	63
3.4.4.Conexiones.....	63
3.4.4.1 Conexión a batería	64
3.4.4.2 Diagrama para las conexiones	65
4.MANTENIMIENTO.....	68
4.1.MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	68
4.1.1.Herramienta a utilizar.....	68
4.2.MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	70
4.2.1.Herramienta a utilizar.....	76
4.2.2.Mediciones.....	71
4.2.3.Visitas realizadas.....	73
CONCLUSIONES.....	75
RCOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.	
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Unidad Externa O.D.U.....	17
Figura 2. I.D.U. Vista frontal.....	17
Figura 3.Sistema fotovoltaico completo.....	20
Figura 4.Efecto fotovoltaico.....	21
Figura 5.Proceso de Fabricación de celdas solares.....	22
Figura 6.Interconexión de celdas y extracción de electricidad.....	24
Figura 7.Diagrama esquemático para montaje de la prueba.....	37
Figura 8.Voltaje de panel para una inclinación de 10° (Meta).....	41
Figura 9. Voltaje de panel para una inclinación de 11° (Meta).....	41
Figura 10. Voltaje de panel para una inclinación de 12° (Meta).....	42
Figura 11. Voltaje de panel para una inclinación de 13° (Meta).....	42
Figura 12 Voltaje de panel para una inclinación de 14° (Meta).....	43
Figura 13. Voltaje de panel para una inclinación de 15° (Meta).....	43
Figura 14. Voltaje de panel para una inclinación de 16° (Meta).....	44
Figura 15. Voltaje de panel para una inclinación de 20° (Meta).....	44
Figura 16. Voltaje de panel para una inclinación de 10° (Guaviare).....	45
Figura 17. Voltaje de panel para una inclinación de 11° (Guaviare).....	45
Figura 18. . Voltaje de panel para una inclinación de 12° (Guaviare).....	46
Figura 19. . Voltaje de panel para una inclinación de 13° (Guaviare).....	46
Figura 20. . Voltaje de panel para una inclinación de 14° (Guaviare).....	47

Figura 21. . Voltaje de panel para una inclinación de 15° (Guaviare).....	47
Figura 22. . Voltaje de panel para una inclinación de 16° (Guaviare).....	48
Figura 23. . Voltaje de panel para una inclinación de 20° (Guaviare).....	48
Figura 24. . Voltaje de panel para una inclinación de 10° (Vichada).....	49
Figura 25. . Voltaje de panel para una inclinación de 11° (Vichada).....	49
Figura 26. . Voltaje de panel para una inclinación de 12° (Vichada).....	50
Figura 27. . Voltaje de panel para una inclinación de 13° (Vichada).....	50
Figura 28. . Voltaje de panel para una inclinación de 14° (Vichada).....	51
Figura 29. . Voltaje de panel para una inclinación de 15° (Vichada).....	51
Figura 30. . Voltaje de panel para una inclinación de 16° (Vichada).....	52
Figura 31. . Voltaje de panel para una inclinación de 20° (Vichada).....	52
Figura 32. . Voltaje de panel para todas las inclinaciones (Meta).....	53
Figura 33. . Voltaje de panel para todas las inclinaciones (Guaviare)	54
Figura 34. . Voltaje de panel para todas las inclinaciones (Vichada).....	55
Figura 35. Estación solar completa.....	62
Figura 36. Estación solar completa 2	62
Figura 37. Montaje de estructura y gabinete.....	64
Figura 38. Montaje del regulador.....	65
Figura 39. Instalación solar propuesta por Gilat Colombia S.A.....	66
Figura 40. Instalación solar propuesta por el autor.....	66
Figura 41. Estadísticas de fallas en sistemas solares para territorios nacionales.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen de la tecnología fotovoltaica	25
Tabla 2. Características de distintos tipos de batería.....	28
Tabla 3. Tipos de onda generada por los inversores.....	35
Tabla 4. Desviaciones estándar para las mediciones hechas en el departamento del Meta.....	38
Tabla 5. Desviaciones estándar para las mediciones hechas en el departamento del Guaviare.....	39
Tabla 6. Desviación estándar para las mediciones hechas en el departamento del Vichada.....	40
Tabla 7. Cuadro resumen de visitas realizadas.....	74

TITULO:

MODELO PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN BASADOS EN ENERGIA SOLAR UTILIZADOS EN TERRITORIOS NACIONALES PARA COMUNICACIONES SATELITALES *

AUTOR:

SANDOVAL RODRÍGUEZ, Camilo Leonardo**
e-mail: camilolsr@yahoo.com

Palabras Claves:

Comunicaciones Satelitales, Tecnología V-Sat, Energía Solar, Efecto Fotovoltaico

DESCRIPCION:

Dada la importancia que tienen las comunicaciones como instrumento vital para el desarrollo de la humanidad, y conciente de la necesidad de sostenerlas, se ha desarrollado el presente trabajo, en donde se abordan los conceptos relacionados con la tecnología satelital V-sat , así como lo relacionado con el dimensionamiento de sistemas de alimentación basados en energía solar, utilizados como suministro de energía de los equipos de comunicaciones instalados en lugares apartados de la geografía colombiana; de igual forma se presenta un modelo para el montaje de la prueba que ayudará a determinar el ángulo de inclinación para módulos solares que garantice una correcta y eficiente característica de carga para las baterías; finalmente recomendaciones diversas para el mantenimiento de este tipo de sistemas.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto del Ministerio de Comunicaciones de Colombia denominado COMPARTEL; la motivación para el desarrollo del tema fue la de mejorar el servicio de comunicaciones ofrecido mediante el mejoramiento de su sistema de alimentación.

El trabajo se centro en la creación de un modelo que permite realizar una correcta instalación de los sistemas fotovoltaicos utilizados para comunicaciones satelitales en el área rural, reduciendo así el numero de fallas en los equipos de comunicaciones por este concepto, a su vez se definió un procedimiento para el mantenimiento de los equipos involucrados en sistemas de alimentación a base de luz solar.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías , Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Homero Ortega Boada, Ismael Grisales

TITLE:

MODEL FOR INSTALATION AND MAINTENANCE OF THE FEEDING SYSTEMS BASED ON SOLAR ENERGY USED IN “TERRITORIOS NACIONALES” FOR COMMUNICATIONS BY SATELLITE*

AUTHOR:

SANDOVAL RODRÍGUEZ, Camilo Leonardo**

e-mail: camilolsr@yahoo.com

KEYWORDS:

Communications by satellite, V-Sat technology, Solar Energy, Photovoltaic effect.

DESCRIPTION:

This work was made considering the importance of the communications as vital instrument in the humanity development and having conscience that to maintain its working is necessary. In this work both V-sat technology concepts and tools for giving a right size for the feeding systems based on solar energy, was taken account. These feeding systems are used as energy supply for communication equipments installed in remote places of Colombian geography.

A model for assembly of the inclination test was also showed; the inclination test is a tool for determining the right angle for solar cells, this angle guarantees that battery load characteristics are proper and efficient. Finally, recommendations for maintenance of this kind of systems are given.

This work was carried out into the project called “COMPARTEL” it means “TO SHARE TELECOMMUNICATIONS”, which is a project by Communications Ministry of Colombia; to improve the communications service, was the motivation for the theme development.

The work was centered in to create a model that allows to realize a correct installation of photovoltaic systems used for communications by satellite in rural area; reducing from this way, the number of failures for communications equipments due to this concept, a procedure for maintenance of equipment used for the feeding systems based on solar light was also defined.

* Undergrade work

** Engineering Faculty, Electrical, Electronical and Telecommunicatios School, Homero Ortega Boada, Ismael Grisales

INTRODUCCIÓN

El impacto que produce la posibilidad de utilizar la energía solar en forma controlada y para nuestros propios fines ha permitido el desarrollo de sistemas completos de transformación, almacenamiento y distribución de esta energía según sea conveniente. La producción de electricidad a partir de la radiación solar mediante células solares y paneles fotovoltaicos es una aplicación que aun no se difunde en su totalidad.

Este trabajo esta enmarcado en el contexto de *PRACTICA EMPRESARIAL* , el cual se desarrolla dentro de la empresa “Consortio Jelar”, la cual tiene a su cargo la labor de instalación y mantenimiento de estaciones *COMPARTEL* en gran parte del territorio nacional. Para este evento el consorcio ha dividido sus acciones en centros de acopio desde los cuales se lleva a cabo la coordinación de dichas tareas.

El proyecto *COMPARTEL* hace parte de la agenda de conectividad del gobierno, manejado por el Ministerio de Comunicaciones, y el cual tiene como objetivo mantener comunicadas las localidades mas apartadas del territorio nacional . *COMPARTEL* , iniciado en 1999 consta de dos etapas generales. Instalación 6000 puntos, seguida de la etapa de mantenimiento de dichos puntos.

En toda la extensión del territorio nacional el proyecto *COMPARTEL*, ha instalado mas de 1000 estaciones satelitales que necesitan de sistemas de alimentación basados energía solar; requiriendo una continua y eficiente operación. Es por eso que se hace necesario elaborar una depuración de los procesos de instalación y mantenimiento para ofrecer una mejora en la prestación de estos servicios para las telecomunicaciones.

Existe un hecho que resalta la importancia de este libro, como lo es la observación de mas del 50% de estaciones *COMPARTEL* solares en la zona de Territorios Nacionales que no operaron correctamente; esto debido a diversas causas: Una instalación incorrecta, sistemas subdimensionados, entre otras. Lo que se desea es detectar las fallas que ocasionan estos hechos y corregirlas, generando un plan unificado para la instalación que elimine los daños causados por el mal dimensionamiento de estos sistemas ,y a su vez crear unas rutinas de mantenimiento que asegure que en dichas estaciones perdure el buen funcionamiento de los equipos que las componen, y se siga así cumpliendo con el objetivo *COMPARTEL*.

El estudio esta centrado en desarrollar un modelo para la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, que provea al lector de conocimiento teórico y técnico, acerca de los conceptos relacionados con los sistemas de alimentación basados en energía solar, de igual forma dando a conocer la tecnología usada en nuestro país para este tipo de sistemas.

Es necesario antes de revisar los procedimientos de instalación y mantenimiento para sistemas de alimentación basados en energía solar; que el lector se familiarice con la terminología utilizada,

comprenda y entienda el funcionamiento de los dispositivos que componen el sistema ; y además se sitúe en el contexto de las comunicaciones satelitales y comprenda la necesidad de que los dispositivos de comunicación que dependen de los sistemas solares deben operar correctamente y durante todo el día.

Este libro incluye en su primera parte una descripción teórica de las comunicaciones satelitales, principio fotovoltaico aplicado a paneles solares, y una descripción de todos los dispositivos que componen un sistema fotovoltaico. Muestra también en su segunda parte las pruebas realizadas para obtener la ubicación mas conveniente de los módulos solares teniendo en cuenta que la zona asignada es la de territorios nacionales.

Su tercera y cuarta parte se relaciona con el proceso de instalación enmarcando los parámetros de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, el procedimiento para su mantenimiento

Por ultimo se muestra la recopilación de información de 25 visitas realizadas , las cuales proporcionan en detalle los datos que muestran el estado actual de esas estaciones y las acciones realizadas en las mismas; así como una estadística de fallas discriminando los dispositivos mas susceptibles a ellas.

Al finalizar el libro, el lector deberá comprender el funcionamiento de los dispositivos que componen los sistemas solares, y podrá ejecutar una correcta instalación y mantenimiento de los mismos.

1. CONCEPTOS BASICOS.

Es importante que antes de realizar la instalación y/o mantenimiento de sistemas de alimentación basados en energía solar *COMPARTEL*, se conozca y comprenda su funcionamiento, así como todos los conceptos relacionados con los equipos de comunicaciones utilizados en *COMPARTEL* y la teoría relacionada con dichos equipos. Al finalizar el capítulo el lector estará familiarizado con el lenguaje y terminología utilizada para la instalación y mantenimiento de sistemas de alimentación basados en energía solar utilizados en *COMPARTEL*.

1.1 Comunicación por satélites.

La comunicación satelital aplicada en *COMPARTEL*, es la realización de enlaces de dos o más estaciones terrenas ubicadas geográficamente distantes una de la otra. Dicho enlace es efectuado por un satélite artificial que se encarga de recoger la señal terrestre y devolverla hacia la tierra a las distintas estaciones receptoras.

1.1.1. Clasificación de los satélites artificiales.

Los satélites artificiales se pueden clasificar según su trayectoria del siguiente modo.

1.1.1.1 Satélites orbitales [1]

Los satélites orbitales o asíncronos giran alrededor de la tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite está girando en la misma dirección de la rotación de la Tierra y a una

velocidad angular superior que la de la Tierra, la órbita se llama órbita progrado. Si el satélite esta girando en la dirección opuesta a la rotación de la tierra o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor a la de la tierra, la órbita se llama órbita retrograda.

Consecuentemente , los satélites asíncronos están alejándose continuamente o cayendo a Tierra, y no permanecen estacionarios en relación a ningún punto particular de la Tierra. Por lo tanto dichos satélites asíncronos se tienen que usar cuando estén visualmente disponibles, lo cual puede ser un corto periodo de tiempo, alrededor de 15 minutos por órbita. Otra desventaja de los satélites orbitales es la necesidad de usar un equipo costoso y complicado para rastreo de las estaciones terrestres. Cada estación terrestre debe localizar el satélite conforme este disponible en cada orbita , y después unir su antena al satélite cuando pasa por arriba. Debido a esto, este tipo de satélites no es muy utilizado en comunicaciones.

1.1.1.2 Satélites Geoestacionarios [2]

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Consecuentemente permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la Tierra. Una ventaja sobresaliente es que están disponibles para todas las estaciones de la Tierra dentro de su sombra 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye todas las estaciones de la Tierra que tienen un camino visible a el y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja, es que a bordo, se requiere de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijos en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosincrono es de 24 horas igual que la Tierra.

Los satélites mas comúnmente utilizados para voz y datos son: satélite INTELSAT, y ANIK F1 respectivamente; los cuales son satélites geoestacionarios. Estos conjuntos de satélites se encuentran cercanos a la línea ecuatorial lo cual es denominado el cinturón de Clark.

Para el proyecto de comunicaciones rurales se ha utilizado la tecnología V-sat (Very small aperture terminal) terminal de muy pequeña apertura. Las redes V-sat son redes de comunicación

de datos privadas vía satélite para intercambio de información punto-punto o punto-multipunto (broadcasting) o interactivo.

1.1.2. Principales componentes de una estación satelital Vsat. [3,4]

Las estaciones Vsat utilizadas para *COMPARTEL* se componen de las siguientes partes principales.

1.1.2.1. Unidad externa O.D.U. (Outdoor unit).

Se conoce como la interfase entre el satélite y la unidad interna I.D.U. Tiene como función hacer la recepción y transmisión de las señales desde y hasta el satélite.

La O.D.U. consta de los siguientes equipos: Antena plana, transmisor, receptor, soporte para la fijación de la antena(Canister) y torre donde se instala la antena. En la figura 1 se observa la unidad externa completa.

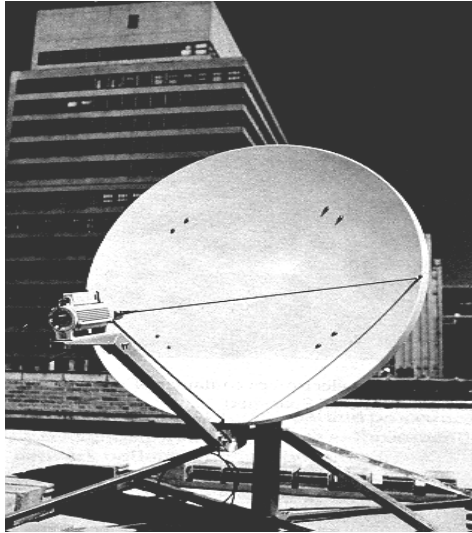
1.1.2.2. Unidad interna I.D.U. (Indoor Unit).

Es la interfase entre la O.D.U. y el terminal de usuario. Entre sus funciones esta la decodificación o traducción de las señales para que puedan ser entendidas por los equipos que componen el terminal de usuario. En la figura 2 se muestra la I.D.U. en una vista frontal.

Como anexo se cuenta el sistema de alimentación eléctrica; ya que es indispensable para mantener funcionando los equipos Vsat tales como la I.D.U.

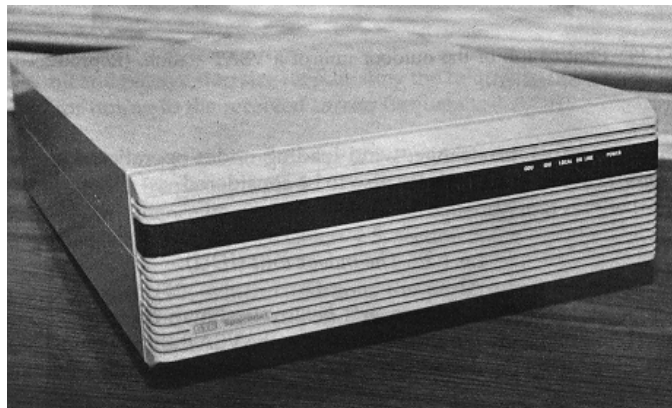
Durante el desarrollo del proyecto *COMPARTEL 1* (compartir telecomunicaciones) se instalaron estaciones terrenas, las cuales se clasifican según la cantidad de líneas, en la siguiente forma:

Figura 1. Unidad Externa O.D.U.



Fuente: www.fh-sat.de/produkteunddienstleistungen/vsat-datenkommunikation/vsatreferenzen.html

Figura 2. I.D.U. Vista Frontal.



Fuente: www.tiscsat.com/Vsat1.html

Estación Tipo **A**: Cuenta con una sola línea telefónica. (Para poblaciones con un mínimo de 1500 habitantes).

Estación Tipo **B**: Cuenta con dos líneas telefónicas. Una de ellas convencional y la otra para telefax (Para poblaciones con un mínimo de 2000 habitantes).

Estación Tipo **C**: Cuenta con tres líneas, dos líneas telefónicas convencionales y una para telefax (Para poblaciones con un mínimo de 2200 habitantes).

1.1.2.3. Sistema de Alimentación eléctrica.

Cualquier tipo de estación *COMPARTEL* de las mencionadas anteriormente debe poder operar satisfactoriamente bajo cualquiera de los sistemas de alimentación eléctrica que se mencionan a continuación los cuales son los mas comúnmente utilizados.

- *Interconexión eléctrica convencional*: Principalmente localidades cercanas a la cabecera municipal.
- *Generador eléctrico basado en combustible*: Para localidades apartadas que no cuenten con interconexión eléctrica convencional.
- *Sistema fotovoltaico con almacenamiento en batería*: Para localidades apartadas que no cuenten con interconexión eléctrica convencional.

Este ultimo es el que ha adoptado el proyecto *COMPARTEL* y el cual es el tema central de este libro.

1.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente de energía primaria y en consecuencia, sólo se puede disponer de ella mediante la transformación de alguna otra forma de energía. Para solucionar necesidades de electrificación rural donde la energía eléctrica convencional no llega, han surgido todo tipo de plantas generadoras de energía a partir de combustibles, sin embargo, esta forma de generación de energía produce mucha contaminación y devastación de los recursos naturales.

Por esta razón ha sido conveniente la instalación de sistemas fotovoltaicos, aplicándose en comunicaciones satelitales en *COMPARTEL* .

El termino fotovoltaico se define como la acción de generar voltaje y potencia utilizable para distintas aplicaciones a partir de la luz solar.

Es importante que antes de planear la instalación y mantenimiento de cualquier sistema de alimentación, se conozca el sistema y los conceptos relacionados con el mismo. Por esta razón en la siguiente sección se describe cada una de las partes que componen el sistema fotovoltaico completo.

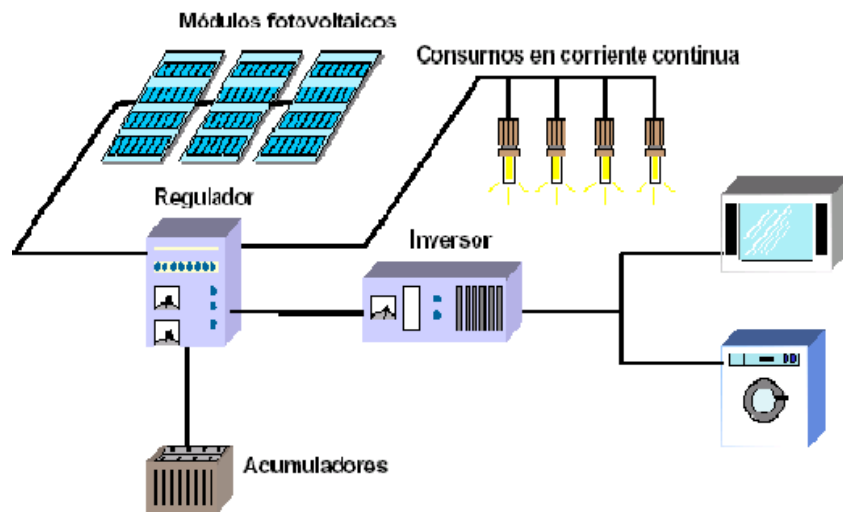
1.2.1. Subsistemas.

Las instalaciones fotovoltaicas requieren para su funcionamiento el acoplamiento de cuatro subsistemas principales: Captación (paneles solares), almacenamiento (acumuladores-baterías), regulación, distribución y/o consumo (Inversor-Cableado). En la figura 3 se muestra un sistema fotovoltaico completo para una red eléctrica híbrida (Consumo en C.D, y consumo en C.A.).

La filosofía de este tipo de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en batería, es suministrar a la carga la energía suficiente que necesita para funcionar correctamente y en todo momento, sin

depender de los días nublados o noches que son los momentos donde se genera menor o nula electricidad respectivamente.

Figura 3. Sistema Fotovoltaico Completo



Fuente: <http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto02.htm>

1.2.1.1. Subsistema de Captación.

Su finalidad es la captación de la energía solar. El subsistema de captación es la parte fundamental de los sistemas de energía solar, el cual se compone de lo que se denomina panel solar o arreglo solar; y está basado en el efecto fotovoltaico.

Definición del efecto fotovoltaico. [5]

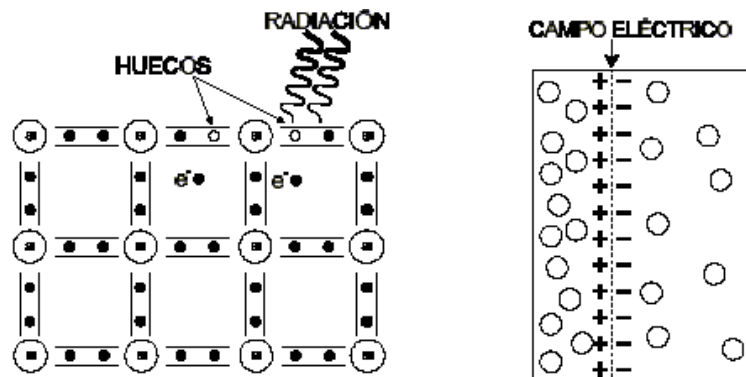
La energía solar fotovoltaica es una captación directa de la energía solar para obtener energía eléctrica. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico. Este se produce al incidir la luz sobre algunos materiales llamados semiconductores, generalmente Silicio o Germanio, de

esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica. Aprovechando este efecto de los semiconductores se construyen las células solares que van a proporcionar finalmente la electricidad para distintas aplicaciones.

Células solares [5].

Las células solares transforman directamente parte de la energía solar que reciben en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico se produce cuando la radiación solar entra en contacto con un material semiconductor cristalino. La luz transporta energía en forma de fotones. Estos, al incidir sobre determinados materiales (por ejemplo, Silicio dopado con Fósforo o, Boro), produce un movimiento de electrones en su interior, apareciendo en sus extremos una diferencia de potencial, lo que les convierte en una pequeña pila o generador eléctrico. (Ver figura 4).

Figura 4. Efecto Fotovoltaico.



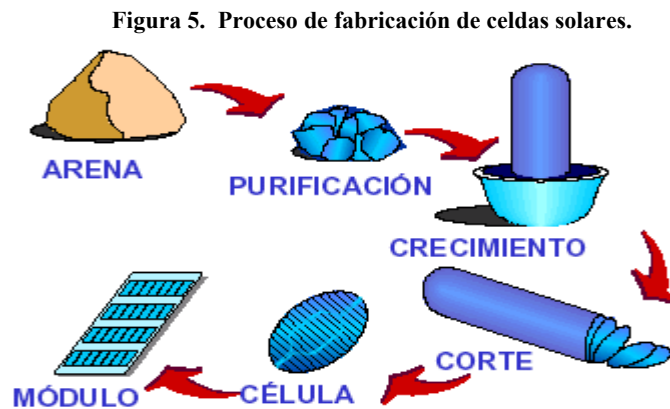
Fuente: <http://www.airelibrelapalma.org>

Cuando sobre la célula solar fotovoltaica incide la radiación solar, aparece en ella una tensión análoga a la que se produce entre los bornes de una pila. Mediante la colocación de contactos metálicos en cada una de las caras puede “extraerse” la energía eléctrica que es utilizable en distintas aplicaciones.

Tecnología de células solares. [6]

Existen varios materiales susceptibles de utilización como convertidor fotovoltaico, sin embargo, comercialmente, solo se encuentran los derivados del Silicio, sobre todo en las tecnologías monocristalinas y policristalinas. El Silicio amorfo es también utilizado pero ha alcanzado su desarrollo comercial principal ligado a las aplicaciones de bajo costo (Relojes solares, juguetes, calculadoras, etc.). las tres formas mas comunes en las que se encuentran las celdas son: monocristalino, policristalino y amorfo.

Para la fabricación del tipo monocristalino, las celdas se obtienen al fundir el Silicio y solidificarlo lentamente en un cristal cilíndrico, que se obtiene por la rotación de la masa en enfriamiento y después mediante el corte del cilindro en rebanadas delgadas; haciendo cortes longitudinales y transversales se obtienen las celdas previamente dopadas con Boro; este proceso se conoce con el nombre de Método de Czochralsky. (Ver Fig. 5).



Fuente: <http://www.airelibrelapalma.org>

Para la fabricación del tipo policristalino se coloca el Silicio fundido en moldes para que se solidifique por enfriamiento lentamente, su nombre se deriva de la conformación de una gran masa formada por pequeños monocristales. Debido a los intersticios de este tipo de material, se produce una pequeña desviación en el camino de los electrones lo cual impide un flujo regular ocasionando así una baja en la generación de potencia con respecto al método anterior.

El material tipo amorfo se obtiene al depositar el Silicio sobre un sustrato plástico y permitiendo su solidificación, formando así el modulo solar completo lo cual evita el proceso de conexión de las celdas individuales. En este proceso se reduce el costo debido a la disminución de pérdidas del material efectivo.

Una vez obtenidas las placas tipo P y Tipo N se unen al igual que un diodo, para formar la celda solar. Cada celda solar genera un pequeño voltaje cada vez que incide luz sobre ella; al interconectar las celdas en serie se genera el voltaje de salida que será aprovechado para alimentar la carga necesaria.

Cuando un fotón llega a la celda por la parte superior (tipo N) desplaza un electrón hacia la zona tipo P y se genera el flujo de electrones que al pasar por la juntura P-N ganan energía potencial que es transferida a la celda solar adyacente para que al terminar su paso por las siguientes celdas logre la potencia que necesitan los equipos para funcionar. Para que este proceso ocurra, es necesario interconectar las celdas mediante unas rejillas conductoras y finalmente extraer la energía por medio de bornes conectados a la salida del panel solar. (Ver figura 6).

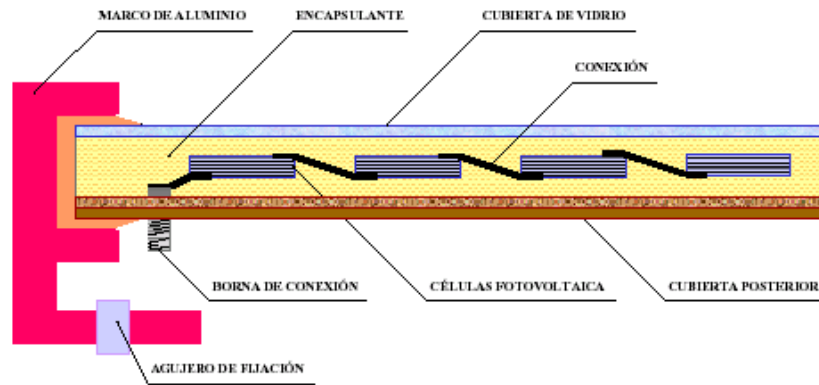
Como ya se mencionó anteriormente existen varios tipos de células solares. En la tabla 1 se muestra un resumen de la tecnología de celdas solares con sus características principales y con sus fabricantes. Esta información suele ser de importancia para la escogencia del tipo de tecnología a utilizar según las condiciones del sistema.

El panel solar es la parte fundamental del sistema de alimentación que utiliza esta tecnología; sin embargo para que su funcionamiento sea mas productivo, se requieren otros elementos para lograr que el sistema, o los equipos a alimentar funcionen correctamente .

1.2.1.2. Subsistema de almacenamiento

Su finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, acumulándola cuando está disponible para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite.

Figura 6. Interconexión de celdas y extracción de electricidad.



Fuente: <http://www.airelibrelapalma.org>

Banco de baterías.

Una de las aplicaciones donde es muy necesario sostener la energía proveniente de los paneles durante largos periodos de tiempo es la que ofrece suministro de energía a las estaciones de comunicaciones satelitales ubicadas en el área rural (Compartel entre otras). Es sabido que el objetivo del proyecto COMPARTEL es mantener comunicadas las localidades mas alejadas; para lo cual es necesario que en cada estación satelital COMPARTEL cuyo sistema de alimentación este basado en paneles solares exista un subsistema de almacenamiento de energía. Para tal proceso se utiliza un banco de baterías. Las baterías utilizadas de modo general en el proyecto COMPARTEL son baterías de gel de plomo.

La batería almacena la energía eléctrica generada por los módulos durante los periodos de sol (carga de la batería). Normalmente, las baterías durante las noches o periodos nublados, entregan electricidad para ser utilizada como alimentación para los equipos a los cuales se les debe suministrar (descarga de la batería); el intervalo que incluye un periodo de carga y uno de descarga, recibe el nombre de *ciclo*. Idealmente las baterías se recargan al 100 por ciento de su

TIPO DE CELDA	EFICIENCIA % LAB.	EFICIENCIA % PROD.	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FABRICANTES	
Silicio Monocristalino	19.1	12 a 14	Tecnología bien desarrollada y probada.	Emplea mucho material caro.	Siemens (Alemania)	Sharp (Japón)
			Estable.	Mucho desperdicio (casi la mitad)	Solec (USA)	Helios (Italia)
			Mayor eficiencia.	Manufactura costosa	Solarex (USA)	Hitachi (Japón)
			Se fabrica en celdas cuadradas		Tidelands (USA)	Mitsubishi (Japón)
					CEL (India)	Kyocera (Japón)
					Hoxan (Japón)	Heliodynámica (Brasil)
					PB Solar (UK)	Bharat (India)
					Pragma (Italia)	Isofotón (España)
					Ansaldo (Italia)	Komatsu (Japón)
					Nippon Elec. (Japón)	
Silicio Policristalino	18	11 a 13	Tecnología bien desarrollada y probada	Material Costoso	Solarex (USA)	
			Estable	Mucho desperdicio	Pragma (Italia)	
			Buena eficiencia	Manufactura costosa	Photowatt (Francia)	
			Celdas Cuadradas	Menor eficiencia que el monocristal	AEG (Alemania)	
			Menos costoso que el monocristal		Kyocera (Japón)	
Silicio laminado	15	11	No requiere rebanado	Complejidad en el crecimiento del cristal	ASE (USA)	
		a	Menos material desperdiciado		Westinghouse (USA)	
		13.5	Potencial para rapidez de manufactura			
			Buena Eficiencia			
Silicio Amorfo Película Delgada	11.5	4 a 8	Utiliza muy poco material	Degradación pronunciada	Chronar (USA)	
			Alto potencial y producción muy rápida	Menor eficiencia	Solarex (USA)	

Tabla 1 . Cuadro resumen de la Tecnología fotovoltaica.

Fuente: Autor

capacidad, durante el periodo de carga de cada ciclo. si existe un controlador , las baterías no se descargarán totalmente durante el ciclo, de igual manera no corren peligro de sobrecargarse durante periodos de poco uso.

Los parámetros mas relevantes para las baterías son: [7]

- **Capacidad.** La capacidad en Ampers-hora (A-h) es simplemente el número de Ampers (A) que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas (h) en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga.
- **Capacidad de régimen.** En teoría una batería de 200 A-h podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, en realidad este no es el caso ya que en las baterías siempre se debe especificar el régimen en horas. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada en el régimen, la capacidad en A-h puede variar. Generalmente, si la batería se descarga a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor. Por ejemplo una batería que está diseñada con una capacidad de 100 A-h a un régimen de 8 horas puede descargar 12,5 A durante 8 horas ($C = 12.5 \times 8 = 100 \text{ A-h}$), mientras que si la misma batería se descarga a un régimen de 20 horas podría proporcionar 5.8 A durante 20 horas ($C' = 5.8 \times 20 = 116 \text{ A-h}$).
- **Profundidad de descarga.** Este parámetro describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. Como regla general, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería durante cada ciclo, mayor será la vida útil de la misma.

Esta descripción da origen a la clasificación de las baterías en dos grandes grupos: **ciclo ligero o automotriz** y **ciclo profundo**. En el **ciclo ligero o automotriz**, como se mencionó anteriormente, las baterías se diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque

de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas **de arranque**, se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20 por ciento. De manera opuesta las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos períodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo tanto éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética. Su profundidad de descarga puede ser hasta el valor de su capacidad. En la tabla 2 se muestran las características mas relevantes correspondientes a distintos tipos de baterías.

Otras características de las baterías son:

- ***Voltaje de operación***: es el voltaje al cual trabajan las baterías, o voltaje nominal.
- ***Régimen de descarga***: Esta relacionado con la corriente de descarga en algún tiempo determinado por ejemplo C10 significa en 10 horas y C100 en 100 horas.
- ***Voltaje de corte***. Se refiere al mínimo voltaje al que se puede descargar la batería.
- ***Ciclaje***: indica la cantidad de ciclos que soporta una batería durante su vida útil.
- ***Ciclos***: Se le llama ciclo al hecho de cargar y descargar la batería.

En *COMPARTEL*, las baterías mas utilizadas son las baterías de gel, por lo tanto es de interés que se conozca las características mas sobresalientes de ellas.

Generalidades de las baterías de gel. [8]

Éstas no utilizan cubiertas. El electrolito se encuentra en forma de gel en vez de líquido, lo que permite montar la batería en cualquier posición. Las ventajas son que no necesita mantenimiento,

tienen una larga vida (800 ciclos) y una baja auto descarga. Su electrolito está contenido en una rejilla que se encuentra entre las placas de la batería.

Tabla 2. Características de distintos tipos de baterías.

	Plomo-Ácido sellada (Ciclo Profundo)	no Plomo-Ácido no sellada (Ciclo Ligero)	Gel-Cell	NiCd
Profundidad de descarga	40-80%	15-25%	15-25%	100%
Auto descarga por mes	5%	1-4%	2-3%	3-6%
Capacidad típica AH/m ³	35,314	24,72	8,828	17,66
Rango de capacidades AH/m ³	7,062	5,791	3,672	3,63
	a	a	a	a
	50,323	49	16,4	34,961
Capacidad típica AH/Kg	12.11	10.13	4.85	11.10
Rango de capacidades AH/Kg	4.18	2.42	2.20	2.64
	a	a	a	a
	26.65	20.26	13.87	20.90
Temperatura mínima de operación °C	-6.6	-6.6	-18	-45

Fuente: <http://www.codeso.com>

Las baterías de gel utilizan como electrolito plomo ácido en forma de gel , esto hace que la evaporación del mismo en operación a altas temperaturas, sea escaso, por lo tanto prolonga la vida útil de las baterías con respecto a las baterías convencionales. Son baterías selladas que no necesitan reintegrar el electrolito perdido por evaporación .por estos motivos su confiabilidad es alta. Tienen además un alto precio debido a la tecnología utilizada.

Las baterías de gel utilizan ácidos de baja densidad , por lo tanto el voltaje de carga es bajo. Debido a los bajos voltajes de carga la corriente residual es mínima.

Para este tipo de baterías se recomienda cargarlas entre 12 y 18 v , son los rangos que no afectan la vida útil de las baterías.

Es posible tener sobrecargada la batería debido al alto volumen de electrolito de la misma.

1.2.1.3. Subsistema de regulación de carga.

Su finalidad es proporcionar la regulación de carga y descarga de la batería y el control necesario en pequeñas y medianas instalaciones fotovoltaicas, para controlar el consumo de energía proveniente del arreglo solar y batería.

Controlador de carga. [9]

Los controladores se incluyen en los sistemas fotovoltaicos para proteger a las baterías contra sobrecargas y descargas excesivas. La mayoría de los controladores detectan el voltaje de la batería y actúan de acuerdo con los niveles de tensión que la batería ofrece. Los controladores no son aparatos muy simples, ya que el estado de recarga de la batería depende de muchos factores y es difícil de medir.

Existen dos métodos básicos para controlar o regular la carga que va del arreglo fotovoltaico hacia la batería. En el **Método de Shunt** la carga de la batería se regula interrumpiendo la corriente proveniente del arreglo provocando un corto circuito en el arreglo. Esto se logra mediante un diodo de bloqueo colocado en serie entre la batería y el arreglo. Los controladores tipo **Shunt** generalmente se diseñan para aplicaciones de corrientes fotovoltaicas menores de 20 A. El otro método es el del controlador en serie, donde la regulación se lleva a cabo mediante un relevador que impide el paso de la corriente cuando la batería se encuentra en condiciones de plena carga; en esta caso la interrupción se lleva a cabo poniendo el arreglo en circuito abierto.

La mayoría de los controladores también protegen a la batería contra descargas profundas, esto se logra mediante un relevador, que actúa en el **punto de corte inferior**, y corta la corriente que va de la batería hacia las aplicaciones cuando la energía contenida en la batería alcanza un mínimo establecido. Otros controladores no interrumpen el suministro, simplemente emiten un zumbido para indicar al usuario que la batería se encuentra en estado de carga mínima permisible. El **punto de corte inferior** depende de la naturaleza de la batería.

Dado que los módulos fotovoltaicos entregan corriente directa cuando son expuestos a la radiación solar, esta corriente generalmente es almacenada en baterías de diferentes tipos. Las baterías tienen una cierta capacidad de almacenamiento y una tolerancia a la carga y a la descarga. De tal manera que si una batería rebasa sus límites inferior y superior sufre descargas profundas y sobrecargas respectivamente, lo que ocasiona que su vida útil se vea reducida. La función primaria de un controlador de carga en un sistema fotovoltaico es proteger a la batería de sobrecargas y descargas profundas. Cualquier sistema fotovoltaico que esté expuesto a cargas impredecibles, intervención del usuario o cualquier característica que haga suponer sobrecargas y descargas profundas, requiere de un controlador de carga.

Los controladores generalmente se especifican en función de el voltaje nominal de operación, la corriente que proviene del módulo o arreglo solar, la corriente que va a la carga y los voltajes superior e inferior de desconexión y reconexión. Otros parámetros importantes son: la temperatura de operación y las pérdidas intrínsecas del aparato. Generalmente los valores prefijados de los parámetros anteriores dependen del tipo de batería a que es conectado el controlador.

Las características de carga de las baterías cambian con la temperatura. Algunos controladores de carga tienen un dispositivo para determinar la temperatura de la batería y efectuar los ajustes correspondientes. Este proceso se conoce como corrección de temperatura y es utilizado para ajustar los puntos de corte y reconexión, así como para estimar la cantidad real de energía que contiene la batería.

El sistema de regulación como su nombre lo indica se encarga de regular el intercambio de energía entre el modulo fotovoltaico, batería y sistema de consumo (carga).

La regulación consiste en suministrar la energía suficiente para cargar la batería , y ofrecer energía al sistema de consumo.

Existen muchas marcas de reguladores que tienen algunas funciones extra para mejorar el funcionamiento del conjunto solar, entre los que se encuentran: Reguladores sunsaver y reguladores GCR (Ver Anexo 1), estos son los mas utilizados en *COMPARTEL*.

1.2.1.4 Subsistema de distribución y consumo

Inversor [10]

Los inversores son unidades acondicionadoras de potencia para alimentar cargas de artefactos eléctricos de corriente alterna (CA). Los inversores más comunes de sistemas fotovoltaicos aislados funcionan 12, 24, 48 o 120 V de entrada en corriente directa (C.D.) y salida a 120 o 240 V en (C.A.) a 60 Hertz (Hz).

Algunos inversores pueden soportar sobretensiones transitorias de hasta tres veces su capacidad, pero no pueden funcionar a capacidad máxima durante más de media hora sin sobrecalentarse. Son apropiados para la carga de arranque de motores; pero si se requiere su funcionamiento continuo, deben tener un exceso de capacidad sobre el valor de régimen. En general dicho exceso debe ser de 25 por ciento o más para aumentar la confiabilidad y vida útil. El proyectista del sistema debe obtener información de fábrica acerca de los parámetros específicos de rendimiento antes de comprar el inversor.

Forma o tipo de onda. Los inversores generalmente se clasifican de acuerdo al tipo de la forma de onda que producen, las tres formas de onda más comunes son la **cuadrada**, la **sinusoidal modificada** y la **sinusoidal**.

Las unidades de **onda cuadrada** proporcionan una salida conmutada de CA. Son económicos y adecuados para alimentar ciertos artefactos de corriente alterna como calentadores con resistencia eléctrica, herramientas o artefactos de mano y lámparas incandescentes.

Los inversores de tipo de **onda sinusoidal modificada** soportan perturbaciones transitorias y pueden alimentar una gran variedad de equipos de CA como lámparas, equipos electrónicos y la mayoría de motores.

Los inversores de **onda sinusoidal** producen una forma de onda de CA tan buena como la de las empresas de servicios públicos.

Rendimiento de la conversión de potencia. Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. El rendimiento de los inversores para sistemas independientes variará en alto grado según el tipo y la demanda de carga de artefactos eléctricos. El proyectista debe saber que es difícil medir la potencia de una salida no sinusoidal debido al gran número de armónicas presentes. No se debe confiar mucho en los folletos de inversores que anuncian rendimientos de más del 90 por ciento. Los valores que aparecen en las especificaciones de fábrica son los máximos que se pueden esperar. Sin embargo, cuando se alimentan ciertos tipos de motores, el rendimiento real puede ser menor del 50 por ciento.

Potencia de régimen. Indica el número de watts que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal. Seleccione un inversor que pueda proporcionar no menos del 125 por ciento de la demanda máxima de carga, para dejar un margen en caso que aumente la demanda en el futuro. El régimen de funcionamiento también es importante.

Régimen de funcionamiento. Es el período de tiempo que el inversor puede alimentar la máxima carga de artefactos eléctricos. El exceder este tiempo puede causar la falla del equipo. Esta es otra razón para comprar un inversor con exceso de capacidad, por ejemplo, 2,5 kW para una carga de 2,0kW.

Tensión de entrada. Se determina por la potencia total que requieren todas las cargas de artefactos de CA. Mientras mayor sea la demanda de carga, mayor deberá ser la tensión de funcionamiento del inversor.

Capacidad de sobretensión transitoria. La mayoría de los inversores pueden exceder su potencia de régimen durante cortos períodos de tiempo (segundos). Deben determinarse o medirse los requisitos de sobretensiones de ciertas cargas de artefactos eléctricos. Algunos transformadores y motores de CA requieren una corriente de arranque varias veces mayor que su corriente de funcionamiento. Esta corriente de arranque puede ser necesaria durante varios segundos.

Regulación de tensión. Indica las variaciones de tensión de salida. Los mejores inversores producen un valor de tensión eficaz (RMS) casi constante para una gran variedad de niveles de carga.

Protección de tensión. El inversor puede ser dañado si se exceden los niveles de tensión de entrada de C.D. La tensión de una batería puede exceder considerablemente su valor nominal si dicha batería está sobrecargada. Las baterías de 12 V pueden alcanzar hasta 16 V, y un inversor de 12 V puede dañarse si se le aplica una tensión de entrada de 16 V. Por lo tanto, los inversores deben estar provistos con circuitos protectores que desconecten el inversor de la batería si se presenta una tensión de entrada demasiado alta o baja.

Frecuencia. La mayoría de las cargas de artefactos eléctricos en América requieren corriente de 60 Hz, mientras que en otros países se usa generalmente 50 Hz. Los equipos de alta calidad requieren una regulación de frecuencia precisa. Cualquier variación puede causar un mal funcionamiento de relojes u otros dispositivos electrónicos con control de tiempo.

Modularidad. Es la formación de un sistema con unidades interconectables. Resulta ventajoso usar inversores múltiples en algunos sistemas. Estos inversores pueden ser conectados en paralelo o usados para alimentar diferentes tipos de cargas de artefactos eléctricos. La conmutación

manual de la carga a veces se provee para permitir que un inversor pueda alimentar algunas cargas críticas en caso de falla de otro inversor. Esta redundancia aumenta la confiabilidad del sistema.

Factor de potencia. Es el coseno del ángulo entre las formas de onda de la tensión y de la corriente producidas por un inversor. Este factor varía de acuerdo con el tipo de carga. Las unidades de mejor calidad tienen circuitos diseñados para compensar el valor del factor de potencia. Especifique un valor cerca de 1.

Si bien los sistemas más eficientes son aquellos que utilizan corriente directa (CD), la gran mayoría de aparatos eléctricos comerciales, domésticos e industriales requieren de corriente alterna (CA) para su operación. Para convertir la corriente directa de un sistema fotovoltaico a alterna se requiere de un inversor.

La conversión de CD a CA se puede realizar mediante varios métodos, el mejor es aquel que proporciona la onda más cercana a la senoidal típica de la CA. La mayoría de inversores se fabrican a la frecuencia de 60 ciclos por segundo, aunque esto no es impedimento para encontrar inversores a 50 ciclos por segundo.

Resumen

Los inversores se dimensionan de dos formas. La primera es la cantidad de Watts que el inversor puede proporcionar durante ciertos periodos. La segunda es mediante la capacidad pico del inversor. Algunos inversores manejan potencias mayores a las nominales durante cortos intervalos de tiempo, esta característica es importante para arrancar motores que consumen de 2 a 7 veces más potencia al arranque que cuando están funcionando en forma estable. Los inversores son menos eficientes cuando se utilizan a un pequeño porcentaje de su capacidad, por tal motivo éstos deben utilizarse a valores cercanos al de su capacidad nominal.

A continuación se muestra un cuadro resumen (Tabla 5) de los tipos de onda más comunes empleados en sistemas fotovoltaicos.

El inversor utilizado en compartel ; es un inversor Everest, este inversor, presenta dos modos de operación.

Primero se activa cuando entra una llamada; es decir tiene una conexión con el decodificador; y una vez entrada una llamada se activa para que se pueda utilizar el fax(110V). Este es el modo automático.

Existe también el modo manual; que es cuando se quiere hacer uso de el inversor para otras aplicaciones. En este modo se hace uso de un pulsador que activa el inversor.

Tabla 3. Tipos de onda generada por los inversores.

	Onda Cuadrada	Onda Modificada	Pulso Modulado	Onda Senoidal
	(Estado Sólido)			
Salida Estándar (watts)	Hasta 1'000,000	300 a 2,500	Hasta 20,000	Hasta 2,000
Capacidad Pico (watts)	20 veces la salida estándar	4 veces la salida estándar	2.5 veces la salida estándar	4 veces la salida estándar
Eficiencia Típica sobre el rango de potencia de salida	70 a 98%	70 a 85%	90%	80 a 85%
Distorsión Armónica*	Hasta 40%	5%	Menos que 5%	1 a 2%
* La distorsión armónica debe ser lo menos posible ya que describe errores en la forma de la onda.				

Fuente: http://www.mastervolt.com/inverter/index_ES.asp

2. PRUEBAS

Como se mencionó en la teoría, mientras mayor sea el área de panel que esta sometida a la energía solar ,mayor será la cantidad de energía eléctrica producida. El hecho de que sea cubierta la mayor área de panel y a su vez genere mayor electricidad, depende directamente de la ubicación del panel y de su inclinación.

En esta sección se presentan las pruebas realizadas para determinar la inclinación mas conveniente que debe tener el panel solar para que la conversión de energía sea la mas apropiada para cargar las baterías dentro del rango de voltaje de interés para tales fines.

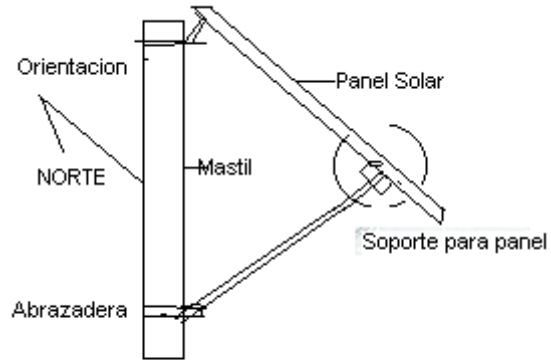
Para la inclinación de panel se hicieron pruebas con distintos ángulos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20 grados, para determinar su mejor ubicación y que proporciona el mejor rendimiento se hizo la lectura de voltaje de panel a intervalos de tiempo de media hora; dado que es el tiempo en el que se perciben variaciones de voltaje.

Las herramientas requeridas para esta prueba son:

- Panel solar.
- Inclinómetro.
- Soporte para panel
- Llaves boca fija 3/8''

En la figura 7 se muestra un esquemático para el montaje de la prueba.

Figura 7. Diagrama esquemático para el montaje de la prueba.



Fuente: Autor

Se hicieron pruebas con un panel de 70watt en los departamentos de Meta, Guaviare y Vichada. En cada departamento se hicieron 3 mediciones en distintas localidades y para distintas inclinaciones, los datos en el anexo 3..

Con el fin de revisar que tan representativo es el promedio de las mediciones tomadas para cada departamento se calcularon las desviaciones estándar para cada toma, teniendo en cuenta que el conjunto de datos a evaluar corresponde a las tres mediciones hechas en cada momento de la toma para cada ángulo. Los datos de las desviaciones estándar se muestran en las tablas 4 a 6.....

Tabla 4 . Desviaciones estándar para las mediciones hechas en el departamento del Meta.

HORA	10 °	11 °	12 °	13 °	14 °	15 °	16 °	20 °
06:00 a.m.	0.0245	0.0816	0.0062	0.0082	0.0125	0.0249	0.0432	0.0163
06:30 a.m.	0.0309	0.0170	0.0316	0.0082	0.0125	0.0163	0.0432	0.0245
07:00 a.m.	0.0732	0.0170	0.1247	0.0047	0.0170	0.3091	0.0082	0.0205
07:30 a.m.	0.0707	0.0170	0.0984	0.0094	0.0082	0.0816	0.0432	0.1391
08:00 a.m.	0.0638	0.0170	0.1461	0.0170	0.0125	0.0464	0.0163	0.0082
08:30 a.m.	0.0591	0.0170	0.0236	0.0125	0.0082	0.0464	0.1511	0.0170
09:00 a.m.	0.0432	0.0125	0.0170	0.0125	0.0125	0.0249	0.0330	0.0249
09:30 a.m.	0.0170	0.0125	0.0262	0.0386	0.0094	0.0249	0.0294	0.0163
10:00 a.m.	0.0262	0.0125	0.0386	0.0205	0.0082	0.0287	0.0216	0.0163
10:30 a.m.	0.0816	0.0816	0.0205	0.0205	0.0047	0.0330	0.0163	0.0205
11:00 a.m.	0.0816	0.0822	0.0094	0.0205	0.0216	0.0294	0.0294	0.0125
11:30 a.m.	0.0816	0.0125	0.0094	0.0170	0.0125	0.0309	0.0294	0.0245
12:00 m	0.1247	0.0163	0.0170	0.0125	0.0205	0.0170	0.0499	0.0047
12:30 p.m.	0.2055	0.0403	0.0125	0.0125	0.0125	0.0205	0.0531	0.0094
01:00 p.m.	0.0816	0.0822	0.0082	0.0094	0.0047	0.0497	0.0205	0.0082
01:30 p.m.	0.0471	0.0943	0.0205	0.0170	0.0464	0.0497	0.0205	0.0082
02:00 p.m.	0.0816	0.0942	0.0403	0.0170	0.0262	0.0497	0.0205	0.0294
02:30 p.m.	0.1247	0.0047	0.0170	0.0125	0.0170	0.0309	0.0205	0.0356
03:00 p.m.	0.1247	0.0216	0.0082	0.0249	0.0249	0.0309	0.0163	0.0216
03:30 p.m.	0.1247	0.0216	0.0082	0.0163	0.0262	0.0432	0.0125	0.0262
04:00 p.m.	0.1247	0.0094	0.0125	0.0125	0.0094	0.0249	0.0163	0.0249
04:30 p.m.	0.0170	0.0340	0.0205	0.0816	0.0287	0.0309	0.0283	0.0216
05:00 p.m.	0.0189	0.0205	0.0082	0.0216	0.0624	0.0450	0.0330	0.0374
05:30 p.m.	0.0471	0.0125	0.0125	0.0309	0.0170	0.0356	0.0205	0.0205
06:00 p.m.	0.0082	0.0047	0.0189	0.0094	0.0330	0.0245	0.0327	0.0589

Fuente: Autor

Tabla 5 . Desviaciones estándar para las mediciones hechas en el departamento del Guaviare.

HORA	10 °	11 °	12 °	13 °	14 °	15 °	16 °	20 °
06:00 a.m.	0.0141	0.0374	0.0163	0.0141	0.0205	0.0205	0.0163	0.0205
06:30 a.m.	0.0408	0.0294	0.0163	0.0170	0.0170	0.0249	0.0163	0.0330
07:00 a.m.	0.0408	0.0205	0.0163	0.0170	0.0205	0.0205	0.0205	0.0163
07:30 a.m.	0.0374	0.0170	0.0163	0.0125	0.0170	0.0309	0.0205	0.0205
08:00 a.m.	0.0374	0.0170	0.0163	0.0170	0.0082	0.0163	0.0330	0.0356
08:30 a.m.	0.0374	0.0170	0.0163	0.0082	0.0163	0.0170	0.1472	0.0170
09:00 a.m.	0.0602	0.0170	0.0249	0.0082	0.0082	0.0163	0.0283	0.0082
09:30 a.m.	0.0245	0.0205	0.0163	0.0309	0.0189	0.0170	0.0216	0.0216
10:00 a.m.	0.0082	0.0082	0.0163	0.0163	0.0170	0.0094	0.0125	0.0356
10:30 a.m.	0.0170	0.0163	0.0245	0.0141	0.0170	0.0287	0.0374	0.0125
11:00 a.m.	0.0170	0.0082	0.0082	0.0249	0.0170	0.0170	0.0125	0.0205
11:30 a.m.	0.0245	0.0163	0.0497	0.0082	0.0309	0.0356	0.0205	0.0249
12:00 m	0.0245	0.0216	0.0163	0.0205	0.0082	0.0356	0.0205	0.0205
12:30 p.m.	0.0249	0.0668	0.0170	0.0205	0.0205	0.0125	0.0125	0.0309
01:00 p.m.	0.0327	0.0356	0.0170	0.0340	0.0205	0.0327	0.0356	0.0125
01:30 p.m.	0.0205	0.0249	0.0205	0.0125	0.0189	0.0340	0.0283	0.0125
02:00 p.m.	0.0170	0.0249	0.0163	0.0287	0.0125	0.0340	0.0141	0.0125
02:30 p.m.	0.0205	0.0249	0.0330	0.0170	0.0205	0.0340	0.0249	0.0125
03:00 p.m.	0.0294	0.0510	0.0216	0.0368	0.0287	0.0163	0.0262	0.0082
03:30 p.m.	0.0492	0.0374	0.0141	0.0287	0.0368	0.0216	0.0309	0.0082
04:00 p.m.	0.0455	0.0082	0.0287	0.0205	0.0163	0.0205	0.0205	0.0249
04:30 p.m.	0.0455	0.0163	0.0163	0.0125	0.0163	0.0205	0.0216	0.0170
05:00 p.m.	0.0249	0.0082	0.0125	0.0205	0.0386	0.0216	0.0216	0.0216
05:30 p.m.	0.0249	0.0287	0.0262	0.0205	0.0356	0.0163	0.0163	0.0411
06:00 p.m.	0.0082	0.0125	0.0163	0.0163	0.0163	0.0294	0.0356	0.0170

Fuente: Autor

Tabla 6 . Desviaciones estándar para las mediciones hechas en el departamento del Vichada.

HORA	10 °	11 °	12 °	13 °	14 °	15 °	16 °	20 °
06:00 a.m.	0.0216	0.0245	0.0170	0.0163	0.0125	0.0125	0.0356	0.0327
06:30 a.m.	0.0082	0.0170	0.0216	0.0205	0.0205	0.0245	0.0205	0.0356
07:00 a.m.	0.0163	0.0082	0.0125	0.0205	0.0082	0.0245	0.0249	0.0330
07:30 a.m.	0.0249	0.0170	0.0125	0.0294	0.0163	0.0082	0.0216	0.0330
08:00 a.m.	0.0163	0.0170	0.0205	0.0205	0.0245	0.0163	0.0189	0.0309
08:30 a.m.	0.0216	0.0205	0.0205	0.0330	0.0163	0.0189	0.0170	0.0236
09:00 a.m.	0.0163	0.0125	0.0309	0.0163	0.0163	0.0094	0.0216	0.0216
09:30 a.m.	0.0170	0.0125	0.0249	0.0125	0.0125	0.0205	0.0170	0.0170
10:00 a.m.	0.0170	0.0170	0.0330	0.0170	0.0249	0.0163	0.0125	0.0327
10:30 a.m.	0.0216	0.0163	0.0163	0.0163	0.0125	0.0125	0.0163	0.0287
11:00 a.m.	0.0205	0.0082	0.0163	0.0163	0.0082	0.0245	0.0125	0.0125
11:30 a.m.	0.0125	0.0205	0.0125	0.0205	0.0125	0.0163	0.0163	0.0249
12:00 m	0.0249	0.0205	0.0163	0.0170	0.0163	0.0294	0.0125	0.0205
12:30 p.m.	0.0163	0.0125	0.0408	0.0205	0.0163	0.0216	0.0125	0.0249
01:00 p.m.	0.0082	0.0047	0.0163	0.0170	0.0082	0.0249	0.0170	0.0125
01:30 p.m.	0.0163	0.0205	0.0125	0.0125	0.0170	0.0125	0.0125	0.0216
02:00 p.m.	0.0216	0.0205	0.0125	0.0205	0.0216	0.0125	0.0170	0.0170
02:30 p.m.	0.0082	0.0450	0.0125	0.0205	0.0309	0.0170	0.0170	0.0125
03:00 p.m.	0.0047	0.0741	0.0163	0.0125	0.0170	0.0163	0.0170	0.0531
03:30 p.m.	0.0216	0.0205	0.0245	0.0283	0.0170	0.0163	0.0170	0.0685
04:00 p.m.	0.0205	0.0163	0.0205	0.0170	0.0262	0.0163	0.0330	0.0330
04:30 p.m.	0.0249	0.0287	0.0163	0.0205	0.0163	0.0216	0.0170	0.0205
05:00 p.m.	0.0163	0.0287	0.0205	0.0205	0.0205	0.0205	0.0170	0.0283
05:30 p.m.	0.0340	0.0249	0.0163	0.0082	0.0216	0.0287	0.0125	0.0216
06:00 p.m.	0.0245	0.0262	0.0170	0.0170	0.0170	0.0141	0.0216	0.0189

Fuente: Autor

A partir de los datos de las tablas se puede concluir que el promedio de las muestras para las diferentes mediciones es representativo, por lo tanto de ahora en adelante se tomará el promedio para analizar los criterios de carga de baterías.

El comportamiento del voltaje durante las horas soleadas del día para cada inclinación y cada departamento se muestran en las figuras.8 a 31; en las gráficas se muestran las tres mediciones y el promedio con el objetivo de observar la dispersión de los datos para cada curva.

Figura 8. Voltaje de panel para una inclinación de 10°.(Meta)

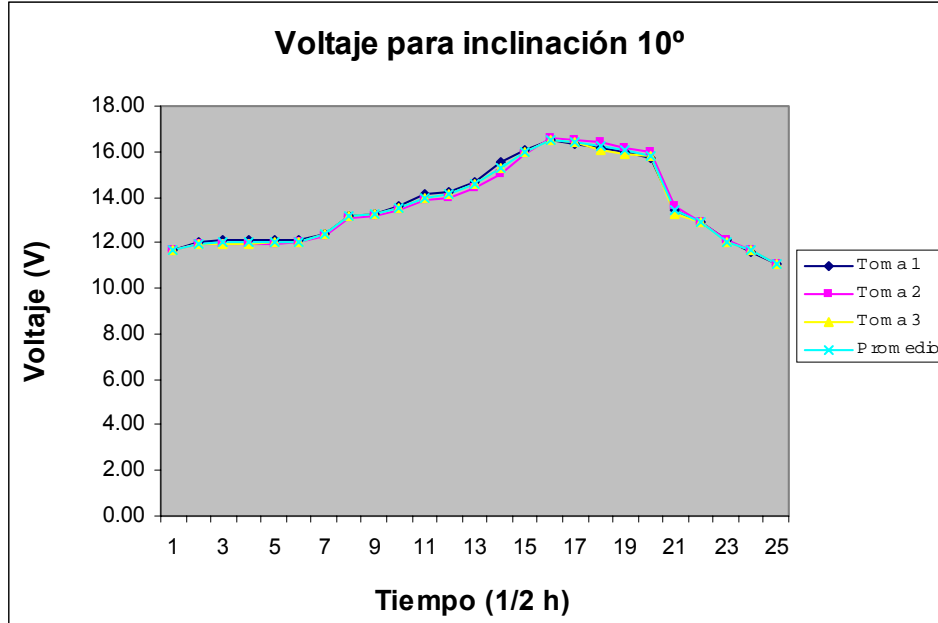


Figura 9. Voltaje de panel para una inclinación de 11°.(Meta)

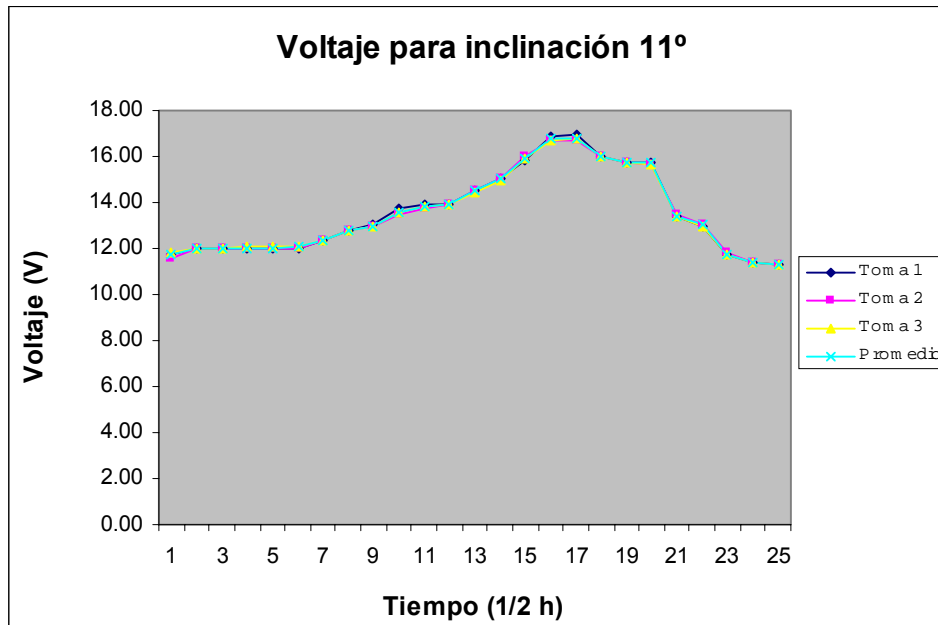


Figura 10. Voltaje de panel para una inclinación 12°(Meta)

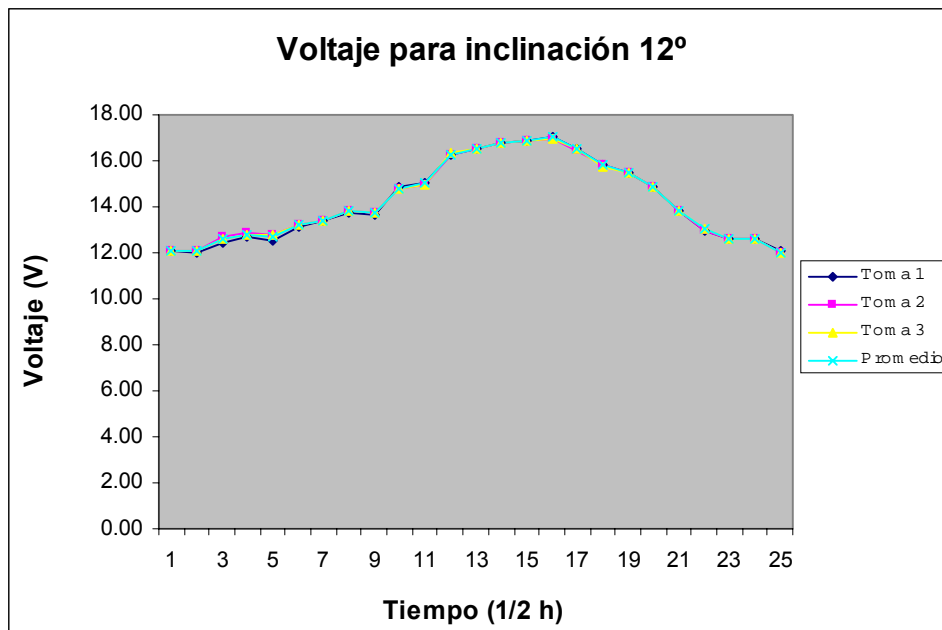


Figura 11. Voltaje de panel para una inclinación de 13°.(Meta)

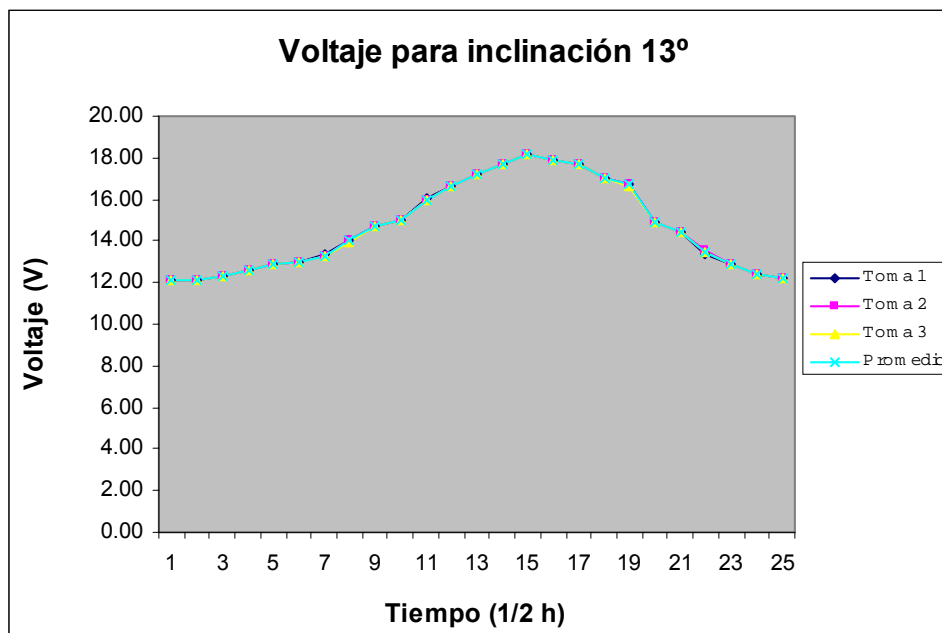


Figura 12. Voltaje de panel para una inclinación de 14°. (Meta)

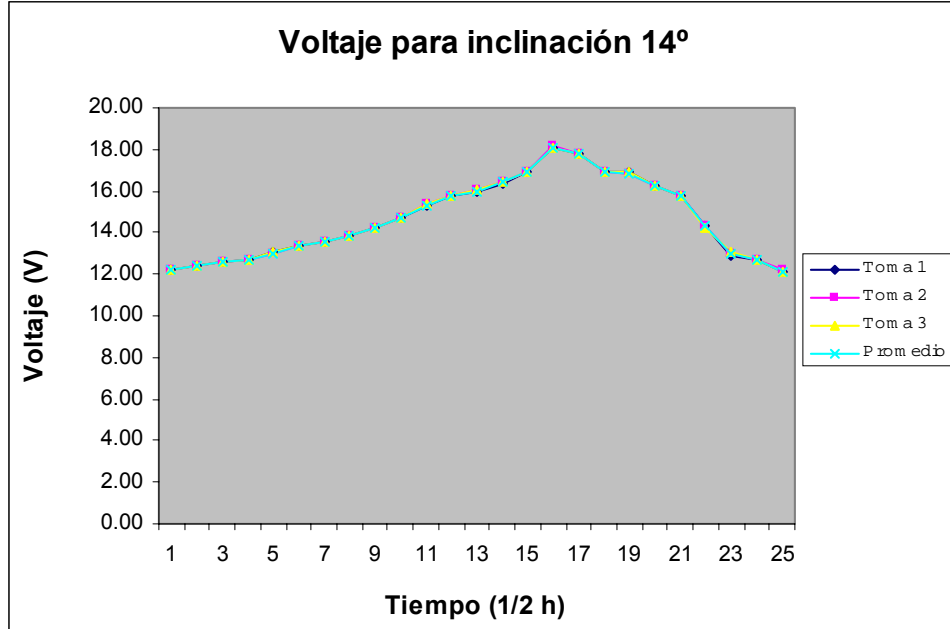


Figura 13. Voltaje de panel para una inclinación de 15°. (Meta)

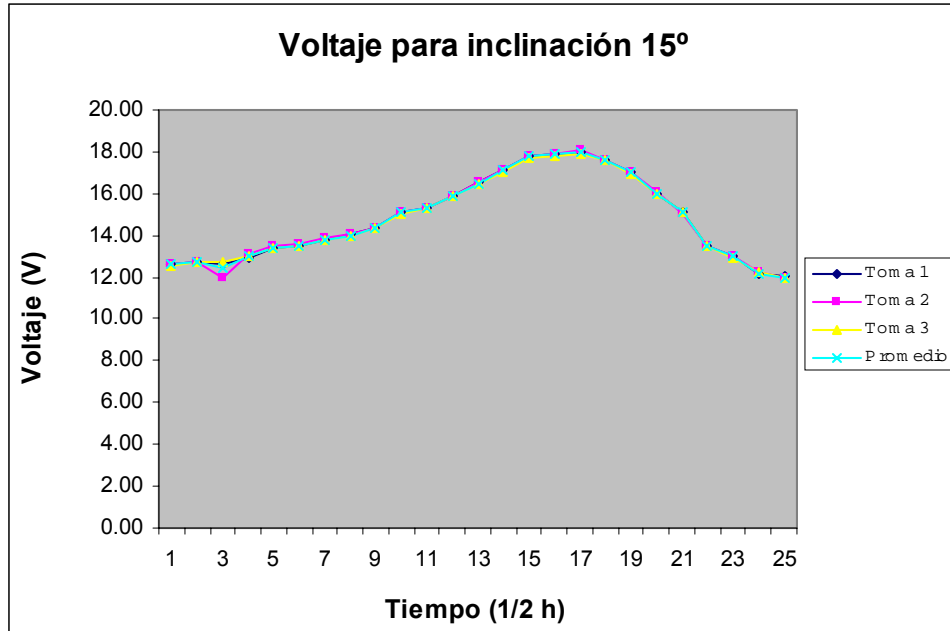


Figura 14. Voltaje de panel para una inclinación de 16°. (Meta)

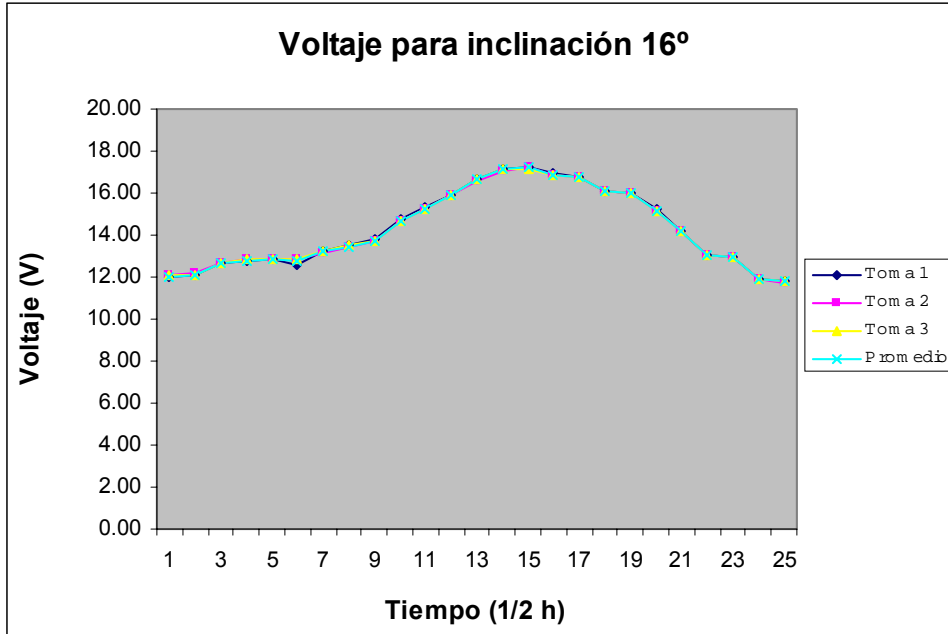


Figura 15. Voltaje de panel para una inclinación de 20°. (Meta)

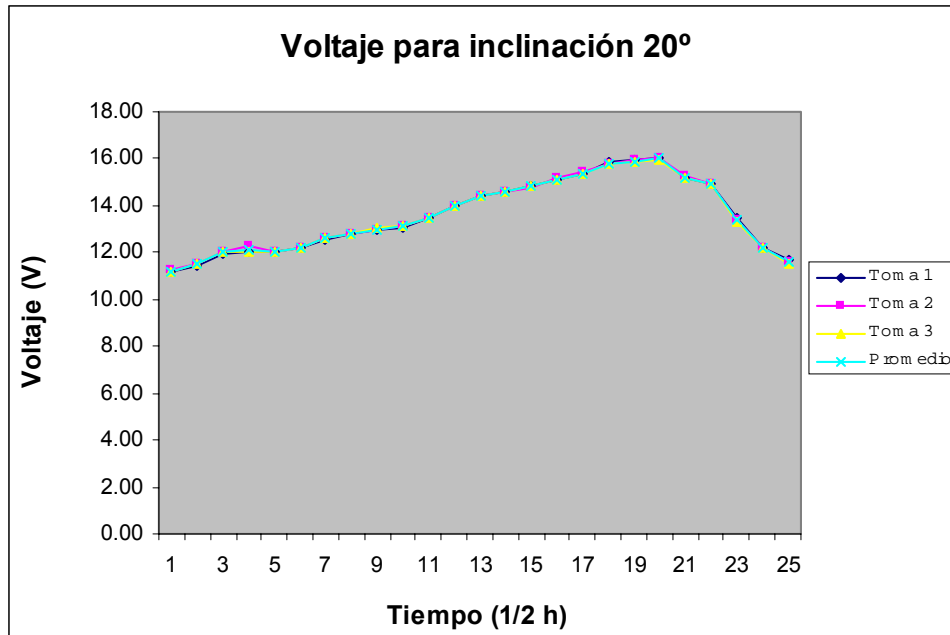


Figura 16. Voltaje de panel para una inclinación de 10°.(Guaviare)

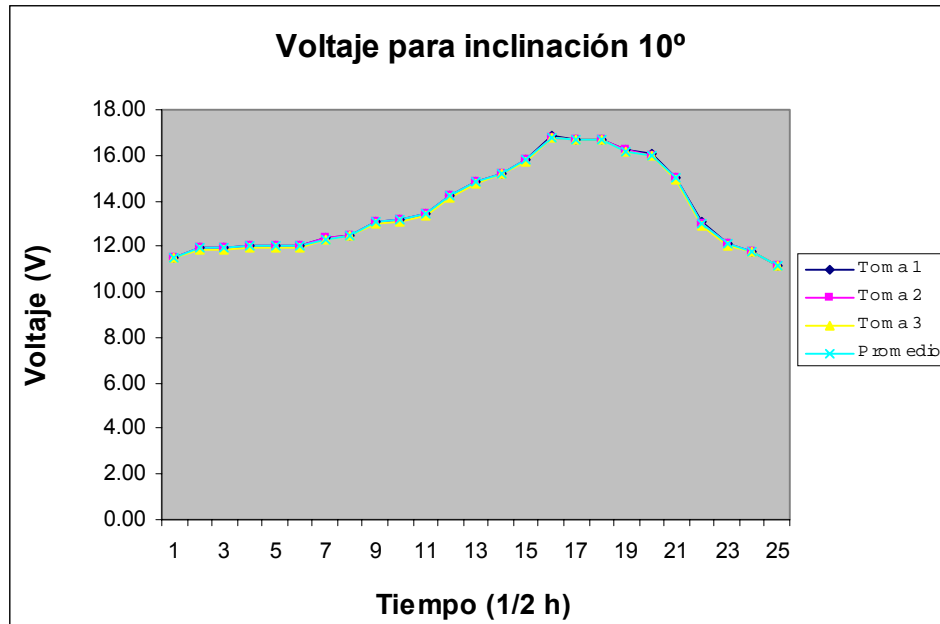


Figura 17. Voltaje de panel para una inclinación de 11°.(Guaviare)

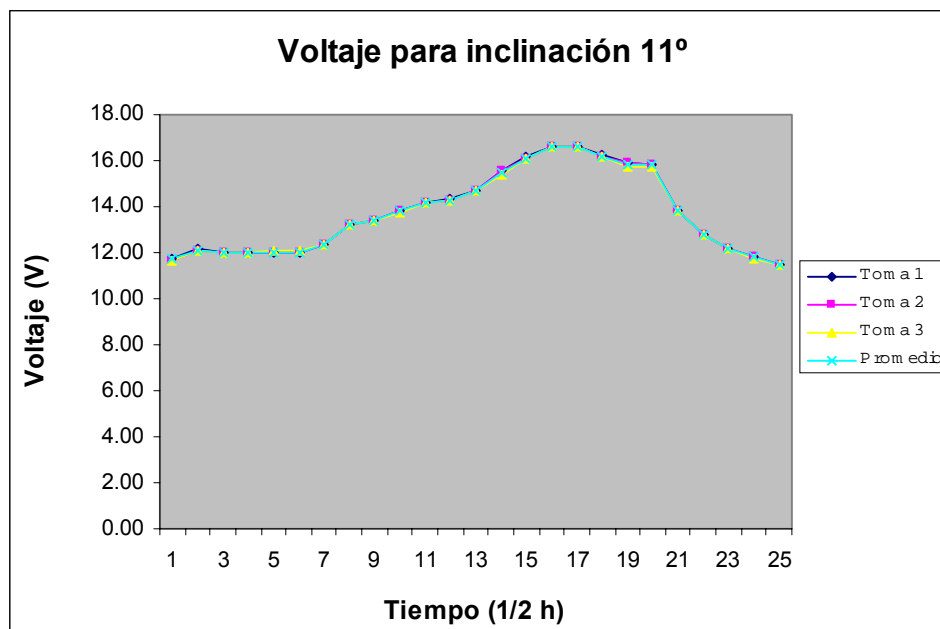


Figura 18. Voltaje de panel para una inclinación de 12°. (Guaviare)

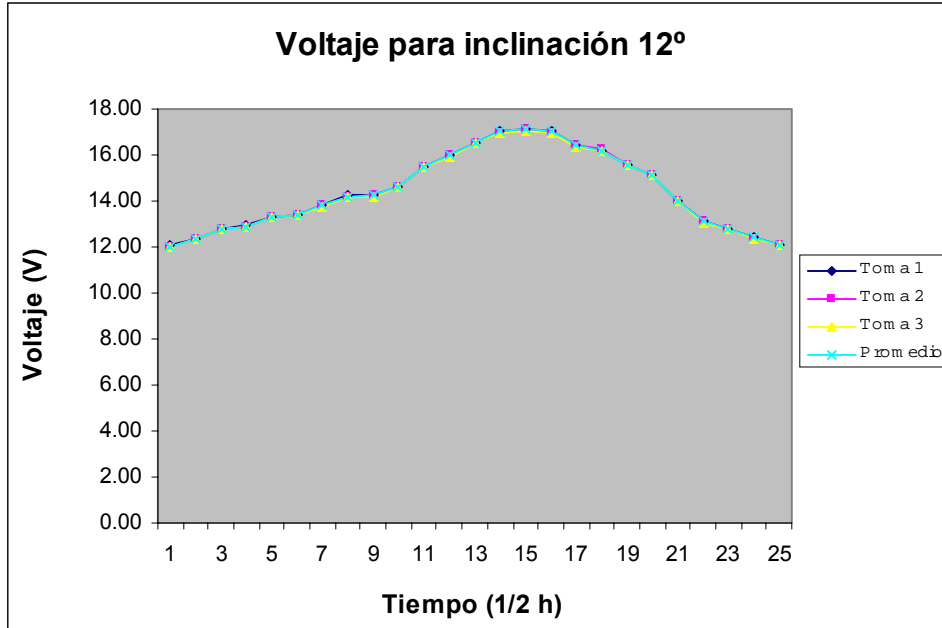


Figura 19. Voltaje de panel para una inclinación de 13°. (Guaviare)

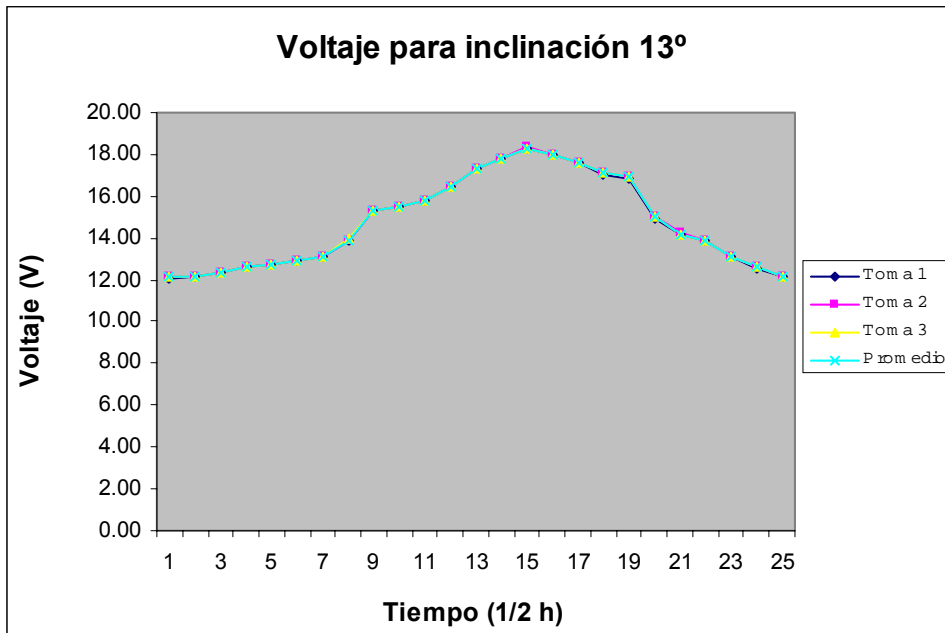


Figura 20. Voltaje de panel para una inclinación de 14°.(Guaviare)

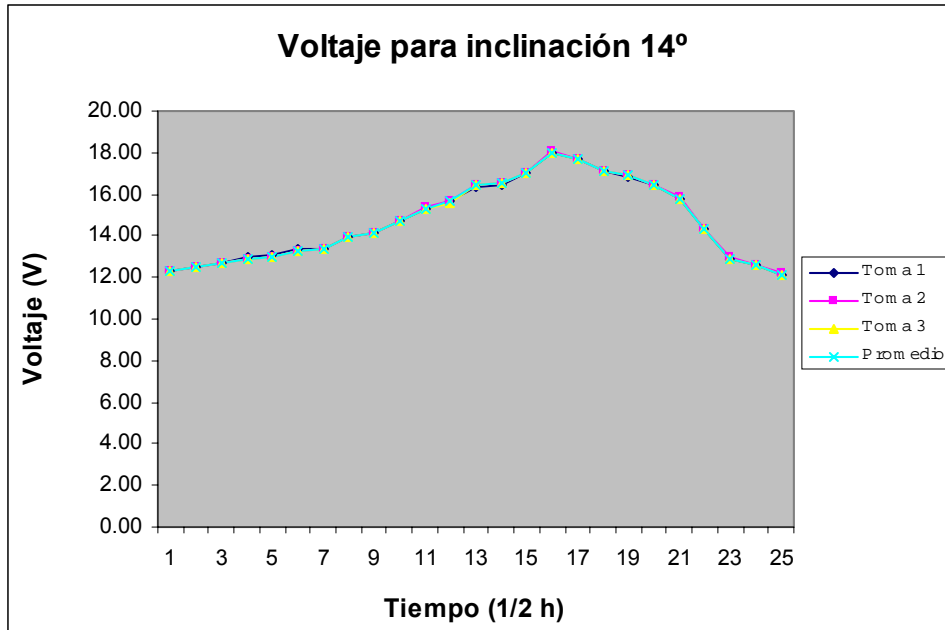


Figura 21. Voltaje de panel para una inclinación de 15°.(Guaviare)

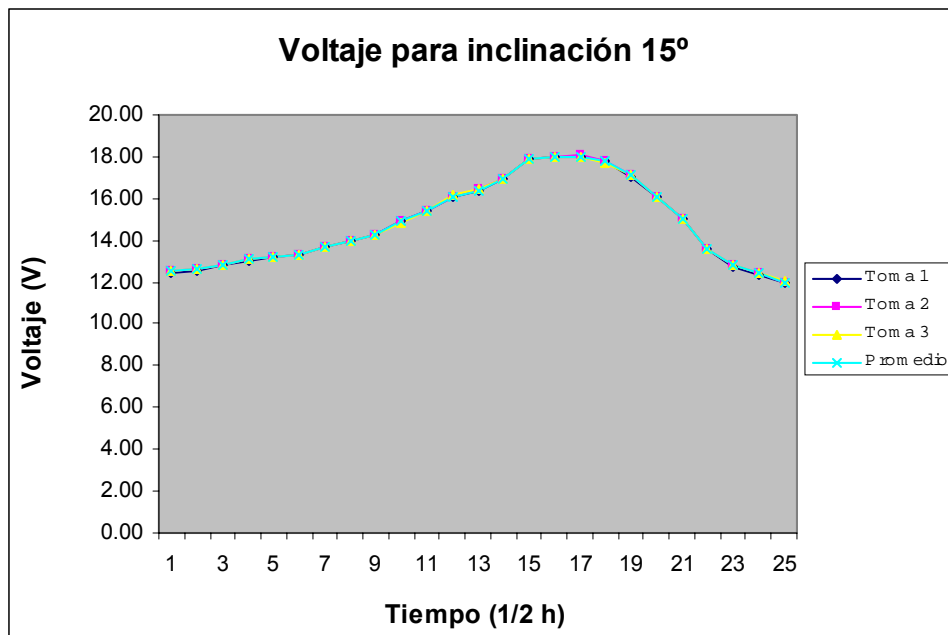


Figura 22. Voltaje de panel para una inclinación de 16°. (Guaviare)

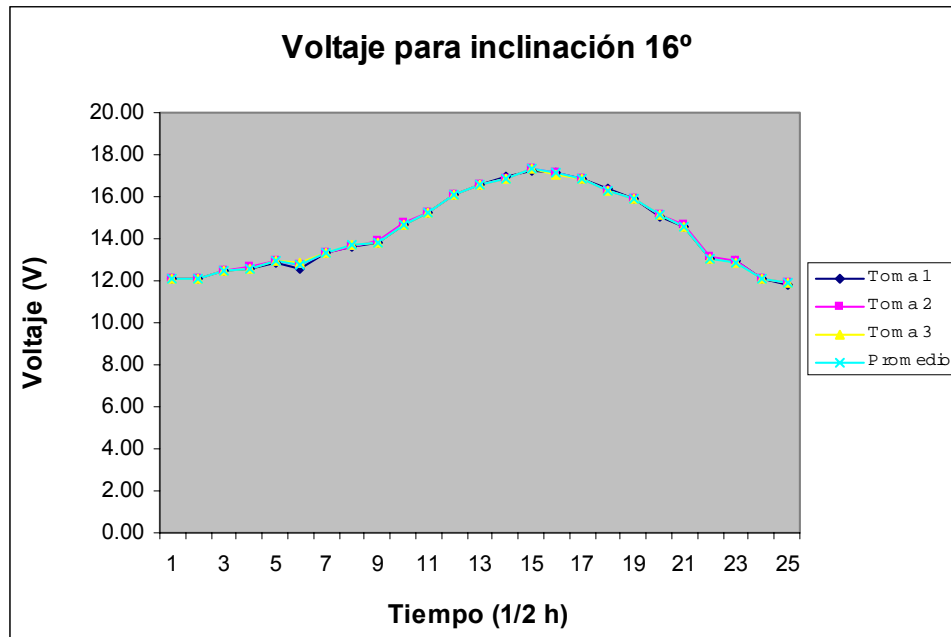


Figura 23. Voltaje de panel para una inclinación de 20°. (Guaviare)

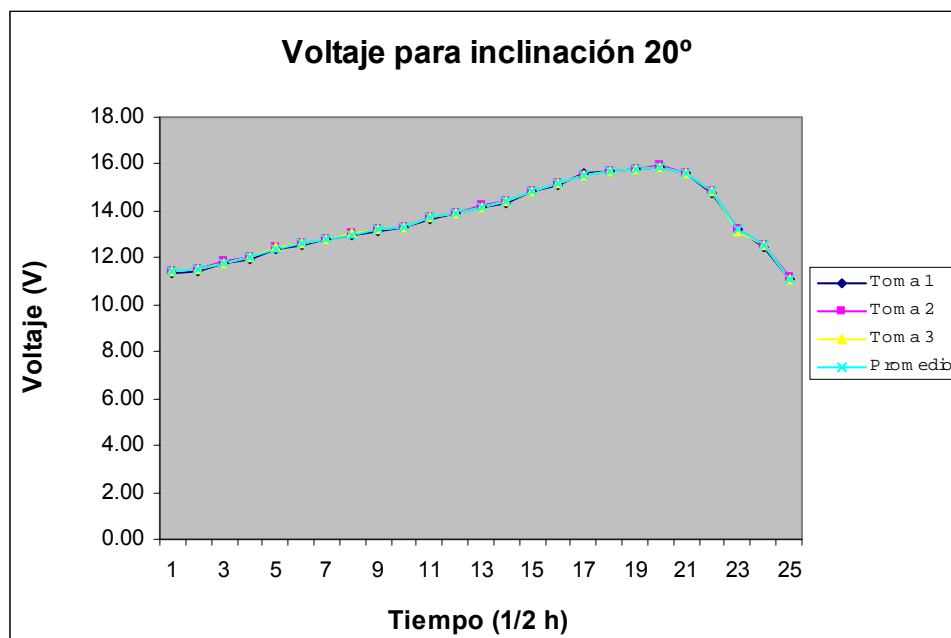


Figura 24. Voltaje de panel para una inclinación de 10°. (Vichada)

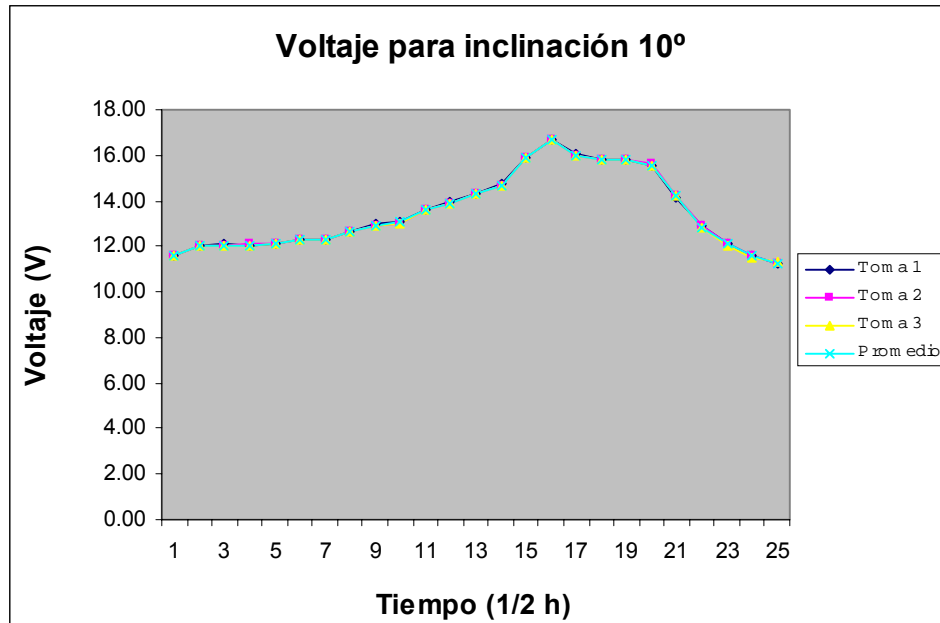


Figura 25. Voltaje de panel para una inclinación de 11°. (Vichada)

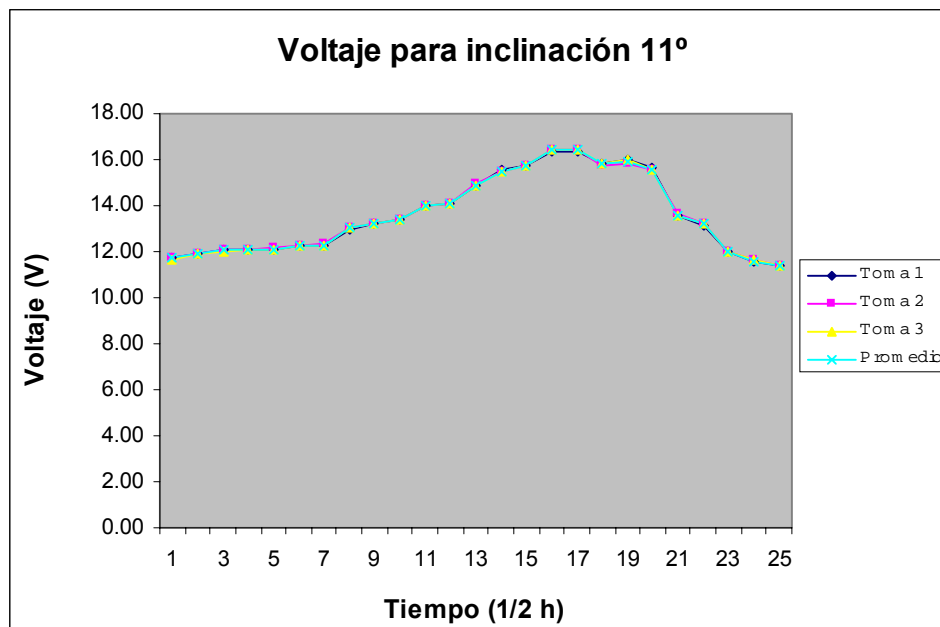


Figura 26. Voltaje de panel para una inclinación de 12°. (Vichada)

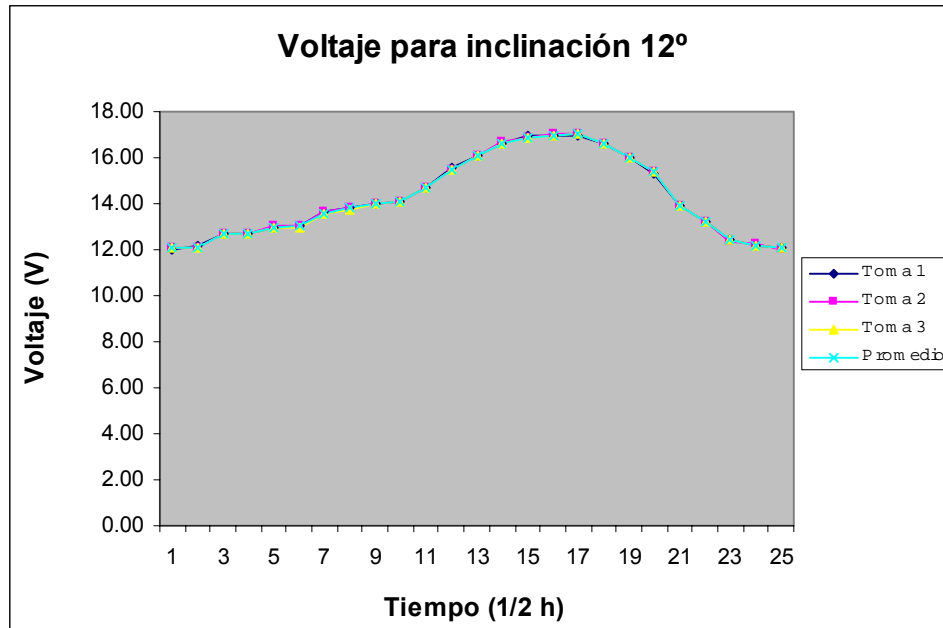


Figura 27. Voltaje de panel para una inclinación de 13°. (Vichada)

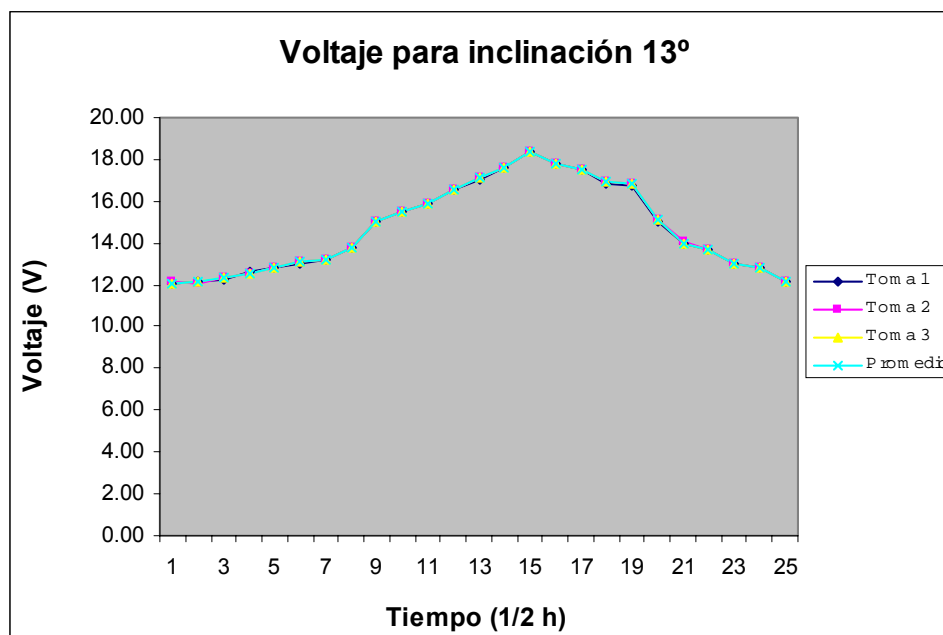


Figura 28. Voltaje de panel para una inclinación de 14°.(Vichada)

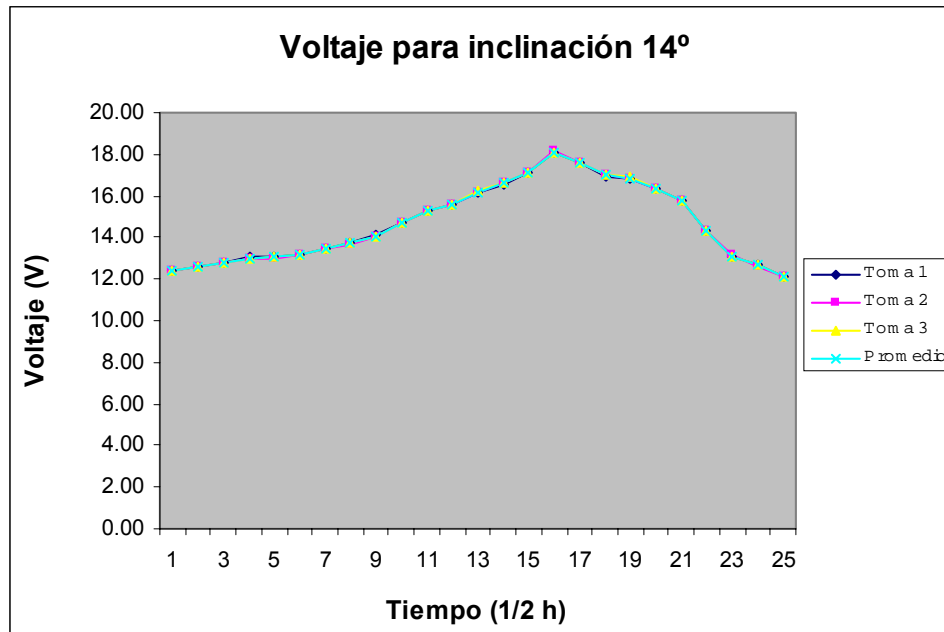


Figura 29. Voltaje de panel para una inclinación de 15°.(Vichada)

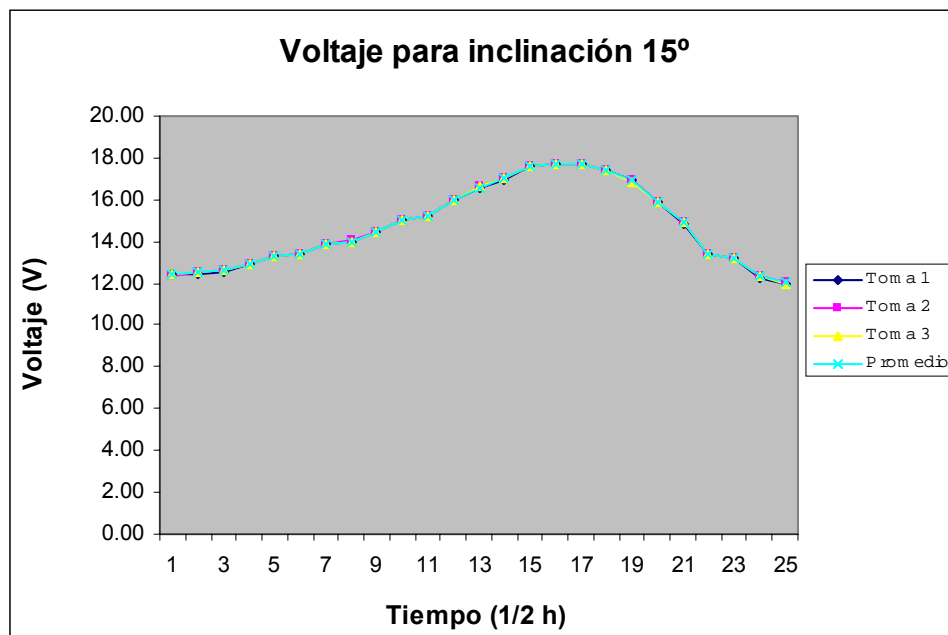


Figura 30. Voltaje de panel para una inclinación de 16°. (Vichada)

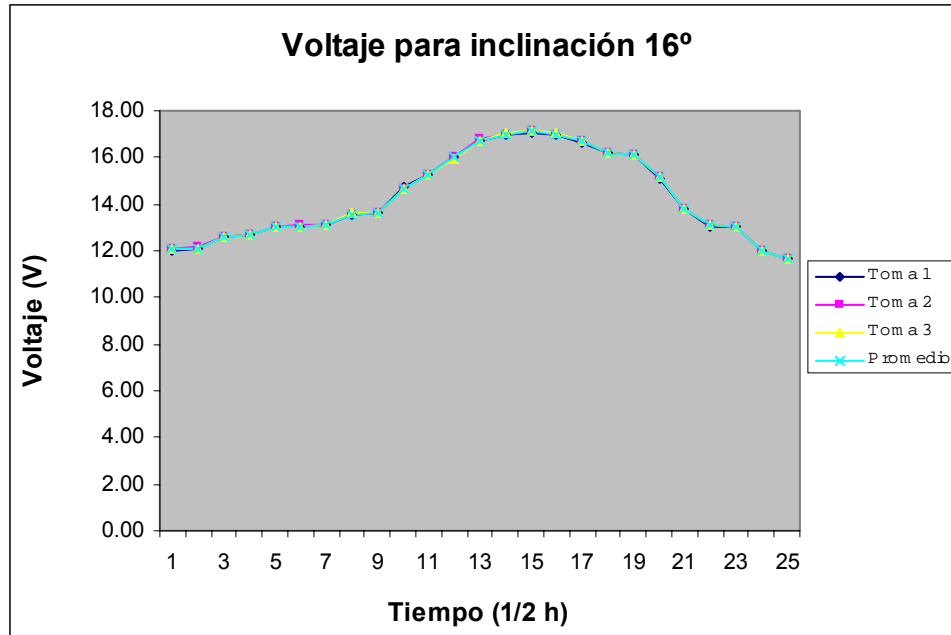
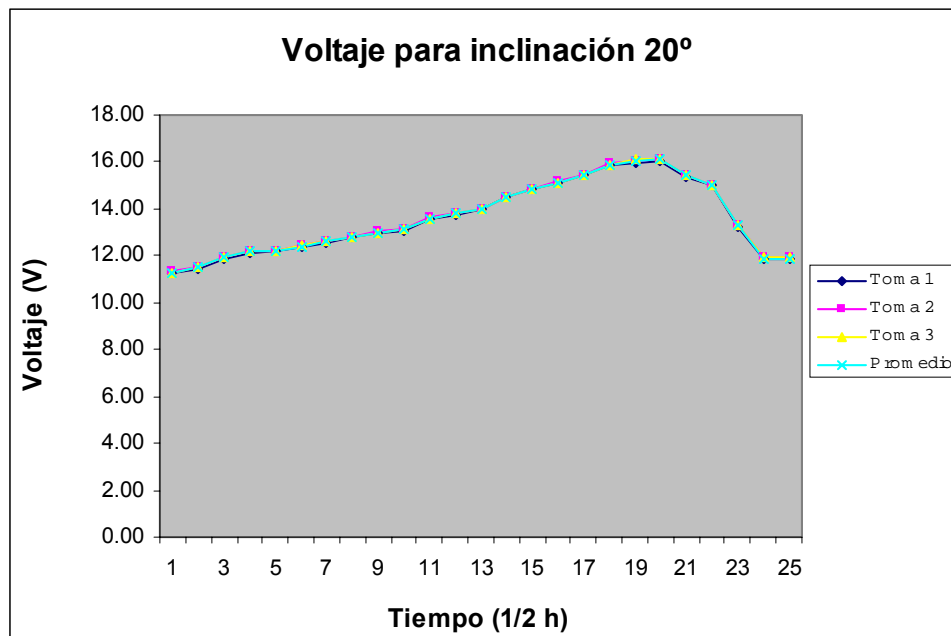


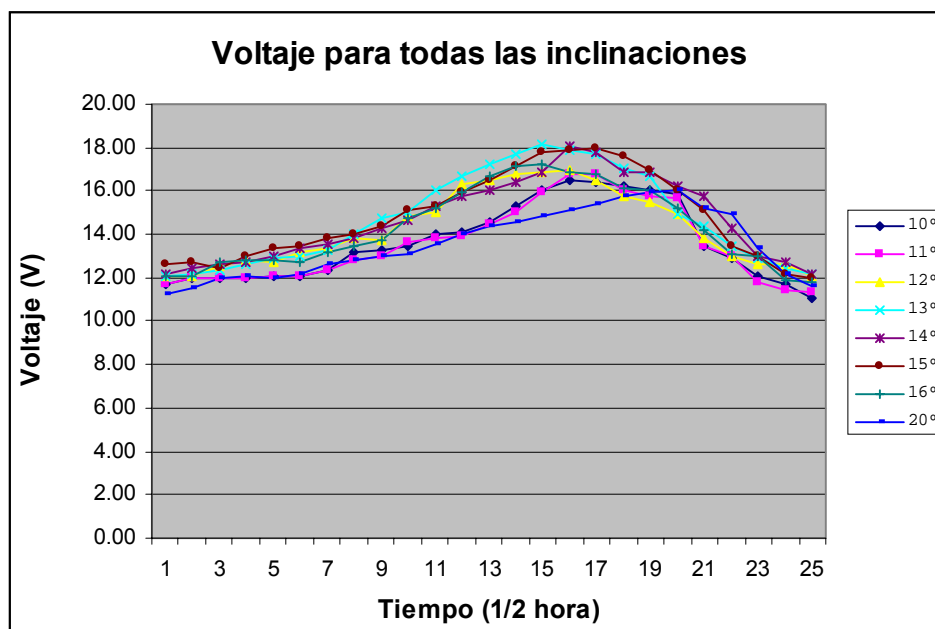
Figura 31. Voltaje de panel para una inclinación de 20°. (Vichada)



Como se dijo anteriormente y al observar las gráficas se puede afirmar que los datos que corresponden al promedio de las mediciones son valores representativos, por lo tanto dichos valores se tomarán para la evaluación de las inclinaciones que se recomendarán en el presente trabajo.

En las figuras 32 a 34 se puede observar el comportamiento del voltaje para todas las inclinaciones estudiadas.

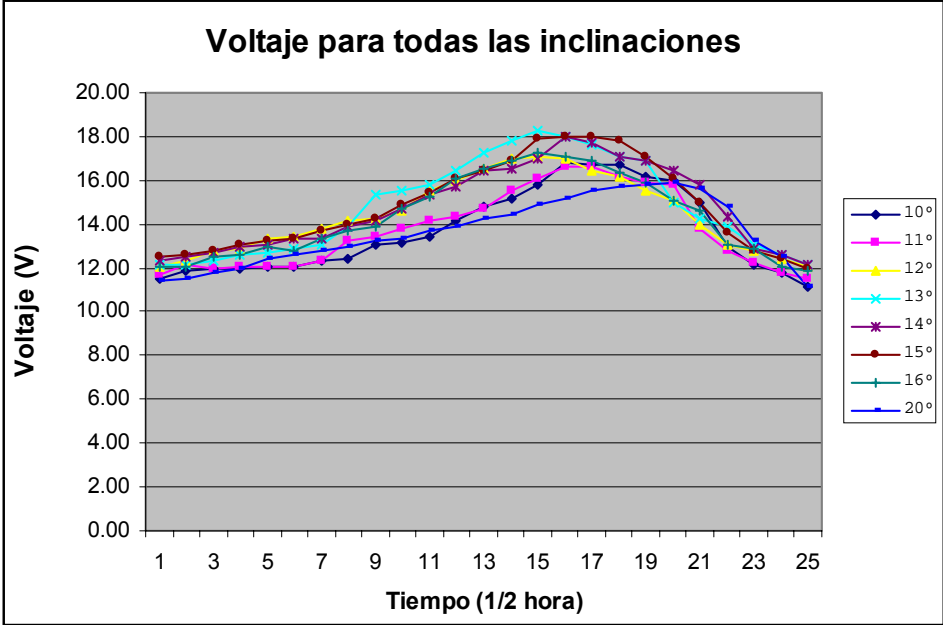
Figura 32 . Voltaje de panel para todas las inclinaciones .(Meta)



De la gráfica anterior donde se encuentra el conjunto de curvas para las distintas inclinaciones en el departamento del Meta, se puede deducir que las características de Voltaje Vs Tiempo para las inclinaciones de 12 a 15 cumplen con los criterios de carga de batería mencionados en la teoría. Dado que para los datos correspondientes a las otras inclinaciones se pierden horas de carga de la batería; para 10° se observa que sólo sobrepasa los 12 voltios a partir de las siete de la mañana y a partir de las cinco y media de la tarde la medición muestra un valor inferior a los 12 voltios, lo

cual implica dos horas diarias (una hora en la mañana y una hora en la tarde) de pérdida en el tiempo necesario para cargar las baterías. Para los datos correspondientes a la inclinación de 11° se puede decir que se pierden hora y media de carga (media hora en la mañana y una hora en la tarde); para 16° la batería deja de recibir carga durante media hora (a partir de las cinco y media de la tarde) y para la inclinación de 20° la pérdida equivale a una hora y media (una hora en la mañana y media en la tarde).

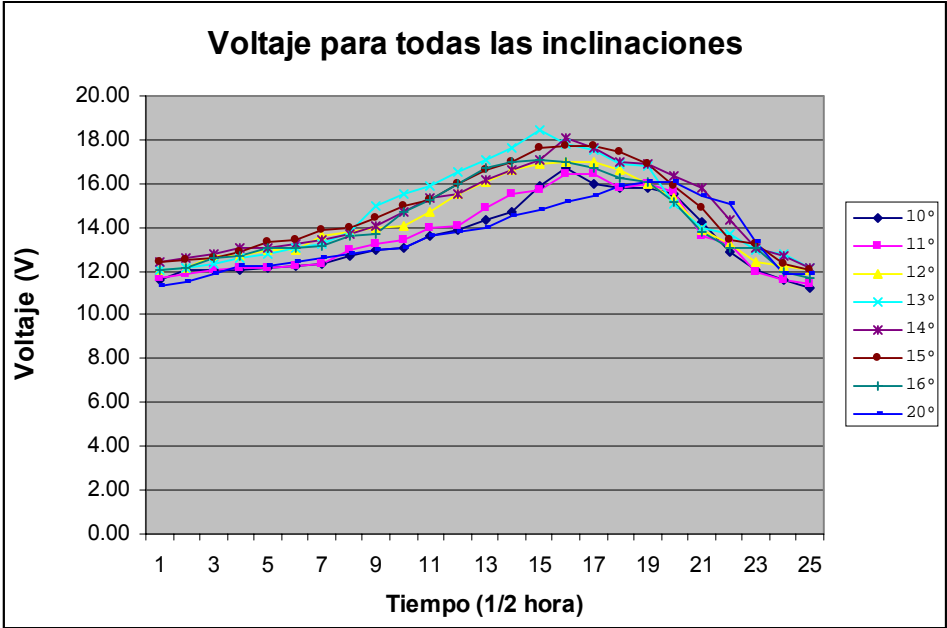
Figura 33 . Voltaje de panel para todas las inclinaciones .(Guaviare)



De la gráfica anterior donde se encuentra el conjunto de curvas para las distintas inclinaciones en el departamento del Guaviare, se puede deducir que las características de Voltaje Vs Tiempo para las inclinaciones de 12 a 15 cumplen con los criterios de carga de batería mencionados en la teoría. Dado que para los datos correspondientes a las otras inclinaciones se pierden horas de carga de la batería; para 10° se observa que sólo sobrepasa los 12 voltios a partir de las siete y media de la mañana y a partir de las cinco y media de la tarde la medición muestra un valor inferior a los 12 voltios, lo cual implica una hora y media diarias (una hora en la mañana y media hora en la tarde) de pérdida en el tiempo necesario para cargar las baterías. Para los datos

correspondientes a la inclinación de 11° se puede decir que se pierde una hora de carga (media hora en la mañana y media hora en la tarde); para 16° la batería deja de recibir carga durante media hora (a partir de las cinco y media de la tarde) y para la inclinación de 20° la pérdida equivale a una hora y media (una hora en la mañana y media en la tarde). Para este departamento la inclinación de 15° podría no llegar a ser conveniente ya que a las seis de la tarde el voltaje ya está por debajo de los 12 voltios lo cual indicaría una pequeña pérdida en la carga.

Figura 34 . Voltaje de panel para todas las inclinaciones .(Vichada)



De la gráfica anterior donde se encuentra el conjunto de curvas para las distintas inclinaciones en el departamento del Guaviare, se puede deducir que las características de Voltaje Vs Tiempo para las inclinaciones de 12 a 15 cumplen con los criterios de carga de batería mencionados en la teoría. Dado que para los datos correspondientes a las otras inclinaciones se pierden horas de carga de la batería; para 10° se observa que sólo sobrepasa los 12 voltios a partir de las seis y media y media de la mañana, lo cual implica media hora diaria de pérdida en el tiempo necesario para cargar las baterías. Para los datos correspondientes a la inclinación de 11° se puede decir

que se pierde una hora de carga (media hora en la mañana y media hora en la tarde); para 16° la batería deja de recibir carga durante media hora (a partir de las cinco y media de la tarde) y para la inclinación de 20° la pérdida equivale a una hora y media (una hora en la mañana y media en la tarde).

3. INSTALACIÓN.

En la gran mayoría de sistemas solares, el mal funcionamiento se atribuye a una mala instalación del sistema. Por ejemplo: Baterías que no cumplen con las dimensiones requeridas por el sistema, paneles o módulos solares en una ubicación incorrecta. Cableado mal hecho, conexiones incorrectas; etc.

Es importante tener en cuenta que la operación continua y eficiente depende de una buena labor de instalación , que cumpla con los criterios que se establecen a continuación.

Cuando se va a proceder a la instalación física del sistema fotovoltaico se debe realizar previamente un estudio que determine las condiciones del sistema que se debe instalar, esto es lo que se conoce con el nombre de *Dimensionamiento del sistema.[11]*

Para esta parte se deben tener en cuenta las características de cada subsistema; así como los parámetros de consumo de los equipos que se deben alimentar mediante este sistema.

3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN.

Para el dimensionado del sistema de captación se deben tener en cuenta las siguientes características.

3.1.1. Voltaje de operación (V_o)

Es el voltaje al cual deben operar los equipos que van a ser alimentados por el sistema, para este caso (Compartel), se va a operar con un voltaje de 12V; es decir $V_o=12v$.

3.1.2. Voltaje nominal (V_n)

Es el voltaje al cual los módulos solares generan electricidad; especificado por el fabricante de los módulos; generalmente es de 6V o 12V.

3.1.3. Corriente de generación (I_m)

Esta corriente es la máxima que puede generar cada uno de los paneles, y este valor depende de la potencia de cada panel , que es un valor especificado por el fabricante.

3.1.4. Potencia de consumo (W_l)

Los equipos que han de conectarse al sistema solar tienen especificaciones de potencia consumida dadas por el fabricante, teniendo este dato y calculando el promedio del tiempo de operación en un día se puede obtener el valor de potencia de consumo (W_l), expresado en Wh/d.(watt hora en un día)

3.1.5. Coeficiente de Generación (kg)

Es un factor de seguridad que se aplica sobre la potencia de consumo (W_l), este factor corrige el error introducido al calcular el tiempo promedio diario de operación en W_l ; así como la cantidad de potencia que consumen todos los aparatos conectados al sistema solar; es un valor que oscila entre el 10% y 20% dependiendo del proveedor. La aplicación de este factor garantiza que el sistema dimensionado logre generar la potencia suficiente en cualquier época del año.

El número de paneles solares necesarios para un sistema se debe calcular de la siguiente forma.

Numero de paneles en serie. (Ps).

$$Ps=Vo/Vn$$

Numero de paneles en paralelo(Pp).

$$Pp=((Wl)*(1+Kg)/Vo)/Im.$$

Numero total de paneles.(Pt).

$$Pt=Ps*Pp$$

3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO.

Para el dimensionamiento del subsistema de almacenamiento (Banco de baterías) se deben tener en cuenta los siguientes conceptos.

- La energía que debe abastecer diariamente.(Ed). Dada en A-h (amperios-hora).
- La autonomía que debe proporcionar durante periodos nublados.(A) (Dias).
- La profundidad de descarga.(Pd) (adimensional).

Con estos datos se debe dimensionar el sistema de almacenamiento así:

$C = (Ed * A) / Pd$. Esta es la capacidad que debe tener el sistema de almacenamiento; una vez conocido este valor, se debe tener en cuenta el voltaje de operación y el voltaje nominal de la batería, para calcular el numero de baterías en serie que necesita el sistema, de igual forma , la cantidad de baterías en paralelo que necesita para suministrar la energía suficiente. Estos datos se calculan de la misma forma que para el panel. Al igual que la cantidad total de baterías. El siguiente ejemplo ilustra la forma de dimensionar el subsistema de almacenamiento:

Un banco de baterías capaz de abastecer a un sistema que opera a 36v, 80 A-h por día con una autonomía de tres días debe tener una capacidad de:

Si la batería es de ciclo ligero: $C_{sis} = (80 \times 3) / 0.2 = 1,200A-h$

Si la batería es de ciclo profundo: $C_{sis} = (80 \times 3)/0.8 = 300A-h$

Donde 0.2 corresponde a la profundidad de descarga (Pd) para baterías de ciclo ligero; y 0.8 para ciclo profundo.

Se ha calculado la capacidad total del sistema; pero supóngase que se cuenta con baterías con capacidad nominal $C_n = 100Ah$ de ciclo profundo a 12V.

Entonces el numero de baterías de este tipo que se necesitan son.

Baterías en serie $= V_o / V_n = 36 / 12 = 3$

Baterías en Paralelo $= C_{sis} / C_n = 300 / 100 = 3$

Numero total de baterías $= \text{Baterías en serie} * \text{Baterías en Paralelo} = 3 * 3 = 9$.

3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA DE REGULACIÓN.

Para la elección del controlador de carga se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Capacidad del controlador. El controlador debe tener suficiente capacidad para controlar la máxima corriente producida por el conjunto fotovoltaico. Multiplique la corriente de cortocircuito del conjunto fotovoltaico por 1.25 para manejar la corriente excesiva ocasional.

Por ejemplo, si un conjunto de 6 módulos de 12 V nominales y 3.5 A cada uno, está arreglado en 2 series de 3 módulos en paralelo, entonces la capacidad del controlador deberá ser:

Capacidad del controlador $= 1.25 \times 3.5 \times 3 = 13.125 A$ a 24 V.

Un controlador de 15 A a 24 V será suficiente.

3.4. INSTALACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA COMPLETO.

3.4.1. Generalidades.

Se debe tener en cuenta para la correcta instalación de los paneles que estos deben estar orientados de norte a sur; nunca de oriente a occidente. Se encontró a partir de las pruebas realizadas que la inclinación mas apropiada oscila entre 12 y 15 grados de elevación para los departamentos del Meta Y Vichada; para el departamento del Guaviare la Inclinación de 15grados puede no ser conveniente (Ver Pruebas).

El sitio de ubicación de la instalación del sistema debe contar con el espacio suficiente; y dado que esta depende de la ubicación de la antena de comunicaciones se debe asegurar que el lugar seleccionado para la instalación no interfiera en ninguna forma con la señal de comunicaciones. Debe tenerse en cuenta que el lugar de instalación debe estar lo suficiente mente cerca de los equipos a alimentar; aprox. 8 a12mts, para disminuir las perdidas en el cableado.

El sistema a tierra SPAT debe quedar lo mas cerca posible de la torre donde va a quedar instalado el panel o arreglo solar.

Para la instalación se tienen los siguientes objetos complementarios.

3.4.1.1 Estructura y Gabinete.

La estructura como su nombre lo indica es un armazón que sirve de soporte al arreglo solar.

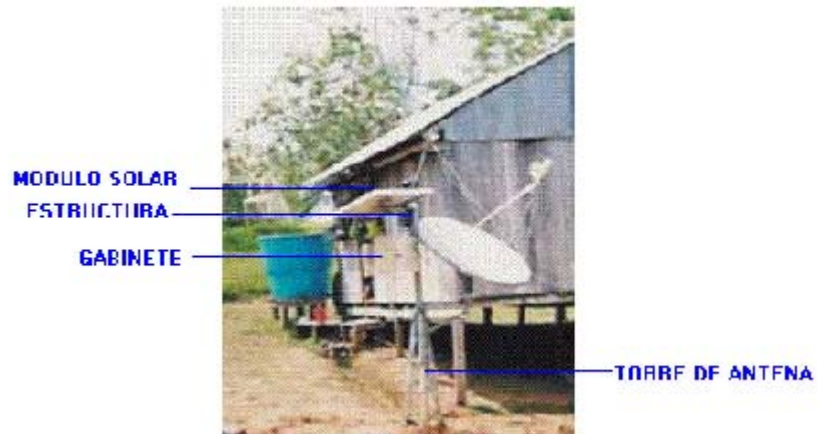
El arreglo solar se coloca en un brazo que hace parte del soporte del panel, y va fijo a la torre satelital como se muestra en las figuras 35 y 36, las cuales corresponden a fotografías tomadas en el del departamento del Guaviare.

De igual forma el gabinete se encuentra anclado a la torre.

Figura 35. Estación solar completa 1.



Figura 36. Estación Solar completa 2.



La estructura cuenta con un brazo quien es el encargado de dar la inclinación apropiada al arreglo solar.

3.4.2. Herramienta a utilizar.

Llaves boca fija de ¼” y de 3/8”.

Destornillador de pala.

Destornillador de estrella.

Alicates y pinzas.

Cinta aislante.

Ratche con copa de ¼” y de 3/8”.

Multimetro digital.

Conectores tipo pin, u y ojo.

3.4.2.1 Montaje de estructura y gabinete.

Inicialmente se ancla la torre de la antena junto con su mástil en el piso, luego se asegura el gabinete por medio de abrazaderas al mástil como se muestra en la figura 37, una vez fijado el gabinete, se arma la estructura sobre el mástil, estructura que sirve de soporte al arreglo solar.

3.4.3. Instalación del regulador.[8]

El regulador debe quedar en un lugar libre de humedad; por eso se recomienda que sea instalado dentro del gabinete; de esta forma se evita su desgaste.

El montaje del regulador se debe efectuar tal y como se muestra en la figura 38.

Se ajusta el regulador en la pared interna (fondo del gabinete) del gabinete utilizando 4 tornillos; la conexión al panel es con los terminales mostrados a la izquierda y con la misma ubicación (Positivo, negativo) con la que se muestra en los anexos 1 y 2.

3.4.4. Conexiones.

Se debe conectar los módulos solares, baterías y carga o consumo en el siguiente orden.

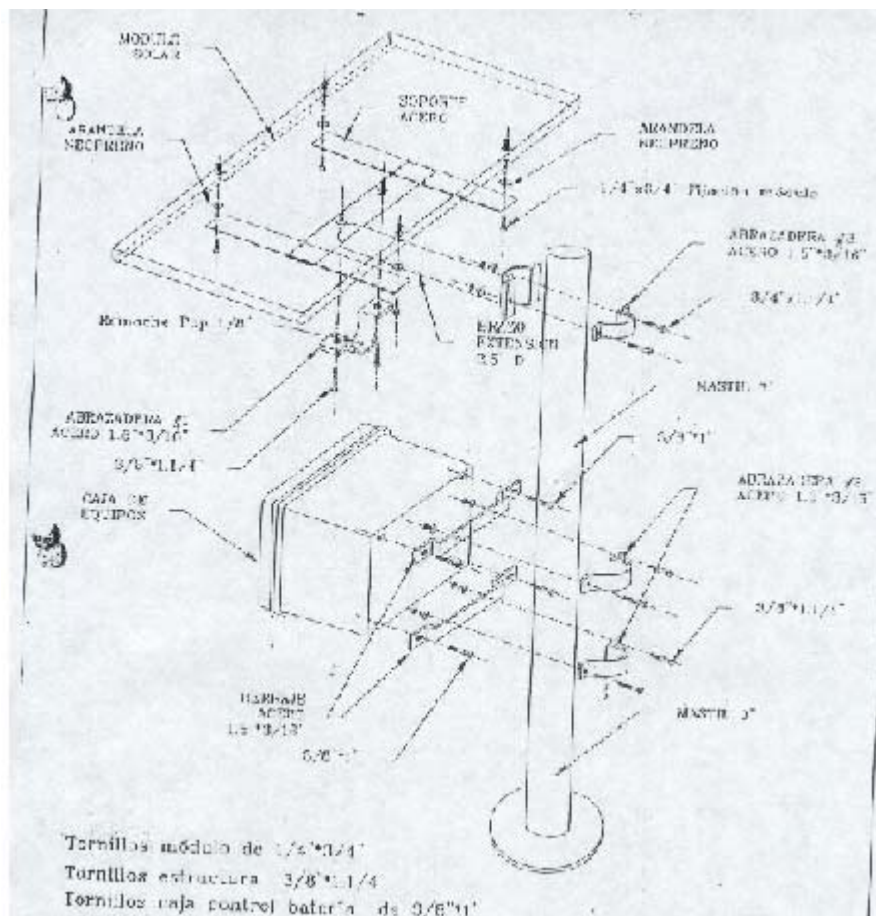
Primero la conexión a batería.

3.4.4.1. Conexión a batería

Se toman dos cables de los bornes de las baterías y se conectan a los terminales del regulador; primero el terminal negativo y luego el positivo.

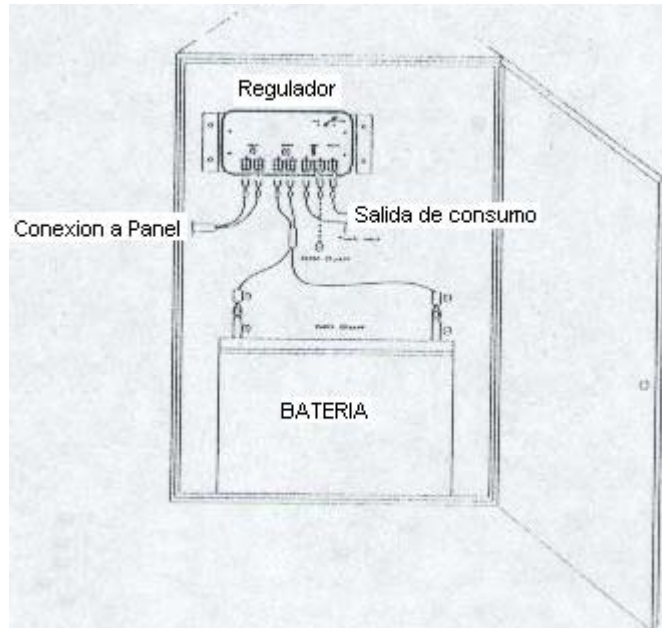
Lo primero que se debe conectar es la batería ya que el regulador ajusta su control basado en el voltaje que la batería le ofrece.

Figura 37. Montaje de estructura y gabinete



Fuente: Siemens.

Figura 38. Montaje del regulador



Fuente: Gilat.

Luego se conectan los terminales del arreglo solar de igual manera; primero el negativo y luego el positivo. En último lugar se conectan los terminales que van a alimentar los equipos (consumo; primero el negativo y luego el positivo). Se aplicará la salida de voltaje de los terminales de consumo directamente a los equipos que funcionen con corriente continua CD; cuando hay equipos que se deban alimentar con 110v en corriente alterna CA, se hace una derivación para colocarlos en la entrada de CD del inversor y luego tomando la salida del inversor llevarla a dichos equipos.

3.4.4.2 Diagrama para las conexiones

El diagrama que se presenta a continuación es el que propone Gilat Colombia S.A.

Sin embargo es conveniente el siguiente modelo de conexión para cualquier aplicación ; este modelo da ventaja para proteger la batería de una descarga rápida.

Figura 39. Instalación solar, propuesta por Gilat Colombia S.A

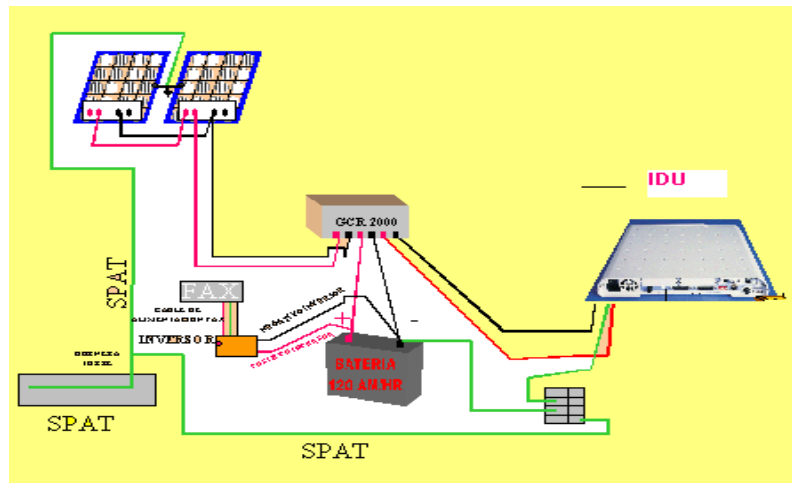
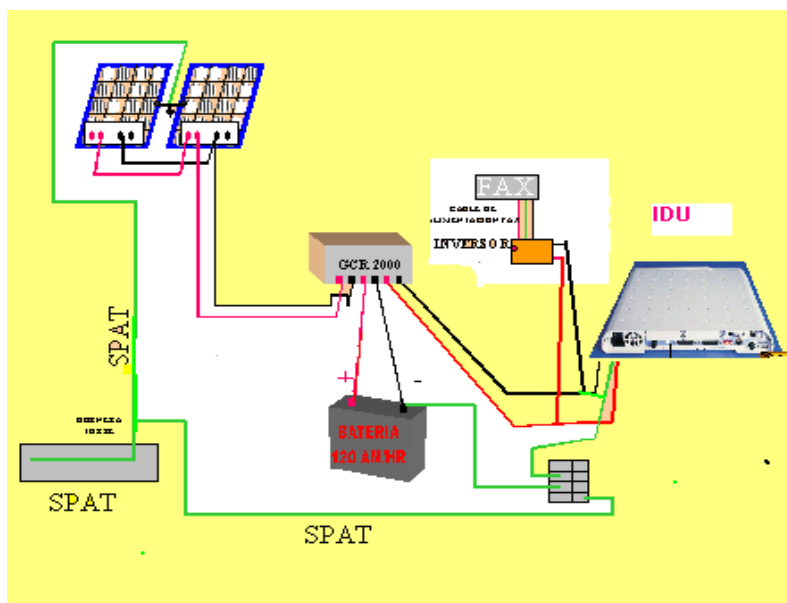


Figura 40. Instalación solar propuesta por el autor.



Lógicamente esta conexión no se hace directa, se debe efectuar mediante la utilización de un barraje.

Nótese que en las figuras 36 y 37 se muestra la utilización de un inversor; esto es debido a que el consumo para el fax debe ser de 110v; es decir esto se utiliza para estaciones tipo B y tipo C, para las estaciones tipo A las conexiones son idénticas excepto por que no existe inversor luego el consumo es solo en corriente directa C.D

El inversor conectado directamente a la batería (Véase fig 36) operando en el modo manual provoca un desgaste rápido de la energía almacenada en la batería, esto disminuye la vida útil de la misma. Por eso se recomienda conectar los equipos que necesitan 110v a través del regulador y no directamente desde la batería; ya que el regulador desconectaría la carga cuando el voltaje en la batería no es suficiente, y esto no permite que la batería se descargue profundamente, ayudando así al mejoramiento de la vida útil de la batería. Además esta ultima forma de conexión es utilizable para cualquier otra aplicación en que se necesite.

4. MANTENIMIENTO.

Dado que la forma de mantenimiento que se lleva a cabo por *COMPARTEL* para sistema solares no es en efecto suficiente , y dado que los resultados muestran que aun se siguen repitiendo los mismos diagnósticos sin mostrar mejoría; en algunos casos diagnósticos equívocos, es necesario redefinir las rutinas de mantenimiento que ayuden a establecer en forma clara el estado de cada dispositivo del sistema.

4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

4.1.1 Herramienta a utilizar.

Especificaciones técnicas de los equipos a alimentar (hoja de datos de consumo).

Brújula.

Inclinómetro.

Llaves boca fija de ¼” y de 3/8”.

Destornillador de pala.

Destornillador de estrella.

Alicates y pinzas.

Cinta aislante.

Ratche con copa de ¼” y de 3/8”.

Multímetro digital.

Conectores tipo pin, y ojo.

En esta etapa de mantenimiento se deben hacer los cálculos de dimensionamiento mencionados en la parte de instalación, teniendo los datos de consumo de los equipos y recalculando las dimensiones del sistema completo.

Por otro lado observar la correcta ubicación de los paneles o arreglo solar . Para este ultimo se utiliza la brújula e inclinómetro.

Se debe verificar que el sistema instalado haya sido correctamente dimensionado según las especificaciones de consumo de los equipos a alimentar; y según las especificaciones de los componentes del sistema solar.

Para reguladores GCR se debe cerciorar que se ha elegido el tipo de batería correcto para la utilización del regulador (Ver anexo 2) (liquida o sellada) según la configuración que tenga el regulador.

Verificar que el regulador y baterías estén montados correctamente, en ambiente limpio y dentro del gabinete.

También es importante que las conexiones estén visiblemente bien hechas; que no hayan cables rotos o pelados en la instalación eléctrica.

Se debe observar que la batería (sellada) no haya sido destapada; así como también que el modulo solar tenga aun el diodo de bloqueo para protección del mismo.

En esta etapa de mantenimiento preventivo es conveniente que se revise la continuidad de los cables; así como el buen estado de los conectores, bornes de la batería, funcionamiento del diodo de bloqueo.

Es necesario proteger el regulador del sol y la lluvia, por tal caso se debe inspeccionar que se encuentre en un lugar seco y con suficiente ventilación para evitar calentamiento. Se debe

observar que las funciones del regulador operen correctamente para las condiciones del sistema en ese momento.

En conclusión :

Primero : Se debe revisar que el sistema tenga las dimensiones correspondientes según el consumo de energía de los equipos a alimentar.

Segundo: Se deben cambiar los conectores y los cables de la instalación solar.

Tercero: Limpieza de los paneles y bornes de la batería , cambio del diodo de bloqueo del panel, para esto se deben haber desmontado previamente los equipos. Se debe tener en cuenta que para esta practica se necesita que la carga este desconectada.

Cuarto: Montaje de todos los elementos que habían sido desmontados, este montaje debe hacerse tal y como se mostró en la etapa de instalación.

Recomendación : No se deben utilizar anillos, relojes, pulseras ni ningún objeto metálico cuando se vaya a manipular con las baterías y cableado del sistema.

4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Dado que el mantenimiento correctivo, como su nombre lo indica, se hace cuando el sistema ya ha presentado fallas que se deben corregir para su funcionamiento normal, es importante tener en cuenta que la acción a realizar en muchos casos es el cambio de alguno de los dispositivos del sistema .

4.2.1. Herramienta a utilizar.

Llaves boca fija de ¼” y de 3/8”.

Destornillador de pala.

Destornillador de estrella.

Alicates y pinzas.

Cinta aislante.

Ratche con copa de ¼” y de 3/8”.

Multímetro digital.

Conectores tipo pin, u y ojo.

En esta etapa de mantenimiento correctivo se aplican las labores de la anterior etapa de mantenimiento si no se han realizado aun. Después de dicho proceso , se procede a diagnosticar los componentes del sistema solar.

4.2.2. Mediciones.

- La primera acción a seguir es la medida de continuidad. Aquí se debe verificar el buen estado del cableado y conectores.

- Inspección del regulador.

Primero: Se deben desconectar todos los terminales del regulador para hacer las pruebas.

Se debe medir y revisar en el regulador que no exista un corto entre los terminales + y – del panel así como en los que corresponden a la batería y carga. Es necesario medir que haya continuidad entre los terminales negativos de las salidas del regulador ya que la tierra para el equipo debe ser única.

Si el regulador es un Sunsaver que posee LVD, es recomendable que se encuentre funcionando correctamente; se debe medir el voltaje entre los terminales positivos del regulador que corresponden a la batería y carga. Si esta como circuito abierto el FET se encuentra totalmente

dañado y la función de regulación no sirve. Si mide 0V la función de LVD esta errónea pero no implica que la función de regulación no sea adecuada. Si se logra medir un voltaje entre esos terminales el regulador esta funcionando correctamente.

Continuando con el procedimiento se debe conectar únicamente la batería al regulador y se debe observar que el LED que indica la carga se encuentre apagado ya que no hay energía de panel presente.

En esta forma al medir el voltaje de la batería en los terminales del regulador y midiendo el voltaje de consumo se debe observar que las dos medidas son idénticas de lo contrario el regulador se encuentra en daño. Luego sin conectar los paneles al regulador se mide el voltaje de los que corresponden a los módulos solares este debe ser de $-2.5V$ aproximadamente. De lo contrario el regulador no esta operando correctamente

➤ Inspección de la batería

Para realizar la inspección de la batería se puede hacer uso del regulador.

Se debe observar si el Led de LVD se encuentra siempre en rojo, sin importar que sea en una hora soleada; eso quiere decir que la batería no alcanza el voltaje deseado por consiguiente se debe cambiar por una nueva.

Se debe tener en cuenta cuando es un regulador GCR que los Jumper (puentes) estén ubicados correctamente para el tipo de batería utilizada, tal y como se menciona en el anexo 2.

Luego de este procedimiento de revisión, se deben conectar adecuadamente los dispositivos tal y como se dijo en la parte de instalación.

Se deben aplicar paso a paso y a conciencia la primera etapa de mantenimiento anteriormente descrita, disminuyendo así las acciones del mantenimiento correctivo, lo cual es positivo ya que representa un ahorro en cuanto a la perdida de repuestos por mal estado en los mismos.

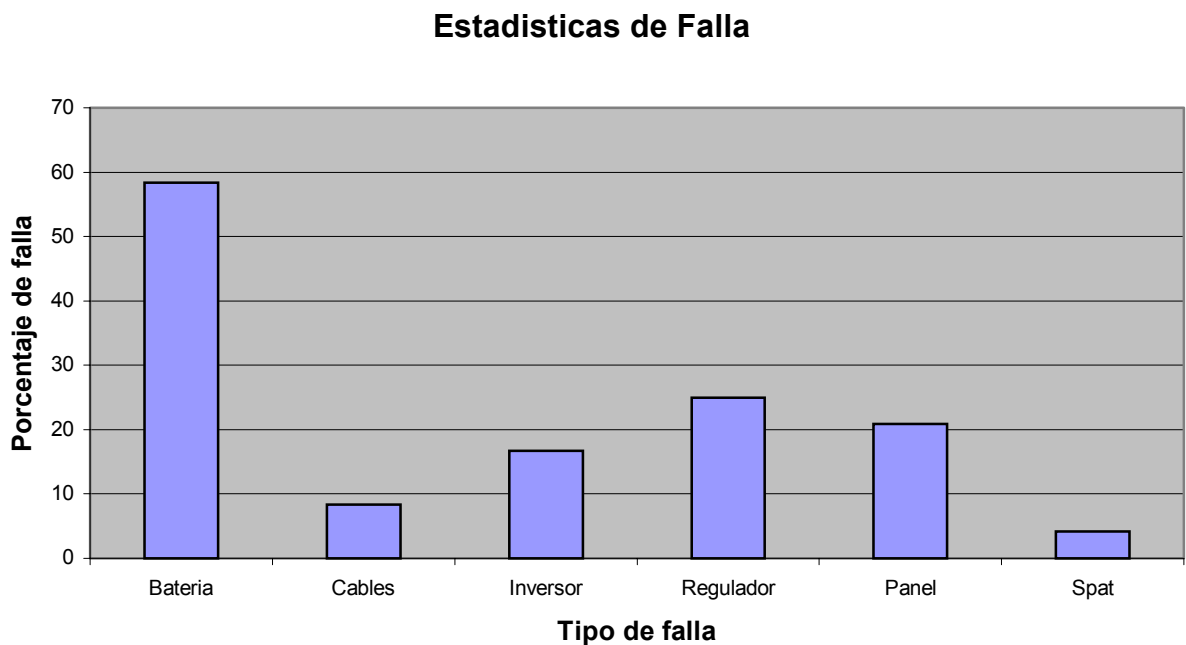
4.2.3. Visitas realizadas

Durante la ejecución de la practica se realizaron 25 visitas de mantenimiento correctivo a 25 localidades ubicadas en el área de territorios nacionales. En estas visitas se realizaron cambios de los distintos dispositivos que componen un sistema solar así como otros correspondientes a comunicaciones. De estas 25 visitas se derivan las observaciones conclusiones y recomendaciones acerca del mantenimiento e instalación para sistemas solares usados en COMPARTEL.

Los datos obtenidos se relacionan en la tabla 31, donde se muestran las actividades realizadas discriminadas por localidades.

En la figura 41 se muestra un análisis estadístico donde se señala el motivo de falla para estas estaciones, sirviendo esto para determinar las fallas mas frecuentes , y de igual forma las posibles soluciones que se plantean basadas en los resultados obtenidos.

Figura 41. Estadísticas de fallas en sistemas solares para territorios nacionales.



Nótese que las visitas mencionadas fueron todas de mantenimiento correctivo; en donde se tuvieron que cambiar muchos dispositivos desechando los existentes. Esto se pudo haber evitado en gran manera , haciendo el mantenimiento preventivo.

Tabla 7. Cuadro resumen de visitas realizadas.

DEP.	MUNICIPIO	LOCALIDAD	TEC.	FECHA INST.	FECHA MANT.	ESTADO FINAL	OBSERVACIONES
Cundinamarca	Paratebueno	El Engaño	VSAT	28-Nov-00	13-Jun-03	Operativo	Arreglo cables de batería
Meta	Cabuyaro	La Embajada	CEL	09-Nov-00	20-Jun-03	Diagnostico	Batería no mantiene carga
Meta	Puerto Lopez	ResguardoTurp-Vict	CEL	04-Jul-00	19-Jun-03	Diagnostico	Batería no mantiene carga
Casanare	Chameza	Jordan Bajo	VSAT	24-Abr-01	01-Sep-03	Operativo	Cambio batería
Vichada	Cumaribo	Asocortomo	VSAT	01-Abr-01	02-Sep-03	Operativo	Cambio batería
Vichada	Cumaribo	Asocortomo	VSAT	01-Abr-01	20-Oct-03	Operativo	Cambio batería, IDU
Arauca	Arauca	El Lipa	VSAT	28-Ene-01	03-Oct-03	Operativo	Cambio Batería; Apuntamiento
Meta	Cabuyaro	La Embajada	CEL	09-Nov-00	02-Ago-03	Operativo	Cambio de alimentación
Cundinamarca	Medina	San Miguel	VSAT	12-Oct-00	05-Ago-03	Operativo	Cambio de alimentación, Instalación Vsat amplio rango
Meta	Puerto Lopez	El Rubi	VSAT	12-Mar-01	06-Sep-03	Operativo	Cambio de conectores y cable del telefono
Meta	Puerto Lleras	La Esperanza	VSAT	02-Nov-01	14-Nov-03	Operativo	Cambio fax e inversor
Casanare	La Salina	La Mesa	VSAT	03-May-01	20-Ago-03	Operativo	Cambio IDU
Casanare	Paz De Ariporo	La Mesa	VSAT	16-Mar-01	06-Ago-03	Operativo	Cambio IDU
Vichada	Cumaribo	San Jose De Ocune	VSAT	20-Mar-01	15-Jul-03	Operativo	Cambio IDU
Vichada	Puerto Carreño	Chaparral	VSAT	03-Mar-01	25-Ago-03	Operativo	Cambio IDU
Casanare	Tamara	Ecce Homo	VSAT	24-Mar-01	24-Ago-03	Operativo	Cambio IDU 12V
Meta	Puerto Lleras	Alto Conumia	VSAT	06-Nov-01	05-Nov-03	Operativo	Cambio IDU y conectores
Vichada	Cumaribo	La 14	VSAT	03-Feb-01	01-Sep-03	Operativo	Cambio IDU, arreglo panel
Arauca	Arauca	Perocero	VSAT	29-Ene-01	03-Oct-03	Operativo	Cambio IDU, batería; apuntamiento
Cundinamarca	Paratebueno	Buenavista	VSAT	27-Oct-01	27-Sep-03	Operativo	Cambio IDU, Y Batería
Guaviare	San Jose Del Guaviare	Guayabero	VSAT	23-Abr-01	21-Oct-03	Operativo	Se cambio batería, IDU, fax, conectores, tarjeta voz y fusible regulador
Meta	Mesetas	El Mirador	VSAT	02-Dic-01	04-Oct-03	Diagnostico	Se cambio batería; problemas con spat
Meta	Puerto Lleras	Brisas Del Guejar	VSAT	31-Oct-01	02-Jun-03	Operativo	Se instalo regulador GCR2000
Guaviare	San Jose Del Guaviare	Las Guacamayas	VSAT	28-May-01	21-Oct-03	Operativo	Se cambio fax, batería
Meta	San Juan De Arama	Alto Curia	VSAT	28-Nov-01	28-Oct-03	Diagnostico	Se debe cambiar de alimentacion de panel a energia comercial

CONCLUSIONES

El aumento en la utilización de sistemas de alimentación basados en energía solar en nuestro país, se atribuye al incremento de las comunicaciones satelitales en el área rural donde no se cuenta con interconexión eléctrica.

Los reguladores o controladores de carga mas efectivos en cuanto a la protección de baterías son los que tienen función LVD, ya que estos no permiten que la batería sea descargada profundamente, esto mejora el tiempo de vida útil de las mismas.

El funcionamiento correcto de los sistemas de alimentación basados en energía solar, depende directamente de su dimensionamiento, en los casos que se encuentre un mal dimensionamiento de ellos, ocasiono que los dispositivos se deterioran mas rápidamente al paso del tiempo.

Después de realizar y analizar las pruebas de inclinación se observa que el intervalo que alcanza una inclinación optima de los módulos solares, para la región de Territorios Nacionales es de 12° a 15° aproximadamente. Cabe anotar que esos datos varían según las coordenadas del lugar donde se desea instalar.

Las causas de las fallas en los sistemas de alimentación basados en energía solar se debe en gran parte a la falta de personal capacitado para su instalación y mantenimiento.

En el campo de las energías alternativas , los sistemas basados en energía fotovoltaica ocupan un lugar privilegiado , dada su facilidad de instalación y nula contaminación ambiental; sin embargo en nuestro país el conocimiento acerca de la instalación y mantenimiento de este tipo de sistemas no ha sido difundido en su totalidad.

RECOMENDACIONES

En el cuadro “Estadística de fallas en sistemas solares para territorios nacionales” se nota que un 4% aproximadamente de los 25 sistemas visitados fallan por Spat, se debe hacer la aclaración que no en todos los sistemas analizados se encontró instalado el Spat, solo el 50% de los sistemas visitados cuentan con el; por consiguiente se debe instalar en los puntos en los cuales hace falta así como medir la resistencia del terreno de los que han sido instalados, para esto se utiliza un terrómetro. La resistencia medida debe ser menor de 100mhs.

Los sistemas de alimentación basados en energía solar poseen un amplio campo para su estudio, se recomienda hacer un estudio de armónicos, para determinar si estos sistemas introducen ruido de alta potencia dado que su composición es netamente electrónica, y es sabido que los dispositivos formados por semiconductores introducen armónicos en la red y esto fomenta el deterioro de los dispositivos que gozan de alimentación mediante estos sistemas.

Los sistemas de alimentación basados en energía solar son una alternativa eficiente para electrificación domiciliar en el área rural, pero requiere de personal técnico capacitado para su instalación y mantenimiento.

Durante la ejecución de la práctica se pudo concluir que el dispositivo que más frecuentemente falla es la batería (véase figura 20). Esto sugiere que se debe hacer una revisión del

dimensionamiento del sistema completo para evitar el acortamiento de la vida útil de este tipo de dispositivos, por haber sufrido descargas profundas, o muy probablemente nunca realizan su ciclo de carga completo.

BIBLIOGRAFIA.

1. galileo.te.vaslp.mx
2. www.x.tec.es/
3. www.fh-sat.de/produkteunddienstleistungen/vsat-datenkommunikation/vsatreferenzen.html
4. www.tiscsat.com/Vsat1.html
5. www.ies-def.upm.es/EnergiaSolar/
6. www.airelibrelapalma.org
7. www.codeso.com/EqBateria01.html
8. Gilat Colombia S.A., Manual de operación de sistemas fotovoltaicos.2002
9. Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF) 2002. Sistemas de energía fotovoltaica. Manual del instalador.
10. www.mastervolt.com/inverter/index_ES.asp
11. Hugs, W.L., et al, Energy for Rural Development, National Academy of Sciences, USA, 1976, p 27.
12. www.buchmann.ca (Información de baterías)
13. www.mysolar.com/mysolar/pv/techtilt.asp
14. book@cadex.com (Información de baterías)
15. Catálogos de Reguladores Sunsaver y GCR.
16. LIPSON, Charles. Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments. McGraw Hill. Tokyo 1973.

ANEXO 1

Los reguladores sunsaver cuentan con varias gamas entre las que se pueden nombrar el sunsaver 10 , el sunsaver 6 y 20. en la figura 7 se muestra la apariencia externa de un regulador sunsaver 6 con LVD. En la tabla 3 se indica la clasificación de modelos según la potencia.

	SunSaver-6	SunSaver-10
Corriente FV especificada (A)	6.5	10
Corriente de LVD especificada (A)	6.0	10

. Clasificación de modelos según potencia.



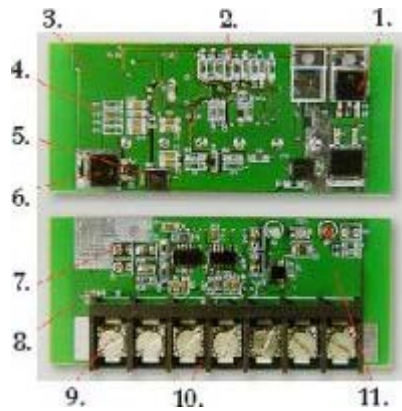
Regulador sunsaver 6. Estructura externa.

En la figura anterior se encuentran señaladas las partes principales del regulador numeradas de 1 a 11, cuyas indicaciones son:

1. Indicador LVD (desconexión de consumos con bajo voltaje). (En equipos con opción LVD). Un led rojo indica desconexión del consumo. El LVD tiene retardo de dos segundos para evitar desconexiones indeseadas.
2. Compensación de Temperatura Valores ajustables de la carga de batería con corrección para variaciones de temperatura.
3. LED Indicador de Carga Un led verde indica que la batería está recibiendo energía de los paneles solares fotovoltaicos (FV).
4. Carga de Batería PWM El diseño de la serie PWM reduce el calentamiento y la consecuente caída de voltaje del sistema. La carga se completa con precisión bajo cualquier condición del sistema.
5. Evita Corrientes Inversas Un interruptor en serie elimina la posibilidad de una descarga nocturna a través de los módulos FV.
6. Gabinete de Gran Resistencia Gabinete de aluminio con acabado de anodizado electrolítico y tapa desmontable. Tornillos de acero inoxidable y rótulos resistentes a la radiación UV.

7. Resistente a las Condiciones Climáticas Encapsulado en un compuesto epóxico para asegurar su funcionamiento en climas desfavorables.
8. Protegido Contra Inversiones de la Polaridad Posee una completa protección contra la conexión invertida de FV, baterías o cableado de consumo. Este sistema de seguridad no requiere fusibles.
9. Terminales de Conexión Aprobadas Para Uso Marino Terminales de bronce cobreadas con tornillos de bronce niquelados. Placas de sujeción para asegurar un excelente contacto con los cables.
10. Desconexión de Consumo por Bajo Voltaje (LVD) (Opcional). Compuesto por FETS de baja resistencia adaptables para todo tipo de consumos y con capacidad para manejar corrientes iniciales del consumo hasta diez veces la carga nominal.
11. Selección de Tipo de Batería Durante El Uso Para lograr una carga más precisa es posible seleccionar el tipo de batería (sellada o húmeda), a través de un simple conector. La selección puede ser cambiada tantas veces como se desee.

El regulador sunsaver cuenta con varias características que lo hacen necesario en los sistemas fv. En la figura 8 se muestra la estructura interna, señalando las características mas importantes.



Estructura interna

1. 100% Estado Sólido Toda la conmutación de potencia es realizada por robustos FETS de baja resistencia. Eliminando así los problemas que ocasionan los conmutadores mecánicos.

2. Tecnología de Montaje Superficial El uso de dispositivos de ultima tecnología y la producción automatizada resultan en un producto de calidad consistentemente alta, al más bajo costo.

3. Diseño Térmico Sus pistas amplias de cobre de 2oz., el encapsulado térmicamente conductivo, los disipadores internos y los FETS de conmutación optimizada, minimizan las temperaturas de operación.

4. Componentes de Nivel Industrial Sus componentes de la más alta calidad aseguran mayor vida útil, mayor confiabilidad y extienden el rango de temperaturas de operación

5. Supresores de Transitorios de Voltaje Sus supresores de transitorios por avalancha, de grandes dimensiones, proveen un alto nivel de protección contra rayos y otros transitorios de tensión y/o corriente.

6. No Requiere Reducir el Régimen Normal Todo su diseño, tanto mecánico como electrónico, se ha realizado tomando en cuenta las peores condiciones de funcionamiento. Además, el diseño tiene acrecentado un margen mínimo de 1.25.

7. Bajo Nivel de Ruido Para todas sus entradas y salidas se han utilizado filtros RC. El ruido de línea a la salida queda limitado a pulsos de energía extremadamente baja.

8. Alta Eficiencia Diseñado para minimizar las pérdidas de energía con un consumo propio muy bajo y mínimas caídas de voltaje. Requiere solo 3,2 mA para funcionar.

9. Terminales de Gran Tamaño Los tornillos de fijación aceptan dos cables por cada terminal (cada cable de hasta #10 AWG/ 5mm²). Su bastidor de polipropileno tipo Tri-Barrier provee el aislamiento del terminal.

10. Especificaciones Insuperables El SunSaver provee una confiabilidad y una calidad de carga de baterías muy similar a las del muy exitoso Controlador ProStar.

11. Carga de Batería en Serie Carga altamente avanzada con algoritmo de voltaje constante PWM, diseño de conmutación serie y puntos de selección muy precisos.

ANEXO 2

Existen reguladores GCR, también encontrados en varias gamas como son: Reguladores GCR 1200, 2000 y 3000 entre otros.

Estos reguladores se adaptan automáticamente a las características de consumo del usuario y a las condiciones de temperatura ambiente; todo ello gracias a una innovación única en un sistema de carga solar, el auto aprendizaje continuo del estado de carga de la batería y de su comportamiento, base de su proceso de regulación.

La pantalla de presentación ofrece una información completa y comprensible sobre el estado operativo de su sistema, presentando de forma continua el estado de carga (SOC) de la batería.

Los diferentes centelleos de los LEDs proporcionan una información muy valiosa sobre la conexión o desconexión del usuario. Es el primer regulador que informa de cualquier fallo que se produzca en el sistema.

El regulador BP Solar con la opción de la pantalla de presentación (display) informa no solo del estado de carga de la batería y de los problemas que puedan producirse en el sistema, sino que además presenta la corriente de carga y la corriente que consume el usuario.

Las características de este regulador son las siguientes:

- Adaptación automática a 12/24 vdc.
- Control automático de sobrecargas y descargas excesivas de la batería.
- Auto aprendizaje del estado de carga de la batería.
- Presentación del estado de carga.
- Presentación en pantalla del estado y posibles errores del sistema.

Los modelos , incorporan un display que informa del tipo de batería conectada, intensidad del campo solar, intensidad de salida al consumo, tensión de batería, algoritmo soc que visualiza el estado de carga de batería en función de cuatro parámetros: v, i, °t e histórico de carga.

Los reguladores GCR presenta un método de visualización para diagnosticar el sistema completo; en muchas ocasiones se observa el led correspondiente a la batería (derecho), que cambia gradualmente su color desde el rojo hasta el amarillo y finalmente el verde a medida que el soc de la batería aumenta; también en el momento en el que el soc se encuentra por de bajo del 40% (en ocasiones el 30%) se observa intermitencia en el led de batería (derecho), cuando se presenta desconexión por sobre descarga la intermitencia es lenta la carga es desconectada cuando el soc disminuye menos del 30%. Y luego se reconecta cuando el soc alcanza el 50%.

En la figura se observa la apariencia externa de un regulador gcr 3000.



Estructura externa gcr 3000

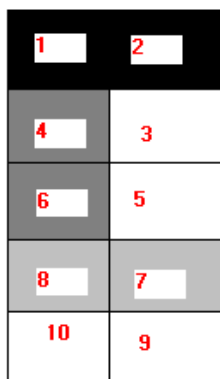
A continuación se muestra la tabla 4 donde se clasifican los modelos existentes para GCR según tensión e intensidad.

CÓDIGO	MODELO	INTENSIDAD (A)	TENSIÓN (V)
R016	GCR 800	8	12V/24V
R017	GCR 800 M	8	12V/24V
R003	GCR 1200	12	12V/24V
R004	GCR 1200 M	12	12V/24V
R006	GCR 2000	20	12V/24V
R007	GCR 2000 M	20	12V/24V
R008	GCR 3000	30	12V/24V
R009	GCR 3000 M	30	12V/24V

Modelos de reguladores GCR

Los reguladores GCR tienen unos pines que se muestran en la figura 10; estos pines se deben puentear según la aplicación necesaria. los dos primeros controlan el encendido de la carga cuando esta se encuentra por debajo de el umbral especificado. (aplicación , cuando se requiere encender una carga de bajo consumo en la noche; por ejemplo para iluminación.). pero la aplicación mas relevante es para la elección del tipo de batería. los encargados de ello son los siguientes 4 pines (3-6). cuando se va a utilizar baterías donde el sustrato es liquido se puenta la pareja 4-6, esta acción activa el control de temperatura, la cual después de determinado valor (40°c aprox), emite un pulso de alta intensidad para zambullir el sustrato y hacer que se mezcle. si el sustrato es gel, como el utilizado en *COMPARTEL*, se deben puentear el 3 y 4 para evitar que se emita el pulso de intensidad antes mencionado, esto se debe a que de darse la emisión las baterías de gel se verían maltratadas por dicha emisión.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los puentes (JUMPER) con la cual llegan de fabrica los reguladores.



Ubicación de Jumpers.

Para encontrar los pines se debe destapar el regulador por la parte frontal, y estos se observan al lado izquierdo.

La ubicación correcta para el JUMPER (azul físicamente) gris medio (para esta figura), es entre 3 y 4 para baterías de ge

ANEXO 3

Tabla 1 Mediciones de voltaje para inclinación de 10 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.70	11.64	11.67	11.67
06:30 a.m.	12.00	11.93	11.94	11.96
07:00 a.m.	12.10	11.94	11.95	12.00
07:30 a.m.	12.11	11.96	11.96	12.01
08:00 a.m.	12.12	11.98	11.99	12.03
08:30 a.m.	12.13	12.00	12.01	12.05
09:00 a.m.	12.38	12.30	12.40	12.36
09:30 a.m.	13.15	13.12	13.16	13.14
10:00 a.m.	13.26	13.20	13.25	13.24
10:30 a.m.	13.60	13.40	13.50	13.50
11:00 a.m.	14.10	13.90	14.00	14.00
11:30 a.m.	14.20	14.00	14.10	14.10
12:00 m	14.70	14.40	14.60	14.57
12:30 p.m.	15.50	15.00	15.30	15.27
01:00 p.m.	16.10	15.90	16.00	16.00
01:30 p.m.	16.50	16.60	16.50	16.53
02:00 p.m.	16.30	16.50	16.40	16.40
02:30 p.m.	16.20	16.40	16.10	16.23
03:00 p.m.	16.00	16.20	15.90	16.03
03:30 p.m.	15.70	16.00	15.80	15.83
04:00 p.m.	13.40	13.60	13.30	13.43
04:30 p.m.	12.94	12.95	12.91	12.93
05:00 p.m.	12.08	12.08	12.04	12.07
05:30 p.m.	11.60	11.70	11.70	11.67
06:00 p.m.	11.06	11.05	11.04	11.05

Fuente: Autor

Tabla 2..Mediciones de voltaje para inclinación de 11 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.70	11.60	11.80	11.70
06:30 a.m.	12.00	11.99	12.03	12.01
07:00 a.m.	12.01	12.00	12.04	12.02
07:30 a.m.	12.02	12.01	12.05	12.03
08:00 a.m.	12.03	12.02	12.06	12.04
08:30 a.m.	12.04	12.03	12.07	12.05
09:00 a.m.	12.37	12.35	12.38	12.37
09:30 a.m.	12.82	12.79	12.81	12.81
10:00 a.m.	13.01	12.98	13.00	13.00
10:30 a.m.	13.70	13.50	13.60	13.60
11:00 a.m.	13.90	13.70	13.82	13.81
11:30 a.m.	13.92	13.91	13.89	13.91
12:00 m	14.48	14.50	14.46	14.48
12:30 p.m.	15.04	15.03	14.95	15.01
01:00 p.m.	15.80	16.00	15.92	15.91
01:30 p.m.	16.90	16.70	16.70	16.77
02:00 p.m.	16.95	16.73	16.78	16.82
02:30 p.m.	15.99	16.00	16.00	16.00
03:00 p.m.	15.78	15.73	15.74	15.75
03:30 p.m.	15.73	15.68	15.69	15.70
04:00 p.m.	13.42	13.44	13.42	13.43
04:30 p.m.	13.00	13.06	12.98	13.01
05:00 p.m.	11.75	11.80	11.78	11.78
05:30 p.m.	11.41	11.42	11.39	11.41
06:00 p.m.	11.31	11.30	11.30	11.30

Fuente: Autor

Tabla 3..Mediciones de voltaje para inclinación de 12 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.05	12.06	12.07	12.06
06:30 a.m.	12.00	12.06	12.07	12.04
07:00 a.m.	12.40	12.70	12.60	12.57
07:30 a.m.	12.67	12.91	12.81	12.80
08:00 a.m.	12.50	12.81	12.81	12.71
08:30 a.m.	13.15	13.20	13.20	13.18
09:00 a.m.	13.38	13.42	13.41	13.40
09:30 a.m.	13.76	13.82	13.81	13.80
10:00 a.m.	13.66	13.75	13.73	13.71
10:30 a.m.	14.83	14.81	14.78	14.81
11:00 a.m.	15.02	15.00	15.00	15.01
11:30 a.m.	16.29	16.29	16.31	16.30
12:00 m	16.48	16.52	16.51	16.50
12:30 p.m.	16.82	16.79	16.80	16.80
01:00 p.m.	16.91	16.90	16.89	16.90
01:30 p.m.	17.03	17.00	16.98	17.00
02:00 p.m.	16.56	16.47	16.48	16.50
02:30 p.m.	15.81	15.82	15.78	15.80
03:00 p.m.	15.46	15.44	15.45	15.45
03:30 p.m.	14.91	14.89	14.90	14.90
04:00 p.m.	13.82	13.79	13.80	13.80
04:30 p.m.	13.00	12.98	13.03	13.00
05:00 p.m.	12.61	12.59	12.60	12.60
05:30 p.m.	12.61	12.58	12.60	12.60
06:00 p.m.	12.07	12.03	12.03	12.04

Fuente: Autor

Tabla 4..Mediciones de voltaje para inclinación de 13 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.10	12.08	12.09	12.09
06:30 a.m.	12.14	12.12	12.13	12.13
07:00 a.m.	12.33	12.34	12.33	12.33
07:30 a.m.	12.61	12.59	12.61	12.60
08:00 a.m.	12.92	12.88	12.89	12.90
08:30 a.m.	13.02	12.99	13.00	13.00
09:00 a.m.	13.32	13.29	13.30	13.30
09:30 a.m.	14.04	14.02	13.95	14.00
10:00 a.m.	14.73	14.68	14.70	14.70
10:30 a.m.	15.03	15.00	14.98	15.00
11:00 a.m.	16.03	16.00	15.98	16.00
11:30 a.m.	16.67	16.63	16.66	16.65
12:00 m	17.22	17.19	17.20	17.20
12:30 p.m.	17.72	17.69	17.70	17.70
01:00 p.m.	18.21	18.19	18.19	18.20
01:30 p.m.	17.91	17.92	17.88	17.90
02:00 p.m.	17.71	17.72	17.68	17.70
02:30 p.m.	17.01	17.02	16.99	17.01
03:00 p.m.	16.71	16.73	16.67	16.70
03:30 p.m.	14.88	14.92	14.90	14.90
04:00 p.m.	14.40	14.41	14.38	14.40
04:30 p.m.	13.40	13.60	13.50	13.50
05:00 p.m.	12.91	12.92	12.87	12.90
05:30 p.m.	12.42	12.43	12.36	12.40
06:00 p.m.	12.21	12.21	12.19	12.20

Fuente: Autor

Tabla 5..Mediciones de voltaje para inclinación de 14 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.19	12.22	12.20	12.20
06:30 a.m.	12.40	12.42	12.39	12.40
07:00 a.m.	12.58	12.62	12.61	12.60
07:30 a.m.	12.73	12.72	12.71	12.72
08:00 a.m.	13.04	13.01	13.03	13.03
08:30 a.m.	13.39	13.41	13.40	13.40
09:00 a.m.	13.56	13.53	13.54	13.54
09:30 a.m.	13.82	13.82	13.80	13.81
10:00 a.m.	14.25	14.27	14.26	14.26
10:30 a.m.	14.69	14.70	14.69	14.69
11:00 a.m.	15.30	15.35	15.34	15.33
11:30 a.m.	15.78	15.75	15.76	15.76
12:00 m	15.98	16.03	16.01	16.01
12:30 p.m.	16.39	16.42	16.40	16.40
01:00 p.m.	16.90	16.91	16.90	16.90
01:30 p.m.	18.11	18.14	18.03	18.09
02:00 p.m.	17.80	17.81	17.75	17.79
02:30 p.m.	16.93	16.89	16.90	16.91
03:00 p.m.	16.90	16.84	16.88	16.87
03:30 p.m.	16.28	16.22	16.23	16.24
04:00 p.m.	15.80	15.78	15.78	15.79
04:30 p.m.	14.33	14.30	14.26	14.30
05:00 p.m.	12.90	12.95	13.05	12.97
05:30 p.m.	12.74	12.73	12.70	12.72
06:00 p.m.	12.10	12.18	12.15	12.14

Fuente: Autor

Tabla 6..Mediciones de voltaje para inclinación de 15 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.61	12.63	12.57	12.60
06:30 a.m.	12.68	12.70	12.72	12.70
07:00 a.m.	12.60	12.00	12.70	12.43
07:30 a.m.	12.90	13.10	13.00	13.00
08:00 a.m.	13.35	13.46	13.38	13.40
08:30 a.m.	13.45	13.56	13.48	13.50
09:00 a.m.	13.82	13.84	13.78	13.81
09:30 a.m.	14.02	14.04	13.98	14.01
10:00 a.m.	14.36	14.39	14.32	14.36
10:30 a.m.	15.11	15.14	15.06	15.10
11:00 a.m.	15.33	15.35	15.28	15.32
11:30 a.m.	15.92	15.93	15.86	15.90
12:00 m	16.51	16.52	16.48	16.50
12:30 p.m.	17.10	17.13	17.08	17.10
01:00 p.m.	17.83	17.84	17.73	17.80
01:30 p.m.	17.93	17.94	17.83	17.90
02:00 p.m.	18.03	18.04	17.93	18.00
02:30 p.m.	17.62	17.63	17.56	17.60
03:00 p.m.	17.02	17.03	16.96	17.00
03:30 p.m.	16.02	16.04	15.94	16.00
04:00 p.m.	15.13	15.07	15.09	15.10
04:30 p.m.	13.54	13.48	13.47	13.50
05:00 p.m.	13.06	13.00	12.95	13.00
05:30 p.m.	12.15	12.23	12.22	12.20
06:00 p.m.	12.03	11.97	12.00	12.00

Fuente: Autor

Tabla 7..Mediciones de voltaje para inclinación de 16 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.98	12.08	12.06	12.04
06:30 a.m.	12.05	12.15	12.13	12.11
07:00 a.m.	12.71	12.69	12.70	12.70
07:30 a.m.	12.74	12.82	12.84	12.80
08:00 a.m.	12.82	12.84	12.86	12.84
08:30 a.m.	12.54	12.85	12.87	12.75
09:00 a.m.	13.26	13.18	13.23	13.22
09:30 a.m.	13.50	13.43	13.48	13.47
10:00 a.m.	13.77	13.72	13.76	13.75
10:30 a.m.	14.73	14.69	14.71	14.71
11:00 a.m.	15.29	15.22	15.24	15.25
11:30 a.m.	15.94	15.87	15.89	15.90
12:00 m	16.70	16.58	16.66	16.65
12:30 p.m.	17.17	17.04	17.10	17.10
01:00 p.m.	17.23	17.20	17.18	17.20
01:30 p.m.	16.93	16.88	16.90	16.90
02:00 p.m.	16.80	16.75	16.78	16.78
02:30 p.m.	16.14	16.09	16.11	16.11
03:00 p.m.	16.00	15.98	16.02	16.00
03:30 p.m.	15.20	15.17	15.18	15.18
04:00 p.m.	14.18	14.22	14.20	14.20
04:30 p.m.	13.08	13.08	13.02	13.06
05:00 p.m.	13.00	12.95	12.92	12.96
05:30 p.m.	11.93	11.88	11.90	11.90
06:00 p.m.	11.78	11.74	11.82	11.78

Fuente: Autor

Tabla 8..Mediciones de voltaje para inclinación de 20 grados para el departamento del Meta.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.18	11.22	11.20	11.20
06:30 a.m.	11.47	11.53	11.50	11.50
07:00 a.m.	11.98	12.00	12.03	12.00
07:30 a.m.	12.00	12.30	12.01	12.10
08:00 a.m.	12.01	12.00	12.02	12.01
08:30 a.m.	12.18	12.19	12.22	12.20
09:00 a.m.	12.57	12.59	12.63	12.60
09:30 a.m.	12.78	12.80	12.82	12.80
10:00 a.m.	12.98	13.00	13.02	13.00
10:30 a.m.	13.07	13.10	13.12	13.10
11:00 a.m.	13.49	13.50	13.52	13.50
11:30 a.m.	13.97	14.00	14.03	14.00
12:00 m	14.40	14.41	14.40	14.40
12:30 p.m.	14.59	14.59	14.61	14.60
01:00 p.m.	14.82	14.80	14.81	14.81
01:30 p.m.	15.14	15.15	15.13	15.14
02:00 p.m.	15.33	15.40	15.35	15.36
02:30 p.m.	15.83	15.82	15.75	15.80
03:00 p.m.	15.92	15.91	15.87	15.90
03:30 p.m.	16.01	16.02	15.96	16.00
04:00 p.m.	15.19	15.23	15.17	15.20
04:30 p.m.	14.93	14.94	14.89	14.92
05:00 p.m.	13.44	13.41	13.35	13.40
05:30 p.m.	12.23	12.20	12.18	12.20
06:00 p.m.	11.66	11.62	11.52	11.60

Fuente: Autor

Tabla 9..Mediciones de voltaje para inclinación de 10 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.46	11.49	11.46	11.47
06:30 a.m.	11.95	11.90	11.85	11.90
07:00 a.m.	11.98	11.93	11.88	11.93
07:30 a.m.	12.04	12.01	11.95	12.00
08:00 a.m.	12.05	12.02	11.96	12.01
08:30 a.m.	12.07	12.04	11.98	12.03
09:00 a.m.	12.39	12.36	12.25	12.33
09:30 a.m.	12.49	12.46	12.43	12.46
10:00 a.m.	13.05	13.04	13.03	13.04
10:30 a.m.	13.16	13.15	13.12	13.14
11:00 a.m.	13.42	13.41	13.38	13.40
11:30 a.m.	14.23	14.20	14.17	14.20
12:00 m	14.80	14.83	14.77	14.80
12:30 p.m.	15.23	15.21	15.17	15.20
01:00 p.m.	15.84	15.80	15.76	15.80
01:30 p.m.	16.82	16.80	16.77	16.80
02:00 p.m.	16.71	16.72	16.68	16.70
02:30 p.m.	16.70	16.72	16.67	16.70
03:00 p.m.	16.23	16.21	16.16	16.20
03:30 p.m.	16.06	16.01	15.94	16.00
04:00 p.m.	15.05	15.01	14.94	15.00
04:30 p.m.	13.05	13.01	12.94	13.00
05:00 p.m.	12.13	12.11	12.07	12.10
05:30 p.m.	11.79	11.77	11.73	11.76
06:00 p.m.	11.15	11.16	11.14	11.15

Fuente: Autor

Tabla 10..Mediciones de voltaje para inclinación de 11 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.75	11.66	11.69	11.70
06:30 a.m.	12.15	12.08	12.10	12.11
07:00 a.m.	11.98	12.00	12.03	12.00
07:30 a.m.	12.00	12.01	12.04	12.02
08:00 a.m.	12.01	12.02	12.05	12.03
08:30 a.m.	12.02	12.03	12.06	12.04
09:00 a.m.	12.32	12.33	12.36	12.34
09:30 a.m.	13.20	13.18	13.23	13.20
10:00 a.m.	13.41	13.40	13.39	13.40
10:30 a.m.	13.82	13.80	13.78	13.80
11:00 a.m.	14.21	14.19	14.20	14.20
11:30 a.m.	14.32	14.30	14.28	14.30
12:00 m	14.68	14.73	14.69	14.70
12:30 p.m.	15.58	15.53	15.42	15.51
01:00 p.m.	16.15	16.08	16.07	16.10
01:30 p.m.	16.63	16.59	16.57	16.60
02:00 p.m.	16.64	16.60	16.58	16.61
02:30 p.m.	16.23	16.21	16.17	16.20
03:00 p.m.	15.90	15.87	15.78	15.85
03:30 p.m.	15.84	15.81	15.75	15.80
04:00 p.m.	13.81	13.80	13.79	13.80
04:30 p.m.	12.82	12.80	12.78	12.80
05:00 p.m.	12.20	12.21	12.19	12.20
05:30 p.m.	11.83	11.80	11.76	11.80
06:00 p.m.	11.52	11.50	11.49	11.50

Fuente: Autor

Tabla 11..Mediciones de voltaje para inclinación de 12 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.06	12.04	12.02	12.04
06:30 a.m.	12.35	12.31	12.33	12.33
07:00 a.m.	12.82	12.80	12.78	12.80
07:30 a.m.	12.92	12.90	12.88	12.90
08:00 a.m.	13.32	13.30	13.28	13.30
08:30 a.m.	13.42	13.40	13.38	13.40
09:00 a.m.	13.83	13.81	13.77	13.80
09:30 a.m.	14.22	14.20	14.18	14.20
10:00 a.m.	14.24	14.22	14.20	14.22
10:30 a.m.	14.63	14.57	14.60	14.60
11:00 a.m.	15.52	15.51	15.50	15.51
11:30 a.m.	16.04	16.03	15.93	16.00
12:00 m	16.52	16.50	16.48	16.50
12:30 p.m.	17.03	17.00	16.99	17.01
01:00 p.m.	17.12	17.09	17.08	17.10
01:30 p.m.	17.03	17.00	16.98	17.00
02:00 p.m.	16.42	16.40	16.38	16.40
02:30 p.m.	16.18	16.25	16.18	16.20
03:00 p.m.	15.58	15.54	15.53	15.55
03:30 p.m.	15.09	15.09	15.12	15.10
04:00 p.m.	14.04	14.01	13.97	14.01
04:30 p.m.	13.12	13.10	13.08	13.10
05:00 p.m.	12.82	12.80	12.79	12.80
05:30 p.m.	12.44	12.39	12.38	12.40
06:00 p.m.	12.10	12.08	12.06	12.08

Fuente: Autor

Tabla 12..Mediciones de voltaje para inclinación de 13 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.09	12.12	12.12	12.11
06:30 a.m.	12.12	12.15	12.16	12.14
07:00 a.m.	12.34	12.37	12.38	12.36
07:30 a.m.	12.63	12.64	12.66	12.64
08:00 a.m.	12.68	12.71	12.72	12.70
08:30 a.m.	12.90	12.91	12.89	12.90
09:00 a.m.	13.09	13.11	13.10	13.10
09:30 a.m.	13.86	13.92	13.93	13.90
10:00 a.m.	15.28	15.32	15.30	15.30
10:30 a.m.	15.53	15.50	15.50	15.51
11:00 a.m.	15.81	15.83	15.77	15.80
11:30 a.m.	16.46	16.44	16.45	16.45
12:00 m	17.28	17.33	17.30	17.30
12:30 p.m.	17.80	17.82	17.77	17.80
01:00 p.m.	18.29	18.35	18.27	18.30
01:30 p.m.	17.98	18.01	18.00	18.00
02:00 p.m.	17.56	17.63	17.60	17.60
02:30 p.m.	17.08	17.12	17.11	17.10
03:00 p.m.	16.85	16.94	16.90	16.90
03:30 p.m.	14.96	15.03	15.00	15.00
04:00 p.m.	14.18	14.23	14.20	14.20
04:30 p.m.	13.89	13.92	13.90	13.90
05:00 p.m.	13.07	13.12	13.10	13.10
05:30 p.m.	12.57	12.62	12.60	12.60
06:00 p.m.	12.14	12.18	12.16	12.16

Fuente: Autor

Tabla 13..Mediciones de voltaje para inclinación de 14 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.48	12.53	12.50	12.50
06:30 a.m.	12.57	12.63	12.61	12.60
07:00 a.m.	12.78	12.83	12.80	12.80
07:30 a.m.	13.06	13.12	13.13	13.10
08:00 a.m.	13.18	13.22	13.20	13.20
08:30 a.m.	13.28	13.32	13.31	13.30
09:00 a.m.	13.69	13.73	13.71	13.71
09:30 a.m.	14.00	14.01	13.97	13.99
10:00 a.m.	14.25	14.27	14.27	14.26
10:30 a.m.	14.94	14.90	14.87	14.90
11:00 a.m.	15.44	15.40	15.43	15.42
11:30 a.m.	16.05	16.12	16.13	16.10
12:00 m	16.35	16.42	16.43	16.40
12:30 p.m.	16.89	16.92	16.90	16.90
01:00 p.m.	17.90	17.94	17.86	17.90
01:30 p.m.	18.01	18.03	17.95	18.00
02:00 p.m.	18.02	18.04	17.96	18.01
02:30 p.m.	17.81	17.83	17.75	17.80
03:00 p.m.	17.08	17.12	17.10	17.10
03:30 p.m.	16.07	16.11	16.12	16.10
04:00 p.m.	14.98	15.03	15.00	15.00
04:30 p.m.	13.58	13.63	13.60	13.60
05:00 p.m.	12.77	12.82	12.81	12.80
05:30 p.m.	12.38	12.42	12.40	12.40
06:00 p.m.	11.95	12.00	12.02	11.99

Fuente: Autor

Tabla 14..Mediciones de voltaje para inclinación de 15 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.06	12.10	12.08	12.08
06:30 a.m.	12.08	12.12	12.10	12.10
07:00 a.m.	12.47	12.52	12.50	12.50
07:30 a.m.	12.58	12.63	12.60	12.60
08:00 a.m.	12.90	12.98	12.95	12.94
08:30 a.m.	12.55	12.80	12.90	12.75
09:00 a.m.	13.30	13.36	13.30	13.32
09:30 a.m.	13.66	13.65	13.70	13.67
10:00 a.m.	13.84	13.87	13.85	13.85
10:30 a.m.	14.70	14.73	14.64	14.69
11:00 a.m.	15.28	15.27	15.25	15.27
11:30 a.m.	16.08	16.13	16.10	16.10
12:00 m	16.58	16.53	16.55	16.55
12:30 p.m.	16.92	16.89	16.90	16.90
01:00 p.m.	17.25	17.32	17.33	17.30
01:30 p.m.	17.12	17.12	17.06	17.10
02:00 p.m.	16.87	16.90	16.87	16.88
02:30 p.m.	16.34	16.32	16.28	16.31
03:00 p.m.	15.86	15.91	15.92	15.90
03:30 p.m.	15.06	15.12	15.13	15.10
04:00 p.m.	14.58	14.63	14.60	14.60
04:30 p.m.	13.09	13.10	13.05	13.08
05:00 p.m.	12.92	12.91	12.87	12.90
05:30 p.m.	12.12	12.10	12.08	12.10
06:00 p.m.	11.83	11.90	11.91	11.88

Fuente: Autor

Tabla 15..Mediciones de voltaje para inclinación de 16 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.38	11.43	11.40	11.40
06:30 a.m.	11.46	11.54	11.51	11.50
07:00 a.m.	11.78	11.82	11.80	11.80
07:30 a.m.	11.98	12.03	12.00	12.00
08:00 a.m.	12.35	12.42	12.43	12.40
08:30 a.m.	12.58	12.61	12.62	12.60
09:00 a.m.	12.79	12.80	12.81	12.80
09:30 a.m.	12.97	13.02	13.01	13.00
10:00 a.m.	13.15	13.23	13.22	13.20
10:30 a.m.	13.28	13.31	13.30	13.30
11:00 a.m.	13.68	13.71	13.73	13.71
11:30 a.m.	13.87	13.91	13.93	13.90
12:00 m	14.18	14.23	14.20	14.20
12:30 p.m.	14.36	14.43	14.42	14.40
01:00 p.m.	14.83	14.86	14.85	14.85
01:30 p.m.	15.13	15.15	15.16	15.15
02:00 p.m.	15.58	15.56	15.55	15.56
02:30 p.m.	15.69	15.71	15.72	15.71
03:00 p.m.	15.79	15.81	15.80	15.80
03:30 p.m.	15.89	15.91	15.90	15.90
04:00 p.m.	15.57	15.63	15.61	15.60
04:30 p.m.	14.80	14.84	14.81	14.82
05:00 p.m.	13.23	13.19	13.18	13.20
05:30 p.m.	12.46	12.56	12.50	12.51
06:00 p.m.	11.13	11.14	11.10	11.12

Fuente: Autor

Tabla 16..Mediciones de voltaje para inclinación de 20 grados para el departamento del Guaviare.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.60	11.56	11.55	11.57
06:30 a.m.	12.06	12.04	12.05	12.05
07:00 a.m.	12.09	12.07	12.05	12.07
07:30 a.m.	12.02	12.08	12.06	12.05
08:00 a.m.	12.09	12.13	12.11	12.11
08:30 a.m.	12.30	12.25	12.26	12.27
09:00 a.m.	12.32	12.28	12.30	12.30
09:30 a.m.	12.68	12.64	12.65	12.66
10:00 a.m.	12.96	12.93	12.92	12.94
10:30 a.m.	13.07	13.02	13.03	13.04
11:00 a.m.	13.62	13.60	13.57	13.60
11:30 a.m.	13.92	13.90	13.89	13.90
12:00 m	14.33	14.27	14.29	14.30
12:30 p.m.	14.72	14.68	14.70	14.70
01:00 p.m.	15.90	15.89	15.91	15.90
01:30 p.m.	16.68	16.70	16.72	16.70
02:00 p.m.	16.03	15.98	15.99	16.00
02:30 p.m.	15.79	15.81	15.80	15.80
03:00 p.m.	15.80	15.81	15.80	15.80
03:30 p.m.	15.56	15.60	15.55	15.57
04:00 p.m.	14.18	14.23	14.20	14.20
04:30 p.m.	12.87	12.89	12.83	12.86
05:00 p.m.	12.08	12.10	12.06	12.08
05:30 p.m.	11.58	11.60	11.52	11.57
06:00 p.m.	11.23	11.26	11.29	11.26

Fuente: Autor

Tabla 17..Mediciones de voltaje para inclinación de 10 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.73	11.70	11.67	11.70
06:30 a.m.	11.89	11.93	11.92	11.91
07:00 a.m.	12.06	12.05	12.04	12.05
07:30 a.m.	12.09	12.13	12.12	12.11
08:00 a.m.	12.10	12.14	12.13	12.12
08:30 a.m.	12.27	12.30	12.25	12.27
09:00 a.m.	12.30	12.32	12.29	12.30
09:30 a.m.	12.99	13.01	13.02	13.01
10:00 a.m.	13.18	13.21	13.22	13.20
10:30 a.m.	13.38	13.42	13.40	13.40
11:00 a.m.	14.01	13.99	14.00	14.00
11:30 a.m.	14.13	14.08	14.10	14.10
12:00 m	14.88	14.93	14.90	14.90
12:30 p.m.	15.53	15.50	15.51	15.51
01:00 p.m.	15.70	15.71	15.70	15.70
01:30 p.m.	16.37	16.42	16.40	16.40
02:00 p.m.	16.38	16.43	16.40	16.40
02:30 p.m.	15.85	15.74	15.80	15.80
03:00 p.m.	16.02	15.85	15.99	15.95
03:30 p.m.	15.62	15.57	15.60	15.60
04:00 p.m.	13.58	13.62	13.60	13.60
04:30 p.m.	13.17	13.24	13.20	13.20
05:00 p.m.	11.97	12.04	12.00	12.00
05:30 p.m.	11.57	11.63	11.61	11.60
06:00 p.m.	11.36	11.41	11.42	11.40

Fuente: Autor

Tabla 18..Mediciones de voltaje para inclinación de 11 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.03	12.06	12.07	12.05
06:30 a.m.	12.15	12.10	12.11	12.12
07:00 a.m.	12.71	12.68	12.70	12.70
07:30 a.m.	12.72	12.69	12.71	12.71
08:00 a.m.	13.00	13.02	12.97	13.00
08:30 a.m.	13.01	13.03	12.98	13.01
09:00 a.m.	13.62	13.63	13.56	13.60
09:30 a.m.	13.83	13.81	13.77	13.80
10:00 a.m.	14.04	14.01	13.96	14.00
10:30 a.m.	14.08	14.12	14.10	14.10
11:00 a.m.	14.68	14.72	14.70	14.70
11:30 a.m.	15.53	15.50	15.51	15.51
12:00 m	16.08	16.12	16.10	16.10
12:30 p.m.	16.65	16.70	16.60	16.65
01:00 p.m.	16.92	16.88	16.90	16.90
01:30 p.m.	16.98	17.01	17.00	17.00
02:00 p.m.	16.99	17.02	17.01	17.01
02:30 p.m.	16.59	16.62	16.60	16.60
03:00 p.m.	15.98	16.02	16.00	16.00
03:30 p.m.	15.32	15.38	15.35	15.35
04:00 p.m.	13.88	13.93	13.90	13.90
04:30 p.m.	13.18	13.22	13.20	13.20
05:00 p.m.	12.43	12.38	12.40	12.40
05:30 p.m.	12.18	12.22	12.20	12.20
06:00 p.m.	12.08	12.04	12.05	12.06

Fuente: Autor

Tabla 19..Mediciones de voltaje para inclinación de 12 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.08	12.12	12.10	12.10
06:30 a.m.	12.15	12.10	12.12	12.12
07:00 a.m.	12.28	12.33	12.30	12.30
07:30 a.m.	12.60	12.53	12.55	12.56
08:00 a.m.	12.78	12.83	12.80	12.80
08:30 a.m.	13.06	13.14	13.11	13.10
09:00 a.m.	13.20	13.22	13.18	13.20
09:30 a.m.	13.79	13.82	13.80	13.80
10:00 a.m.	14.99	15.03	15.00	15.01
10:30 a.m.	15.51	15.53	15.49	15.51
11:00 a.m.	15.92	15.88	15.90	15.90
11:30 a.m.	16.53	16.58	16.55	16.55
12:00 m	17.08	17.12	17.11	17.10
12:30 p.m.	17.58	17.63	17.60	17.60
01:00 p.m.	18.38	18.42	18.41	18.40
01:30 p.m.	17.82	17.79	17.80	17.80
02:00 p.m.	17.53	17.48	17.50	17.50
02:30 p.m.	16.87	16.92	16.90	16.90
03:00 p.m.	16.79	16.82	16.80	16.80
03:30 p.m.	15.06	15.12	15.12	15.10
04:00 p.m.	13.98	14.02	14.01	14.00
04:30 p.m.	13.68	13.73	13.70	13.70
05:00 p.m.	12.98	13.03	13.00	13.00
05:30 p.m.	12.80	12.81	12.79	12.80
06:00 p.m.	12.16	12.20	12.19	12.18

Fuente: Autor

Tabla 20..Mediciones de voltaje para inclinación de 13 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.39	12.42	12.40	12.40
06:30 a.m.	12.58	12.63	12.60	12.60
07:00 a.m.	12.81	12.80	12.79	12.80
07:30 a.m.	13.04	13.00	13.02	13.02
08:00 a.m.	13.08	13.02	13.05	13.05
08:30 a.m.	13.18	13.22	13.20	13.20
09:00 a.m.	13.46	13.42	13.44	13.44
09:30 a.m.	13.73	13.70	13.71	13.71
10:00 a.m.	14.09	14.03	14.05	14.06
10:30 a.m.	14.69	14.72	14.70	14.70
11:00 a.m.	15.31	15.32	15.30	15.31
11:30 a.m.	15.58	15.55	15.56	15.56
12:00 m	16.18	16.20	16.22	16.20
12:30 p.m.	16.58	16.62	16.60	16.60
01:00 p.m.	17.09	17.10	17.11	17.10
01:30 p.m.	18.12	18.13	18.09	18.11
02:00 p.m.	17.56	17.60	17.61	17.59
02:30 p.m.	16.96	17.03	17.02	17.00
03:00 p.m.	16.84	16.87	16.88	16.86
03:30 p.m.	16.32	16.36	16.35	16.34
04:00 p.m.	15.74	15.80	15.79	15.78
04:30 p.m.	14.30	14.34	14.32	14.32
05:00 p.m.	13.08	13.13	13.10	13.10
05:30 p.m.	12.69	12.64	12.65	12.66
06:00 p.m.	12.10	12.13	12.14	12.12

Fuente: Autor

Tabla 21..Mediciones de voltaje para inclinación de 14 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.40	12.39	12.42	12.40
06:30 a.m.	12.47	12.50	12.53	12.50
07:00 a.m.	12.57	12.60	12.63	12.60
07:30 a.m.	12.89	12.91	12.90	12.90
08:00 a.m.	13.28	13.32	13.30	13.30
08:30 a.m.	13.39	13.43	13.39	13.40
09:00 a.m.	13.90	13.92	13.92	13.91
09:30 a.m.	13.98	14.03	14.00	14.00
10:00 a.m.	14.48	14.46	14.44	14.46
10:30 a.m.	14.99	15.02	15.00	15.00
11:00 a.m.	15.19	15.25	15.22	15.22
11:30 a.m.	16.00	16.02	15.98	16.00
12:00 m	16.56	16.63	16.61	16.60
12:30 p.m.	16.97	17.02	17.01	17.00
01:00 p.m.	17.57	17.63	17.61	17.60
01:30 p.m.	17.68	17.71	17.70	17.70
02:00 p.m.	17.69	17.72	17.71	17.71
02:30 p.m.	17.38	17.42	17.41	17.40
03:00 p.m.	16.90	16.92	16.88	16.90
03:30 p.m.	15.90	15.92	15.88	15.90
04:00 p.m.	14.88	14.92	14.90	14.90
04:30 p.m.	13.37	13.42	13.41	13.40
05:00 p.m.	13.18	13.23	13.20	13.20
05:30 p.m.	12.27	12.34	12.30	12.30
06:00 p.m.	12.00	12.03	12.00	12.01

Fuente: Autor

Tabla 22..Mediciones de voltaje para inclinación de 15 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	12.01	12.09	12.08	12.06
06:30 a.m.	12.09	12.14	12.12	12.12
07:00 a.m.	12.57	12.63	12.61	12.60
07:30 a.m.	12.67	12.72	12.71	12.70
08:00 a.m.	13.03	13.07	13.03	13.04
08:30 a.m.	13.04	13.08	13.05	13.06
09:00 a.m.	13.09	13.13	13.14	13.12
09:30 a.m.	13.58	13.55	13.59	13.57
10:00 a.m.	13.64	13.67	13.65	13.65
10:30 a.m.	14.72	14.68	14.70	14.70
11:00 a.m.	15.23	15.26	15.24	15.24
11:30 a.m.	16.00	16.02	15.98	16.00
12:00 m	16.74	16.77	16.75	16.75
12:30 p.m.	17.00	16.99	17.02	17.00
01:00 p.m.	17.08	17.12	17.11	17.10
01:30 p.m.	16.99	17.00	17.02	17.00
02:00 p.m.	16.66	16.70	16.69	16.68
02:30 p.m.	16.19	16.23	16.22	16.21
03:00 p.m.	16.08	16.12	16.11	16.10
03:30 p.m.	15.12	15.16	15.15	15.14
04:00 p.m.	13.76	13.84	13.81	13.80
04:30 p.m.	13.05	13.09	13.08	13.07
05:00 p.m.	13.00	13.04	13.03	13.02
05:30 p.m.	11.98	12.01	12.00	12.00
06:00 p.m.	11.65	11.70	11.69	11.68

Fuente: Autor

Tabla 23..Mediciones de voltaje para inclinación de 16 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.26	11.34	11.30	11.30
06:30 a.m.	11.45	11.53	11.52	11.50
07:00 a.m.	11.86	11.94	11.91	11.90
07:30 a.m.	12.15	12.22	12.22	12.20
08:00 a.m.	12.16	12.22	12.23	12.20
08:30 a.m.	12.37	12.42	12.42	12.40
09:00 a.m.	12.57	12.62	12.61	12.60
09:30 a.m.	12.78	12.82	12.81	12.80
10:00 a.m.	12.96	13.04	13.00	13.00
10:30 a.m.	13.07	13.14	13.10	13.10
11:00 a.m.	13.59	13.62	13.60	13.60
11:30 a.m.	13.77	13.83	13.81	13.80
12:00 m	13.98	14.03	14.01	14.01
12:30 p.m.	14.47	14.53	14.51	14.50
01:00 p.m.	14.82	14.85	14.83	14.83
01:30 p.m.	15.12	15.16	15.11	15.13
02:00 p.m.	15.44	15.48	15.45	15.46
02:30 p.m.	15.89	15.92	15.90	15.90
03:00 p.m.	15.97	16.03	16.10	16.03
03:30 p.m.	16.00	16.14	16.15	16.10
04:00 p.m.	15.36	15.44	15.41	15.40
04:30 p.m.	15.00	15.05	15.02	15.02
05:00 p.m.	13.26	13.32	13.32	13.30
05:30 p.m.	11.87	11.92	11.91	11.90
06:00 p.m.	11.87	11.91	11.91	11.90

Fuente: Autor

Tabla 24..Mediciones de voltaje para inclinación de 20 grados para el departamento del Vichada.

HORA	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	PROMEDIO
06:00 a.m.	11.26	11.34	11.30	11.30
06:30 a.m.	11.45	11.53	11.52	11.50
07:00 a.m.	11.86	11.94	11.91	11.90
07:30 a.m.	12.15	12.22	12.22	12.20
08:00 a.m.	12.16	12.22	12.23	12.20
08:30 a.m.	12.37	12.42	12.42	12.40
09:00 a.m.	12.57	12.62	12.61	12.60
09:30 a.m.	12.78	12.82	12.81	12.80
10:00 a.m.	12.96	13.04	13.00	13.00
10:30 a.m.	13.07	13.14	13.10	13.10
11:00 a.m.	13.59	13.62	13.60	13.60
11:30 a.m.	13.77	13.83	13.81	13.80
12:00 m	13.98	14.03	14.01	14.01
12:30 p.m.	14.47	14.53	14.51	14.50
01:00 p.m.	14.82	14.85	14.83	14.83
01:30 p.m.	15.12	15.16	15.11	15.13
02:00 p.m.	15.44	15.48	15.45	15.46
02:30 p.m.	15.89	15.92	15.90	15.90
03:00 p.m.	15.97	16.03	16.10	16.03
03:30 p.m.	16.00	16.14	16.15	16.10
04:00 p.m.	15.36	15.44	15.41	15.40
04:30 p.m.	15.00	15.05	15.02	15.02
05:00 p.m.	13.26	13.32	13.32	13.30
05:30 p.m.	11.87	11.92	11.91	11.90
06:00 p.m.	11.87	11.91	11.91	11.90

Fuente: Autor