

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO 760 W/DÍA

PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AUTOBÚS

Oswaldo René Miranda Vizuite.

Carlos Sebastián Freire Valenzuela.

Marcelo Alejandro Pérez Chávez.

Director

Ing. Andrés Gavilánez.

Marzo 2013.

Quito – Ecuador.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres y a toda mi familia por el esfuerzo, compañía y apoyo que siempre me han brindado.

Al Ingeniero Andrés Gavilánez por su asesoramiento y la dirección de este trabajo y a todos los profesores que intervinieron durante mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos por su confianza y entrega.

Oswaldo René Miranda Vizúete.

Dedicatoria

A mis padres y mi familia, quienes a lo largo de mi vida han sido mi apoyo y porque siempre se han preocupado por mi bienestar, gracias por todo.

Declaración.

Nosotros, Carlos Sebastián Freire Valenzuela, Oswaldo Rene Miranda Vizuite y Marcelo Alejandro Pérez Chaves, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Firma.
Oswaldo Rene Miranda Vizuite.
C.C.100250747-1

Firma.
Marcelo Alejandro Pérez Chaves.
C.C.060379743-2

Firma.
Carlos Sebastián Freire Valenzuela.
C.C.100382605-2

Yo, Ing. Andrés Gavilánez, certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, así como de su contenido.

Firma del director de Tesis.
Ing. Andrés Santiago Gavilánez Vásconez.

Agradecimiento.

A la Universidad Internacional del Ecuador, sus autoridades y docentes quienes imparten sus conocimientos y experiencias a sus alumnos con el fin de otorgar profesionales a la sociedad, ante todo seres humanos que contribuyan al bienestar del país.

Un especial agradecimiento al Ing. Andrés Gavilanes, quien me permitió elegirlo como director de esta tesis de grado, y también permitirme ser un colaborador de su empresa donde obtuve experiencia necesaria para un mejor desenvolvimiento en mi vida laboral.

A todas las personas con voluntad de ayudar a los demás, porque el valor de un hombre es por lo bueno que hizo en su vida, porque todos los grandes árboles crecen de semillas pequeñas, por que ayudar a una persona significa ayudar a una persona más y porque mientras haya gente lista para ayudar existirá esperanza.

Agradezco todo lo que viví, todo lo que vivo, y lo que viviré.

Muchas Gracias.

Sebastián Freire V.

Dedicatoria.

A Dios por permitirme estar aquí a lado de personas sin igual, enseñándome día a día, que los actos buenos de mi vida son míos, mientras que mis errores son para las personas que están a mi lado levantando después de cada caída, ayudándome cuando no puedo valerme por si solo y sobre todo dándome lecciones de vida para cada día ser mejor.

A mi Padre Carlos por enseñarme que con trabajo, honradez, sacrificio y esfuerzo se puede llegar lejos, con la única verdad de nunca olvidar quien eres.

A mi Madre Iralda por estar a mi lado día a día enseñándome a ser un hombre de bien.

A mi Hermano Fernando por ser la persona que con mucho respeto y admiración, siempre puedo contar.

A mis Abuelitos Héctor y María, aunque no estén a mi lado siempre los llevo en mi ser, por permitirme haberles acompañado en mi infancia.

A mi Hija Victoria por ser la luz de mis ojos y el faro de mi vida.

Agradecimiento.

Mi agradecimiento eterno con gratitud y respeto a Dios por haberme entregado salud y sabiduría para alcanzar esta meta, además a mis maestros por guiarme al camino del éxito a través de sus conocimientos impartidos creando así un profesional con una visión de superación.

Marcelo Pérez Ch.

Dedicatoria.

Mi madre Rosita, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste.

Mi hijo Alejandro para que vea en mi un ejemplo a seguir.

A todos aquellos familiares, amigos y compañeros que me apoyaron a lo largo de este camino.

Síntesis

El presente estudio tiene como finalidad demostrar la aplicación de energías renovables como una alternativa de obtención de energía limpia que puede reemplazar en un futuro próximo a los combustibles fósiles utilizados actualmente.

Esto se logró mediante la aplicación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica instalado en el autobús de la Facultad de Ingeniería Automotriz realizado en la ciudad de Quito, en las instalaciones de la Universidad Internacional del Ecuador, entre mayo del 2012 a marzo del 2013.

Entre los procesos realizados en esta investigación, podemos mencionar el estudio del recurso solar en Quito, la recopilación de valores de radiación solar, el cálculo de cargas, dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, selección de los componentes y diversos datos de generación de la instalación. Pudimos obtener valores promedio sobre la radiación solar útil siendo esta de 5.5 horas por día, en las pruebas realizadas obtuvimos valores de generación de cada panel que van de 20 a 24 voltios dependiendo de la posición y las horas de sol.

Podemos decir que las aplicaciones de energía solar son muy útiles y tenemos que aprovechar el recurso solar de nuestra región ya que la incidencia de los rayos solares es casi directa y podemos aplicar esto en muchos campos.

Abstract

The present study aims to demonstrate the application of renewable energy as an alternative clean energy production that can replace in the near future for fossil fuels currently used.

This was accomplished by applying a system of photovoltaic solar power generation installed on the bus, Faculty of Automotive Engineering held in the city of Quito, at the premises of the International University of Ecuador, from May 2012 to March 2013.

Among the processes performed in this research, we can mention the study of the solar resource in Quito, collecting solar radiation values, load calculation, sizing the PV system component selection and various data generating installation. We were able to obtain average values of solar radiation this being useful for 5.5 hours per day, in the tests we obtained values of each panel generation ranging from 20 to 24 volts depending on the location and hours of sunshine.

We can say that solar applications are very useful and we have to take advantage of the solar resource in our region since the incidence of the sun is almost directly and we can apply this in many fields.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	13
Generalidades.....	13
1.1. ANTECEDENTES.....	13
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. Objetivos Generales.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. ALCANCE.....	17
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	17
CAPÍTULO II.....	19
Energía Solar Fotovoltaica.....	19
2.1. LUZ SOLAR.....	19
2.1.1. Reflexión de la Luz.....	19
2.1.2. Naturaleza de la Luz.....	20
2.1.3. Ley de la Reflexión.....	21
2.2. CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	21
2.3. ACUMULADORES ELECTROQUIMICOS.....	24
2.4. CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	27
2.4.1. Módulos Fotovoltaicos.....	30
2.4.2. Elementos del Acumulador.....	33
2.5. CÁLCULO DE INSTALACIONES.....	40
2.6. ANÁLISIS TERMICO.....	41
2.6.1. Balance de energía.....	46
2.6.2. Eficiencia óptica.....	49
2.6.3. Coeficiente Global de Transferencia de Calor.....	52
CAPÍTULO III.....	55
Análisis del Recurso Solar Local.....	55
3.1. RADIACIÓN SOLAR.....	55
3.2. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ATMÓSFERA.....	69
3.3. TIPOS DE RADIACIÓN.....	71
3.4. HORAS DE SOL.....	73
3.5. DIRECCIÓN DE LA RADIACIÓN DIRECTA.....	80
3.6. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	81
3.7. TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN.....	85
3.7.1. Método del Amperaje.....	87
3.7.2. Aplicación de Programas Informáticos.....	89
3.7.3. Tablas de Heliofanía.....	90
3.7.4. Mapas de Radiación.....	100
3.8. VALOR PROMEDIO DE LA IRRADIACIÓN.....	102
CAPÍTULO IV.....	103
Implementación del Sistema Fotovoltaico.....	103

4.1. APLICACIONES ACTUALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	103
4.2. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	108
4.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA CARGA ENERGÉTICA.....	112
4.4. SELECCIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO.....	121
4.4.1. Tipos de Paneles Fotovoltaicos.....	122
4.4.2. Matriz de Selección del Tipo de Panel Fotovoltaico.....	123
4.5. SECCIÓN DEL PANEL ACUMULADOR.....	125
4.5.1. Tipos de Acumuladores.....	128
4.5.2. Matriz de Sección de los Acumuladores.....	130
4.6. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.....	131
4.7. PRUEBAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	138
CAPÍTULO V.....	150
Conclusiones y Recomendaciones.....	150
5.1. CONCLUSIONES.....	150
5.2. RECOMENDACIONES.....	151

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Trayectoria de un rayo solar.....	20
Gráfico 2.2. Panel Solar Fotovoltaico.....	23
Gráfico 2.3. Reacción Química Dentro de una Batería.....	27
Gráfico 2.4. Conexión de Elementos de un Sistema Fotovoltaico.....	28
Gráfico 2.5. Esquema de Conexiones del Sistema Fotovoltaico.....	29
Gráfico 2.6. Modulo Fotovoltaico.....	33
Gráfico 2.7. Batería en Corte.....	36
Gráfico 2.8. Célula Fotovoltaica.....	44
Gráfico 2.9. Irradiación Solar Global.....	45
Gráfico 2.10. Radiación Solar que Ingresa a la Tierra.....	46
Gráfico 2.11. Panel Solar.....	50
Gráfico 3.1. Lugar de la Instalación.....	55
Gráfico 3.2. Curva de Gdm(+15°) por IEPALA.....	61
Gráfico 3.3. Curva de Gdm(+15°) de Amstron Page.....	63
Gráfico 3.4. Mapa de Radiación Solar Global del Ecuador.....	63
Gráfico 3.5. Irradiación Solar sobre Quito.....	64
Gráfico 3.6. Horas de Sol Día.....	64
Gráfico 3.7. Curva de Gdm(+15°) con Tablas del INAMHI.....	67
Gráfico 3.8. Comparación de Curvas de Gdm(+15°) por los tres Métodos.....	68
Gráfico 3.9. Interacción con la Atmósfera.....	69
Gráfico 3.10. Incidencia del Sol.....	71
Gráfico 3.11. Radiación Directa.....	80
Gráfico 3.12. Instrumento de medición Pirheliómetro.....	81
Gráfico 3.13. Instrumento de Medición Piranómetro.....	82
Gráfico 3.14. Instrumento de Medición Heliógrafo.....	83

Gráfico 3.15. Banda de Heliógrafo.....	84
Gráfico 3.16. Tipos de Radiación en Ecuador.....	86
Gráfico 3.17. Datos Técnicos de Panel Solar.....	87
Gráfico 3.18. Base de Datos Corrección de Ángulo con Respecto al Sitio.....	89
Gráfico 3.19. Zonas de Irradiación en el Ecuador.....	100
Gráfico 3.20. Irradiación Solar sobre Pichincha.....	101
Gráfico 4.1. Energía Fotovoltaica en Hogares.....	103
Gráfico 4.2. Luminaria con Panel Solar.....	104
Gráfico 4.3. Señal de Transito con Paneles Solares.....	105
Gráfico 4.4. Automóvil de Energía Solar.....	106
Gráfico 4.5. Satélite que Funciona con Paneles Solares.....	106
Gráfico 4.6. Linterna con Fococelda.....	107
Gráfico 4.7. Detalle Constructivo.....	109
Gráfico 4.8. Controlador de Carga.....	110
Gráfico 4.9. Batería Empleada en el Sistema.....	111
Gráfico 4.10. Inversor Empleado en el Sistema.....	112
Gráfico 4.11. Panel Solar.....	125
Gráfico 4.12. Batería.....	127
Gráfico 4.13. Funcionamiento de un Controlador.....	135
Gráfico 4.14. Controlador.....	136
Gráfico 4.15. Multímetro con Pinza Amperimétrica.....	141
Gráfico 4.16. Prueba de Generación #1.....	142
Gráfico 4.17. Prueba de Generación #2.....	143
Gráfico 4.18. Prueba de Generación #3.....	143
Gráfico 4.19. Prueba de Generación #4.....	144
Gráfico 4.20. Prueba de Generación #5.....	144
Gráfico 4.21. Prueba de Generación #6.....	145
Gráfico 4.22. Prueba de Generación #7.....	146
Gráfico 4.23. Prueba de Generación #8.....	147
Gráfico 4.24. Prueba de Generación #9.....	147
Gráfico 4.25. Prueba de Generación #10.....	148
Gráfico 4.26. Prueba de Generación #11.....	148
Gráfico 4.27. Prueba de Generación #12.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cuerpo de Convección.....	53
---------------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Selección de Calibre de un Conductor.....	38
Tabla 2.2. Cálculo del Consumo Estimado.....	41
Tabla 2.3. Unidades de Medida de Energía Solar.....	41

Tabla 3.1. Datos Promedio Mensuales de Gdm(0).....	58
Tabla 3.2. Aplicación del Método IEPALA.....	59
Tabla 3.3. Datos Mensuales de Gdm(+15°) por IEPALA.....	60
Tabla 3.4. Datos de Entrada para Amstrong Page.....	62
Tabla 3.5. Datos Gdm(+15°) de Amstrong Page.....	62
Tabla 3.6. Aplicación del Método IEPALA con Gdm(+15°) Constante.....	66
Tabla 3.7. Datos de Gdm(+15°) Tablas del INAMHI.....	66
Tabla 3.8. Datos de Gdm(+15°) por los tres Métodos.....	68
Tabla 3.9. Calendario Enero.....	74
Tabla 3.10. Calendario Febrero.....	74
Tabla 3.11. Calendario Marzo.....	75
Tabla 3.12. Calendario Abril.....	75
Tabla 3.13. Calendario Mayo.....	76
Tabla 3.14. Calendario Junio.....	76
Tabla 3.15. Calendario Julio.....	77
Tabla 3.16. Calendario Agosto.....	77
Tabla 3.17. Calendario Septiembre.....	78
Tabla 3.18. Calendario Octubre.....	78
Tabla 3.19. Calendario Noviembre.....	79
Tabla 3.20. Calendario Diciembre.....	79
Tabla 3.21. Calibración del Pirheliómetro.....	91
Tabla 3.22. Mes de Agosto.....	92
Tabla 3.23. Mes de Septiembre.....	93
Tabla 3.24. Mes de Octubre.....	94
Tabla 3.25. Mes de Noviembre.....	95
Tabla 3.26. Mes de Diciembre.....	96
Tabla 3.27. Mes de Enero.....	97
Tabla 3.28. Tabla Promedio de los 6 Meses.....	98
Tabla 3.29. Tabla de Potencia Efectiva.....	99
Tabla 4.1. Equipos Eléctricos en el Autobus.....	114
Tabla 4.2. Consumo de los Equipos.....	114
Tabla 4.3. Potencia Demanda.....	115
Tabla 4.4. Matriz de selección del Panel Solar.....	124
Tabla 4.5. Matriz de selección de Baterías.....	131
Tabla 4.6. Matriz de selección Inversor.....	132
Tabla 4.7. Matriz de selección del Controlador de Carga.....	135
Tabla 4.8. Características de Cable.....	138
Tabla 4.9. Especificaciones del Multímetro.....	141
Tabla 4.10. Generación Censada Paneles Solares.....	142
Tabla 4.12. Pruebas de Salida de Voltaje.....	146

CAPITULO I

Generalidades.

1.1 Antecedentes.

La energía solar ha existido desde siempre, gracias a ella se ha dado la vida en nuestro planeta y es la fuente de casi toda la energía en la tierra. Los seres humanos al igual que otras especies vivas del planeta dependen de la luz solar para su desarrollo, sin embargo las personas aprovechan la energía del sol de otras maneras.

El abuso en la utilización de combustibles fósiles ha traído consecuencias irreversibles con el medio ambiente por lo que muchos se han concentrado en aprovechar la energía del sol para producir calor y electricidad. Pero aún falta que la gente aprenda sobre estas alternativas energéticas y que los demás no se muestren reacios a aprender o a cambiar y además la ayuda gubernamental para el desarrollo y aplicación no han sido muy buenas.

Se han dado experimentos y descubrimientos desde hace tiempo hasta que Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chaplin en 1954 descubrieron accidentalmente el uso del silicio como semiconductor lo que les llevó a la fabricación del primer panel solar fotovoltaico de silicio con un rendimiento del 6%. Los dispositivos fotovoltaicos son los únicos que convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica sin

ningún ruido, contaminación o componentes móviles, por lo que resulta confiable y de larga duración. Los sistemas fotovoltaicos se utilizan ahora para impulsar cualquier cosa como electrodomésticos hasta automóviles.

1.2 Definición del Problema.

Una de las principales preocupaciones que tiene el mundo hoy en día es la conservación del medio ambiente, en este sentido se tiene algunas tendencias ecológicas. Como el uso de la tecnología para frenar las excesivas emisiones de contaminantes a la atmósfera, para citar algunos ejemplos en la industria automotriz se tiene vehículos híbridos y motores que son muy eficientes capaces de tener mayor potencia con menor cilindrada, en la industria de los artefactos electrónicos sucede exactamente lo mismo, existen desde focos capaces de alumbrar lo mismo que un lámpara de 100W incandescente, únicamente consumiendo 20W de tipo LED y que cuentan con una vida útil 5 veces mayor a su predecesor.

Si nos ponemos a pensar en el Ecuador la generación de energía eléctrica viene de hidroeléctricas desde el punto de vista energético muy eficientes, pero los efectos al medio ambiente son supremamente devastadores porque para construir una de estas hidroeléctricas se debe modificar el entorno en gran medida debido a que es necesario inundar una gran cantidad de terreno para crear una represa.

De esta represa creada por el hombre donde no existe vida por el simple hecho de que esas aguas deben ser turbinadas, esto significa, que pasen por las aspas de los generadores eléctricos a gran velocidad, lo cual arrastra gran cantidad de sedimentos y al final del proceso únicamente queda agua turbia que tarda cientos de kilómetros más abajo para que logre deshacerse de millones de partículas de sedimentos.

Como segunda opción de generación de energía eléctrica se tiene las termoeléctricas que básicamente queman diésel para este fin lo cual es costoso y el estado lo subsidia, sobre todas las cosas, no es nada amigable con el medio ambiente.

De este panorama nace la idea de contribuir con el medio ambiente, implementando paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica y crear un aula ecológica en la universidad. Los paneles fotovoltaicos básicamente crean el efecto fotoeléctrico, consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética esta es luz visible o ultravioleta, en general.

En este tipo de celdas se emplean materiales abundantes en el planeta, muy durables y sobre todo que no contaminan, obteniendo hasta 45% de eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar. Con lo cual se puede determinar que el uso de

paneles fotovoltaicos de tercera generación para equipar un aula ecológica en la UIDE es necesario para contribuir con el medio ambiente.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivos Generales.

Implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica amigable con el medio ambiente que a su vez pueda ser utilizado para los requerimientos de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz, como por ejemplo carga de baterías de equipos portátiles, laptops, celulares, tablets, y que permita que el autobús sea utilizado como una aula ecológica para impartir clases ya que tendrá un sistema autónomo que genera 760W/día.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Estudiar el sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.
- Calcular la carga del sistema fotovoltaico para abastecer al autobús.
- Implementar nuevas fuentes de energía renovable para no depender de los combustibles fósiles.
- Calcular la autonomía del sistema fotovoltaico para el abastecimiento nocturno.

1.4. Alcance.

Con la aplicación de este proyecto para generación de energía eléctrica amigable con el medio ambiente se pretende dar a conocer las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos en vehículos como casas rodantes, camiones de abasto en carreras de larga duración, camiones de exploración para estadías largas de investigación en sitios remotos de la geografía ecuatoriana y buses de turismo.

Además de que se va a dar a conocer una nueva manera de utilizar la energía más limpia y abundante sobre la faz de la tierra, la energía solar que ha estado aquí por miles de años generando vida.

1.5. Justificación e importancia.

La necesidad del hombre por energía lo ha llevado a investigar otras maneras de obtener energía, por esta razón, usando los conocimientos adquiridos académicamente en las clases impartidas y prácticas realizadas, se cree necesaria la aplicación, investigación y desarrollo, de la energía solar, para implementar un sistema fotovoltaico en el autobús que se encuentra en el parqueadero de profesores de la facultad, el cual genere electricidad independientemente de la red eléctrica convencional, además dejando de la lado el uso del motor de combustión interna, se logra crear una autonomía energética en el autobús y que pueda ser utilizado como

un aula de clase o una sala de reuniones para el beneficio de los estudiantes de la facultad.

El estudio empezará con la evaluación del recurso solar analizando la radiación en el sitio de la instalación luego, el cálculo para la capacidad de la potencia requerida y con estos datos se procederá a la selección de los equipos para finalmente realizar las pruebas que indicaran los resultados de la investigación.

CAPITULO II

Energía Solar Fotovoltaica.

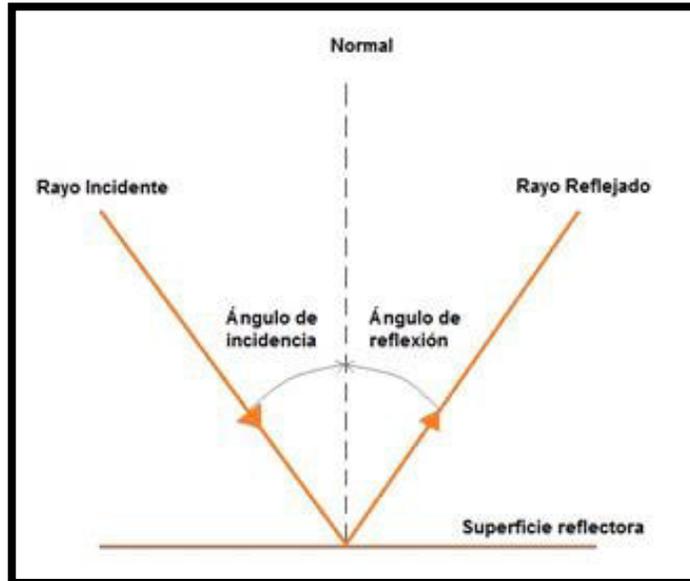
2.1 Luz Solar.

La luz se origina en un punto (foco luminoso) en este caso desde el sol, a partir de ahí los haces luminosos se propaga sufriendo distintos fenómenos como la dispersión, reflexión, refracción, difracción, y si alcanza el ojo produce la visión.

2.1.1 Reflexión de la Luz.

La luz se propaga en línea recta y al llegar a un objeto se refleja, un objeto no luminoso solo se ve si refleja luz y esta llega al ojo, si no hay focos de luz no se ve, si un objeto no emite ni refleja luz tampoco se ve. Si un rayo de luz llega a una superficie pulida se refleja en una dirección, esto se llama reflexión especular, pero si una superficie no está pulida se refleja en todas direcciones, conocida como reflexión difusa.

Gráfico 2.1. Trayectoria de un rayo solar.



Fuente: Oswaldo Miranda.

2.1.2 Naturaleza de la Luz.

La luz es una forma de radiación electromagnética que se manifiesta en dos comportamientos en apariencia contradictorios, a través de los modelos ondulatorio y de partículas. La interacción de la luz con los lentes, los espejos, prismas y ranuras, se puede comprender de manera satisfactoria mediante el modelo ondulatorio.

Por otra parte, cuando la luz es emitida o absorbida por los átomos de un sistema, este proceso ocurre como si la energía radiante tuviera la forma de ráfagas diminutas, localizadas y bien dirigidas.

2.1.3 Ley de la Reflexión.

Un rayo es una recta matemática trazada perpendicular a los frentes de una onda luminosa. Muestra la dirección de propagación de la energía electromagnética, la onda electromagnética al chocar con una superficie cambia de dirección, si la superficie es muy brillante como un espejo el rayo se puede reflejar en condiciones similares a las que golpeo la superficie por mencionar un ejemplo cuando nos vemos reflejados en el agua del mar a si también si la onda electromagnética golpea una superficie opaca esta es absorbida para producir calor.

Las leyes de la reflexión son:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie son parte de en un mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

2.2 Célula Fotovoltaica.

La célula fotovoltaica, es un dispositivo que mediante la radiación solar es capaz de transformar la energía luminosa en movimiento de electrones conocido como efecto fotovoltaico. Estas células están formadas por materiales semiconductores, los cuales en estado natural se comportan como aislantes, pero si

se les aplica algún tipo de energía como por ejemplo la luz solar pueden producir un flujo de electrones.

Las células fotovoltaicas están formadas por silicio, la luz solar agrega la energía necesaria para que los electrones de valencia del silicio se liberen del átomo y formen una corriente de electrones. Para que el silicio sea un mejor material semiconductor se le añade átomos de fósforo, el silicio tiene cuatro electrones de valencia para compartir con otros átomos, el fósforo tiene cinco electrones de valencia, este quinto electrón que está en exceso es el que pasa de un átomo a otro por acción de la luz solar. Lo que hace que el silicio pueda producir un flujo de electrones, por lo tanto la conducción se produce por la liberación de electrones. A este material se le conoce como tipo "n" o negativo.

Cuando al silicio se le combina con boro el cual solo tiene tres electrones de valencia, se produce el mismo efecto conductor. El boro al tener solo tres electrones acepta del átomo de silicio un electrón y produce de esta manera, con la exposición a la luz solar, el flujo de electrones de hueco en hueco. A este material semiconductor se le conoce como tipo "p" o positivo.

Al tener estos dos tipos de materiales juntos, el tipo "n" y el tipo "p", aparece un polo positivo y un polo negativo, formando una diferencia de potencial debido al flujo de electrones de la zona "n" donde existe un excedente, hasta la zona "p" en donde carecen los electrones.

En la actualidad se utilizan células fotovoltaicas de silicio monocristalino, de silicio policristalino y de silicio amorfo. El silicio monocristalino es el mejor, por lo tanto el más costoso, en este tipo de células cada átomo se alinea perfectamente. Al lingote de silicio purificado y cristalizado se corta en capas muy finas de color uniforme.

En la célula de silicio policristalino, la dirección de alineamiento de los átomos es aleatoria, dándole distintos tonos de coloraciones azuladas y grises de color metálico. El silicio amorfo ya no tiene una estructura cristalina y ordenada, es de coloración marrón o gris oscura, es el utilizado en las calculadoras solares y diversos artefactos. Una sola célula fotovoltaica genera una corriente muy baja de 0.46V a 0,48V; Por lo que es necesario unir varias células en serie en un panel o modulo fotovoltaico para alcanzar el voltaje necesario.

Gráfico 2.2- Panel solar fotovoltaico.



Fuente: Carlos Freire V.

2.3 Acumuladores Electroquímicos.

“Los acumuladores se dividen en primarios y secundarios. Los primarios son los que luego de suministrar una cantidad de corriente no pueden regenerarse (recargarse) haciendo pasar una corriente en dirección opuesta al sentido de la descarga. Los secundarios son los que pueden regenerarse después de una descarga haciendo pasar por ellos una corriente generada exteriormente. Este proceso puede repetirse una y otra vez”¹.

Los acumuladores más utilizados son los de plomo ácido, este tipo consta de dos placas una de plomo y otra de dióxido de plomo, sumergidas en una solución de ácido sulfúrico conocida como electrolito. La reacción química produce corriente eléctrica debido a que los átomos que forman los elementos químicos se mantienen unidos por fuerzas eléctricas.

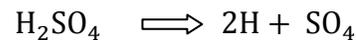
La capa más externa de un átomo está compuesta por electrones, son pequeñas partículas portadoras de cargas eléctricas negativas que están unidas a los átomos de forma permanente, por lo que pueden intercambiarse entre ellos durante las reacciones químicas.

Cuando un átomo gana un electrón, adquiere una carga negativa y todo el conjunto pasa a estar cargado negativamente. Cuando pierde un electrón queda

¹ Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, Editorial Paraninfo año 2011, Pág. 127

cargado positivamente. Se les conoce como iones a los átomos que se hallan en este estado de carga eléctrica. Los iones positivos y negativos se atraen mutuamente y los que tienen carga del mismo signo se repelen.

En el ácido sulfúrico H_2SO_4 cada molécula contiene dos átomos de hidrogeno "H" y uno de azufre "S" y cuatro de oxígeno "O". Al disolverse en agua ese ácido sulfúrico se disocia en iones cargados eléctricamente:



Cada molécula de ácido sulfúrico proporciona dos iones de hidrogeno con carga positiva y un ion de sulfato con dos cargas negativas. Los iones disociados del ácido no reaccionan con el plomo puro de la placa negativa ni con el dióxido de plomo de la placa positiva, y en la superficie de estas placas se produce una capa de iones, pero al conectar una carga se rompe el equilibrio y permite que los electrones fluyan libremente de una placa a otra.

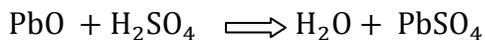
Por lo tanto los átomos de plomo pierden dos electrones y se convierten en iones de plomo con doble carga positiva Pb^{++} , los iones cargados positivamente atraen a los iones SO_4 del ácido y se combinan formando de este modo sulfato de plomo PbSO_4 y esta reacción continua mientras sigan pasando electrones.

Por lo que en la placa negativa los electrones cargados negativamente fluyen a través del cable produciéndose la corriente eléctrica, mientras que los iones de hidrogeno cargados positivamente permanecen en la solución acida. En ambos casos los dos se dirigen a la placa positiva, uno por medio del cable de corriente eléctrica y el otro por medio de la solución acida.

Mientras que en la placa positiva, los electrones que llegan a ella son negativos y atraen a los iones de hidrogeno positivos hacia la placa de dióxido de plomo PbO_2 que se combina con los electrones e iones formando oxido de plomo PbO y agua H_2O .

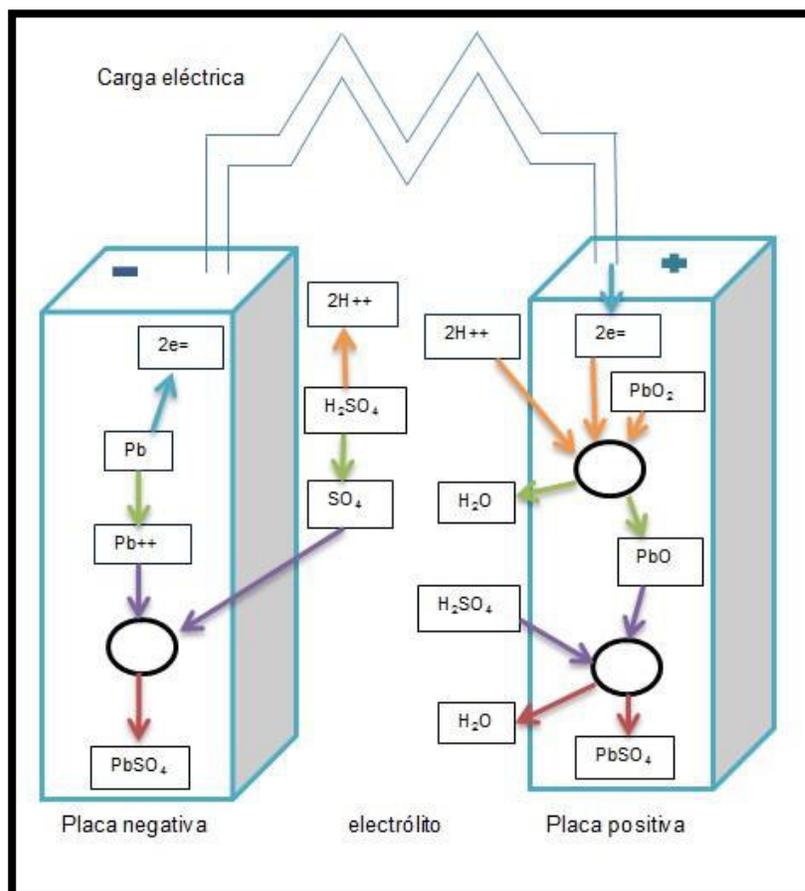


El óxido de plomo es atacado por el ácido sulfúrico y reacciona formando sulfato de plomo y agua.



Cuando esto ha ocurrido, el acumulador está completamente descargado. Para recargarlo se hace pasar por el en sentido contrario una corriente eléctrica proveniente de un generador lo que produce que se inviertan las reacciones químicas antes vistas.

Gráfico 2.3. Reacción química dentro de la batería.

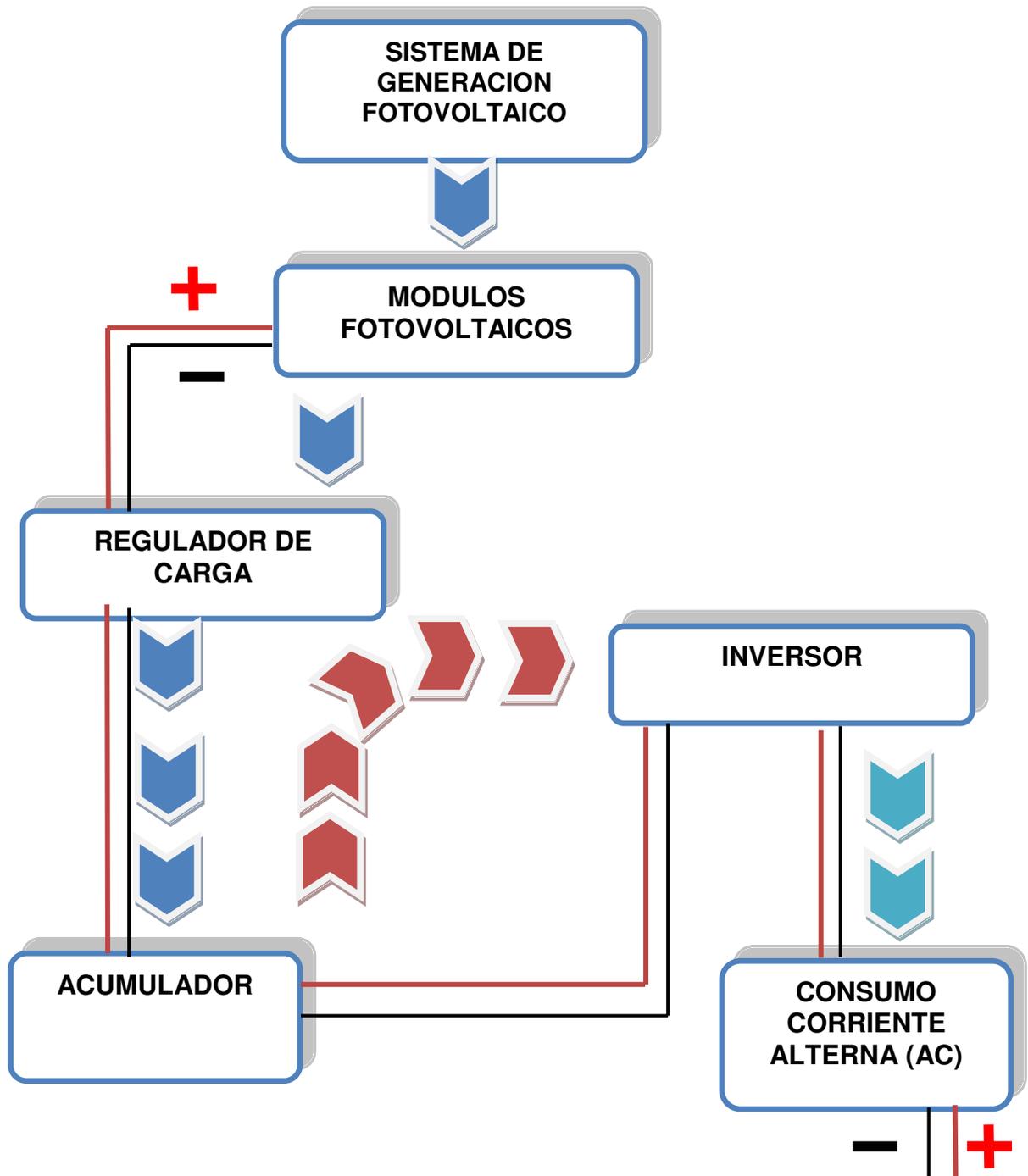


Fuente: Oswaldo Miranda.

2.4 Conexión de los Elementos.

La instalación de un Sistema de Generación de Energía Fotovoltaico obedece el siguiente orden de conexión de elementos para su óptimo funcionamiento. En este diagrama de flujo se refleja como fluye la corriente teóricamente a través de cada uno de los componentes del sistema.

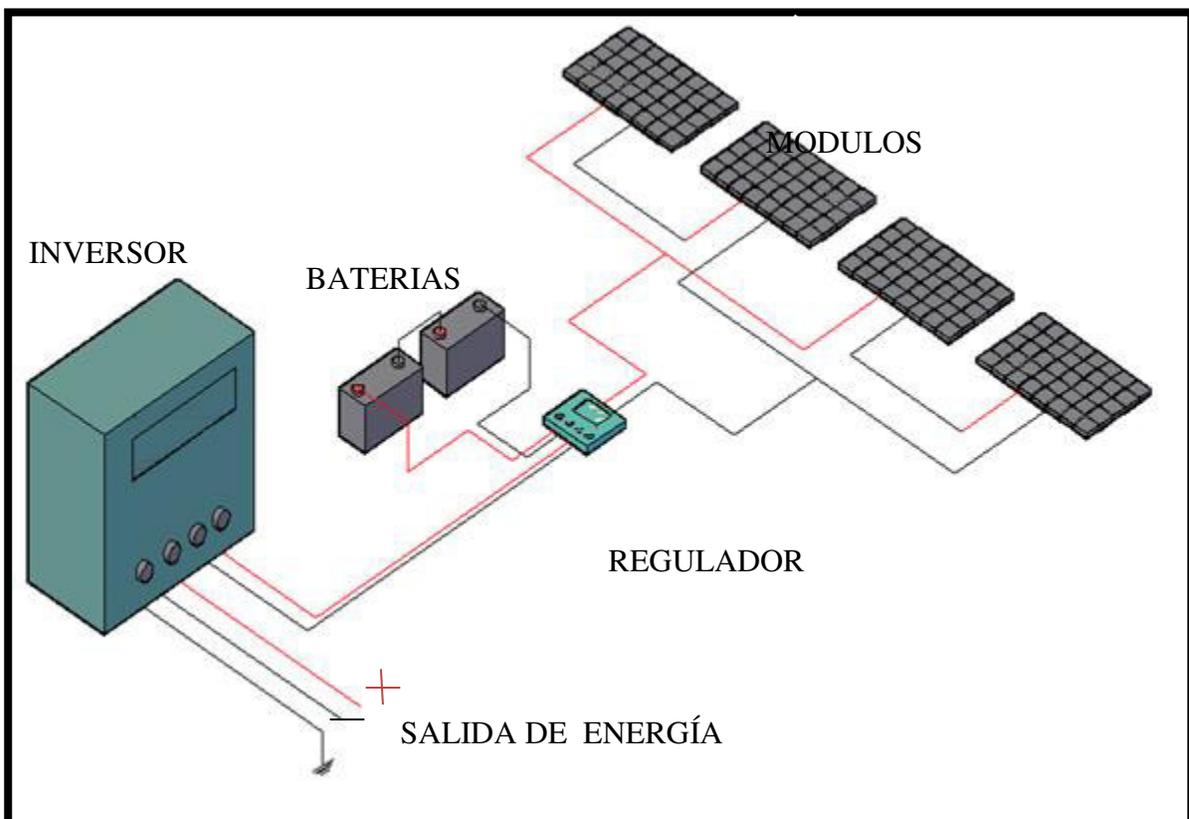
Gráfico 2.4: Conexión de elementos de un sistema fotovoltaicos.



Fuente: Marcelo Pérez.

Al realizar la conexión de un sistema que genere energía fotovoltaica se deberá tomar en cuenta los siguientes parámetros: La Tensión (V) y la Intensidad (I) de corriente que se va a requerir el sistema como suministro, esto se calcula más adelante en esta tesis de grado analizando el consumo de energía en Watts (W) y el número de horas por día que los elementos eléctricos estarán en funcionamiento, tomando en cuenta los aparatos a instalar, a continuación se muestra el diagrama de conexiones de los componentes del sistema.

Gráfico 2.5: Esquema de conexiones del sistema fotovoltaico.



Fuente: Carlos Freire V.

2.4.1 Módulos Fotovoltaicos.

El módulo o panel fotovoltaico es la agrupación de celdas o células fotovoltaicas en una misma estructura que generalmente poseen una forma geométrica rectangular.

Para los módulos o paneles fotovoltaicos la capacidad de producción de energía se expresa en vatios-pico (Watt), los valores nominales de funcionamiento y rendimiento de los módulos fotovoltaicos se obtienen en laboratorios y en condiciones óptimas de trabajo, por este motivo los valores reales de generación difieren de los valores nominales de generación, ya que la capacidad de producción eléctrica de un módulo depende directamente de diversas variables como por ejemplo la radiación que incide sobre cada una de las celdas.

Los módulos fotovoltaicos actualmente se fabrican para una vida útil de aproximadamente 20 años por lo tanto son rentables si se los ubica en zonas con mayor cantidad de horas útiles por día.

Los módulos fotovoltaicos están conformados por celdas fotovoltaicas que internamente pueden ir conectadas en serie o paralelo, esta asociación de celdas desde el punto de vista eléctrico proporciona el nivel adecuado de tensión e intensidad para la cual ha sido diseñado el módulo fotovoltaico.

De ahí que se debe seleccionar el módulo fotovoltaico teniendo en consideración el tipo, número y tamaño de celdas que conforman al mismo y consecuentemente la cantidad de módulos fotovoltaicos según sea el requerimiento del sistema. En los módulos fotovoltaicos está instalada en la parte posterior la caja de conexiones exteriores.

Así como las celdas fotovoltaicas pueden conectarse en serie o paralelo los módulos también se conectan tanto en serie como en paralelo según los parámetros de tensión e intensidad de corriente que necesitemos para nuestro sistema.

Las células fotovoltaicas se encuentran encapsuladas en una estructura que se la conoce como módulo fotovoltaico, esta debe estar constituida por la cara frontal de un material que debe poseer las siguientes características:

- Debe permitir que los rayos de sol incida sobre él y lleguen a las celdas fotovoltaicas sin presentar ninguna resistencia.
- Deben tener cierto grado de transparencia.
- Un buen comportamiento anti-reflexivo.
- Que posea una superficie lisa y sin bordes para que no se pueda acumular suciedad o polvo del medio ambiente.
- Generalmente se utiliza vidrio con bajo contenido de hierro y con algún tratamiento anti-reflexivo.

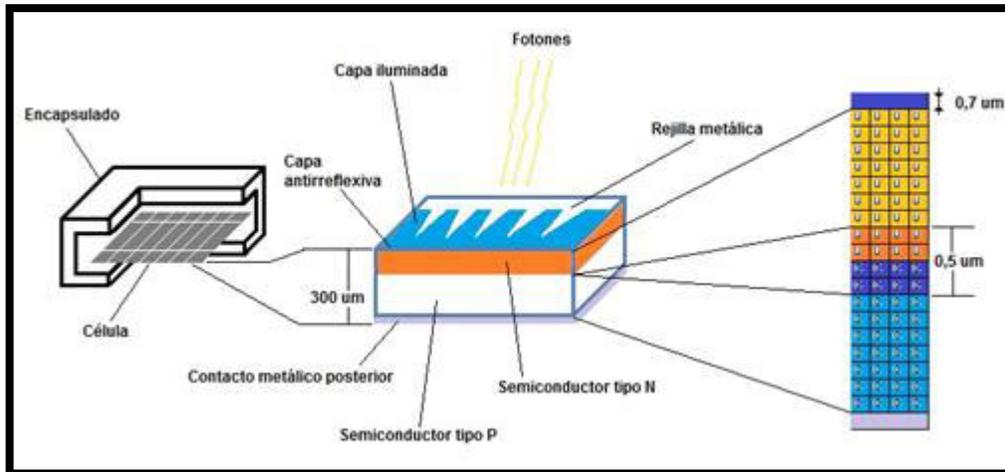
- Con una estructura perimetral o marco de aluminio anodizado para darle al sistema firmeza y facilidad para el anclaje del módulo.
- Con una cara posterior de vidrio generalmente cuando se desee tener paneles con cierto grado de transparencia.
- La estructura debe brindar cierto grado de hermeticidad al módulo para evitar el ingreso de humedad o partículas de polvo que pueden afectar en la vida útil y rendimiento del módulo fotovoltaico.

Para la instalación de los módulos fotovoltaicos se requiere una estructura firme sobre la cual van a descansar durante toda su vida útil, esta estructura debe tener la inclinación adecuada para que los módulos capten la mayor cantidad de radiación solar y así ser capaces de entregar su máximo desempeño.

El mantenimiento de los módulos fotovoltaicos es muy elemental y básicamente constituye en realizar una limpieza sobre la superficie para evitar que partículas o acumulaciones de impurezas como polvo puedan afectar en el desempeño del módulo fotovoltaico.

Es necesario mantener la transparencia de la superficie superior de los paneles ya que en caso de estar obstruida por factores ajenos a los climáticos, reduce significativamente el rendimiento de los paneles en condiciones óptimas es decir días soleados.

Gráfico 2.6: Módulo fotovoltaico.



Fuente: Oswaldo Miranda.

2.4.2 Elementos del Acumulador.

El acumulador es una batería recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Para los sistemas de generación de energía fotovoltaica es indispensable poseer un acumulador ya que el sistema depende de variables como un buen día soleado, la noche, la lluvia o las nubes.

Es necesario almacenar la energía producida por el sistema cuando trabaje en condiciones óptimas y entregar esta energía al usuario si la requiere o a su vez, cuando las condiciones de trabajo no sean las óptimas para el sistema las baterías mantiene un suministro constante.

El acumulador electroquímico está constituido por los siguientes elementos:

Carcasa: Es la parte tangible y exterior del acumulador, está construida en plástico y en su interior contiene los demás elementos que conforman el acumulador. Su geometría regularmente es la de un prisma rectangular, su tamaño varía de acuerdo al número de elementos internos que lo conforman básicamente son el número de placas.

Material activo: Cuando se habla de material activo se refiere a los elementos químicos que van a interactuar entre sí para producir corriente eléctrica, para el tipo de acumulador del sistema se utiliza en base de plomo, en los cuales el material activo es el peróxido de plomo en la placa positiva y el plomo esponjoso en la placa negativa.

Celda: Es la agrupación de placas positivas y negativa conectadas, con separadores entre ellas, que cuando se sumergen en el electrolito se produce la reacción química cuyo resultado es energía.

Conectores de celda: Terminales (placas) de plomo soldados del terminal negativo de una celda al terminal positivo de la celda continua y de esta manera en todas las celdas existentes hasta que estén conectadas en serie.

Electrolito: Es básicamente la mezcla de ácido sulfúrico y agua, la reacción química tiene lugar cuando el material activo de las placas entra en contacto con el electrolito y como resultado de esta reacción se genera energía.

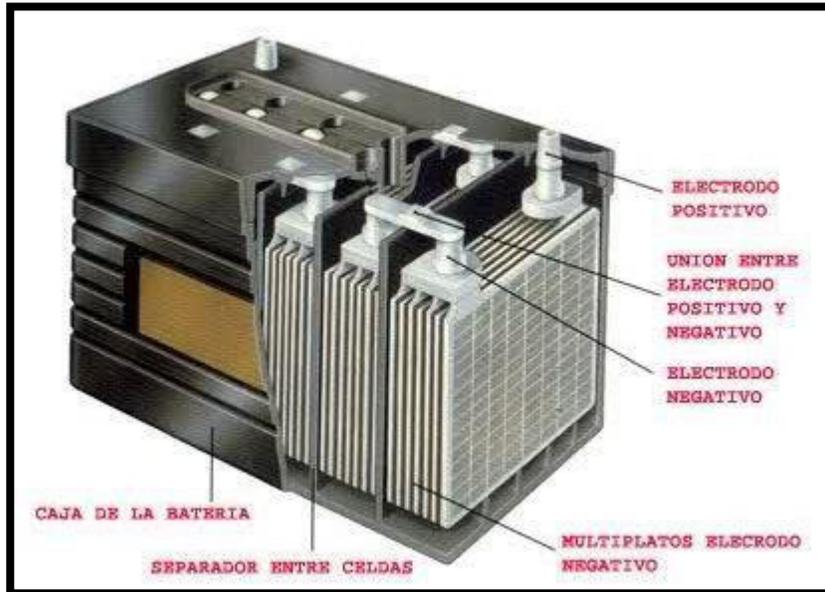
Rejilla: Es el esqueleto metálico que sirve de sostén para el material activo, es decir es la estructura de las placas, además actúa como conductor desde y hacia el material activo, en el estado de carga del acumulador y cuando está en ciclo de descarga.

Terminales: Son la parte final de los conectores de celda que se prolonga fuera de la carcasa para poder realizar la conexión de uso final del acumulador. Cada acumulador posee un terminal positivo y un terminal negativo, su geometría comúnmente es cilíndrica y su diámetro puede variar proporcionalmente al tamaño del acumulador.

Placas: Se denomina placas a la asociación final de las rejillas con el material activo, existen dos tipos de placas. Positivas y negativas, esto depende del material activo que se encuentre en ellas.

Separadores: Son placas delgadas constituidas de un material no metálico y altamente poroso, se ubican entre las placas positivas y negativas evitando que hagan contacto y se produzca un posible corto circuito.

Gráfico 2.7: Batería en corte.



Fuente: http://denipabofet.blogspot.com/2012_04_01_archive.html

La vida útil de un acumulador depende de variables como el ciclado que realice, es decir de las condiciones y frecuencia con las que el acumulador se cargue o descargue, la carga y descarga violenta, por encima o debajo de los niveles indicados por el fabricante, pueden dañar este elemento que es muy sensible.

Otros componentes de la instalación

El regulador. Es un elemento indispensable para el óptimo funcionamiento y protección del sistema, es un dispositivo electrónico encargado de controlar:

- El flujo de energía de los módulos hacia la batería.
- El flujo de energía de la batería hacia los elementos eléctricos o electrónicos del sistema.
- Interrumpe el flujo de corriente cuando el acumulador haya alcanzado su carga máxima.
- Restringe el flujo de energía desde el acumulador hacia los elementos eléctricos o electrónicos, si este se ha descargado por completo asegurando así la vida útil del acumulador.

Existen varios tipos de reguladores según los requerimientos del sistema o la operación que vaya a desempeñar, en la mayoría de casos vienen con configuraciones para corriente continua de 12V; 24V; y 48V.

El Inversor. Es el elemento que permite al sistema transformar, mediante dispositivos electrónicos, la energía proveniente de los módulos-acumulador (12-24 DC) en energía útil para los elementos a conectar en el sistema (120 AC), además de transformar el voltaje también trabaja con la frecuencia y la coloca en el valor con la que operan los elementos a conectar (60Hz). Para seleccionar el inversor adecuado se debe tener en cuenta el total de la suma de las potencias de los elementos a conectar.

Conductores eléctricos. El dimensionamiento de los conductores eléctricos es un punto muy importante para el sistema de generación fotovoltaica, ya que para asegurar los valores de voltaje y corriente generados por el sistema, se mantengan en todo su recorrido, se debe utilizar cables con el calibre adecuado para evitar pérdidas por longitud de recorrido o por disipación. El metal que ha demostrado las mejores características para transportar energía eléctrica es el oro pero su alto costo hace que la mayor parte de cables son fabricados de cobre un material sumamente conductor, el recubrimiento de todo cable es plástico un material dieléctrico. No se debe olvidar que la resistencia es directamente proporcional a la temperatura, la resistencia es inversamente proporcional al área.

Tabla 2.1: Selección de calibre de un conductor.

Calibre AWG o MCM	Sección mm ²	Formación No. De hilos por diámetro en mm	Diámetro Exterior mm	Peso Total Kg/Km	Semiduro		Suave	(*) Capacidad corriente Amp.
					Tensión de ruptura	Resistencia C.C. a 20° OHMS/Km.	Resistencia a C.C. a 20° OHMS/Km	
14	2.08	1 x 1.63	1.63	18.50	76.00	8.490	8.280	35
12	3.31	1 x 2.05	2.05	29.40	119.00	5.330	5.210	45
10	5.26	1 x 2.59	2.59	46.77	187.00	3.360	3.280	68
8	8.37	1 x 3.26	3.26	74.38	292.00	2.110	2.060	92
6	13.30	1 x 4.12	4.12	118.20	461.00	1.340	1.297	125

Fuente: Marcelo Pérez.

- Capacidad de corriente calculada para 75 °C de temperatura del conductor, 25° C temperatura ambiente, 0.6 m/s velocidad del viento, sin efecto del sol y para una conductividad IACS del 97.5%.

- Conductor elaborado bajo normas: NEMA WC -5, ICEA S -61-402, ASTM B2, B3, B8, INEN.

Estructura de soporte de módulos fotovoltaicos. La estructura en donde descansaran los módulos fotovoltaicos del sistema durante toda su vida útil es tan indispensable como cualquiera de los demás elementos que conforman el sistema, estas deben ser construidas con las siguientes características:

- En un material rígido, resistente y que debe ser pintado con anticorrosivo para evitar la oxidación por estar expuesto a la intemperie.
- Debe poseer la inclinación adecuada, ya que una estructura sin declive puede generar la acumulación de partículas de polvo sobre la cara del panel que recibe los rayos solares.
- Deben ser ergonómicos para su instalación y estar diseñados de acuerdo a la superficie en donde vayan a ser colocados.

Existen algunos accesorios que hacen del sistema más avanzado y sumamente más eficiente y eficaz como los seguidores solares que de acuerdo a la posición del sol colocan el soporte en diferentes grados de inclinación para que los módulos capturen la mayor cantidad de radiación solar posible. El soporte también

puede actuar como la puesta a tierra de cada módulo para evitar daños por descargas de relámpagos.

2.5 Cálculo de Instalaciones.

Cálculo estimado del consumo: El consumo de energía impone muchas de las características de la instalación, por lo que en la planificación de los requerimientos se debe anotar todo lo relacionado con los diferentes aparatos eléctricos que serán la carga del sistema.

Se deberá calcular la energía que el usuario necesitará diariamente. Para ello se deberá determinar la potencia de todos los aparatos con que constará la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos.

Al tomar en cuenta que el horario de clases nocturno de la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz inicia a las seis de la tarde y finaliza a las diez de la noche, esto determina el consumo de cuatro horas continuas, cabe hacer mención, por lo general la noche es cuando la demanda de consumo de electricidad se dispara siendo el caso donde se hace la estimación de la tabla 2.2. En caso de no tener claros los datos, tanto la potencia como el tiempo medio de uso, se debe aproximar a un inmediato superior.

Tabla 2.2: Cálculo del consumo estimado.

Corriente A/C					
Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (h)	Consumo de energía (W)
1	Televisor led	1	41	4	164
2	Cargador de celular	1	7	4	28
3	Cargador de laptop	2	50.5	4	404
4	Focos ahorradores	3	15	4	180
	Total:	7	113.5	16	776

Fuente: Oswaldo Miranda.

El consumo aproximado de energía con el cual se debe diseñar el sistema de generación fotovoltaica es para un consumo de 776 W/día.

2.6- Análisis Térmico.

Tabla 2.3: Unidades de medida de la energía solar.

Unidad	Explicación	Conversión
Potencia Solar		
Wp	Vatio Pico	
W	Vatio	
KW	Kilovatio (1000 w)	
W/m ²	Vatio por metro cuadrado	
Energía solar		
KWh/m ²	KWh por metro cuadrado	1
Kj/cm ²	Kj por centímetro cuadrado	2,778
Mj/cm ²	MJ por centímetro cuadrado	0,2778
Kcal/cm ²	Mil calorías por centímetro cuadrado	11,67
BTU/pie ²	BTU por pie cuadrado	0,0428

Fuente: Carlos Freire V.

La insolación, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En la siguiente tabla se da una visión general

de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión.

La producción está basada en el fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico, que básicamente consiste en convertir la luz solar (fotones) en energía eléctrica (electrones en movimiento) por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

Estas células están elaboradas a base de silicio puro uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena, con adición de impurezas de ciertos elementos químicos en este caso boro y fósforo, son capaces por su configuración de generar cada célula una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa.

Los materiales conductores de la electricidad por ejemplo el cobre, que deja pasar libremente a los átomos ya que tienen electrones libres o que pueden liberarse fácilmente.

Se llaman materiales aislantes por ejemplo al plástico y papel, a los materiales que oponen una enorme resistencia al paso de la corriente eléctrica es decir electrones que en capas periféricas están fuertemente ligados y se necesitaría una gran cantidad energía para liberarlos.

Entre ambos caras de la placa hay un material llamado semiconductor donde por lo general para la construcción de esta célula el material semiconductor es el silicio, o el germanio, o el arseniuro de galio todo depende de la pureza de la célula a ser construida.

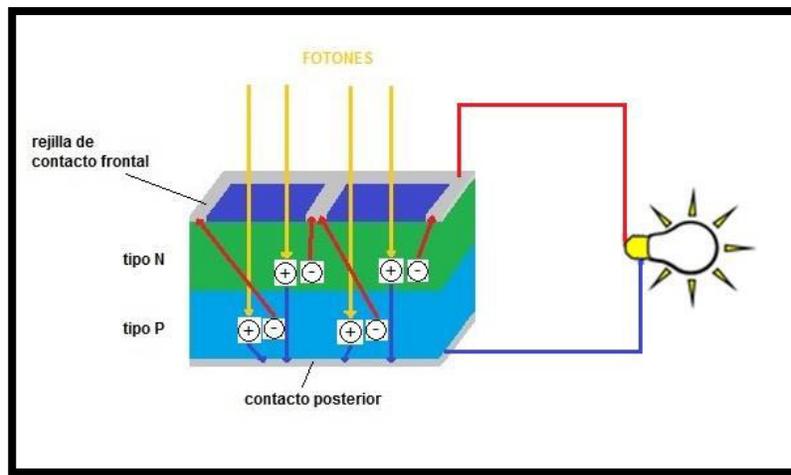
Este material semiconductor tiene la propiedad de que si se encuentran a 0° kelvin es un aislante, pero si recibe energía luminosa estos materiales están más cerca de los conductores y puede producir flujo de electrones.

Eso es exactamente lo que ocurre en las células fotovoltaicas, que suelen estar echas de silicio como se ve en la gráfica 2.8, un material semiconductor en este caso silicio es expuesto a los rayos solares, que contienen energía luminosa llamada fotones, estos aportan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio.

Si la energía que aportan es suficiente para vencer la fuerza que mantienen los electrones unidos al átomo estos se liberan y llegan a formar una corriente de electrones (electricidad) que en la gráfica 2.8 se representa por un circuito que es capaz de encender una lámpara.

A continuación se muestra el esquema de funcionamiento del efecto fotoeléctrico, similar al funcionamiento de una batería común y corriente.

Gráfico 2.8: Célula fotovoltaica.



Fuente: Carlos Freire V.

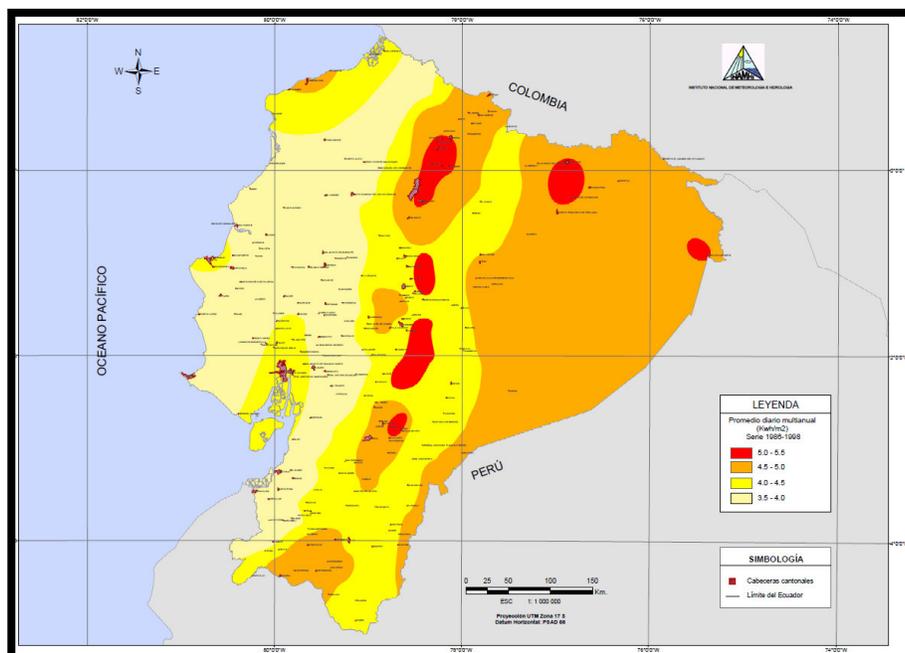
Como en estado puro el silicio no es un buen foto conductor, se agrega átomos de fósforo que tienen cinco electrones en su capa externa. Así se obtiene un silicio combinado con fósforo, que tiene un excedente de cargas negativas este material es el que aparece en la figura como “tipo n”. En esa misma figura se observa el material “tipo p” que tiene tres electrones en su capa externa, por lo que se produce un excedente de cargas positivas.

Ya que el silicio tiene cuatro electrones en la banda de valencia y el boro solo tiene tres, al estar estas dos zonas manipuladas con boro en contacto, se produce un diodo, como los electrones excedentes de la capa “n” son atraídos por las cargas positivas de la capa “p” esto da origen a una corriente eléctrica. El rendimiento es la energía luminosa que realmente se transforma en electricidad, se debe mencionar

que la eficiencia de las células de silicio es baja en este caso el panel tiene una eficiencia de conversión del 15.75%².

Existe también células fotovoltaicas de sulfuro de cadmio que son más económicas ya que el silicio debe estar en estado puro y es costoso, pero tienen un rendimiento tres veces menor que las de silicio. Como la corriente que genera una célula fotovoltaica es muy pequeña alrededor de 0,46v a 0,48v; Se agrupan las células para conseguir una corriente mayor, la electricidad generada es continua, estos conjuntos de células forman un panel solar fotovoltaico.

Gráfico 2.9: Irradiación Solar Global.

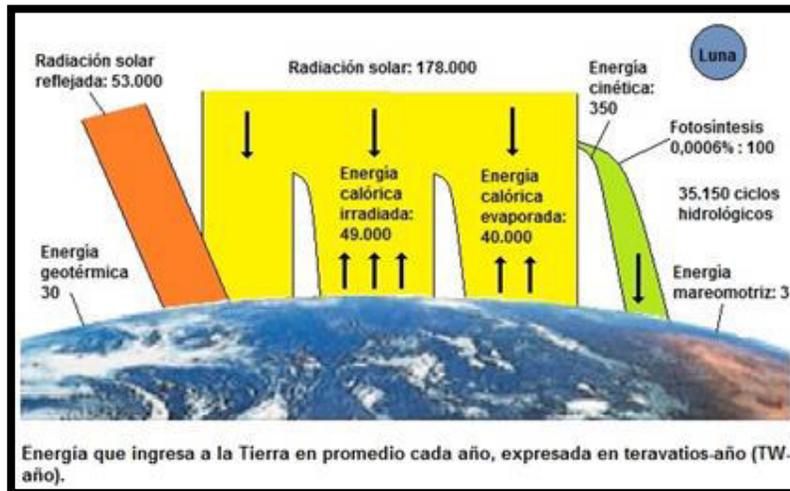


Fuente: <http://www.inamhi.gob.ec>.

² Especificaciones técnicas del panel EXMORK.

2.6.1- Balance de Energía.

Gráfico 2.10: Radiación solar que ingresa a la tierra.



Fuente: <http://www.inamhi.gob.ec>.

La energía solar máxima que cae a la tierra sobre Quito es $(1339 \text{ W/m}^2)^3$, esta energía ingresa a los paneles solares del sistema instalado en el autobús, si bien es cierto la energía no se crea ni se destruye únicamente se transforma, bajo este concepto se realiza el siguiente balance.

Se conoce la eficiencia de los paneles es del 15.75%, se define que cada panel puede aprovechar unos 210.89 W/m^2 ,

T = Irradiación solar promedio.

E= Eficiencia de panel.

³ www.quito.exa.ec

S_1 = Watts disponibles en cada panel.

$$T \times E = S_1$$

$$1339 \text{ Wm}^2 \times 15.75\% = 210.89 \text{ Wm}^2$$

$$S_1 = 210.89 \text{ Wm}^2$$

Cada uno de los paneles puede generar 100 Watts (+-3%), por lo tanto S_1 es superior a la potencia máxima que cada panel es capaz de generar. Se obtiene en promedio 400 Watts de generación.

N = número de paneles.

E_2 = Eficiencia de panel.

W = Potencia máxima de generación por panel.

P = Potencia máxima de generación.

$$S_1 > W$$

$$210.89 \text{ W} > 100 \text{ W}.$$

$$W \times N = P$$

$$100 \text{ W} \times 4 = 400 \text{ W}.$$

Como se muestra en la gráfica 2.4 se detalle el flujo de energía a través del sistema, para continuar con este balance como máximo de generación por el conjunto de paneles es de 400W (+-3%) de potencia esto se debe a la configuración del panel, el primer componente que absorbe energía en el sistemas es el controlador que funciona con 0.1 W.

C_1 = Primer consumidor, controlador.

E_1 = Potencia ajustada en primer consumidor.

$$P - C_1 = E_1$$

$$400 \text{ W} - 0.1 \text{ W} = 399.9 \text{ W}$$

Esta potencia E_1 , llega al inversor donde el equipo tiene un auto consumo de 15 Watts, este autoconsumo es la última obstrucción de la potencia generada por los paneles hasta su salida a un toma corriente, para su uso, ya que los cables no recorren grandes distancias y tampoco sufren recalentamiento el análisis de pérdida de potencia en ellos es despreciable.

C_2 = Segundo consumidor, inversor.

E_2 = Potencia ajustada en segundo consumidor.

$$E_1 - C_2 = E_2$$

$$399.9\text{W} - 15\text{W} = 384.9\text{W}$$

E_2 , es la potencia ajustada que llega a los tomacorrientes, después de haber pasado por los consumidores del sistema de generación.

2.6.2 Eficiencia Óptica.

La eficiencia óptica se encuentra directamente relacionada con el ángulo de inclinación en el que se encuentren el panel fotovoltaico con respecto al sol, el factor de eficiencia óptica que penetran en la cubierta transparente del colector indica que porcentaje de los rayos solares son captados por el colector fotovoltaico.

Las horas de sol a lo largo del día son fundamentales para la generación de energía fotovoltaica, cabe recalcar que el tiempo solar no es el mismo que el tiempo en el huso horario de la tierra esto quiere decir que al medio día los rayos de luz no caen perpendicularmente en regiones como los Estados Unidos, Rusia, Oceanía etc. para esto se debe hacer una aclaración.

La manera óptima para captar los rayos solares radica en que el colector siga al sol a lo largo de las horas de irradiación, con esto obtenemos la máxima eficiencia en un panel fotovoltaico.

Gráfico 2.11: Panel solar.



Fuente: www.mercadoelectrico.wordpress.com

Gracias a que el país se encuentra sobre la línea ecuatorial que pasa por Quito, se puede hacer un cálculo, para saber a qué hora del tiempo terrestre se encuentra el sol en su punto más alto emanando rayos solares de forma perpendicular a la tierra para esto se debe conocer a qué hora sale el sol en la mañana del día 11 de enero de 2013 (6:17) y a qué hora se oculta por la tarde (18:25). Como se conoce que las 12 horas al medio día es la mitad del tiempo terrestre donde aparentemente los rayos solares deben caer perpendicularmente a la tierra.

El análisis comienza restando del medio día terrestre esto es 12 horas, la hora de salida del sol donde en el ciclo antes del medio día es:

N= Hora de salida del sol en la mañana.

$$12 - N = X_1$$

$$12\text{h} - 6\text{h}17' = 5\text{h}43'$$

En el caso después de mediodía se toma en cuenta la hora a la cual se oculta el sol, en este caso:

N = Hora a la cual se oculta el sol.

$$12 - N = X_2$$

$$12\text{h} - 6\text{h}25' = 5\text{h}35'$$

Hay que encontrar el valor de diferencia en relación al tiempo que se obtiene entre X_1 y X_2 para encontrar el número de minutos dividido para 2 porque el día de 24 horas lo dividimos en 2, donde:

B = Numero de minutos de corrección con respecto al mediodía solar.

$$X_1 - X_2 = \beta/2$$

$$5\text{h}43' - 5\text{h}35' = 4'$$

En este caso si el número que se obtuvo fuese negativo se debería restar del medio día terrestre para encontrar la hora a la cual los rayos solares caen perpendicularmente.

Una vez encontrado el valor de tiempo que existe como diferencia, se suma al medio día y da como resultado las 12h 4' a esta hora los rayos de sol caen a la tierra de manera totalmente perpendicular en Quito.

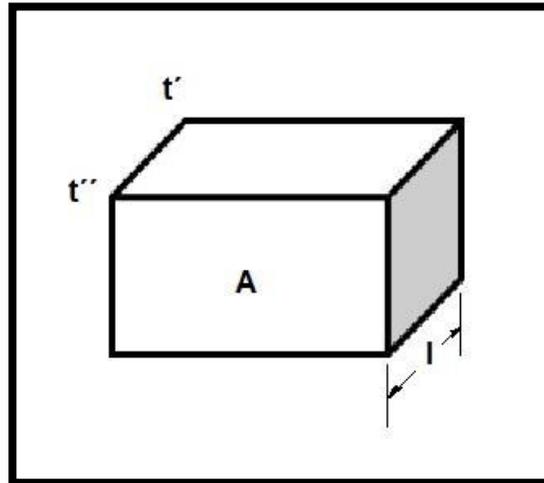
2.6.3 Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

La primera ley de la termodinámica dice que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma, esto se puede explicar durante la interacción de un sistema y sus alrededores con la cantidad de energía ganada por el medio que es igual la cantidad de energía perdida por el entorno.

La transferencia de calor es el proceso en el cual la materia tiene la capacidad de absorber o perder calor. El sol es la principal fuente de calor para la tierra.

Existen tres formas de transmitir el calor; Radiación que lo hemos mencionado anteriormente; Convección que es la capacidad de un líquido o cualquier gas de transportar el calor hacia donde este pueda disiparse y en este caso vamos a estudiar la conducción.

Figura 2.1: Cuerpo de convección.



Fuente: Carlos Freire V.

“Si tenemos un bloque de un espesor l , un área de dos caras opuestas A , una temperatura t_1 y otra t_2 se puede deducir que:

$$\frac{t^1 - t^2}{l}$$

Esta fórmula representa la caída de temperatura por unidad de longitud y se denomina gradiente de temperatura, la caída de calor transmitida por segundo (q) de una cara opuesta es proporcional a la superficie A y el gradiente de temperatura matemáticamente se escribe de la siguiente forma:

$$q = k \times \text{superficie} \times \text{grad. temperatura} = kA \left(\frac{t^1 - t^2}{l} \right)$$

En donde k es una constante de proporción que solo depende de la naturaleza de la sustancia y se denomina coeficiente de conductividad térmica, así k es la constante de transferencia de calor que físicamente se representa la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo, de superficie, y de gradiente de temperatura.

$$k = \left(\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right) \times \text{Co}$$

Un cuerpo que trasmite calor es capaz de perder calor a través de la radiación esta es proporcional a la capacidad del cuerpo para absorber calor. La ley de Stefan-Boltzmann establece que la radiación total de todas las longitudes de onda procedente de un radiador perfecto o cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T. Llamando U a la densidad superficial de potencia del cuerpo negro, es decir a número de vatios por metro cuadrado.

$$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

$$U = 5.67 * \frac{10^{-8}\text{W}}{\text{m}^2} * (\text{K}^0)^{4}$$

⁴ Física General, Daniel Schaum, McGraw-Hill año 2009. Pág. 251.

Capítulo III

Análisis del Recurso Solar Local.

3.1 Radiación Solar.

Posición geográfica:

El auto bus se encuentra ubicado en Ecuador en la provincia de Pichincha en el cantón Quito y cuya latitud es $0^{\circ} 14' 40''$ y longitud es $78^{\circ} 28' 21.98''$, lugar donde se implementara el sistema de generación fotovoltaica.

Gráfico 3.1. Lugar de la instalación.



Fuente: Google Earth.

Método IEPALA.

IEPALA es un procedimiento que sirve para encontrar la irradiación global sobre superficie inclinada $G_{dm}(\beta)$ de forma manual, para esto se utiliza la ecuación:

$$G_{dm}(\beta) = A \cdot G_{dm}(0) + B \cdot (G_{dm}(0))^2$$

En donde el coeficiente “A” se lo obtiene de tablas y depende del ángulo de inclinación del panel β para este caso $+15^\circ$ por estar cerca de la línea ecuatorial y el coeficiente de reflectividad del suelo “ ρ ” para este caso “ $\rho = 0,4$ ” por tratarse de una superficie plana, por otra parte el coeficiente “B” depende de la latitud ϕ (1,6) del lugar, del ángulo de inclinación β ($+15^\circ$) y del mes de año. Para obtener los datos de $G_{dm}(0)$ se utilizó un promedio de los datos mensuales de H_o [W-h/m²] provenientes de la hoja de cálculo de Armstrong Page que se muestra a continuación en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Datos promedio mensuales de Gdm(0).

<i>Gdm(0)</i>						
DIA/MES	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
	Ho (W-h/m ²)					
1	4052,6080	4003,0379	4158,2710	4381,0959	4477,1479	4396,5117
2	4047,6349	4005,1159	4165,5220	4387,0152	4477,1252	4392,0247
3	4042,8643	4007,4278	4172,8415	4392,7830	4476,8942	4387,4905
4	4038,3008	4009,9709	4180,2222	4398,3940	4476,4570	4382,9163
5	4033,9482	4012,7424	4187,6566	4403,8430	4475,8159	4378,3092
6	4029,8107	4015,7394	4195,1371	4409,1250	4474,9738	4373,6765
7	4025,8917	4018,9587	4202,6560	4414,2352	4473,9334	4369,0255
8	4022,1949	4022,3968	4210,2059	4419,1692	4472,6980	4364,3634
9	4018,7233	4026,0502	4217,7791	4423,9225	4471,2710	4359,6975
10	4015,4802	4029,9148	4225,3679	4428,4912	4469,6560	4355,0351
11	4012,4682	4033,9868	4232,9646	4432,8713	4467,8569	4350,3833
12	4009,6900	4038,2618	4240,5616	4437,0593	4465,8777	4345,7493
13	4007,1479	4042,7354	4248,1512	4441,0517	4463,7228	4341,1403
14	4004,8440	4047,4030	4255,7257	4444,8454	4461,3968	4336,5633
15	4002,7801	4052,2597	4263,2776	4448,4375	4458,9043	4332,0253
16	4000,9581	4057,3006	4270,7992	4451,8254	4456,2503	4327,5333
17	3999,3791	4062,5204	4278,2829	4455,0067	4453,4400	4323,0940
18	3998,0445	4067,9137	4285,7214	4457,9792	4450,4786	4318,7144
19	3996,9553	4073,4751	4293,1071	4460,7411	4447,3716	4314,4010
20	3996,1120	4079,1988	4300,4327	4463,2909	4444,1248	4310,1604
21	3995,5152	4085,0791	4307,6909	4465,6272	4440,7439	4305,9990
22	3995,1650	4091,1097	4314,8744	4467,7489	4437,2349	4301,9232
23	3995,0616	4097,2847	4321,9762	4469,6552	4433,6039	4297,9391
24	3995,2047	4103,5977	4328,9891	4471,3456	4429,8573	4294,0528
25	3995,5938	4110,0422	4335,9065	4472,8200	4426,0014	4290,2702
26	3996,2281	4116,6117	4342,7213	4474,0782	4422,0428	4286,5971
27	3997,1068	4123,2995	4349,4271	4475,1207	4417,9881	4283,0390
28	3998,2287	4130,0988	4356,0172	4475,9479	4413,8440	4279,6014
29	3999,5923	4137,0027	4362,4853	4476,5607	4409,6173	4276,2895
30	4001,1960	4144,0041	4368,8251	4476,9603	4405,3150	4273,1083
31	/	4151,0959	4375,0306	/	4400,9441	/
PROMEDIO Gdm(0) KW- h/m²	4010,824	4064,375	4269,311	4442,568	4450,084	4331,588

<i>Gdm(0)</i>						
DIA/MES	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
	Ho (W-h/m ²)					
1	4270,0628	4259,4556	4394,9553	4515,0013	4481,8536	4275,6412
2	4267,1577	4261,9909	4400,3027	4517,2445	4477,1940	4267,4325
3	4264,3975	4264,6936	4405,6349	4519,2899	4472,3305	4259,2179
4	4261,7863	4267,5606	4410,9441	4521,1334	4467,2672	4251,0054
5	4259,3284	4270,5883	4416,2230	4522,7710	4462,0084	4242,8028
6	4257,0276	4273,7730	4421,4640	4524,1989	4456,5587	4234,6181
7	4254,8875	4277,1110	4426,6595	4525,4138	4450,9230	4226,4593
8	4252,9117	4280,5980	4431,8019	4526,4124	4445,1062	4218,3342
9	4251,1031	4284,2296	4436,8840	4527,1917	4439,1136	4210,2508
10	4249,4650	4288,0015	4441,8980	4527,7490	4432,9506	4202,2167
11	4247,9999	4291,9086	4446,8368	4528,0819	4426,6230	4194,2397
12	4246,7104	4295,9463	4451,6930	4528,1882	4420,1365	4186,3275
13	4245,5988	4300,1092	4456,4593	4528,0660	4413,4973	4178,4877
14	4244,6670	4304,3920	4461,1286	4527,7137	4406,7114	4170,7279
15	4243,9169	4308,7892	4465,6937	4527,1299	4399,7854	4163,0553
16	4243,3500	4313,2951	4470,1477	4526,3136	4392,7257	4155,4775
17	4242,9675	4317,9039	4474,4837	4525,2640	4385,5390	4148,0015
18	4242,7705	4322,6095	4478,6950	4523,9806	4378,2323	4140,6346
19	4242,7597	4327,4057	4482,7750	4522,4631	4370,8124	4133,3836
20	4242,9357	4332,2862	4486,7170	4520,7117	4363,2865	4126,2556
21	4243,2987	4337,2446	4490,5149	4518,7267	4355,6619	4119,2572
22	4243,8487	4342,2741	4494,1624	4516,5087	4347,9458	4112,3950
23	4244,5855	4347,3682	4497,6536	4514,0586	4340,1457	4105,6755
24	4245,5086	4352,5199	4500,9824	4511,3777	4332,2692	4099,1050
25	4246,6172	4357,7222	4504,1434	4508,4673	4324,3238	4092,6897
26	4247,9103	4362,9682	4507,1309	4505,3293	4316,3173	4086,4355
27	4249,3867	4368,2507	4509,9398	4501,9657	4308,2574	4080,3483
28	4251,0448	4373,5625	4512,5649	4498,3788	4300,1520	4074,4336
29	4252,8828	4378,8962	4515,0013	4494,5712	4292,0089	4068,6971
30	4254,8989	4384,2445	4517,2445	4490,5456	4283,8360	4063,1440
31	4257,0905	4389,6000	/	4486,3053	/	4057,7793
PROMEDIO Gdm(0) KW- h/m²	4250,609	4317,332	4463,691	4517,115	4391,452	4159,501

Fuente: Marcelo Pérez.

A continuación se obtiene los datos de $G_{dm}(\beta) = G_{dm}(15^\circ)$ que se muestran en la tabla 3.2 :

Tabla 3.2: Aplicación del Método IEPALA.

FACTORES	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
$G_{dm}(0^\circ)$	4,01082428	4,06437536	4,44256824	4,44256824	4,45008352	4,33158782
A	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
B	-0,0223	-0,0202	-0,0127	-0,0034	0,0058	0,0138
$G_{dm}(\theta)(+15^\circ)$ [KW-H/m ²]	3,61198237	3,69004484	4,14749012	4,33103876	4,5204415	4,54719655

FACTORES	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
$G_{dm}(0^\circ)$	4,25060893	4,31733223	4,46369118	4,51711463	4,39145244	4,15950097
A	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
B	0,0178	0,0155	0,0085	0	-0,0093	-0,0177
$G_{dm}(\theta)(+15^\circ)$ [KW-H/m ²]	4,52970748	4,56306894	4,58841285	4,47194349	4,16818877	3,81167032

Fuente: Marcelo Pérez.

Para entender cómo se aplica la ecuación del método IEPALA a continuación se presenta el siguiente ejemplo de cálculo para el mes de Enero:

$$G_{dm}(\beta) = A \cdot G_{dm}(0) + B \cdot (G_{dm}(0))^2$$

$$G_{dm}(+15^\circ) = 0,99 \cdot 4,3173 + 0,0155 \cdot (4,3173)^2$$

$$G_{dm}(+15^\circ) = 4,5631 \text{ [KW-h/m}^2\text{]}$$

A continuación se muestran los datos tabulados de cada mes:

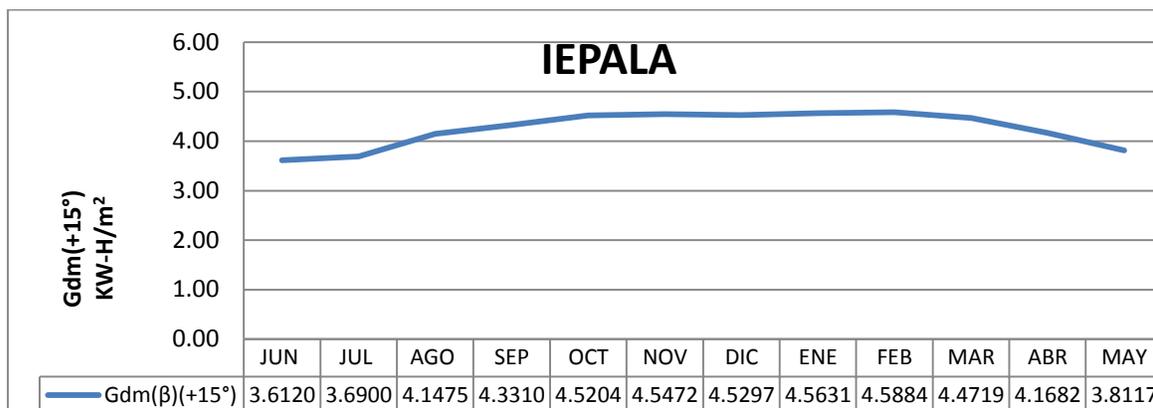
Tabla 3.3: Datos mensuales de Gdm(+15°) por IEPALA.

METODO IEPALA	
Gdm (+15°)	
MES	KW-H/m²
JUNIO	3.61
JULIO	3.69
AGOSTO	4.15
SEPTIEMBRE	4.33
OCTUBRE	4.52
NOVIEMBRE	4.55
DICIEMBRE	4.53
ENERO	4.56
FEBRERO	4.59
MARZO	4.47
ABRIL	4.17
MAYO	3.81
MEJOR MES:	FEBRERO
PEOR MES:	JUNIO

Fuente: Marcelo Pérez.

Según el método de IEPALA se puede observar que el mejor valor para Gdm(+15°) se muestra en el mes de Febrero y el valor más bajo se obtiene en el mes de Junio, a continuación se muestra la gráfica semestral de los datos tabulados:

Gráfico 3.2: Curva de Gdm (+15°) por IEPALA.



Fuente: Carlos Freire.

Método de Armstrong Page.

El método de Armstrong Page, permite obtener el análisis del recurso solar de una manera clara y sencilla por medio de una hoja de datos de Excel, para operar este método se ingresó en dicha tabla los datos de latitud ($0^{\circ} 14' 40''$ obtenida a través de Google Earth), los factores climáticos para la sierra ($a= 0,25$ y $b= 0,45$), el factor de albedo $\rho = 0,4$ (factor de albedo para superficies de planas), como la localidad se encuentra cerca de la línea ecuatorial se ha decidido orientar al panel con un ángulo de inclinación $\beta= +15^{\circ}$ dato que también es ingresado en la hoja de cálculo, el método entrega el valor de la latitud como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: Datos de entrada para Amstrong Page.

AMSTRONG PAGE			
DATOS DE ENTRADA			
LATITUD	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
	0°	14'	40''
LATITUD	0.2444444444		
β	15 °		
FACTOR CLIMATICO	a	0.25	
	b	0.45	
FACTOR DE ALBEDO	0.4		

Fuente: Carlos Freire.

Una vez ingresados los datos en la hoja de cálculos, entrega los resultados de la radiación total sobre superficie inclinada $G_{dm}(+15^\circ)$ en $[W\cdot h/m^2]$, estos datos se los ha tabulado obteniendo el promedio por cada mes del año como se muestra a continuación:

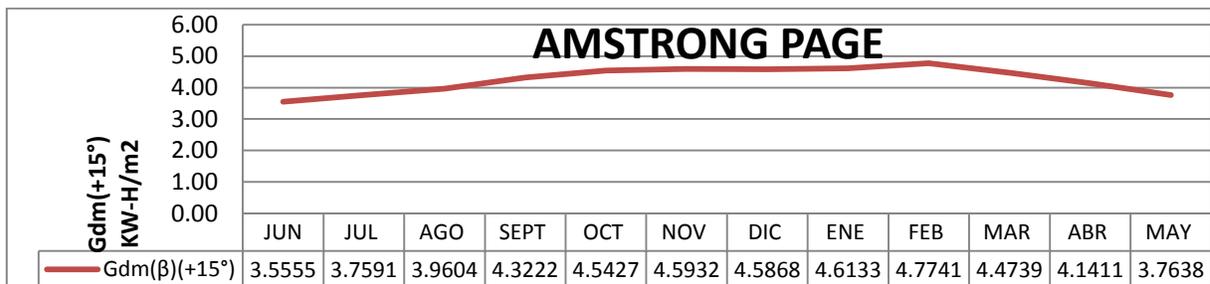
Tabla 3.5: Datos $G_{dm}(+15^\circ)$ de Amstrong Page.

AMSTRONG PAGE	
$G_{dm}(+15^\circ)$	
MES	KW-H/m²
JUNIO	3.55
JULIO	3.75
AGOSTO	3.96
SEPTIEMBRE	4.32
OCTUBRE	4.54
NOVIEMBRE	4.59
DICIEMBRE	4.58
ENERO	4.61
FEBRERO	4.77
MARZO	4.47
ABRIL	4.14
MAYO	3.76
MEJOR MES:	FEBRERO
PEOR MES:	JUNIO

Fuente: Carlos Freire.

El método de AMSTRONG PAGE se puede observar que el mejor valor para $G_{dm}(+15^\circ)$ se muestra en el mes de Febrero y el valor más bajo se obtiene en el mes de Junio, a continuación se muestra la gráfica semestral de los datos tabulados:

Gráfico 3.3: Curva $G_{dm}(+15^\circ)$ de Amstrong Page.

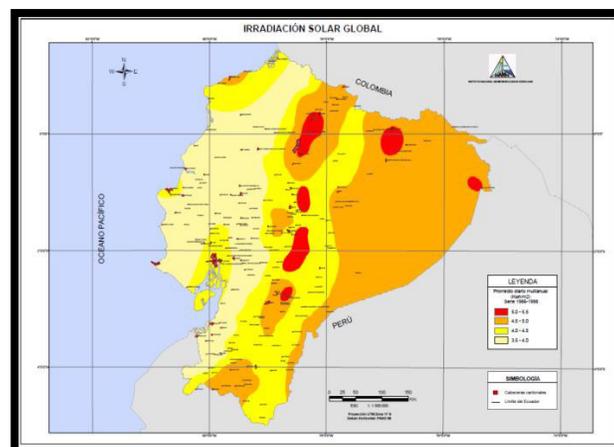


Fuente: Carlos Freire.

Tablas del INAMHI.

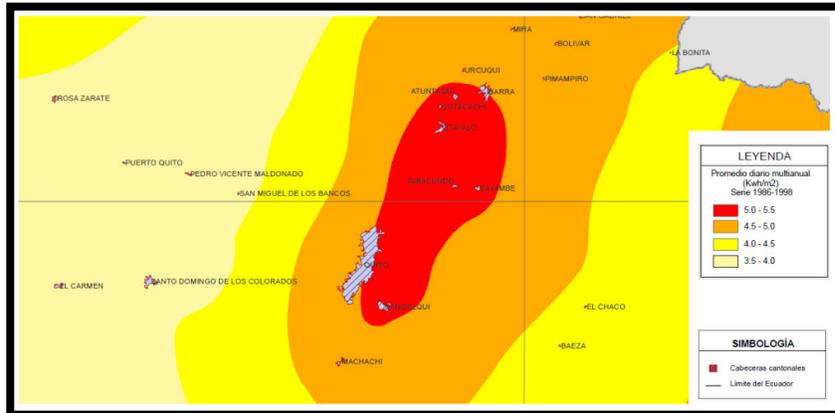
Este método depende de los datos proporcionados por el INAMHI, a continuación se presenta el mapa de Irradiación Solar Global del Ecuador:

Gráfico 3.4: Mapa de Irradiación Solar Global del Ecuador.



Fuente: www.inamhi.gob.ec

Gráfico 3.5: Irradiación sobre Quito.



Fuente: www.inamhi.gob.ec

Analizando la localidad en el mapa podemos obtener el valor de la irradiación que está en un rango de 4,5 – 5,0 [KWh/m²] en tal virtud si tomamos un promedio entre esos dos valores obtendremos un valor de 4,75 [KWh/m²], si:

Fuente: Marcelo Pérez.

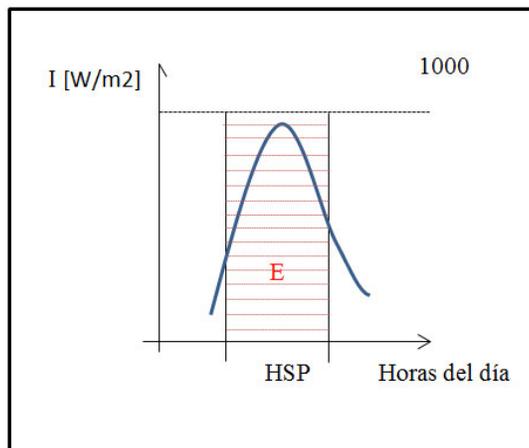


Gráfico 3.6: Horas de sol día.

$$E = I \times G_{dm}$$

$$G_{dm} = \frac{E}{I}$$

$$G_{dm} = \frac{4750}{1000}$$

$$G_{dm} = 4,75$$

$$G_{dm}(0^\circ) = 4,75[\text{KW} - \text{h}/\text{m}^2]$$

Por lo tanto se utilizará una vez más el método IEPALA para calcular la radiación total sobre superficie inclinada pero con el valor $G_{dm}(0^\circ) = 4,75 [\text{KWh}/\text{m}^2]$ como constante para todo el semestre presentándose a continuación los valores para $G_{dm}(+15^\circ)$.

Tabla 3.6: Aplicación del método IEPALA con $G_{dm} (+15)$ constante.

FACTORES	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
$G_{dm}(0)$	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
A	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
B	-0,0223	-0,0202	-0,0127	-0,0034	0,0058	0,0138
$G_{dm}(\beta)(+15^\circ)$ [KW-H/m2]	4,19935625	4,2467375	4,41595625	4,6257875	4,8333625	5,0138625

FACTORES	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Gdm(0)	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
A	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
B	0,0178	0,0155	0,0085	0	-0,0093	-0,0177
Gdm(β)(+15°) [KW-H/m ²]	5,1041125	5,05221875	4,89428125	4,7025	4,49266875	4,30314375

Fuente: Oswaldo Miranda.

Una vez obtenidos los datos manualmente se los ha tabulado obteniendo el valor por cada mes del semestre como se muestra a continuación.

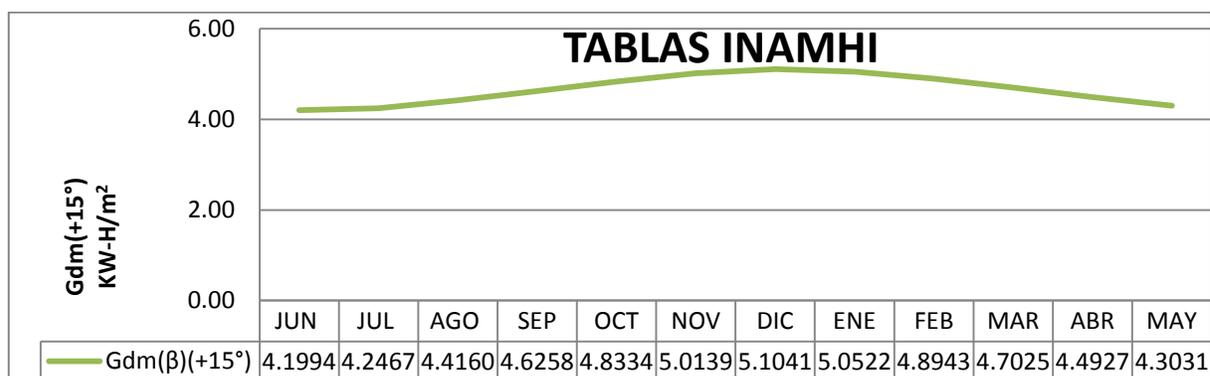
Tabla 3.7: Datos de Gdm(+15°) Tablas del INAMHI

DATOS INAMHI	
Gdm (+15°)	
MES	KW-H/m²
JUNIO	4.20
JULIO	4.25
AGOSTO	4.41
SEPTIEMBRE	4.62
OCTUBRE	4.83
NOVIEMBRE	5.01
DICIEMBRE	5.10
ENERO	5.05
FEBRERO	4.89
MARZO	4.70
ABRIL	4.49
MAYO	4.30
MEJOR MES:	DICIEMBRE
PEOR MES:	JUNIO

Fuente: Carlos Freire.

Según el método de tablas del INAMHI se puede observar que el mejor valor para Gdm (+15°) se muestra en el mes de Diciembre y el valor más bajo se obtiene en el mes de Junio, a continuación se muestra la gráfica semestral de los datos tabulados:

Gráfico 3.7: Curva de Gdm (+15°) con tablas del INAMHI



Fuente: Carlos Freire.

Comparación entre IEPALA, Amstrong Page y Tablas del INAMHI.

El análisis del recurso solar mediante los métodos de IEPALA, Amstrong Page y tablas del INAMHI, entrega valores de Gdm(+15°) muy semejantes entre sí, se puede observar la concordancia de los tres métodos obteniendo como resultado el peor mes de Junio, en cuanto al resultado del mejor mes los métodos de IEPALA y Amstrong Page, concuerdan en el mes de Febrero y el método de Tablas del INAMHI se obtiene como resultado el mes de Diciembre, cabe mencionar que los valores encontrados por los tres métodos en los meses de Diciembre y Febrero son muy cercanos.

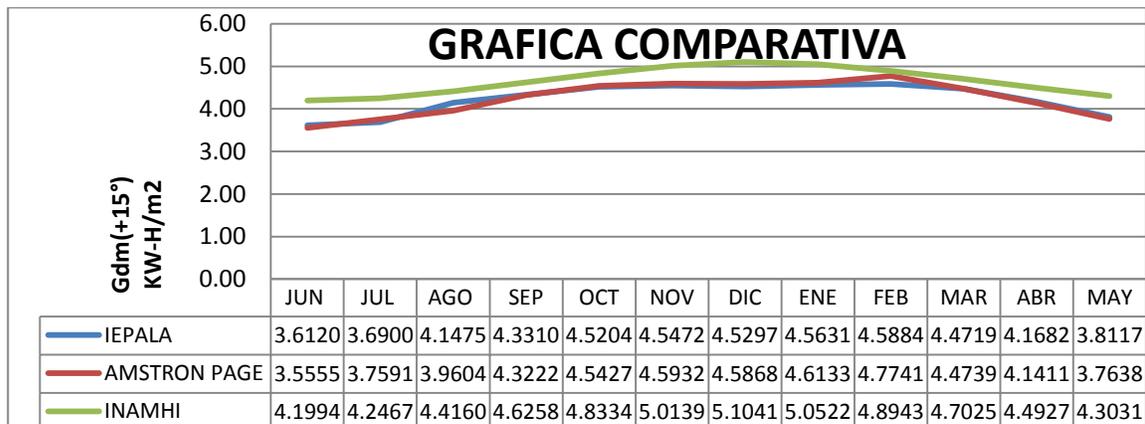
En la siguiente tabla se muestra los valores de manera comparativa de los tres métodos aplicados, en la cual se puede apreciar la semejanza entre métodos.

Tabla 3.8: Datos de Gdm(+15°) por los tres métodos.

TABLA COMPARATIVA			
METODO	IEPALA	AMSTRONG PAGE	INAMHI
Gdm (+15°)			
MES	KW-H/m2	KW-H/m2	KW-H/m2
JUNIO	3,61	3,55	4,20
JULIO	3,69	3,75	4,25
AGOSTO	4,15	3,96	4,41
SEPTIEMBRE	4,33	4,32	4,62
OCTUBRE	4,52	4,54	4,83
NOVIEMBRE	4,55	4,59	5,01
DICIEMBRE	4,53	4,58	5,10
ENERO	4,56	4,61	5,05
FEBRERO	4,59	4,77	4,89
MARZO	4,47	4,47	4,70
ABRIL	4,17	4,14	4,49
MAYO	3,81	3,76	4,30

Fuente: Carlos Freire.

Gráfico 3.8: Comparación de curvas de Gdm (+15°) por los tres métodos.



Fuente: Carlos Freire.

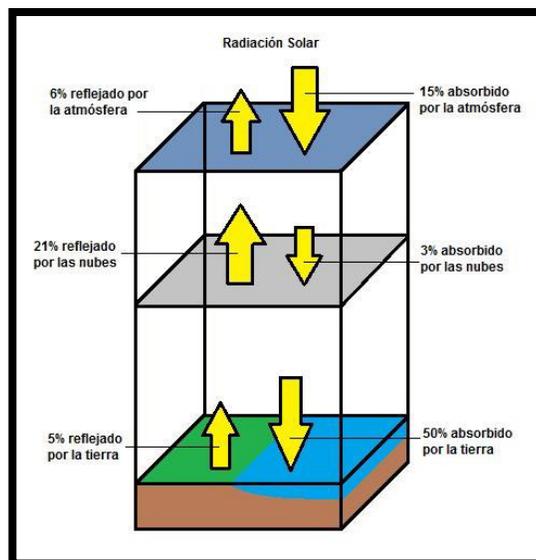
3.2 Interacción de la Radiación con la Atmósfera.

Para hacer un análisis adecuado se debe conocer de qué se compone la atmósfera:

Gases:

- 78% de nitrógeno (N_2)
- 21% de oxígeno (O_2)
- 0.9% de argón (Ar)
- 0.03% de anhídrido carbónico (CO_2).
- 0.07% de otros gases nobles y el ozono (O_3)

Gráfico 3.9: Interacción con la atmósfera.



Fuente: Oswaldo Miranda.

Aerosoles:

Son partículas en suspensión de tamaños entre 1 a 200 μm , los principales aerosoles: el agua, polvo, partículas no combustionadas, etc.

Como se observa en el gráfico 3.9 se aprecia que la atmósfera superior o mesósfera interactúa directamente absorbiendo el 15% de la energía solar que llega del sol y dispersa el 6% esto de un balance que al planeta tierra llega un 100% de energía solar además, otro 21% es dispersado en la atmósfera inferior o estratósfera, por las nubes y las mismas absorben un 6% eso nos deja con un 50% que ingresa a la tierra para ser absorbida y se dispersa apenas un 3% esto puede variar en función del clima, la humedad ambiental y la altura, ya que al ser un día nublado obviamente la dispersión causada por las nubes será mayor así como la absorción.

Los principales efectos de la radiación sobre la atmósfera son la dispersión y la absorción. La dispersión es la difusión de la radiación producida por las partículas presentes en la atmósfera. Se distinguen dos tipos principales:

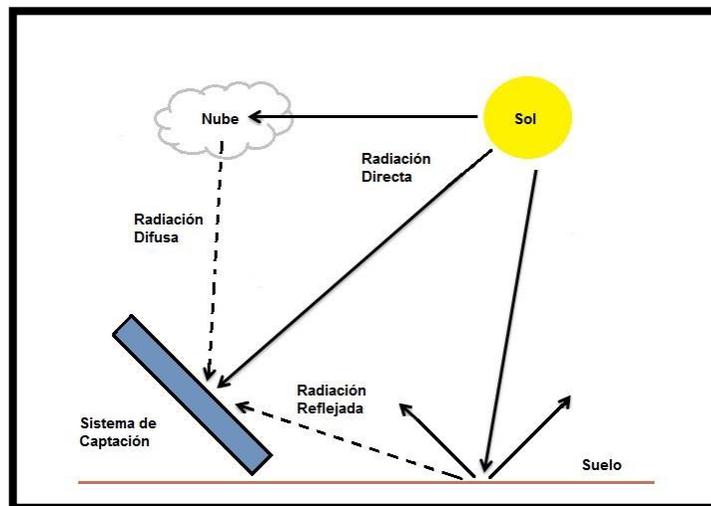
Dispersión Rayleigh: cuando la radiación que son los fotones interactúa con moléculas atmosféricas y otras partículas pequeñas cuyo diámetro es menor que la longitud de onda de la radiación incidente, a este efecto se le atribuye el color azul del cielo.

Dispersión Mie: tiene lugar cuando las partículas que interactúan con los fotones de la radiación son de mayor diámetro a si por ejemplo vapor de agua y partículas de polvo.

En principio es más fácil que la radiación afecte a partículas de mayor tamaño y genere las puestas de sol rojizas, auroras boreales, arcoíris etc. La absorción es el fenómeno natural por el cual la materia captura los fotones de la radiación solar y lo transforma en energía, como un ejemplo la fotosíntesis en las plantas.

3.3. Tipos de Radiación.

Gráfico 3.10.- Incidencia del sol.



Fuente: Oswaldo Miranda.

Radiación Directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos que la interceptan.

Radiación Difusa: Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven todo el arco celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

Esta radiación, que se denomina difusa porque va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos interpuestos porque llega de la atmósfera debido a la dispersión de la radiación solar.

Radiación Reflejada: como su nombre indica es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado difusión.

Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

3.4. Horas de Sol.

Las horas desde que el sol aparece en el Este y hasta que se oculta en el Oeste, se muestran a continuación para cada uno de los meses del año, se debe mencionar que las horas donde la mayor cantidad de rayos solares llegan a la tierra se muestran en un promedio de 5h30" por día y se pueden verificar desde el mediodía solar, con 2h45" a cada lado de la escala horaria convencional que consta de 24h cumpliendo un ciclo o día.

El siguiente calendario del año 2012 está calculado en relación a las horas de sol, sobre el punto de la instalación que son las coordenadas; Latitud $0^{\circ}14'40,00''$ y la Longitud $78^{\circ}28'98''$, en la Universidad Internacional del Ecuador.

Los datos que se muestran a continuación con este punto geográfico se obtienen de la forma como los muestra el INOCAR.

Tabla 3.9: Calendario Enero.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	1 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:21	2 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:21	3 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:22	4 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:22	5 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:23	6 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:23
7 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:24	8 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:24	9 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:24	10 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:28	11 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:25	12 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:26	13 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:26
14 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:26	15 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:27	16 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:27	17 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:27	18 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:28	19 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:28	20 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:28
21 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:29	22 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:29	23 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:29	24 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:30	25 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:30	26 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:30	27 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:30
28 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30	29 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:31	30 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:31	31 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:31			

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.10: Calendario Febrero.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				1 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:31	2 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	3 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31
4 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	5 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	6 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	7 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	8 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	9 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	10 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32
11 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	12 Salida sol 6:25 Puesta sol 18:32	13 Salida sol 6:25 Puesta sol 18:32	14 Salida sol 6:25 Puesta sol 18:32	15 Salida sol 6:25 Puesta sol 18:32	16 Salida sol 6:25 Puesta sol 18:32	17 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32
18 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	19 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:32	20 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	21 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	22 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	23 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	24 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31
25 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	26 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	27 Salida sol 6:24 Puesta sol 18:31	28 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30			

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.11: Calendario Marzo.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				1 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30	2 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30	3 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30
4 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:30	5 Salida sol 6:23 Puesta sol 18:29	6 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:29	7 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:29	8 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:29	9 Salida sol 6:22 Puesta sol 18:28	10 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:28
11 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:28	12 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:28	13 Salida sol 6:21 Puesta sol 18:27	14 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:27	15 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:27	16 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:27	17 Salida sol 6:20 Puesta sol 18:26
18 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:26	19 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:26	20 Salida sol 6:19 Puesta sol 18:25	21 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:25	22 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:25	23 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:24	24 Salida sol 6:18 Puesta sol 18:24
25 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	26 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	27 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	28 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	29 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	30 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.12: Calendario Abril.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22	2 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	3 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	4 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:21	5 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	6 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	7 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20
8 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20	9 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	10 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	11 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:19	12 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	13 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	14 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18
15 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:18	16 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	17 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	18 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	19 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:17	20 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	21 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16
22 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	23 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16	24 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16	25 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	26 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	27 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	28 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15
29 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15	30 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15					

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.13: Calendario Mayo.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		1 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	2 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	3 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	4 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	5 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14
6 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	7 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	8 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	9 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	10 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	11 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	12 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13
13 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	14 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	15 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	16 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	17 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	18 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	19 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13
20 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	21 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	22 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	23 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	24 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	25 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	26 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14
27 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	28 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	29 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	30 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	31 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14		

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.14: Calendario Junio.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
					1 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15	2 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15
3 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15	4 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	5 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	6 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	7 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16	8 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16	9 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16
10 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	11 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	12 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:17	13 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:17	14 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:17	15 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	16 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17
17 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:18	18 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:18	19 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:18	20 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	21 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	22 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:19	23 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:19
24 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	25 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	26 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20	27 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20	28 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20	29 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	30 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.15: Calendario Julio.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:21	2 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:21	3 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:21	4 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	5 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	6 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22	7 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22
8 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22	9 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	10 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	11 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	12 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	13 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	14 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23
15 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	16 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	17 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	18 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	19 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	20 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	21 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23
22 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	23 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	24 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	25 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	26 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	27 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	28 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24
29 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	30 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24	31 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:24				

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.16: Calendario Agosto.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			1 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	2 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	3 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	4 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23
5 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	6 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	7 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	8 Salida sol 6:17 Puesta sol 18:23	9 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	10 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23	11 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:23
12 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	13 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	14 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	15 Salida sol 6:16 Puesta sol 18:22	16 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22	17 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22	18 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:22
19 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	20 Salida sol 6:15 Puesta sol 18:21	21 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:21	22 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	23 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	24 Salida sol 6:14 Puesta sol 18:20	25 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:20
26 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	27 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	28 Salida sol 6:13 Puesta sol 18:19	29 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:19	30 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	31 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:18	

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.17: Calendario Septiembre.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
						1 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:18
2 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	3 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:17	4 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:17	5 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	6 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:16	7 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:16	8 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15
9 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:15	10 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:15	11 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	12 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:14	13 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:14	14 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13	15 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:13
16 Salida sol 6:06 Puesta sol 18:13	17 Salida sol 6:06 Puesta sol 18:12	18 Salida sol 6:06 Puesta sol 18:12	19 Salida sol 6:05 Puesta sol 18:11	20 Salida sol 6:05 Puesta sol 18:11	21 Salida sol 6:04 Puesta sol 18:11	22 Salida sol 6:04 Puesta sol 18:11
23 Salida sol 6:04 Puesta sol 18:10	24 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:10	25 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:10	26 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:09	27 Salida sol 6:02 Puesta sol 18:09	28 Salida sol 6:02 Puesta sol 18:09	29 Salida sol 6:02 Puesta sol 18:08
30 Salida sol 6:01 Puesta sol 18:08						

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.18: Calendario Octubre.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	1 Salida sol 6:01 Puesta sol 18:08	2 Salida sol 6:01 Puesta sol 18:07	3 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:07	4 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:07	5 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:06	6 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:06
7 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:06	8 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:05	9 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:05	10 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:05	11 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:05	12 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:04	13 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:04
14 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:04	15 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:04	16 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03	17 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03	18 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03	19 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03	20 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03
21 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	22 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	23 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	24 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	25 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	26 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02	27 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02
28 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	29 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	30 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	31 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01			

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.19: Calendario Noviembre.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				1 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	2 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	3 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01
4 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	5 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	6 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	7 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	8 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	9 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01	10 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:01
11 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	12 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	13 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	14 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	15 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	16 Salida sol 5:54 Puesta sol 18:02	17 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:02
18 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:03	19 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:03	20 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:03	21 Salida sol 5:55 Puesta sol 18:03	22 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:03	23 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:04	24 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:04
25 Salida sol 5:56 Puesta sol 18:04	26 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:04	27 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:05	28 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:05	29 Salida sol 5:57 Puesta sol 18:06	30 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:06	

Fuente: Carlos Freire.

Tabla 3.20: Calendario Diciembre.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
						1 Salida sol 5:58 Puesta sol 18:06
2 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:07	3 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:07	4 Salida sol 5:59 Puesta sol 18:07	5 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:08	6 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:08	7 Salida sol 6:00 Puesta sol 18:09	8 Salida sol 6:01 Puesta sol 18:09
9 Salida sol 6:01 Puesta sol 18:09	10 Salida sol 6:02 Puesta sol 18:10	11 Salida sol 6:02 Puesta sol 18:10	12 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:11	13 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:11	14 Salida sol 6:03 Puesta sol 18:12	15 Salida sol 6:04 Puesta sol 18:12
16 Salida sol 6:04 Puesta sol 18:13	17 Salida sol 6:05 Puesta sol 18:13	18 Salida sol 6:05 Puesta sol 18:14	19 Salida sol 6:06 Puesta sol 18:14	20 Salida sol 6:06 Puesta sol 18:15	21 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:15	22 Salida sol 6:07 Puesta sol 18:16
23 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:16	24 Salida sol 6:08 Puesta sol 18:17	25 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:17	26 Salida sol 6:09 Puesta sol 18:18	27 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:18	28 Salida sol 6:10 Puesta sol 18:19	29 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:19
30 Salida sol 6:11 Puesta sol 18:20	31 Salida sol 6:12 Puesta sol 18:20					

Fuente: Carlos Freire.

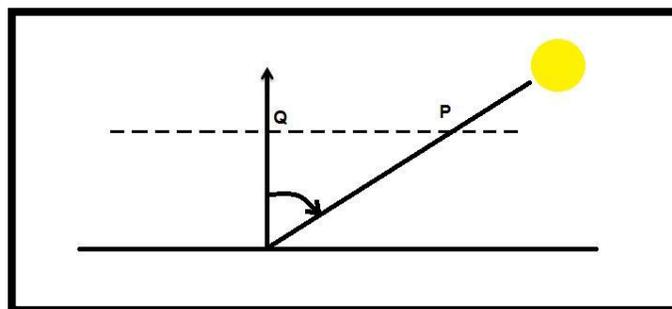
3.5. Dirección de la Radiación Directa.

La distancia media entre la tierra y el sol es de 149.600.000 kilómetros, nuestro planeta visto desde el espacio exterior se puede estimar que recibe los rayos del sol de manera directa. Como se mencionó anteriormente la radiación antes de alcanzar el nivel del mar debe atravesar la atmosfera y eso disminuye considerablemente la cantidad de energía que llega desde el sol a la tierra.

La agencia espacial ecuatoriana (EXA) con su estación meteorológica en Quito utiliza 1339 W/m^2 , como la medida máxima de irradiación que ingresa.

En el gráfico a continuación se puede observar el ángulo en el que los rayos solares golpean una superficie de la tierra; Cabe aclarar que el ángulo descrito para el Ecuador sería cuando el sol se encuentra saliendo por el este y suponiendo que dicho punto este fijo.

Gráfico 3.11: Redición directa.



Fuente: Oswaldo Miranda.

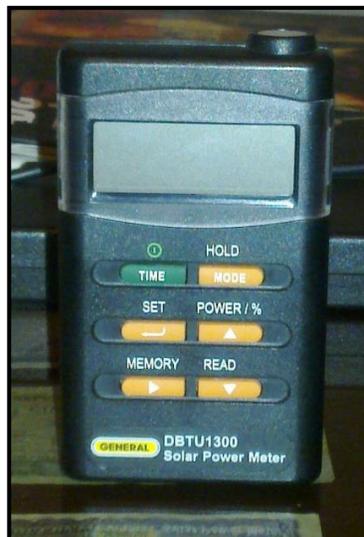
Donde P es la radiación solar que ingresa a la tierra y Q es la referencia de un punto fijo que está en la tierra, el ángulo que se forma se conoce como Cenit.

Cuando el sol se encuentra ocultándose por el oeste y el punto de referencia está a nivel del mar se puede formar un ángulo Cenit de 90° y al llegar a estar sobre el objeto directamente el sol se forma un ángulo Cenit de 0° .

3.6. Instrumentos de Medición.

Pirheliómetro.

Gráfico 3.12: Instrumento de medición Pirheliómetro.



Fuente: Carlos Freire V.

Es un instrumento que mide la radiación solar directa en W/m^2 , su funcionamiento es sencillo ya que consta de una célula fotovoltaica la cual capta los rayos solares, los mismos que generan cierta cantidad de energía la cual es medida y calculada por un

circuito integrado, la programación permite mostrar resultados en W/m^2 en un display integrado al mismo equipo.

Para poder obtener medidas que reflejen la realidad se debe colocar el instrumento en una sola posición, en nuestro caso para medir la irradiación que llegara a los paneles se colocó al instrumento junto a un panel en la misma posición. La limitación del pirheliómetro es que únicamente mide la radiación solar directa.

Piranómetro.

Gráfico 3.13 Instrumento de medición Piranómetro.



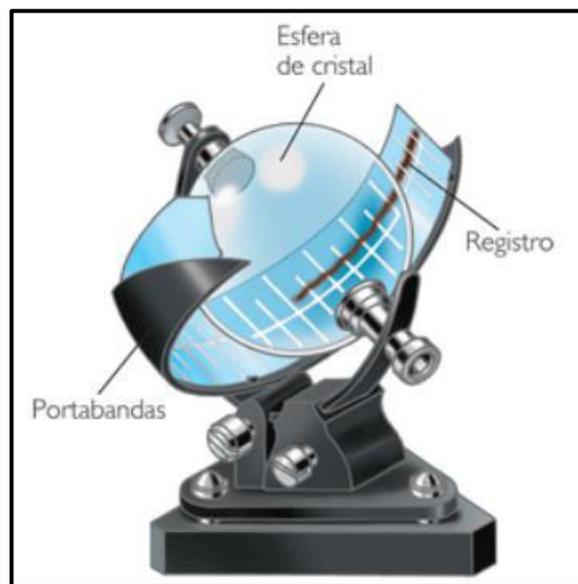
Fuente: www.darrera.com

La característica principal es que el piranómetro mide la radiación solar global y difusa. El instrumento se coloca en una superficie horizontal, al igual que el pirheliómetro, una célula fotovoltaica mide la cantidad de energía que capta y lo procesa, este equipo tiene que ser conectado a un computador para obtener los datos que genera el instrumento.

La diferencia principal se encuentra en la semiesfera que cubre al sensor la cual no permite que los rayos la atraviesen de forma directa, además gracias a esta característica le permite medir también la radiación reflejada desde la tierra, según la necesidad de la aplicación se puede evitar medir la radiación reflejada desde la tierra colocando una plato alrededor del equipo. Sus datos se muestran en watt/m^2 .

Heliógrafo.

Gráfico 3.14: Instrumento de medición Heliógrafo.



Fuente: www.oni.escuelas.edu.ar.

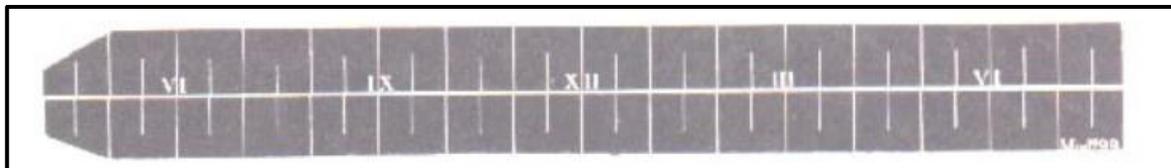
El heliógrafo una esfera de cristal que se orienta hacia el sol, su base se apoyada sobre una superficie horizontal a 120 cm del suelo, para obtener una

medición correcta se debe tener un día totalmente soleado y sin obstáculos como nubes, edificios, arboles, etc.

Un soporte que deja situar a la porta bandas en la misma posición donde la irradiación solar quema la banda. Por ser un elemento en su mayoría mecánico se los fabrica teniendo en cuenta la longitud y la latitud de donde se va a realizar la muestra.

Su funcionamiento es muy sencillo ya que los rayos solares atraviesan la esfera haciendo que esta marque la banda como una especie de lupa, los mismos queman un papel marcado con las horas del día indicando cuando existe mayor radiación solar. La banda está diseñada para ser usada en un país como Ecuador.

Gráfico 3.15: Banda de heliógrafo.



Fuente: www.rumtor.com

3.7. Técnicas para la Determinación de Radiación Solar Local.

Una de las técnicas más usadas para la determinación de la radiación solar sobre una localidad es el uso de los tres instrumentos de medición antes

mencionados ya que cada uno aporta datos esenciales para el estudio de la radiación solar.

Es necesario mencionar que el Heliógrafo únicamente marca las horas de mayor incidencia solar en un día, esto complementa el análisis de la radiación solar conocida dando una visión clara de la cantidad de energía solar que recibe una localidad.

Para la obtención de datos reales promedio el estudio requiere un tiempo mínimo de tres meses y como máximo un año con seis meses, en el caso del periodo mínimo se puede obtener proyecciones dependiendo de si se toman en verano y se aplica correcciones para calcular la radiación solar en invierno por que se tiene en cuenta la cantidad de nubosidad que generalmente se presenta en dicha estación climática.

Las correcciones se realizan gracias al heliógrafo ya que este indica la reducción en las horas de sol por consecuencia de los cambios climáticos.

Fuente: Atlas solar de energía solar con fines de generación eléctrica, CONELEC.

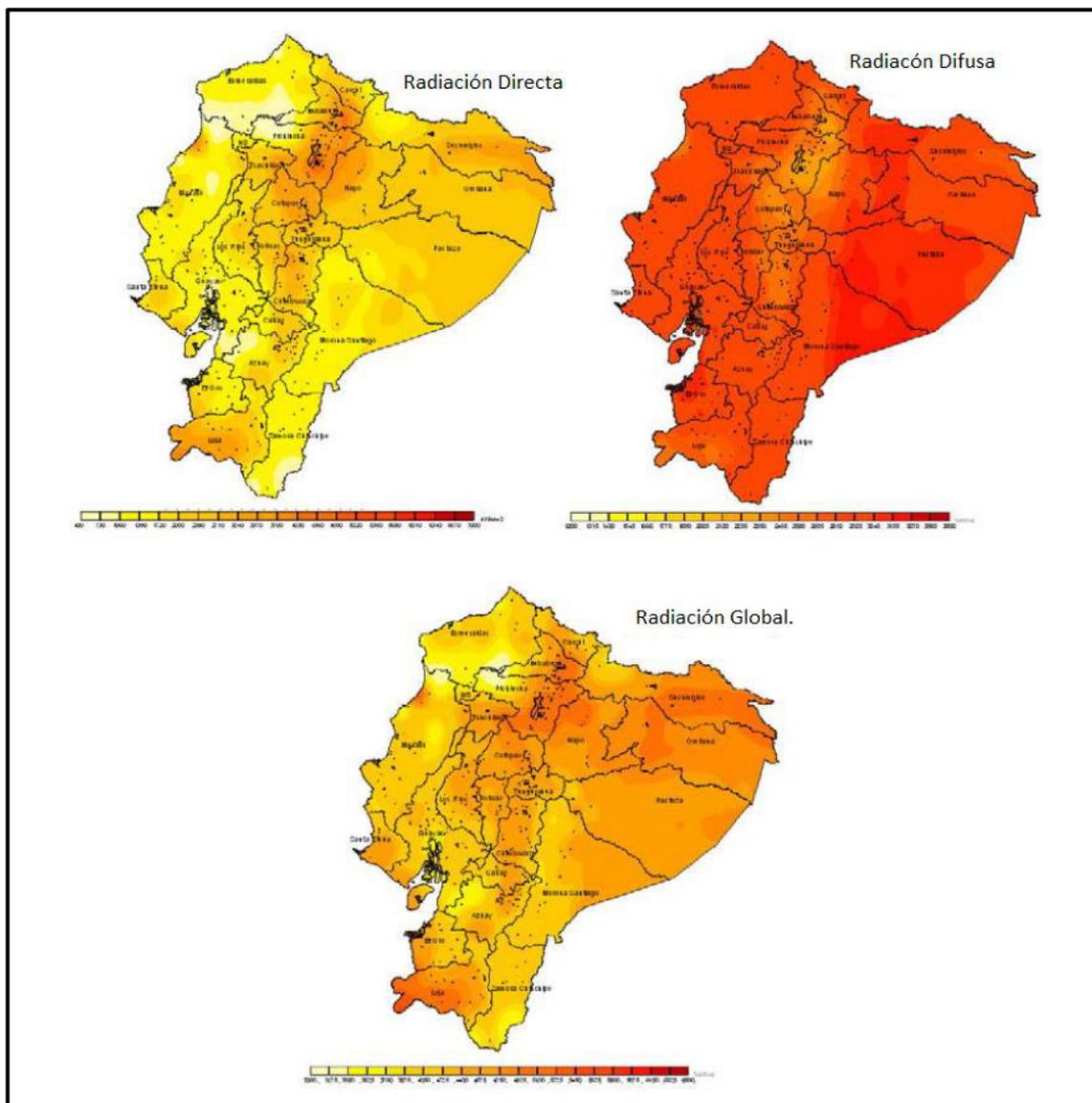


Gráfico 3.16: Tipos de radiación en Ecuador.

En caso del estudio realizado durante largo plazo se puede demostrar y proyectar condiciones de radiación solar para los años siguientes hasta un máximo de 5.

Los mapas que se observa en la parte anterior pertenecen al INAMHI y se realizaron utilizando estaciones que cuentan con los instrumentos antes mencionados en diversos puntos del Ecuador cada estación se encuentra a 80km una de otra.

3.7.1. Método del Amperaje.

Como se conoce los fabricantes de paneles solares marcan sus productos con las características que poseen, donde se puede observar el voltaje que entrega el panel y su potencia en watts, etc.

Gráfico 3.17: Datos técnicos de panel solar.

Parámetros	Tipo	100P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	100
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	5.71A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	6.14A
Dimensiones		1130x670x35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Diodos Bypass		2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Fuente: Manual EXMORK 100Pes.

En este caso se puede observar que la potencia máxima del panel, es de 100 W con un margen de 3% de variación y que su voltaje máximo es 17.5V pero hay que aclarar que el voltaje únicamente es el valor que podría darse en algún momento antes de llegar al corto circuito todo el conjunto de foto generadores, al observar esto podemos determinar que el valor nominal del panel se encuentra entre los 12V.

Los paneles solares son capaces de entregar un promedio de 12,3V cuando es un día nublado, esto sucede por la configuración en la cual es construido un panel ya que aprovechan la más leve radiación solar para alimentar a un acumulador, aquí es donde ingresa el método del amperaje.

Ya que si se conecta un voltímetro a la salida de los conectores positivo y negativo, de un panel solar por lo general se encuentra medidas de 12V a 12,8V que son ligeras fluctuaciones de voltaje, a diferencia que si nosotros colocamos un medidor de amperaje entre el panel solar y las batería vamos a notar que el valor del amperaje que fluye desde un 0,8A hacia el tope máximo que en este caso es de 8,05A.

Esta variación del amperaje indica la cantidad de irradiación solar que recibe el panel en un momento determinado en el día, la característica a tener siempre en cuenta en cualquier grupo foto generador es el amperaje que puede generar como máximo antes de caer en el corto circuito.

La fórmula para obtener la equivalencia en watt/m^2 es una regla de tres ya que en este caso se conoce que la radiación media con la que los rayos solares golpean la tierra es de 1339 W/m^2 y esta potencia genera en el panel un amperaje máximo de 8,05 A entonces se deduce que a cierta cantidad de amperios el panel está recibiendo determinada irradiación solar.

3.7.2 Aplicación de Programas Informáticos.

Con el programa CENSOL podemos verificar la base de datos sobre la radiación solar donde podemos escoger Ecuador/Quito.

Gráfico 3.18: Base de datos, corrección de ángulo con respectó al sitio

ALEMANIA	FINLANDIA	MOZAMBIQUE	INGUINCHO (+00.2°)
ANGOLA	FRANCIA	NAMIBIA	ISABEL MARIA (-01.8°)
ANTÁRTIDA	GHANA	NICARAGUA	IZOBAMBA (-00.3°)
ARGELIA	GRAN CAIMÁN	NIGERIA	JAMA (-00.2°)
ARGENTINA	GRANADA	NUEVA ZELANDA	JULCUY (-01.4°)
ÁRTICO	GRECIA	PAKISTÁN	LA CLEMENTINA (-01.6°)
AUSTRALIA	GUATEMALA	PANAMÁ	LA CONCORDIA (+00.1°)
AUSTRIA	GUINEA	PARAGUAY	LA NARANJA (-01.3°)
AZORES	GUINEA PORTUGUESA	PERÚ	LA NARANJA-JIPIJAPA (-01.3°)
BARBADOS	GUYANA	PORTUGAL	LATACUNGA (-00.9°)
BELGICA	HAITI	REPÚBLICA DOMINICANA	LOJA (-04.0°)
BELIZE	HONDURAS	REUNIÓN	MACARA (-04.3°)
BIRMANIA	HUNGRÍA	RUMANÍA	MACAS (-02.3°)
BOLIVIA	INDIA	RUSIA	MACHALA (-03.2°)
BOTSWANA	IRAK	SANTA LUCÍA	MALCHINGUI (+00.0°)
BRASIL	IRÁN	SANTO TOMÉ Y PRÍNCIPE	MANTA (-00.9°)
BULGARIA	IRLANDIA	SENEGAL	MILAGRO (-02.1°)
CABO VERDE. ISLAS	ISLANDIA	SINGAPUR	MUTILE (+00.0°)
CANADÁ	ISRAEL	SOMOA AMERICANA	NAPO-SAN VICENTE (-00.5°)
CHAD	ITALIA	SRI LANKA	NUOVO ROCAFUERTE (-00.9°)
CHEQUIA / ESLOVAQUIA	JAMAICA	SUDÁFRICA	OLMEDO (+00.1°)
CHILE	JAPÓN	SUDÁN	OLMEDO MANABI (-01.3°)
CHINA	JORDANIA	SURINAM	PASAJE (-03.3°)
COLOMBIA	KENIA	TAILANDIA	PEDERNALES (+00.0°)
CONGO	KUWAIT	TAIWÁN	PICHILINGUE (-01.1°)
COREA	LIBANO	TANZANIA	PISAYAMBO (-01.0°)
COSTA RICA	MACAO	TRINIDAD-TOBAGO	PORTO VIEJO (-01.0°)
CUBA	MADAGASCAR	TÚNEZ	PUERTO BAQUERIZO (-00.9°)
DOMINICA	MADEIRA. ISLAS	TURQUÍA	PUERTO BOLIVAR (-03.2°)
ECUADOR	MALASIA	UGANDA	PUERTO LA (-00.4°)
EGIPTO	MALTA	URUGUAY	PUERTO LOPEZ (-01.5°)
EL SALVADOR	MALVINAS. ISLAS	VENEZUELA	QUININDE (-00.3°)
ESPAÑA	MARRUECOS	VÍRGENES. ISLAS	QUITO-NAQUITO (-00.1°)
ESTADOS UNIDOS	MARTINICA	ZAIRE	RIOBAMBA (-01.6°)
ETIOPÍA	MAURITANIA	ZAMBIA	RUMPAMBA (-01.0°)
FIJI. ISLAS	MÉXICO	ZIMBAWE	SALINAS (-02.1°)
FILIPINAS	MONGOLIA		SALINAS-LA PUNTILLA (-02.2°)

© CENSOLAR	ENE	FEB	MAR	AER	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MJ/m²:	17.8	16.7	17.2	16.3	17.4	16.9	19.9	19.7	17.6	18.9	18.5	18.5	17.9
kW-h/m²:	4.9	4.6	4.8	4.5	4.8	4.7	5.5	5.5	4.9	5.2	5.1	5.1	5.0

Fuente: Oswaldo Miranda. Captura de imagen, software CENSOLAR.

Basándose en los datos indicados se puede dar un promedio anual de 5.0 Kw-h/m². Al no saber las condiciones en las que los datos de esta fuente fueron tomados, Esta investigación continua basándose en los datos obtenidos con el pirheliómetro, ya que este indica un valor de radiación en condiciones soleadas y nubladas.

3.7.3 Tabla de Heliofanía.

Heliofanía es el tiempo en el que la incidencia de la radiación solar directa supera los 120W/h sobre un mismo punto.

Por lo cual se procedió a la recopilación de los datos mediante el pirheliometro tomando en cuenta los días nublados, lluviosos y soleados en una semana de seis diferentes meses que son agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del 2012 y enero del 2013.

Protocolo de pruebas.

La ubicación de la toma de datos es la Universidad Internacional del Ecuador, el lugar se muestra con coordenadas en la gráfica 3.1. Cada una de las tablas muestra un promedio de la potencia solar con intervalos de 10 minutos.

El instrumentó utilizado es el Pirheliómetro digital con la siguiente calibración:

Tabla 3.21: Calibración del Pirheliómetro.

Especificaciones Técnicas	
Pantalla	LCD
Rango de medición	2000 W/m ² ; 624 BTU/(ft ² *h)
Resolución	0.1 W/m ² ; 0.1 BTU/(ft ² *h)
Visualización fuera de escala	La pantalla mostrara el símbolo "OL"
Respuesta espectral	400-1000 nm
Precisión	± 10 W/m ²
Precisión angular	Coseno corregido <5% para ángulos <60 ⁰
Desvío	< ±2% por año
Velocidad de muestreo	4 veces/segundo
Foto detector	Un detector fotovoltaico de silicio
Temperatura y humedad de operación	0C ⁰ a 50C ⁰ ; 0% a 80% de humedad
Temperatura y humedad de almacenamiento	-10C ⁰ a 60C ⁰ ; 0% a 70% de humedad
Fuente de energía	4 baterías AAA
Dimensiones y peso	110x64x34 ; 158g.
Accesorios	Manual, baterías

Fuente: Oswaldo Miranda.

La recopilación de datos, se da durante una semana al azar en los meses antes mencionados y las tablas mostradas a continuación señalan la mejor muestra a la hora que indica la tabla. Esto sirve para determinar en qué momento del día la energía solar que ingresa al punto de implementación es superior a los 1000 W/m².

Tabla de Agosto: del 14 al 21 del 2012.

Tabla 3.22: Mes de Agosto.

Hora	Heliofanía en W/m²		Continuación		
7:10	135.7	W/m ²	12:30	1338.7	W/m ²
7:20	187.9	W/m ²	12:40	1340.9	W/m ²
7:30	198.7	W/m ²	12:50	1339.1	W/m ²
7:40	229.3	W/m ²	13:00	1335.2	W/m ²
7:50	344.2	W/m ²	13:10	1333.1	W/m ²
8:00	397.6	W/m ²	13:20	1332.7	W/m ²
8:10	431.9	W/m ²	13:30	1331.2	W/m ²
8:20	541.3	W/m ²	13:40	1328.5	W/m ²
8:30	595.8	W/m ²	13:50	1327.4	W/m ²
8:40	623.2	W/m ²	14:00	1326.2	W/m ²
8:50	660.3	W/m ²	14:10	1321.5	W/m ²
9:00	717.1	W/m ²	14:20	1312.8	W/m ²
9:10	740.3	W/m ²	14:30	1310.3	W/m ²
9:20	790.3	W/m ²	14:40	1270.6	W/m ²
9:30	923.3	W/m ²	14:50	1220.3	W/m ²
9:40	978.3	W/m ²	15:00	1192.9	W/m ²
9:50	995.8	W/m ²	15:10	1187.2	W/m ²
10:00	1037.1	W/m ²	15:20	1089.9	W/m ²
10:10	1102.4	W/m ²	15:30	1012.3	W/m ²
10:20	1139.9	W/m ²	15:40	987.5	W/m ²
10:30	1193.2	W/m ²	15:50	924.5	W/m ²
10:40	1220.5	W/m ²	16:00	816.9	W/m ²
10:50	1281.5	W/m ²	16:10	798.1	W/m ²
11:00	1301.2	W/m ²	16:20	689.9	W/m ²
11:10	1312.3	W/m ²	16:30	596.1	W/m ²
11:20	1317.7	W/m ²	16:40	431.8	W/m ²
11:30	1322.8	W/m ²	16:50	392.0	W/m ²
11:40	1325.2	W/m ²	17:00	312.9	W/m ²
11:50	1328.2	W/m ²	17:10	228.3	W/m ²
12:00	1330.5	W/m ²	17:20	206.1	W/m ²
12:10	1333.1	W/m ²	17:30	187.9	W/m ²
12:20	1337.2	W/m ²	17:40	135.7	W/m ²

Fuente: Marcelo Pérez.

Tabla de Septiembre: del 17 al 21 del 2012.

Tabla 3.23: Mes de Septiembre.

Hora	Heliofanía en W/m²		Continuación		
7:10	122.1	W/m ²	12:30	1337.2	W/m ²
7:20	177.2	W/m ²	12:40	1335.8	W/m ²
7:30	193.6	W/m ²	12:50	1332.9	W/m ²
7:40	215.2	W/m ²	13:00	1331.5	W/m ²
7:50	339.2	W/m ²	13:10	1329.2	W/m ²
8:00	392.3	W/m ²	13:20	1328.7	W/m ²
8:10	429.8	W/m ²	13:30	1328.1	W/m ²
8:20	535.2	W/m ²	13:40	1327.6	W/m ²
8:30	589.1	W/m ²	13:50	1326.6	W/m ²
8:40	603.9	W/m ²	14:00	1325.1	W/m ²
8:50	662.6	W/m ²	14:10	1320.3	W/m ²
9:00	737.6	W/m ²	14:20	1312.1	W/m ²
9:10	745.2	W/m ²	14:30	1300.3	W/m ²
9:20	854.1	W/m ²	14:40	1268.4	W/m ²
9:30	909.2	W/m ²	14:50	1224.7	W/m ²
9:40	973.8	W/m ²	15:00	1190.4	W/m ²
9:50	989.8	W/m ²	15:10	1187.5	W/m ²
10:00	1023.2	W/m ²	15:20	1079.3	W/m ²
10:10	1098.2	W/m ²	15:30	1013.1	W/m ²
10:20	1136.6	W/m ²	15:40	984.1	W/m ²
10:30	1195.1	W/m ²	15:50	923.7	W/m ²
10:40	1220.5	W/m ²	16:00	811.8	W/m ²
10:50	1281.5	W/m ²	16:10	779.5	W/m ²
11:00	1309.2	W/m ²	16:20	679.4	W/m ²
11:10	1316.8	W/m ²	16:30	592.3	W/m ²
11:20	1329.7	W/m ²	16:40	421.6	W/m ²
11:30	1331.8	W/m ²	16:50	372.4	W/m ²
11:40	1334.6	W/m ²	17:00	307.0	W/m ²
11:50	1335.3	W/m ²	17:10	218.5	W/m ²
12:00	1337.4	W/m ²	17:20	201.3	W/m ²
12:10	1338.7	W/m ²	17:30	172.5	W/m ²
12:20	1339.1	W/m ²	17:40	125.1	W/m ²

Fuente: Oswaldo Miranda.

Tabla de Octubre: del 9 al 15 del 2012

Tabla 3.24: Mes de Octubre.

Hora	Heliofanía en W/m²		Continuación		
7:10	119.1	W/m ²	12:30	1338.8	W/m ²
7:20	157.4	W/m ²	12:40	1337.9	W/m ²
7:30	189.8	W/m ²	12:50	1337.1	W/m ²
7:40	210.2	W/m ²	13:00	1336.6	W/m ²
7:50	331.8	W/m ²	13:10	1335.9	W/m ²
8:00	399.1	W/m ²	13:20	135.3	W/m ²
8:10	413.8	W/m ²	13:30	1333.1	W/m ²
8:20	539.7	W/m ²	13:40	1332.9	W/m ²
8:30	590.1	W/m ²	13:50	1330.2	W/m ²
8:40	620.3	W/m ²	14:00	1323.7	W/m ²
8:50	671.5	W/m ²	14:10	1319.4	W/m ²
9:00	723.4	W/m ²	14:20	1307.5	W/m ²
9:10	767.5	W/m ²	14:30	1293.3	W/m ²
9:20	857.8	W/m ²	14:40	1271.1	W/m ²
9:30	918.6	W/m ²	14:50	1218.4	W/m ²
9:40	970.1	W/m ²	15:00	1192.9	W/m ²
9:50	997.5	W/m ²	15:10	1180.2	W/m ²
10:00	1039.8	W/m ²	15:20	1059.1	W/m ²
10:10	1088.7	W/m ²	15:30	1020.6	W/m ²
10:20	1140.6	W/m ²	15:40	994.5	W/m ²
10:30	1189.2	W/m ²	15:50	927.7	W/m ²
10:40	1227.7	W/m ²	16:00	851.6	W/m ²
10:50	1278.6	W/m ²	16:10	766.9	W/m ²
11:00	1296.2	W/m ²	16:20	680.1	W/m ²
11:10	1310.9	W/m ²	16:30	597.4	W/m ²
11:20	1321.2	W/m ²	16:40	433.1	W/m ²
11:30	1328.5	W/m ²	16:50	360.3	W/m ²
11:40	1330.2	W/m ²	17:00	299.5	W/m ²
11:50	1334.8	W/m ²	17:10	228.7	W/m ²
12:00	1336.4	W/m ²	17:20	193.9	W/m ²
12:10	1337.1	W/m ²	17:30	157.8	W/m ²
12:20	1339.4	W/m ²	17:40	135.4	W/m ²

Fuente: Carlos Freire.

Tabla de Noviembre: del 12 al 16 del 2012

Tabla 3.25: Mes de Noviembre.

Hora	Heliofanía en W/m ²		Continuación		
7:10	128.5	W/m ²	12:30	1338.8	W/m ²
7:20	169.3	W/m ²	12:40	1337.9	W/m ²
7:30	189.2	W/m ²	12:50	1335.2	W/m ²
7:40	221.6	W/m ²	13:00	1332.5	W/m ²
7:50	356.7	W/m ²	13:10	1331.7	W/m ²
8:00	390.7	W/m ²	13:20	1329.1	W/m ²
8:10	420.2	W/m ²	13:30	1328.7	W/m ²
8:20	547.2	W/m ²	13:40	1326.3	W/m ²
8:30	582.9	W/m ²	13:50	1325.6	W/m ²
8:40	617.7	W/m ²	14:00	1324.5	W/m ²
8:50	674.9	W/m ²	14:10	1319.9	W/m ²
9:00	703.0	W/m ²	14:20	1311.1	W/m ²
9:10	746.9	W/m ²	14:30	1303.5	W/m ²
9:20	803.4	W/m ²	14:40	1267.7	W/m ²
9:30	896.5	W/m ²	14:50	1210.4	W/m ²
9:40	955.4	W/m ²	15:00	1198.2	W/m ²
9:50	980.3	W/m ²	15:10	1157.1	W/m ²
10:00	1007.8	W/m ²	15:20	1091.5	W/m ²
10:10	1092.1	W/m ²	15:30	1022.6	W/m ²
10:20	1131.8	W/m ²	15:40	993.3	W/m ²
10:30	1190.9	W/m ²	15:50	913.0	W/m ²
10:40	1212.2	W/m ²	16:00	836.5	W/m ²
10:50	1269.8	W/m ²	16:10	786.4	W/m ²
11:00	1292.2	W/m ²	16:20	694.4	W/m ²
11:10	1307.1	W/m ²	16:30	587.3	W/m ²
11:20	1320.8	W/m ²	16:40	451.5	W/m ²
11:30	1323.3	W/m ²	16:50	388.5	W/m ²
11:40	1327.4	W/m ²	17:00	327.4	W/m ²
11:50	1334.7	W/m ²	17:10	244.0	W/m ²
12:00	1336.5	W/m ²	17:20	210.9	W/m ²
12:10	1338.2	W/m ²	17:30	179.1	W/m ²
12:20	1339.1	W/m ²	17:40	140.6	W/m ²

Fuente: Marcelo Pérez.

Tabla de Diciembre: del 10 al 14 del 2012

Tabla 3.26: Mes de Diciembre.

Hora	Heliofanía en W/m²		Continuación		
7:10	107.3	W/m ²	12:30	1338.4	W/m ²
7:20	143.1	W/m ²	12:40	1336.1	W/m ²
7:30	181.7	W/m ²	12:50	1333.9	W/m ²
7:40	230.6	W/m ²	13:00	1332.4	W/m ²
7:50	311.2	W/m ²	13:10	1332.5	W/m ²
8:00	383.1	W/m ²	13:20	1330.9	W/m ²
8:10	412.0	W/m ²	13:30	1329.7	W/m ²
8:20	533.9	W/m ²	13:40	1326.2	W/m ²
8:30	598.8	W/m ²	13:50	1323.0	W/m ²
8:40	618.5	W/m ²	14:00	1322.5	W/m ²
8:50	664.7	W/m ²	14:10	1318.8	W/m ²
9:00	710.9	W/m ²	14:20	1301.2	W/m ²
9:10	744.6	W/m ²	14:30	1278.2	W/m ²
9:20	790.4	W/m ²	14:40	1253.9	W/m ²
9:30	803.1	W/m ²	14:50	1204.4	W/m ²
9:40	948.9	W/m ²	15:00	1198.3	W/m ²
9:50	979.2	W/m ²	15:10	1188.3	W/m ²
10:00	1044.4	W/m ²	15:20	1077.1	W/m ²
10:10	1094.1	W/m ²	15:30	1054.4	W/m ²
10:20	1131.8	W/m ²	15:40	970.5	W/m ²
10:30	1188.5	W/m ²	15:50	921.2	W/m ²
10:40	1215.0	W/m ²	16:00	819.9	W/m ²
10:50	1266.4	W/m ²	16:10	788.7	W/m ²
11:00	1301.1	W/m ²	16:20	643.3	W/m ²
11:10	1311.7	W/m ²	16:30	594.6	W/m ²
11:20	1319.3	W/m ²	16:40	411.6	W/m ²
11:30	1322.8	W/m ²	16:50	376.0	W/m ²
11:40	1329.6	W/m ²	17:00	303.1	W/m ²
11:50	1334.5	W/m ²	17:10	241.7	W/m ²
12:00	1337.4	W/m ²	17:20	196.2	W/m ²
12:10	1338.6	W/m ²	17:30	152.2	W/m ²
12:20	1340.1	W/m ²	17:40	101.4	W/m ²

Fuente: Oswaldo Miranda.

Tabla de Enero: del 9 al 15 del 2013

Tabla 3.27: Mes de Enero.

Hora	Heliofanía en W/m²		Continuación		
7:10	114.1	W/m ²	12:30	1338.2	W/m ²
7:20	163.8	W/m ²	12:40	1337.2	W/m ²
7:30	178.5	W/m ²	12:50	1334.6	W/m ²
7:40	209.3	W/m ²	13:00	1333.9	W/m ²
7:50	323.9	W/m ²	13:10	1333.3	W/m ²
8:00	372.4	W/m ²	13:20	1331.3	W/m ²
8:10	429.1	W/m ²	13:30	1330.1	W/m ²
8:20	529.6	W/m ²	13:40	1329.4	W/m ²
8:30	586.1	W/m ²	13:50	1327.1	W/m ²
8:40	647.9	W/m ²	14:00	1323.4	W/m ²
8:50	650.3	W/m ²	14:10	1320.1	W/m ²
9:00	703.2	W/m ²	14:20	1313.5	W/m ²
9:10	730.3	W/m ²	14:30	1291.5	W/m ²
9:20	781.2	W/m ²	14:40	1262.6	W/m ²
9:30	923.4	W/m ²	14:50	1224.1	W/m ²
9:40	965.5	W/m ²	15:00	1194.3	W/m ²
9:50	986.8	W/m ²	15:10	1187.2	W/m ²
10:00	1021.0	W/m ²	15:20	1039.4	W/m ²
10:10	1114.6	W/m ²	15:30	1026.7	W/m ²
10:20	1145.3	W/m ²	15:40	979.4	W/m ²
10:30	1179.4	W/m ²	15:50	919.9	W/m ²
10:40	1218.9	W/m ²	16:00	804.2	W/m ²
10:50	1271.9	W/m ²	16:10	791.7	W/m ²
11:00	1308.2	W/m ²	16:20	673.1	W/m ²
11:10	1317.9	W/m ²	16:30	584.5	W/m ²
11:20	1321.7	W/m ²	16:40	417.5	W/m ²
11:30	1326.3	W/m ²	16:50	324.9	W/m ²
11:40	1331.1	W/m ²	17:00	323.4	W/m ²
11:50	1334.3	W/m ²	17:10	267.9	W/m ²
12:00	1336.7	W/m ²	17:20	204.6	W/m ²
12:10	1337.7	W/m ²	17:30	177.3	W/m ²
12:20	1339.1	W/m ²	17:40	121.8	W/m ²

Fuente: Carlos Freire.

Según los datos recopilados durante los 6 meses antes indicados se puede sacar valores promedio mostrados a continuación.

Tabla 3.28: Tabla promedio de los 6 meses.

Hora	Heliofanía en W/m ²		Continuación		
7:10	135.7	W/m ²	12:30	1338.2	W/m ²
7:20	187.9	W/m ²	12:40	1338.3	W/m ²
7:30	198.7	W/m ²	12:50	1337.1	W/m ²
7:40	229.3	W/m ²	13:00	1336.2	W/m ²
7:50	344.2	W/m ²	13:10	1334.1	W/m ²
8:00	397.6	W/m ²	13:20	1332.7	W/m ²
8:10	431.9	W/m ²	13:30	1332.2	W/m ²
8:20	541.3	W/m ²	13:40	1330.5	W/m ²
8:30	595.8	W/m ²	13:50	1328.4	W/m ²
8:40	623.2	W/m ²	14:00	1324.2	W/m ²
8:50	660.3	W/m ²	14:10	1321.5	W/m ²
9:00	717.1	W/m ²	14:20	1312.8	W/m ²
9:10	740.3	W/m ²	14:30	1310.3	W/m ²
9:20	790.3	W/m ²	14:40	1270.6	W/m ²
9:30	923.3	W/m ²	14:50	1220.3	W/m ²
9:40	978.3	W/m ²	15:00	1192.9	W/m ²
9:50	995.8	W/m ²	15:10	1187.2	W/m ²
10:00	1037.1	W/m ²	15:20	1089.9	W/m ²
10:10	1102.4	W/m ²	15:30	1012.3	W/m ²
10:20	1139.9	W/m ²	15:40	987.5	W/m ²
10:30	1193.2	W/m ²	15:50	924.5	W/m ²
10:40	1220.5	W/m ²	16:00	816.9	W/m ²
10:50	1281.5	W/m ²	16:10	798.1	W/m ²
11:00	1301.2	W/m ²	16:20	689.9	W/m ²
11:10	1312.3	W/m ²	16:30	596.1	W/m ²
11:20	1322.7	W/m ²	16:40	431.8	W/m ²
11:30	1324.8	W/m ²	16:50	392.0	W/m ²
11:40	1327.2	W/m ²	17:00	312.9	W/m ²
11:50	1333.2	W/m ²	17:10	228.3	W/m ²
12:00	1336.5	W/m ²	17:20	206.1	W/m ²
12:10	1338.1	W/m ²	17:30	187.9	W/m ²
12:20	1339.1	W/m ²	17:40	135.7	W/m ²

Fuente: Oswaldo Miranda.

La siguiente tabla muestra la radiación solar pico que según el documento de estudio de Sun Fields Europe, las horas de sol pico (HSP) son aquellas, que se mantiene una radiación constante que supere los 1000 W/m^2 que es lo mismo que 1kW/m^2 . En la siguiente tabla se puede apreciar desde que hora la radiación ha superado el umbral de los 1000 W/m^2 , y hasta qué hora se puede mantener.

Tabla 3.29: Tabla de potencia efectiva.

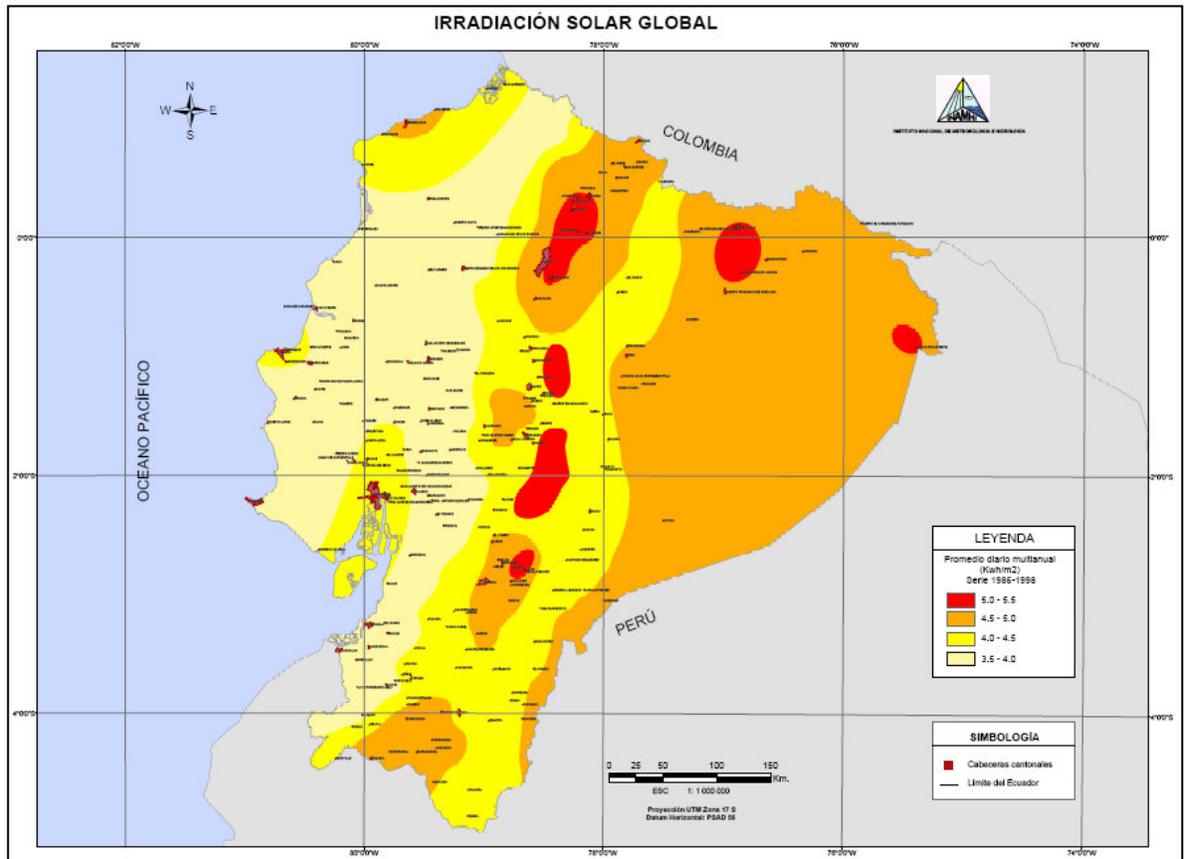
Hora	Heliofania en W/m^2		Continuación		
10:00	1037.1	W/m^2	12:50	1337.1	W/m^2
10:10	1102.4	W/m^2	13:00	1336.2	W/m^2
10:20	1139.9	W/m^2	13:10	1334.1	W/m^2
10:30	1193.2	W/m^2	13:20	1332.7	W/m^2
10:40	1220.5	W/m^2	13:30	1332.2	W/m^2
10:50	1281.5	W/m^2	13:40	1330.5	W/m^2
11:00	1301.2	W/m^2	13:50	1328.4	W/m^2
11:10	1312.3	W/m^2	14:00	1324.2	W/m^2
11:20	1322.7	W/m^2	14:10	1321.5	W/m^2
11:30	1324.8	W/m^2	14:20	1312.8	W/m^2
11:40	1327.2	W/m^2	14:30	1310.3	W/m^2
11:50	1333.2	W/m^2	14:40	1270.6	W/m^2
12:00	1336.5	W/m^2	14:50	1220.3	W/m^2
12:10	1338.1	W/m^2	15:00	1192.9	W/m^2
12:20	1339.1	W/m^2	15:10	1187.2	W/m^2
12:30	1338.2	W/m^2	15:20	1089.9	W/m^2
12:40	1338.3	W/m^2	15:30	1012.3	W/m^2

Fuente: Oswaldo Miranda.

Se obtiene la conclusión que las horas de mayor incidencia de la radiación solar van de las 10:00 hasta las 15:30 dando un promedio de 5.5 horas de sol pico.

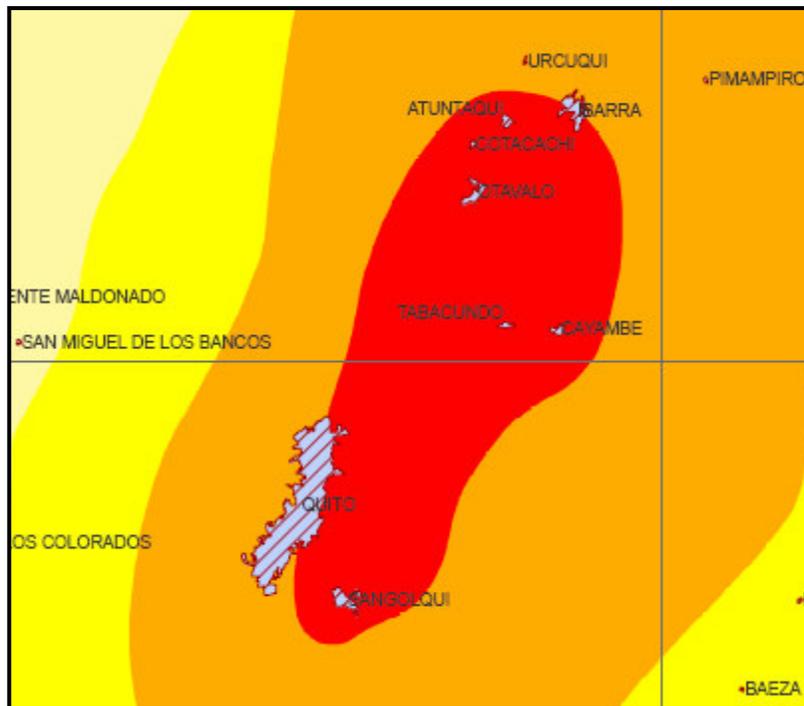
3.7.4 Mapas de radiación.

Gráfico 3.19: Zonas de irradiación en el Ecuador.



Fuente: Atlas solar de energía solar con fines de generación eléctrica, pág. 5.

Gráfico 3.20: Irradiación solar sobre Pichincha.



Fuente: Atlas solar de energía solar con fines de generación eléctrica, pág. 6.

Al analizar el mapa se puede ver que Quito se encuentra dentro de la zona roja y café clara, observamos que los valores de la irradiación, que se encuentran

entre los 4.5 a 5.0 KW h/m² sacando un valor promedio se obtiene 5.0 Kilowatts hora sobre metro cuadrado. Según datos del INAMHI.

3.8 Valor Promedio de Irradiación.

Se debe obtener un promedio según los datos de la tabla 3.30 de potencia efectiva, la cual sus valores van de 10:00 am hasta las 15:30, dando un total de 5.5 horas, este número de horas de sol son pico por registrar los valores más altos.

Radiación promedio: Utilizando los valores de la tabla de potencia efectiva y para obtener un promedio se debe sumar los valores de radiación en W/m² y dividir para el número de datos obtenidos en la tabla 3.29 como se muestra a continuación:

$$\text{valor promedio} = \frac{\text{La suma de los valores}}{\text{número de datos obtenidos}}$$

$$\text{valor promedio} = \frac{42464.98 \text{ W/m}^2}{34}$$

$$\text{valor promedio} = 1248.97 \text{ W/m}^2$$

Según los datos que se obtuvo mediante el pirheliómetro y usando las tablas de heliofania, desde las 10:00 hasta las 15:30 se puede obtener un promedio de 5.5 horas de sol pico y un valor de radiación de 1339.0 W/m² como máximo.

Capítulo IV

Implementación del Sistema Fotovoltaico.

4.1 Aplicaciones Actuales del Sistema Fotovoltaico.

a.- Electrificación rural de viviendas.- Fue de las primeras implementaciones, por el elevado costo de llevar la red de tendido eléctrico por kilómetros únicamente para un bajo consumo, el cual no se compara con el menor costo de un sistema fotovoltaico pequeño o mediano, ya que las necesidades a cubrir no son muchas, como la iluminación, el uso de pequeños electrodomésticos, etc.

Gráfico 4.1: Energía fotovoltaica en hogares.



Fuente: www.baja-solar.mx.

b.- Electrificación de establecimientos de uso para la comunidad.- Escuelas, centros de salud, iglesias, etc. El uso de la energía solar puede ayudar a la iluminación, al uso de aparatos educativos, equipos médicos y de conservación de alimentos y medicinas.

c.- Iluminación de naves industriales y agrícolas en lugares aislados.- El uso de sistemas fotovoltaicos en estos lugares ayuda a incrementar las horas de productividad gracias a más horas de luz, como suministrar energía para pequeñas herramientas.

d.- Iluminación pública.- Existen sistemas que en el mismo poste alberga un pequeño panel con sus baterías y reguladores, con un control de encendido y apagado de la luminaria.

Gráfico 4.2: Luminaria con panel solar.



Fuente: www.directindustry.es.

e.- Sistemas de bombeo de agua.- En sitios aislados donde la necesidad de energía es tan importante como la demanda de agua, se utilizan sistemas fotovoltaicos para el funcionamiento de las bombas de abastecimiento de agua.

f.- Señalización y telecomunicaciones.- Faros, letreros luminosos, señalización marítima y aérea son muy utilizadas en la actualidad, así como también en sistemas de telefonía rural, móvil, estaciones repetidoras de radio, etc.

Gráfico 4.3: Señal de tránsito con paneles solares.



Fuente: www.sesmexico.net/semaforos.html

g.- Sistemas de control remotos.- Es de gran importancia la energía suministrada a equipos de control de sismos, cuencas hidrográficas, cámaras de seguridad y de investigación, los equipos de toma de datos climático, etc.

h.- Otros usos.- Desde los años cincuenta se han desarrollado sistemas de generación solar fotovoltaica para ser utilizados en satélites espaciales así como en vehículos exploradores y en diversos dispositivos de uso espacial; así como también se ha desarrollado sistemas solares para vehículos de calle que todavía siguen en desarrollo.

Gráfico 4.4: Automóvil de energía solar.



Fuente: www.marcadecoche.com/coches-solares.html

Gráfico 4.5: Satélite que funcionan con paneles solares.



Fuente: [www. sateliteenvivo.net/categorias/sky](http://www.sateliteenvivo.net/categorias/sky).

Así como en calculadoras digitales, linternas, juguetes, cargadores de pilas, radios, lámparas de jardín, etc.

Gráfico 4.6: Linterna con fotocelda.



Fuente: www.twenga.es.

Aplicaciones conectas con la red eléctrica.

a.- Edificaciones y viviendas.- Se combina la energía producida por los paneles fotovoltaicos con la energía suministrada por la red eléctrica, incorpora inversores de corriente continua a corriente alterna para poder ser utilizada como la energía de la red común y al estar conectada directamente a la red se elimina el uso de acumuladores electroquímicos.

b.- Centrales mixtas.- Entre las principales tenemos centrales eólico/fotovoltaicas y centrales que combinan la energía del gas natural con la fotovoltaica.

4.2 Componentes de las Instalaciones Fotovoltaicas.

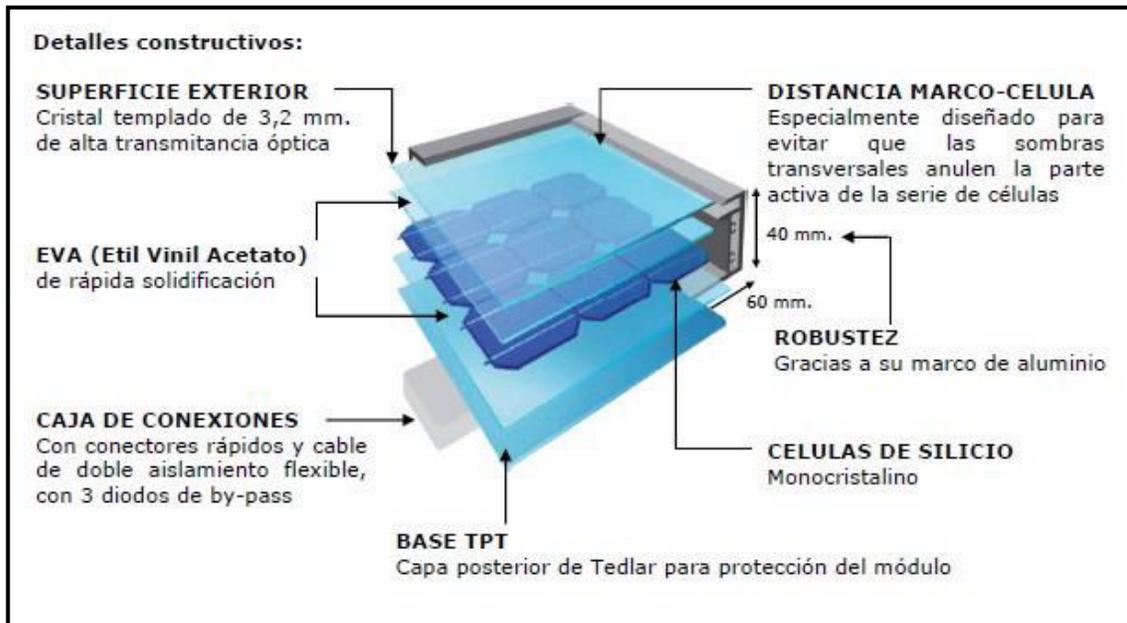
El Panel Solar, conocido también como módulo fotovoltaico o colector fotovoltaico es construido a partir de células fotovoltaicas, estas solamente generan muy baja corriente, por esta razón se las agrupa en serie o paralelo para generar un cierto voltaje, se las encapsula en polímeros transparentes (Etil-Vinilo-Acetato) para protegerlas del polvo o la corrosión, más un marco metálico para que puedan ser montadas en una estructura. Tiene dos bornes de salida, positivo y negativo.

Parámetros que caracterizan al panel solar fotovoltaico.

- a) Corriente de cortocircuito I_{sc} : Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel.
- b) Tensión de circuito abierto V_{oc} : Es el máximo voltaje que proporciona el panel.
- c) Punto de máxima potencia: Existe un punto de funcionamiento ($I_{P_{max}}$ $V_{P_{max}}$) para el cual la potencia entregada es máxima ($P_M = I_{P_{max}} \times V_{P_{max}}$) ese el punto de máxima potencia del panel, y su valor se da en Vatios (W).
- d) Factor e forma FF: Es la relación entre la potencia máxima que el panel puede generar y el producto $I_{sc} \times V_{oc}$.
- e) Eficiencia η : Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar P_L incidente sobre el panel, normalmente al 10%.

Los valores de I_{sc} , V_{oc} , I_{Pmax} y V_{Pmax} los suministra el fabricante, refiriéndolos a unas condiciones estándar, de uso generalizado.

Gráfico 4.7: Detalle constructivo.



Fuente: www.blogpanelsolar.com.

Regulador; Los cables positivos y negativo del generador fotovoltaico van conectados en serie al regulador electrónico que suministra la tensión y la intensidad de corriente que debe llegar a la batería

El regulador impide la entrada o salida de corriente a la batería cuando una carga excesiva o una descarga excesiva pueda dañarla, interrumpiendo la corriente de carga cuando esta se haya completado y la protege de descargas interrumpiendo la corriente hacia los consumidores.

El regulador se rige en función de la temperatura ambiente y de la intensidad suministrada por los paneles, de igual manera según la intensidad de descarga.

Gráfico 4.8: Controlador de carga.



Fuente: Oswaldo Miranda.

Acumulador, Se encarga de almacenar la energía producida por los paneles para disponer de ella cuando la radiación solar sea baja o no esté presente (durante la noche). Por lo general son baterías de plomo ácido, capaces de producir acciones reversibles como almacenar energía para ser utilizada posteriormente.

Gráfico 4.9: Batería empleada en sistema.



Fuente: Carlos Freire.

Características de los acumuladores fotovoltaicos.

- Los paneles fotovoltaicos trabajan con tensión nominal de 12 voltios por lo que las baterías deben trabajar con tensiones nominales de 12 voltios o múltiplos de esta (24, 36, 48...).
- Las baterías deben suministrar intensidad durante un tiempo más prolongado que las baterías de automóviles que la suministran solo para el arranque.
- La capacidad de una batería es la cantidad de carga que se puede extraer de la misma, se mide en amperios/hora Ah, cuando vemos la capacidad de una batería debemos tener en cuenta la profundidad de descarga diaria y la profundidad de descarga máxima para utilizar el acumulador adecuado.

Inversor, los módulos fotovoltaicos proveen corriente eléctrica a 12 o 24 voltios, por lo que es necesario un componente adicional que es el inversor, el cual

transforma, por medio de dispositivos electrónicos, la corriente directa de la batería 12 V a corriente alterna 120V.

El inversor debe tener las siguientes características.

- Alta eficiencia
- Bajo consumo en vacío
- Alta fiabilidad
- Protección contra cortocircuitos
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida.

Gráfico 4.10: Inversor empleado en el sistema.



Fuente: Marcelo Pérez.

4.3 Dimensionamiento de la Carga Energética en el Autobús.

Análisis de cargas.- Los equipos eléctricos con los que se dimensionara la carga energética son: dos laptop, tres focos ahorradores, 1 televisor de 20" led y un

cargador de celular. Se procede a calcular la potencia de arranque de cada equipo de la siguiente manera:

$$P. \text{Arranque} = p. \text{nominal} * 0.8 + p. \text{nominal}$$

Laptop

$$P. \text{Arranque} = 50.5 \text{ W} * 0.8 + 50.5 \text{ W}$$

$$P. \text{Arranque} = 90.9 \text{ W}$$

Foco led

$$P. \text{Arranque} = 15 \text{ W} * 0.8 + 15 \text{ W}$$

$$P. \text{Arranque} = 27 \text{ W}$$

Televisor

$$P. \text{Arranque} = 41 \text{ W} * 0.8 + 41 \text{ W}$$

$$P. \text{Arranque} = 73,8 \text{ W}$$

Cargador de celular

$$P. \text{Arranque} = 7 \text{ W} * 0.8 + 7 \text{ W}$$

$$P. \text{Arranque} = 12.6 \text{ W}$$

Equipos detallados en la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Equipos eléctricos en el autobús.

LOCALIDAD	EQUIPO	POTENCIA NOMINAL [W]	POTENCIA DE ARRANQUE [W]
Autobus	2 Laptop	50.5 W	90.9 W
	3 focos led	15 W	27 W
	1 televisor 20" led	41 W	73.8 W
	1 cargador de celular	7 W	12.6 W

Fuente: Oswaldo Miranda.

Se procede a calcular el consumo de los equipos, como se muestra en la tabla 4,2 que se aprecia a continuación:

Tabla 4.2: Consumo de los equipos.

LOCALIDAD	EQUIPO	POTENCIA [W]	HORAS DE USO	ENERGÍA/DÍA [W/h] $E = P * t$
Autobús	2 Laptop	101 W	4 h	404 W
	3 focos	45 W	4 h	180 W
	1 televisor 20" led	41 W	4 h	164 W
	1 cargador de celular	7 W	4 h	28 W
				776 Watt/día

Fuente: Oswaldo Miranda.

Se procede a calcular la potencia instalada que no es más que la sumatoria de la potencia de todos los equipos del autobús dando como resultado:

$$\text{Potencia Instalada} = 194 \text{ [W]}$$

Se procede a calcular la potencia demandada que no es más que la sumatoria de la potencia máxima que se utilizará simultáneamente en el autobús dando como resultado:

Tabla 4.3: Potencia demandada.

LOCALIDAD	EQUIPO	POTENCIA [W]
Autobús	2 Laptop	101 W
	3 foco	45 W
	1 televisor 20" led	41 W
	1 cargador de celular	7 W

Fuente: Marcelo Pérez.

Potencia demanda: 194 [W]

Se procede a calcular la potencia de arranque de la instalación de la siguiente manera: Potencia de Arranque = Potencia de demanda - Potencia Nominal + Potencia de arranque

$$\text{Potencia de Arranque} = 194 - 194 + 204.3$$

$$\text{Potencia de Arranque} = 204.3 \text{ [W]}$$

- **Inversor.**- Se procede a calcular la potencia nominal del Inversor de la siguiente manera:

$$PN_{inv} = 1.2 * P_{demandada}$$

$$PN_{inv} = 1.2 * 201$$

$$PN_{inv} = 241.2[W]$$

Se utilizará el valor comercial de 1kVA con una entrada de 24 VDC y dos salidas de 110 VAC.

Campo solar.- Una vez especificado el inversor se procederá a dimensionar el campo solar de la siguiente manera: Utilizando la energía demandada (776 [Wh/día]), la eficiencia del inversor (0,9), la eficiencia de la carga de la batería (0,8) y la eficiencia de la batería (0,81), calculamos la energía del campo solar:

$$E_{cs} = \frac{\text{Energía demanda.}}{\eta_{inversor} * \eta_{carga} * \eta_{descarga}}$$

$$E_{cs} = \frac{E_d}{\eta_{inv} * \eta_{cb} * \eta_{db}}$$

$$E_{cs} = \frac{776}{0,9 * 0,81 * 0,8}$$

$$E_{cs} = 1330.58 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

El voltaje nominal de la batería elegida es $V_{nb} = 12 \text{ VDC}$.

Se procede entonces a elegir un panel comercial policristalino que para nuestro caso corresponde al panel solar Exmork, 12 V, 100 W cuyas características son las siguientes.

De donde se puede observar las siguientes características eléctricas:

1. $I_{cc} = 6.14 \text{ [A]}$
2. $V_{ca} = 22 \text{ [V]}$
3. $I_{m_{xp}} = 5.71 \text{ [A]}$
4. $V_{m_{xp}} = 17.5 \text{ [V]}$
5. $P_{máx} 100 \text{ W} \pm 3 \%$ (a 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y AM 1,5 G)
6. $T_{ONC} = 47 \text{ }^\circ\text{C}$ (a 800 W/m^2 , $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ambiente, AM 1,5 G y velocidad del viento de 1 m/s)

Con los datos anteriores se calcula el número de paneles en serie:

$$N_{ps} = \left\lceil \frac{V_{nb}}{V_{m_{xp}} - 3} \right\rceil$$

$$N_{ps} = \left\lceil \frac{24}{17,5 - 3} \right\rceil$$

$$Nps = 1.65 \approx 2$$

Con este valor se calcula la energía de 1 panel de la siguiente manera:

$$E1panel = \frac{Vnb}{Nps} * Imxp * HSP$$

$$E1panel = \frac{24}{2} * 5.71 * 5.5$$

$$E1panel = 376.86 \left[\frac{W}{\text{día} * \text{panel}} \right]$$

Con este dato se procede a calcular el número de paneles en paralelo:

$$Nps * Nhp * E1panel = Ecampo \text{ solar}$$

$$Nhp = \frac{Ecampo \text{ solar}}{Nps * E1panel}$$

$$Nhp = \frac{1330.58}{2 * 376.86}$$

$$Nhp = 1.76 \approx 2 \text{ paneles}$$

Baterías.- El dimensionamiento de la batería, para esto se había definido un voltaje nominal de 12 VDC y se tendrá la precaución de colocar 2 días de autonomía (N = 2 días), se considerará una profundidad de descarga del 75 %, por consiguiente se tiene:

$$I_a = \frac{N * E_d}{\eta_{inv} * \eta_{descarga \text{ de la batería}} * \eta * P_{fd} * V_{nb}}$$

$$I_a = \frac{2 * 776}{0,9 * 0,8 * 0,75 * 24}$$

$$I_a = 119.75 \text{ [Ah]}$$

$$t = \frac{\text{Potencia demanda.}}{\text{Potencia instalada.}}$$

$$t = \frac{E_d}{P_i}$$

$$t = \frac{776}{194}$$

t = 4 [h]; como se tiene N = 2

$$t = 4 * 2 = 8 \text{ [h]}$$

Potencia demandada = Voltaje x Intensidad

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{776}{110}$$

$$I = 7,05 \text{ Ah}$$

Amperaje de descarga de la batería.

$$31DC115 = 11.5 \text{ Ah}$$

$$7.5 \text{ Ah} \leq 11.5 \text{ Ah}$$

La corriente necesaria para el sistema es 7.5 Ah, la batería seleccionada suministra 11.5 Ah, satisfaciendo la demanda calculada.

Regulador.- El siguiente equipo a dimensionar es el regulador y se lo realizó de la siguiente manera:

$$I_{\text{máx de consumo}} = \frac{P_{\text{máx(arranque)}}}{\eta_{\text{inv}} * V_{\text{nb}}}$$

$$\text{Imáx de consumo} = \frac{204.3}{0,9 * 24}$$

$$\text{Imáx de consumo} = 9.45 \text{ [A]}$$

$$\text{In reg} = 1.2 * \text{MAX} \quad \text{Imax cs; Imax consumo}$$

$$\text{Imáx cs} = \text{Icc} * \text{Nhp}$$

$$\text{Imáx cs} = 6.14 * 2 = 12.28 \text{ [A]}$$

$$\text{In reg} = 1.2 * 12,28 = 14.73 \text{ [A]}$$

$$\text{Vn regulador} = \text{Vn bateria} = 24 \text{ VDC}$$

Por lo tanto se buscará un regulador comercial que posea un voltaje nominal de 24 VDC a 14.73 [A].

4.4 Selección de panel fotovoltaico.

Se procede entonces a elegir un panel comercial policristalino que para el caso corresponde al panel solar Exmork, 12 V, 100 W cuyas características son las siguientes.

De donde se puede observar las siguientes características técnicas:

- Panel policristalino 100 W/12v
- Variación de potencia 3%
- Voltaje circuito abierto/optimo: 22 / 17.5 V $V_{ca} = 22$ [V] $V_{m\text{xp}} = 17.5$ [V]
- Max voltaje String: 600 VDC
- Corriente cortocircuito/optimo: 6.14/5.71 A $I_{cc} = 6.14$ [A] $I_{m\text{xp}} = 5.71$ [A]
- Dimensiones: 113x67x3.5 cm

4.4.1 Tipos de Paneles Fotovoltaicos: Los paneles fotovoltaicos los podemos clasificar según:

- **Según la célula que los conforman:**
 - **Silicio:** Materia prima muy común y vida útil prolongada.
 - **Monocristalino:** Rendimiento del 15 -18%, costoso y muy difícil de construir.
 - **Policristalino:** Rendimiento del 12 – 15%, muy común para instalaciones comerciales y de costo moderado.
 - **Amorfo:** Rendimiento inferior al 10%, su costo es muy bajo y su fabricación es más sencilla que los dos anteriores.

- **Según el número de células que lo conforman:**

Los paneles fotovoltaicos pueden estar conformados por distintas configuraciones en cuanto al número de células, la condición primordial que maneja esta variable es la tensión y/o corriente que se desea produzca el modulo, es así que si podemos encontrar módulos con 36 células fotovoltaicas que son los más comunes comercialmente o módulos con 48, 54 o 96 células. El costo también es directamente proporcional al número de células que puede contener un módulo fotovoltaico.

- **Según su estructura:**

- **Rígida:** Compuesto por un marco de aluminio anodizado.
- **Flexible:** Mediante nuevas técnicas de fabricación se ha conseguido construir módulos fotovoltaicos flexibles, q se están incorporando en ropa, sombrillas, bolsos, etc.; capaces de producir energía necesaria para cargar una batería de celular u otros elementos.

4.4.2 Matriz de Selección del Tipo de Panel Fotovoltaico:

Tabla 4.4: Matriz de selección, panel solar.

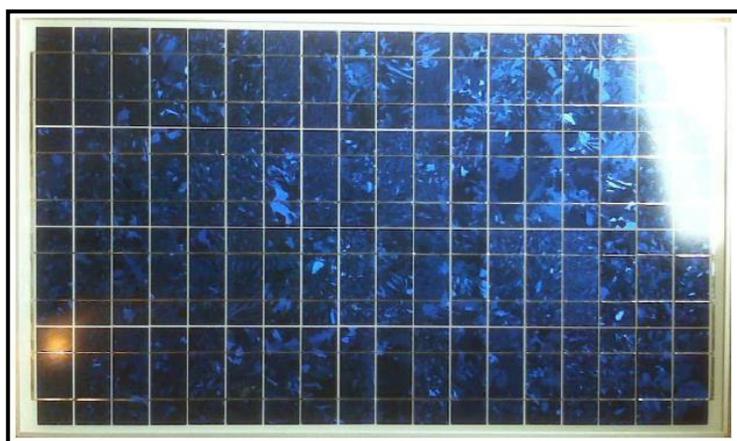
		DEIKKO DKP100	KYOCERA KD135	EXMORK 100WP	SIMAX SM536-95
POTENCIA NOMINAL (W)		100	135	100	95
EFICIENCIA DEL MODULO		11%	12%	15.7%	17.8%
CARACTERISTICAS DE LA CELULA	NUMERO	36	45	36	40
	CONEXIÓN	SERIE	SERIE	SERIE	SERIE
	TIPO	SILICIO POLICRISTALINO	SILICIO POLICRISTALINO	SILICIO POLICRISTALINO	SILICIO MONOCRISTALINO
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	VOLTAJE MAXIMO	16,5 V	17,7 V	17.5 V	17,8 V
	CORRIENTE MAXIMA	6,10 A	7,63 A	6,14 A	5,33 A
	VOLTAJE MAXIMO DEL SISTEMA	600 V	600 V	600 V	700 V
	TOLERANCIA DE POTENCIA	± 3%	7 %/ 0 %	± 3%	± 2%
CARACTERISTICAS GENERALES	DIMENSIONES (mm)	1470 X 680 X 35	1501 X 668 X 45	1130 X 670 X 35	1200 X 540 X 35
	PESO	12 Kg	12,5 Kg	12 Kg	8 Kg
	TIPO DE MARCO	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado
CARACTERISTICAS COMERCIALES	DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL	NO (IMPORTACIÓN)	NO (IMPORTACIÓN)	SI	SI
	TIEMPO DE ENTREGA PARA MONTAJE	12 SEMANAS	16 SEMANAS	INMEDIATA	INMEDIATA
	COSTO	245USD + IVA	275 USD + IVA	250 USD + IVA	340 USD + IVA
	GARANTIA	25 años	10 años al 90% y 20 años al 80%	10 años al 90% y 25 años al 80%	10 años al 90% y 25 años al 80%

Fuente: Carlos Freire V.

Se ha seleccionado un tipo de módulo fotovoltaico que cumple con los requerimientos básicos y necesarios según el dimensionamiento del sistema, se ha analizado algunas variables tanto eléctricas, generales y comerciales, por lo que se

ha optado por el modulo fotovoltaico EXMORK de 100W con una disponibilidad inmediata en el mercado nacional, costo que se ajusta al presupuesto planteado, características eléctricas óptimas para el sistema y con una garantía de su desempeño muy buena. Esta elección se ha realizado con datos verídicos proporcionados por el comerciante y/o fabricante de los módulos fotovoltaicos.

Gráfico 4.11: Panel solar.



Fuente: Marcelo Pérez.

4.5 Selección de Panel Acumulador:

Se procede a seleccionar un acumulador electroquímico libre de mantenimiento, de ciclo profundo de descarga electrolito líquido, diseñada para sistemas de almacenamiento fotovoltaico, con una vida útil muy larga y de características eléctricas y comerciales muy generosas, para nuestro caso corresponde al acumulador Millennium 31-DC-115, 12V cuyas especificaciones son las siguientes:

- **Características Eléctricas:**

- Voltaje: 12 V
- 20 Horas: 121 amp
- 10 Horas: 115 amp
- 1 Hora: 59 amp

- **Características Generales:**

- Dimensiones: 330x170x245mm

Características Constructivas:

- Rejillas de Plomo-Calcio de alta calidad.
- Placas positivas con 23% mayor grosor que las placas de arranque y Placas ensobradas con separadores de polietileno de alta porosidad de 430cc de capacidad de reserva de electrolito por celda.
- Pasta de alta densidad diseñada para soportar grandes esfuerzos.
- Carcasa de polipropileno de alta resistencia a los golpes y temperaturas.

- Cubierta de válvula regulada con supresor de llama para mayor seguridad.
- Terminales de perno de acero inoxidable de 3/8".

- **Principales aplicaciones:**

- Centrales repetidoras de telecomunicaciones, centrales telefónicas, estaciones de radio y televisión, sistemas informáticos, sistemas de generación fotovoltaica autónomos, etc.

Los datos características descritas se han tomado de la ficha técnica del fabricante.

Gráfico 4.12: Batería.



Fuente: Oswaldo Miranda.

4.5.1 Tipos de Acumuladores.

Para los sistemas de generación fotovoltaica se tiene un tipo de acumuladores específicos para esta aplicación, sin embargo también se puede encontrar y utilizar otros tipos de acumuladores, siendo unos menos eficientes que otros porque no han sido diseñados y construidos para esta aplicación, así tenemos:

- **Acumuladores de arranque:** Muy comunes en el mercado, su principal aplicación es en vehículos, de costo relativamente moderado, se emplea frecuentemente en sistemas de generación fotovoltaica en áreas rurales, posee un buen comportamiento en descargas de alta intensidad y buen rendimiento de descarga a bajas temperaturas, no son muy favorables en el ciclado.
- **Acumuladores de tracción:** Son comúnmente aplicadas en elevadores de construcción, muy buena resistencia para soportar un número elevado de ciclados de carga y descarga, necesitan un mantenimiento constante, son recomendadas para sistemas de generación fotovoltaicas con un periodo de mantenimiento regular.
- **Acumuladores estacionarios:** Son empleadas en sistemas de alimentación frecuente e ininterrumpida, funcionan en régimen de flotación, posee una reserva de electrolito generosa, posee una gran fiabilidad y buena resistencia a la corrosión, esta es una buena opción para los sistemas de generación fotovoltaico sin embargo el costo es elevado.

Acumuladores Fotovoltaicos: Este tipo de acumuladores vendrían a ser los óptimos para los sistemas de generación fotovoltaico, poseen una gran resistencia al ciclado y buen comportamiento en descargas a temperaturas moderadas o altas, su placa positiva es de geometría tubular, pero su costo es muy elevado y la disponibilidad en el mercado es muy escasa.

Es por eso que existe otra opción muy buena para los sistemas de generación fotovoltaicas que son los acumuladores estacionarios modificados, que a diferencia con los acumuladores estacionarios regulares estos poseen placas más gruesas, mayor cantidad de electrolito, y un buen comportamiento frente a los requerimientos de ciclado carga-descarga del sistema, no necesita mantenimiento, es un acumulador sellado y su costo y disponibilidad en el mercado local es moderado.

Para la selección del acumulador de un sistema de generación fotovoltaico se debe tener en cuenta los aspectos técnicos pero también se debe analizar los costos y disponibilidad en el mercado local, es así que en relación Aspectos técnicos vs aspectos comerciales para nuestro caso, como mejor opción el acumulador estacionario modificado.

La clasificación de acumuladores presentada se ha realizado en base al tipo de acumuladores que se puede utilizar en un sistema de generación fotovoltaica, pero se debe tener en cuenta que las características eléctricas necesarias como el

voltaje del acumulador es una variable primordial al momento de seleccionar el acumulador.

4.5.2 Matriz de Selección de los Acumuladores.

Tabla 4.5: Matriz de selección, baterías.

MATRIZ DE SELECCIÓN DEL ACUMULADOR					
TAG ACUMULADOR		MILLENIUM	HAWKER TL3*	TROJAN 8D-	
ESPECIFICACIONES		3IDC115		AGM*	
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS	VOLTAJE NOMINAL		12 V	12 V	12 V
	20 HRS	amp	121	210	230
	10 HRS	amp	115	180	/
	5 HRS	amp	98	/	179
	1 HR	amp	59	/	/
	CICLO PROFUNDO DE DESCARGA		SI	SI	SI
	ELECTROLITO	LIQUIDO	X	X	X
		GELIFICADO			
		ABSORBIDO			
	CONEXIÓN	SERIE	SI	SI	SI
PARALELO		SI	SI	SI	
CARACTERÍSTICAS GENERALES	DIMENSIONES	LARGO	330 mm	103 mm	
		ANCHO	170 mm	206 mm	
		ALTO	245 mm	389 mm	
		Ø BORNES	3/8 inch		
	MANTENIMIENTO		NO	NO	SI
	VALVULA SUPRESORA DE LLAMA		SI	SI	NO

CARACTERÍSTICAS COMERCIALES	DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL	SI	NO (IMPORTACIÓN)	NO (IMPORTACIÓN)
	TIEMPO DE ENTREGA PARA MONTAJE	INMEDIATA	16 SEMANAS	12 SEMANAS
	COSTO	265USD + IVA	475 USD + IVA	550 USD + IVA
	GARANTIA	2 años	N/A	N/A

Fuente: Carlos Freire V.

Se ha seleccionado un tipo de acumulador fotovoltaico que cumple con los requerimientos básicos y necesarios según el dimensionamiento del sistema, se ha analizado algunas variables tanto eléctricas, generales y comerciales, por lo que se ha optado por el acumulador fotovoltaico MILLENNIUM de 12 V con una disponibilidad inmediata en el mercado nacional, costo que se ajusta al presupuesto planteado, características eléctricas óptimas para el sistema y con una garantía de su desempeño muy buena. Esta elección se ha realizado con datos verídicos proporcionados por el comerciante y/o fabricante de los acumuladores fotovoltaicos.

4.6 Selección de los Elementos Complementarios.

- **Inversor:** Se ha seleccionado un inversor que cumple con los requerimientos básicos y necesarios según el dimensionamiento del sistema, se ha analizado algunas variables tanto eléctricas, generales y comerciales, por lo que se ha optado por un inversor DC/AC de 1kVA con una disponibilidad inmediata en el

mercado nacional, costo que se ajusta al presupuesto planteado, características eléctricas óptimas para el sistema y con una garantía de su desempeño muy buena. Esta elección se ha realizado con datos verídicos proporcionados por el comerciante y/o fabricante de los acumuladores fotovoltaicos. Las especificaciones técnicas del inversor seleccionado son:

Tabla 4.6: Matriz de selección, inversor.

MATRIZ DE SELECCIÓN DEL INVERSOR			
INVERSOR ESPECIFICACIONES	EXMORK 500va	EXMORK 1Kva.	DISTO. 2Kva.
VOLTAJE NOMINAL DE ENTRADA. D/C	12 V	24 V	24 V
POTENCIA DE SALIDA NOMINAL.	500 Va	1 Kva	2 KVA
VOLTAJE NOMINAL DE SALIDA. A/C	110 +- 5%	110 +- 5%	110 o 220 +- 5%
FRECUENCIA DE SALIDA	60 Hz +- 5%	60 Hz +- 5%	60 Hz +- 5%
TASA DE COVERSIÓN DE ENERGÍA.	.+- 65 %	.+- 70 %	.+- 75 %
AUTO CONSUMO	15 W	15 W	30 W
DISPONIBILIDAD	Importación	Inmediata	Importación

Fuente: Oswaldo Miranda.

- **Controlador:** Se ha seleccionado un controlador para sistemas fotovoltaicos que cumple con los requerimientos básicos y necesarios según el dimensionamiento del sistema, se ha analizado algunas variables tanto eléctricas, generales y comerciales, por lo que se ha optado por el controlador para sistemas

fotovoltaicos PROSTAR 15 con una disponibilidad inmediata en el mercado nacional, costo que se ajusta al presupuesto planteado, características eléctricas óptimas para el sistema y con una garantía de su desempeño de 15 años. Esta elección se ha realizado con datos verídicos proporcionados por el comerciante y/o fabricante de los controladores fotovoltaicos. Las características del controlador son:

Características Generales: Versión, 15 amperios, 12/24V

- Positivo o negativo a tierra.
- Vida útil de 15 años (estimado).
- Carga de baterías mediante PWM.
- Selección del tipo de batería: gel, sellada o con líquido.
- Controles y medidas muy precisas.
- Puente para eliminar el ruido de telecomunicaciones.
- Paralelo para hasta 300 amperios.
- Compensación de temperatura.
- Tropicalización: revestimiento de protección, fijadores de acero inoxidable y disipador de calor de aluminio anodizado.
- No es necesario conmutación ni medición en la pierna aterrada.
- Componentes de estado sólido, 100%.
- Caídas de tensión muy pequeñas.
- Desconexión por baja tensión (LVD — Low Voltage Disconnect) con compensación de corriente.

- Indicación de status y fallas de batería a través de LED.
- Capaz de soportar sobrecargas hasta del 25%.
- Terminales remotos con sensores de tensión de batería.

Protecciones electrónicas:

- Cortocircuito - paneles solares y carga.
- Sobrecarga - paneles solares y carga.
- Polaridad invertida.
- Corriente invertida por la noche.
- Desconexión por alta tensión.
- Desconexión por alta temperatura.
- Protección contra relámpagos y sobre tensión o transitorios.
- Cargas protegidas contra picos de tensión.
- Restablecimiento automático de todas las protecciones.

Tabla 4.7: Controlador de carga.

MATRIZ DE SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE CARGA.			
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS.	PROSTAR 15	MORNIGSTAR 30	TRISTAR 30 - 60
CORRIENTE NOMINAL DEL PANEL.	15 A	30 A	30 o 60 A
CORRIENTE NOMINAL DE CARGA	15 A	30 A	30 o 60 A
TENSIÓN DEL SISTEMA	12 o 24 V	12 o 24 V	12 o 24 V
MEDIDOR DIGITAL.	SI	NO	NO
SENSOR REMOTO DE TEMPERATURA.	SI	SI	SI
TIERRA POSITIVA.	NO	NO	SI
AUTOCONSUMO.	1mA	1ma	4ma

Fuente: Oswaldo Miranda.

El controlador trabaja en 4 etapas de carga para proporcionar mayor capacidad y vida útil del acumulador.

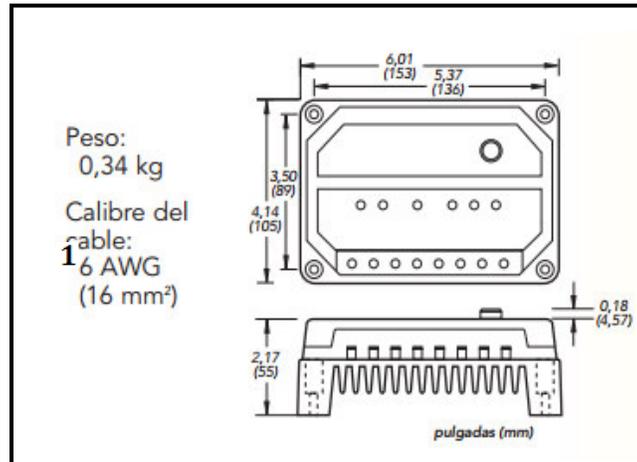
Gráfico 4.13: Funcionamiento de un controlador.



Fuente: Marcelo Pérez.

Especificaciones mecánicas:

Gráfico 4.14: Controlador.



Fuente: www.solaris-store.com.

- **Cableado:** Se ha seleccionado un conductor electrolítico TW 12 AWG sólido, aislamiento y cubierta individual de PVC útiles para sistemas fotovoltaicos que cumple con los requerimientos básicos y necesarios según el dimensionamiento del sistema, se ha analizado algunas variables tanto eléctricas, generales y comerciales que son las óptimas para el sistema y con una garantía de su desempeño excelente. Esta elección se ha realizado con datos verídicos proporcionados por el comerciante y/o fabricante del conductor eléctrico. Las características son las siguientes:

Características:

Conductores	TW 12 AWG.
Tensión de servicio	600 Voltios.
Tipo de cubierta exterior	PVC.
Número de conductores	Uno.

Composición, El alambre o conductor TW es un material que combina el hierro, silicio y cobre formando un núcleo de uno o más elementos o varillas.

Materiales en el producto, Cobre sólido electrolítico recocido.

Propiedades físicas, La propiedad física y mecánica del conductor eléctrico TW 12 AWG es de 2000 psi, soporta una temperatura de operación máxima de 80° C.

Requisitos físicos.

- Es de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado, aislamiento de PVC espesor de cubierta 1,15 mm.
- Tensión de servicio 600 volts.
- Temperatura de operación 60° C.
- Conductor de cobre trenzado por multi-conductores flexibles, forrado con cinta aislante.

Especificaciones Técnicas Conductor TW 12 AWG.

Tabla 4.8: Características de cable.

Calibre Conductor	
mm ²	12
Sección Nominal	3,3 mm ²
Número de Hilos	1
Diámetro Hilo	2,1 mm
Diámetro de Conductor	2,1 mm
Espesor aislante	0,8 mm
Diámetro Exterior	3,7 mm
Peso Kg/Km	39
Aire	30 A
Ducto	25 A

Fuente: Marcelo Pérez.

4.7 Pruebas del Sistema Fotovoltaico del Autobús.

Con la finalidad de verificar los parámetros de funcionamiento del sistema de generación fotovoltaico, y que esta cumpla con los requerimientos considerados en el diseño propuesto, se realiza las pruebas generación y entrada de energía eléctrica en el autobús.

- **Ubicación geográfica:** Las pruebas tendrán lugar en el autobús ubicado en el interior de la Universidad Internacional del Ecuador, ciudad de Quito, Provincia de Pichincha, país Ecuador. La ubicación de la toma de datos se muestra con coordenadas en la gráfica 3.1. Esta ubicación se encuentra en la zona sierra del país y se caracteriza por tener valles y montañas con clima templado y frío.
- **Características de Pruebas:** Para la comprobación del desempeño del sistema, así como también sus características de funcionalidad, versatilidad, y confiabilidad, se utiliza este sometiéndolo a las siguientes condiciones de operación:
 - Radiación solar.
 - Humedad relativa
 - Temperatura ambiente.
 - Posición geográfica.

Bajo el efecto de las variables anteriormente indicadas, se pudo observar que el sistema de generación fotovoltaico satisface las consideraciones tecnológicas y operativas que fueron concebidas en el diseño.

- **Procedimiento:** Para la ejecución de las pruebas del sistema de generación fotovoltaico de 760 W, se requiere cumplir el siguiente procedimiento:
- Traslado al sitio de pruebas
- Limpieza de la superficie de los módulo fotovoltaicos
- Calibración de instrumentos de medición
- Aplicación de criterios de seguridad para evitar riesgos
- Aplicar carga eléctrica al sistema(conectar o encender los dispositivos para los que fue diseñado el sistema)
- Recolección de datos

Equipos Utilizados:

- **Pirheliómetro:** Mediante este instrumento podemos recolectar los datos referentes a la radiación solar que incide sobre los módulos fotovoltaicos, sus características se muestran en la tabla 3.22.
- **Pinza Amperimétrica:** Los datos de tensión y corriente que produce el sistema se determina mediante una pinza amperimétrica, cuyas características se muestran a continuación:

Gráfico 4.15: Multímetro con pinza amperimétrica.



Fuente: www.iappsofts.com

Tabla 4.9: Especificaciones del multímetro.

Especificaciones Técnicas	
Diámetro del conductor medible	34 mm o 01,3" máx
Temperatura de trabajo	-10 a 50 °C (-14 a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	-40 a 60 °C (-40 a 140 °F)
Humedad de trabajo	< 90% entre 10 a 30 °C, < 75% entre 30 a 40 °C
Altitud de servicio	0 a 3.000 m
Tamaño	246 x 83 x 43 mm, (9,685 x 3,267 x 1,692 pulg.)
Peso	388 g (14 oz.)
Coeficiente térmico	0,01% °C (<18 °C o 28 °C)
Garantía	Tres años para dispositivos electrónicos. Un año para el conjunto de cable y pinza

Fuente: Oswaldo Miranda.

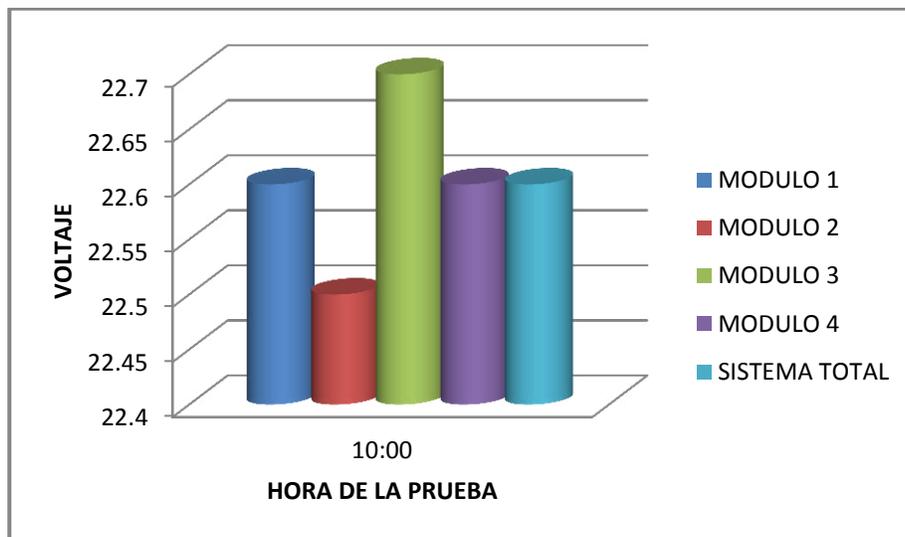
- **Prueba de capacidad de generación del sistema:** En esta prueba se recolecto datos a la salida de cada módulo fotovoltaico y una del total de la salida del conjunto de módulos, las mediciones se realizaron en diferentes periodos de tiempo.

Tabla 4.10: Generación censada paneles solares.

DATOS DE GENERACION DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS					
VOLTAJE GENERADO					
	MODULO 1	MODULO 2	MODULO 3	MODULO 4	SISTEMA TOTAL
10:00	22.6	22.5	22.7	22.6	22.6
11:00	22.9	22.7	23.2	22.8	22.9
12:00	23.8	23.7	23.6	23.7	23.7
13:00	23.6	23.4	23.4	23.7	23.5
14:00	23.3	23.2	23.5	23.7	23.4
15:00	22.8	22.8	23.1	22.6	22.8
MAX	23.8	23.7	23.6	23.7	23.7
MIN	22.6	22.5	22.7	22.6	22.6
PROM	23.2	23.1	23.3	23.2	23.2

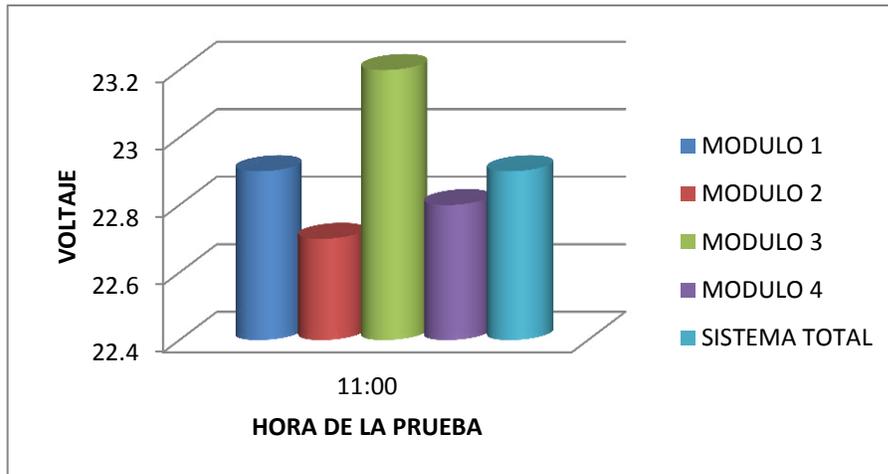
Fuente: Marcelo Pérez.

Gráfico 4.16: Prueba de generación #1.



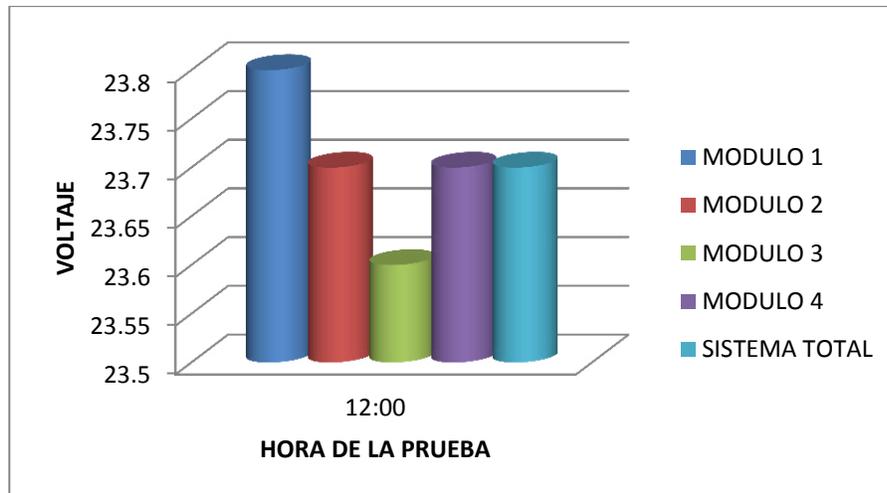
Fuente: Sebastián Freire V.

Gráfico 4.17: Prueba de generación #2.



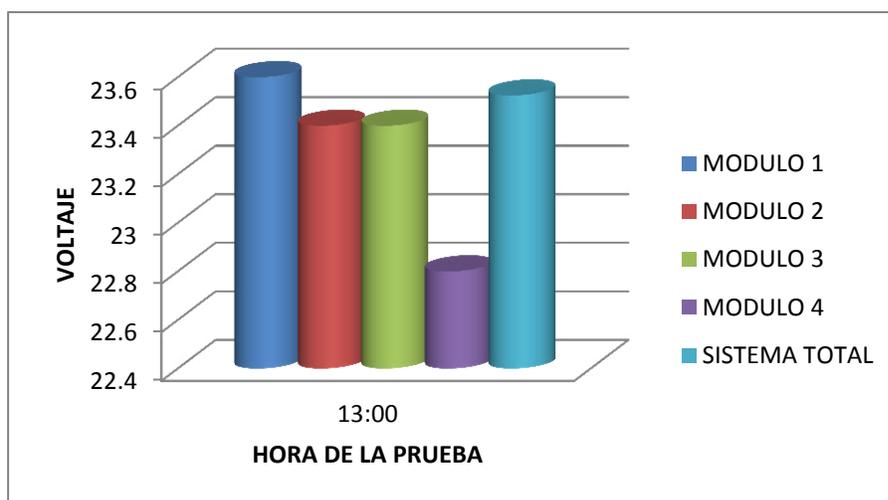
Fuente: Sebastián Freire V.

Gráfico 4.18: Prueba de generación #3.



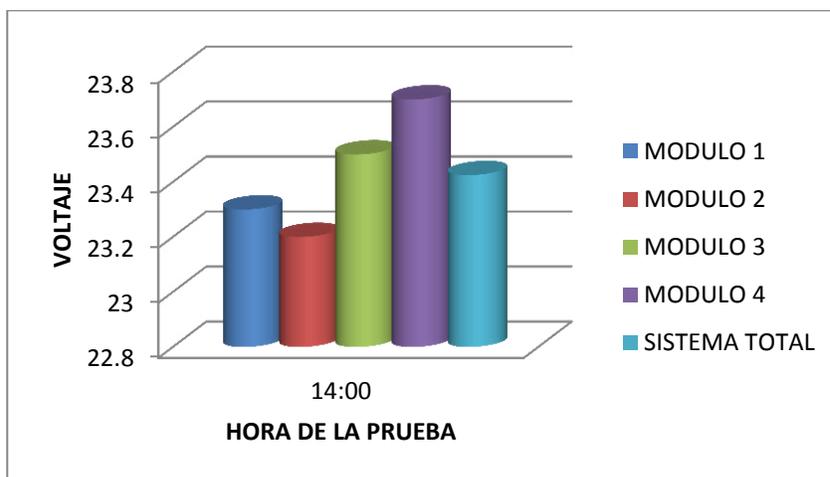
Fuente: Oswaldo Miranda.

Gráfico 4.19: Prueba de generación #4.



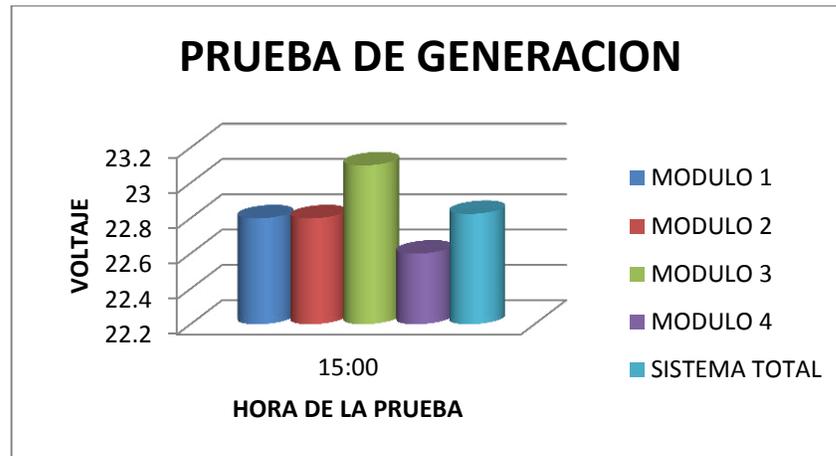
Fuente: Oswaldo Miranda.

Grafico 4.20: Prueba de generación #5.



Fuente: Marcelo Pérez.

Grafico 4.21: Prueba de generación #6.



Fuente: Marcelo Pérez.

En base a los datos recolectados verificamos que el sistema cumple satisfactoriamente con la capacidad de generación para la cual fue diseñado.

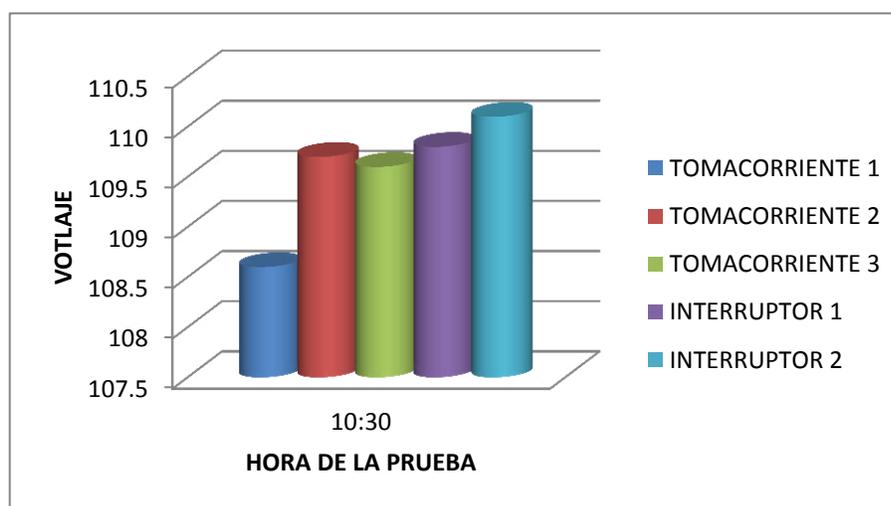
- **Prueba de voltaje de entrada:** En esta prueba recolectaremos datos a la salida de cada tomacorriente e interruptor instalados en el interior del bus, las mediciones se realizaron en diferentes periodos de tiempo.

Tabla 4.12: Pruebas de salida de voltaje.

DATOS DE ENTRADA DE VOLTAJE EN EL INTERIOR DEL BUS					
	VOLTAJE DE SALIDA				
	TOMACORRIEN TE 1	TOMACORRIEN TE 2	TOMACORRIEN TE 3	INTERRUPTOR 1	INTERRUPTOR 2
10:30	108.6	109.7	109.6	109.8	110.1
11:30	109.6	109.6	109.4	109.6	110
12:30	109.4	110.2	110	109.8	109.6
13:30	110.1	109.4	109.4	109.4	109.8
14:30	109.6	108.9	109.6	109.4	109.7
15:30	109.8	109.4	110.1	109.6	110.1
MAX	110.1	110.2	110.1	109.8	110.1
MIN	108.6	108.9	109.4	109.4	109.6
PROM	109.5	109.5	109.7	109.6	109.9

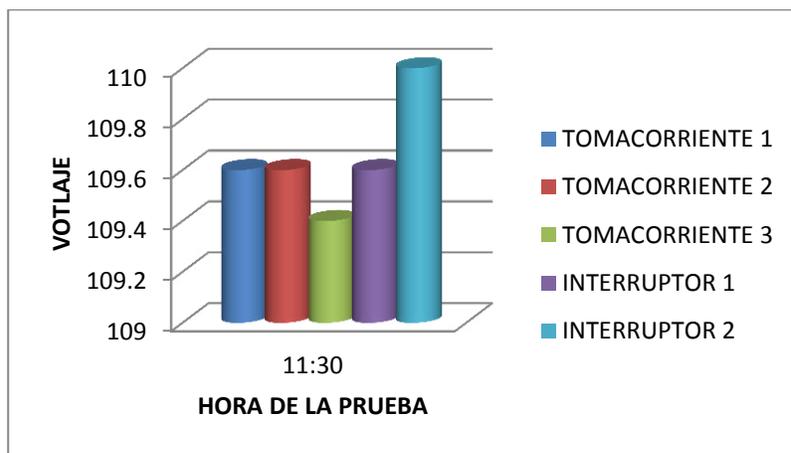
Fuente: Marcelo Pérez.

Grafico 4.22: Prueba de generación #7.



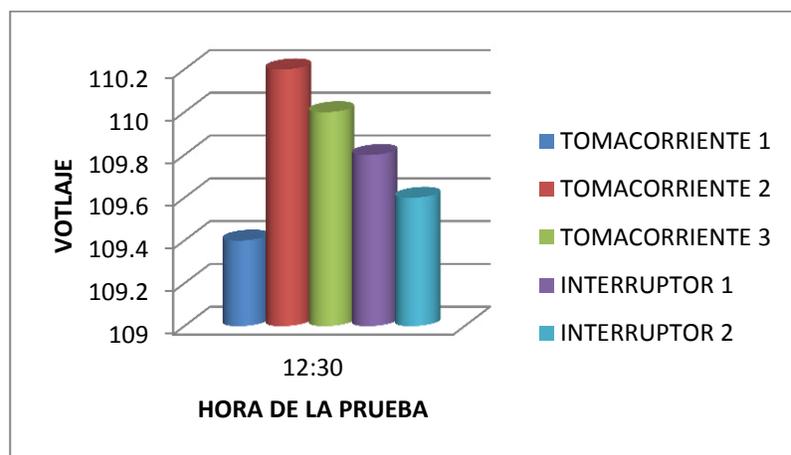
Fuente: Sebastián Freire V.

Grafico 4.23: Prueba de generación #8.



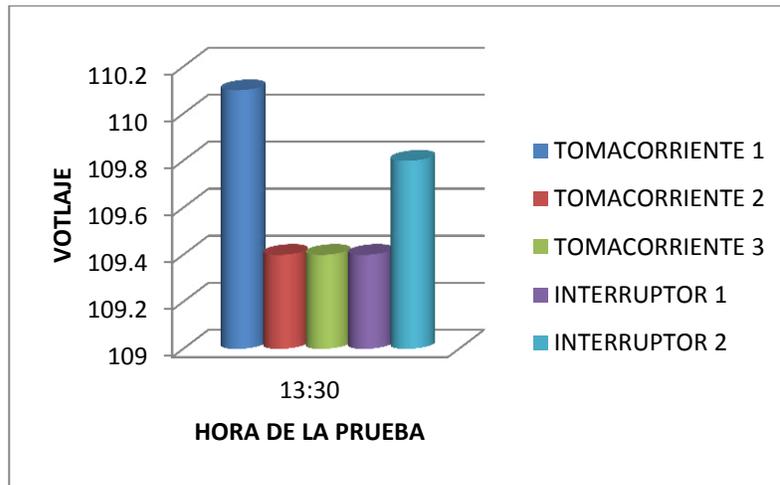
Fuente: Sebastián Freire V.

Grafico 4.24: Prueba de generación #9.



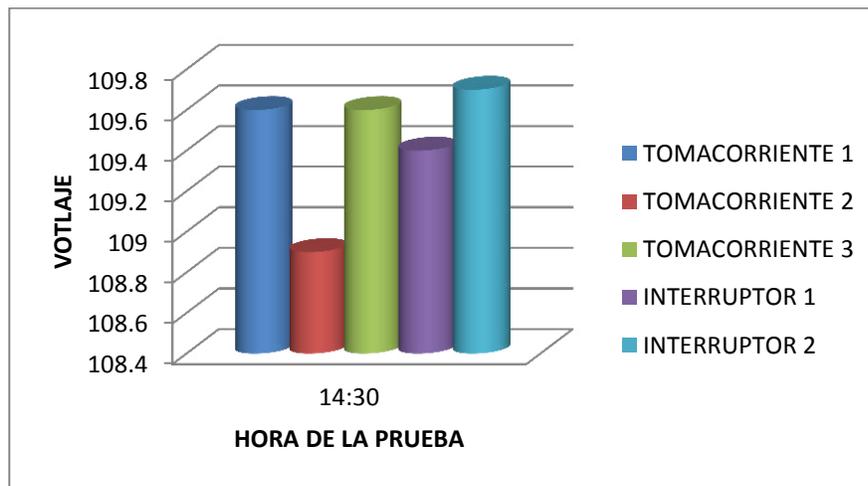
Fuente: Marcelo Pérez.

Grafico 4.25: Prueba de generación #10.



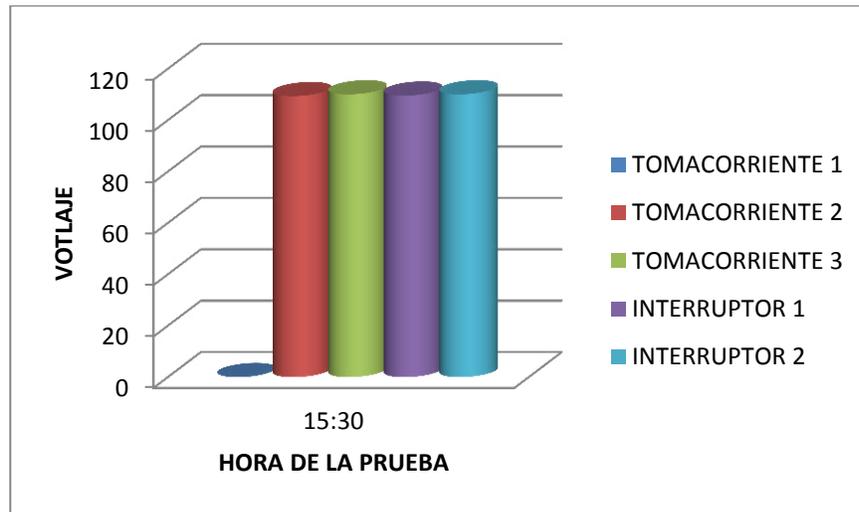
Fuente: Marcelo Pérez.

Grafico 4.26: Prueba de generación #11.



Fuente: Oswaldo Miranda.

Grafico 4.21: Prueba de generación #12.



Fuente: Oswaldo Miranda.

En base a los datos recolectados se verificó que el sistema cumple satisfactoriamente con la capacidad de generación para la cual fue implantado. No se han presentado inconvenientes como caídas de tensión u otros.

Capítulo V.

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El análisis del recurso solar para la ubicada del autobús en la Universidad Internacional del Ecuador mediante varios métodos entrego los siguientes resultados: IEPALA Junio 3.61 KW – h/m² (peor mes) Febrero 4.59 KW – h/m² (mejor mes), AMSTRONG PAGE Junio 3.55 KW – h/m² (peor mes) Febrero 4.77 KW – h/m² (mejor mes). INAMHI Junio 4.20 KW – h/m² (peor mes) Diciembre 5.10 KW – h/m² (mejor mes). Comparando los valores de radiación da un promedio de: 3.78 KW – h/m² (peor mes) 4.82 KW – h/m² (mejor mes).

El diseño fotovoltaico (instalación aislada de la red) para solventar la demanda de 776 [W h/día], teniendo una potencia instalada de 194 W con una demanda de 204.3 W, que da una potencia del inversor de 232.8 W, la energía del panel es 100 W con esto se instala 4 paneles y dos baterías conectadas en serie.

El costo de la instalación solar fotovoltaica es de 5740,00 USD, es un valor alto comparando con el costo de la energía generada de manera hidráulica debido a los subsidios, con los nuevos proyectos que se implementaran en el Ecuador hasta el 2016, se tendrá energía inclusive para exportar y muy barata.

Para instalaciones aisladas a la red la aplicación de la energía solar fotovoltaica es una buena herramienta, en el Ecuador existen muchos lugares donde no se tiene este servicio básico y se pueden implementar.

5.2. Recomendaciones.

El estudio del recurso solar se debe respaldar con investigación en el punto durante dos años en el caso de una sustentación de generación a largo plazo.

Los paneles solares para mejorar su eficiencia deben moverse con el sol, un sistema que incline a los paneles siguiendo al sol mejoraría el rendimiento del sistema.

En la actualidad no es rentable la generación de energía eléctrica fotovoltaico por el bajo costo del sistema convencional, el estado debería implementar políticas donde compren la energía e incentiven el uso de sistemas alternativos y no contaminantes con el medio ambiente.

La vida útil de los equipos está directamente relacionada con el mantenimiento y buen uso, es importante revisar, limpiar, y probar el sistema a menudo para evitar daños.

Glosario

Acumulador: Dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica mediante un proceso químico y entregarla para producir trabajo.

Célula fotovoltaica: Es un dispositivo que mediante la radiación solar es capaz de transformar la energía luminosa en movimiento de electrones conocido como efecto fotovoltaico.

Disociar: Separar los componentes de una sustancia química.

Electrolito: Es una sustancia disuelta en agua se convierte en conductor de electricidad

Modelo ondulatorio de la luz: Por presentar características de onda como la reflexión, refracción, difracción se le considera como onda, de allí se da el estudio del modelo ondulatorio de la luz.

Modelo de partículas de la luz: Significa que la luz tiene una partícula portadora de la radiación electromagnética como por ejemplo la luz infrarroja, los rayos X, la luz ultravioleta, los rayos gamma, la luz visible, las microondas y las ondas de radio.

Módulo Fotovoltaico: Es la agrupación de células fotovoltaicas en una misma estructura.

Reflexión especular: Reflexión de un rayo de luz en una dirección sobre una superficie pulida.

Reflexión difusa: Reflexión de un rayo de luz en todas las direcciones sobre una superficie no pulida.

Radiación electromagnética: Emisión de ondas electromagnéticas por parte de una fuente.

Vatios pico: Unidad de medida de la energía nominal de un panel solar fotovoltaico.

Bibliografía

- Energías renovables, Ortega Rodríguez Mario, editorial Paraninfo año 2000.
- Energía Solar, construcción y montaje de equipos para aplicaciones eléctricas, Robke Doerr, Peteer, editorial CEAC SA año 1996
- Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones, Madrid Antonio, AMV ediciones año 2009.
- Conservación de recursos naturales, Oliver & Owen, editorial Pax Mexico año 2000
- Física General, Schaum Daniel, B. S. McGraw-Hill/Interamericana de Mexico S. A. de C. V. año 1993.
- Atlas de Practicas de Física y Química, E. Seba, A. Roca, editorial Quinto Centenario año 1993.
- Electromagnetismo y circuitos eléctrico, Jesús Felipe Mora, editorial Concepción Fernández Madrid, año 2005.
- Física General con experimentos, António Máximo Riberio de Luz, Beatriz Alvarenga Álvares, editorial Mexicana, año 2004
- Atlas de Química, M A Canales Febrer, editorial Quinto Centenario año 1993.
- Ingeniería Ambiental, segunda edición, J. Glynn Henry y Gary W. Heiken, editorial Prentice Hall, México 1999.
- Física para Universitarios, tercera edición, Giancoli, Douglas C. editorial Pearson Educación, México 2002.

- http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- http://es.123rf.com/photo_5137873_paneles-solares-en-el-tejado-de-una-casa.html
- <http://moverse.net/2012/06/20/moverse-propone-el-uso-de-energia-solar-en-el-alumbrado-publico-un-avance-en-la-ciudad/>
- <http://sesmexico.net/semaforos.html>
- <http://revista.webmotors.com.br/revista/mercado/venturi-astrolab-o-primeiro-carro-solar-a-venda-no-mundo/1334077832102?rendermode=previewnoinsite>
- <http://www.deperu.com/abc/meteorologia/2061/los-satelites-meteorologicos>
- http://www.inforsecuritel.com/default.php?cPath=1_154
- <http://www.cleanergysolar.com/2011/08/17/tutorial-solar-fotovoltaica-%E2%80%93-componentes-del-sistema-fotovoltaico-2-el-panel-o-generator-solar-fotovoltaico/>
- http://www.proviento.com.ec/index_inversores.html
- http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf