



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN:
GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA ZONA
DE LA CIUDADELA LA PAZ EN EL CANTÓN RIOBAMBA DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA EL AÑO 2016. PROPUESTA DE
DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED.**

Autor:

Pesantez Erazo Adriana Alexandra

Tutor:

PhD. Rodríguez Bárcenas Gustavo

LATACUNGA-ECUADOR

Junio – 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe e Investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Pesantez Erazo Adriana Alexandra, con el título de tesis: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA ZONA DE LA CIUDADELA LA PAZ EN EL CANTÓN RIOBAMBA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga junio–14, 2017.

Para constancia firman:

.....
MSc. MOREANO MARTINEZ EDWIN H.
C.C 0502607500
PRESIDENTE

.....
PhD. GONZALEZ PALAU ILIANA A.
C.C 1757070659
MIEMBRO

.....
PhD. LA CALLE DOMINGUEZ JUAN J.
C.C 1756604227
MIEMBRO

.....
PhD. LAURENCIO ALFONSO
PASAPORTE 1712813
OPONENTE

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

Como autor de la presente Tesis de Maestría: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA ZONA DE LA CIUDADELA LA PAZ EN EL CANTÓN RIOBAMBA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED”** declaro en tal virtud, que el presente proyecto investigativo producto del soporte bibliográfico y la investigación desarrollada, es propiedad intelectual de mi persona.

Atentamente:

.....
Pesantez Erazo Adriana Alexandra
0602921843

AGRADECIMIENTO

A Dios por enseñarme el camino de la sabiduría y la felicidad junto a mi familia, y por estar presente en los momentos más difíciles.

A los docentes de Posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes con su profesionalismo y don de gentes me encaminaron para cumplir los objetivos propuestos en esta maestría.

A mi tutor, PhD. Gustavo Rodríguez Bárcenas, por sus sabios consejos y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a la memoria de todos los ingenieros de mantenimiento, que aportamos con proyectos de innovación y tecnología hacia el desarrollo de nuestro país.

A mis padres Nora Lucía y Rafael Eliceo, a mi abuelita Gladys Yolanda quienes nunca me han dejado de apoyar en mis estudios, a mi esposo Félix Antonio y a mis hijas Arely Valentina y Mía Leonela que al igual que mis padres y abuelita han sido mi apoyo durante mis estudios, que han sido muestra de amor, sacrificio y valor para seguir adelante juntos como la familia que somos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
PORTADA -----	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO -----	ii
AVAL DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN -----	ii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS -----	iii
AGRADECIMIENTO -----	iv
DEDICATORIA -----	v
ÍNDICE GENERAL -----	vi
ÍNDICE DE CUADROS -----	viii
ÍNDICE DE FIGURAS -----	ix
RESUMEN -----	xi
ABSTRACT -----	xii
INTRODUCCIÓN -----	xiii
Situación Problémica -----	xiv
Formulación del problema -----	xv
Justificación de la investigación -----	xv
Objetivo general -----	xvi
Objetivos específicos -----	xvi
Hipótesis -----	xvi
CAPÍTULO I -----	1
1. MARCO TEÓRICO -----	1
1.1. Antecedentes Investigativos -----	1
1.2. Fundamentación teórica -----	1
1.2.1. Energía Renovable vs Energía No Renovable -----	1
1.2.2. La radiación solar -----	2
1.2.3. Características de la radiación solar -----	3
1.2.4. Variación del espectro luminoso -----	3
1.2.5. Métodos de estimación de la radiación solar -----	3
1.2.6. Energía solar -----	4
1.2.7. Matriz energética en el Ecuador -----	5
1.2.8. Irradiación solar en el Ecuador -----	6
1.2.9. Parámetros de cálculo -----	6
1.2.10. La energía solar fotovoltaica. -----	9
1.2.11. Energía solar fotovoltaica conectada a la red -----	11
1.2.13. Fundamentos de los sistemas de energía fotovoltaicos -----	11
1.2.14. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico -----	12
1.2.15. Tecnología Fotovoltaica -----	12
1.2.16. Células fotovoltaicas -----	13
1.2.17. Tecnologías de Fabricación de celdas fotovoltaicas -----	13
1.2.18. Panel fotovoltaico -----	16

1.3.Fundamentación Legal -----	16
CAPITULO II -----	20
2. METODOLOGÍA -----	20
2.1. Tipos de estudio -----	20
2.2. Métodos -----	20
2.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de información -----	20
2.4. Variables -----	21
2.5. Operacionalización de variables -----	22
CAPITULO III -----	24
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS -----	24
3.1. Cálculo de radiación solar -----	24
3.2. Realización de la matriz energética solar en la ciudadela la Paz -----	26
3.3. Análisis de radiación difusa -----	26
3.3.1.Cálculo Radiación Solar ciudadela La Paz -----	27
CAPITULO IV -----	29
4. MARCO PROPOSITIVO -----	29
4.1. Diseño de un sistema de generación de energía solar fotovoltaico conectado a la red -----	29
4.2. Cálculo de módulos -----	31
4.2.1.Número de módulos necesarios -----	31
4.2.4.Disposición de la agrupación de módulos -----	32
4.3. Potencia real generada-----	34
4.4. Cálculo de la producción anual esperada -----	44
4.5. Análisis económico -----	48
4.5.1.Presupuesto de la instalación-----	48
4.5.2.Previsión de ingresos anuales -----	49
4.5.3.Cálculo de Valor actual Neto -----	50
4.5.4.Cálculo de la Tasa Interna de Retorno -----	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	53
Bibliografía -----	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Operacionalización de las variables	22
Cuadro 2 Resumen cálculo radiación diciembre.....	24
Cuadro 3 Resumen cálculo radiación enero.....	25
Cuadro 4 Resumen cálculo radiación febrero	25
Cuadro 5 Resumen cálculo radiación marzo.....	26
Cuadro 6 Resumen del cálculo radiación solar promedio.....	27
Cuadro 7 Consumo histórico vivienda.....	30
Cuadro 8 Datos característicos del fabricante del módulo fotovoltaico (Sunpower spr-225-BLK).....	31
Cuadro 9 Datos característicos del fabricante de inversor Sinvert 1000 MS.....	36
Cuadro 10 Hora solar pico para la Ciudadela La Paz.	44
Cuadro 11 Energía mensual generada.....	47
Cuadro 12 Inventario de artefactos y consumo estimado	48
Cuadro 13 Presupuesto instalación	49
Cuadro 14 Ingreso generado	50
Cuadro 15 TMAR	50
Cuadro 16 VAN	51
Cuadro 17 TIR.....	51
Cuadro 18 Cálculo radiación solar 6 de Diciembre 2016	58
Cuadro 19 Cálculo radiación solar 7 de Diciembre 2016	60
Cuadro 20 Cálculo radiación solar 8 de Diciembre 2016	61
Cuadro 21 Cálculo radiación solar 9 de Diciembre 2016	63
Cuadro 22 Cálculo radiación solar 10 de Diciembre 2016	64
Cuadro 23 Cálculo radiación solar 6 de Enero 2017.....	66
Cuadro 24 Cálculo radiación solar 7 de Enero 2017.....	67
Cuadro 25 Cálculo radiación solar 8 de Enero 2017.....	69
Cuadro 26 Cálculo radiación solar 9 de Enero 2017.....	70
Cuadro 27 Cálculo radiación solar 10 de Enero 2017.....	72
Cuadro 28 Cálculo radiación solar 6 de Febrero 2017.....	73
Cuadro 29 Cálculo radiación solar 7 de Febrero 2017.....	75
Cuadro 30 Cálculo radiación solar 8 de Febrero 2017.....	76

Cuadro 31 Cálculo radiación solar 9 de Febrero 2017.....	78
Cuadro 32 Cálculo radiación solar 10 de Febrero 2017.....	79
Cuadro 33 Cálculo radiación solar 6 de Marzo 2017.....	81
Cuadro 34 Cálculo radiación solar 7 de Marzo 2017.....	82
Cuadro 35 Cálculo radiación solar 8 de Marzo 2017.....	84
Cuadro 36 Cálculo radiación solar 9 de Marzo 2017.....	85
Cuadro 37 Cálculo radiación solar 10 de Marzo 2017.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cálculo de la radiación	7
Figura 2 Ángulo cenital.....	9
Figura 3 Energía solar fotovoltaica	10
Figura 4 Sistema solar fotovoltaico.....	12
Figura 5 Panel solar de silicio monocristalino	14
Figura 6 Panel solar de silicio policristalino	15
Figura 7 Panel solar de silicio amorfo.....	15
Figura 8 Localización ciudadela La Paz	27
Figura 9 Subagrupación en serie de módulos fotovoltaicos.....	32
Figura 10 Subcampo de generador fotovoltaico	33
Figura 11 Disposición final de los módulos del campo fotovoltaico.....	33
Figura 12 Diagrama de bloques de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red Eléctrica pública.....	39
Figura 13 Diagrama esquemático de un SFV-IR	40
Figura 14 Localización de medios de desconexión en un sistema flotante y.....	42
Figura 15 Ubicación del sistema	44
Figura 16 Radiación solar 6 de Diciembre 2016.....	59
Figura 17 Radiación solar 7 de Diciembre 2017	61
Figura 18 Radiación solar 8 de Diciembre 2016.....	62
Figura 19 Radiación solar 9 de Diciembre 2016.....	64
Figura 20 Radiación solar 10 de Diciembre 2016.....	65
Figura 21 Radiación solar 6 de Enero 2017	67
Figura 22 Radiación solar 7 de Enero 2017	68

Figura 23 Radiación solar 8 de Enero 2017	70
Figura 24 Radiación solar 9 de Enero 2017	71
Figura 25 Radiación solar 10 de Enero 2017	73
Figura 26 Radiación solar 6 de Febrero 2017	74
Figura 27 Radiación solar 7 de Febrero 2017	76
Figura 28 Radiación solar 8 de Febrero 2017	77
Figura 29 Radiación solar 9 de Febrero 2017	79
Figura 30 Radiación solar 10 de Febrero 2017	80
Figura 31 Radiación solar 6 de Marzo 2017	82
Figura 32 Radiación solar 7 de Marzo 2017	83
Figura 33 Radiación solar 8 de Marzo 2017	85
Figura 34 Radiación solar 9 de Marzo 2017	86
Figura 35 Radiación solar 10 de Marzo 2017	88

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA ZONA DE LA CIUDADELA LA PAZ EN EL CANTÓN RIOBAMBA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED.

Autor: Pesantez Erazo Adriana Alexandra

Tutor: PhD. Rodríguez Bárcenas Gustavo

RESUMEN

El principal objetivo de la presente investigación es el de evaluar el potencial energético solar a partir de los datos de radiación global que permita el diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaico conectado a la red utilizando las normas nacionales e internacionales, para la casa número 10 de la ciudadela La Paz ubicada en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo. La metodología utilizada en el proyecto de investigación constó de la utilización del método inductivo-deductivo; además se utilizaron las técnicas de la observación, análisis de información de instituciones como INAMHI y CONELEC, cálculos a través de modelos matemáticos y la tecnología informática a través de la utilización de diferentes softwares que permitieron el análisis de resultados y el diseño del sistema fotovoltaico. Dentro de los principales resultados obtenidos se encontró que la radiación del mes de marzo es la más baja, sin embargo puede abastecer la operatividad del sistema, mismo que para una cantidad de 6 paneles de generación tiene un costo aproximado de 6.807,45 dólares, inversión que puede recuperarse tras 20 años de funcionamiento del sistema, el cual tiene una vida útil estimada de 25 años, lo que representa 5 años de uso gratuito del sistema, ya que genera 2083,32kWh anual, traducidos en 273,05 dólares de ingresos por energía generada.

DESCRIPTORES: POTENCIAL, ENERGÉTICO, SOLAR, SISTEMA, FOTOVOLTAICA, RED.

ABSTRACT

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

POSTGRADUATE PROGRAMS DIRECTION

MASTER'S DEGREE IN ENERGY MANAGEMENT

TITLE: SOLAR ENERGETIC POTENTIAL EVALUATION IN THE ZONE OF THE NEIGHBORHOOD OF LA PAZ IN THE COUNTY OF RIOBAMBA IN THE PROVINCE OF CHIMBORAZO FOR THE YEAR 2016. A NETWORK CONNECTED PHOTOVOLTAIC SOLAR GENERATOR SYSTEM DESIGN PROPOSAL.

Author: Pesantez Erazo Adriana

Alexandra

Tutor: PhD. Rodríguez Bárcenas Gustavo

SUMMARY

The main objective of the current investigation is to evaluate the solar energetic potential starting from the data of global radiation which allows the design of a network connected photovoltaic energy generation system using national and international norms, for house number 10 of the neighborhood of La Paz located in the county of Riobamba in the province of Chimborazo. The methodology used in the research project consisted of the usage of the inductive-deductive method; observation techniques, information analysis of institutions such as INAMHI and CONELEC, calculations through mathematical models and the informatic technology though the usage of different software were used which allowed results analysis and the design of the photovoltaic system. In the main obtained results, it was found that the radiation of the month of March is the lowest, however it can supply the operativity of the system, thus a quantity of 6 panels has an approximate cost of \$ 6847,45, an investment which can be regained after keeping the system working for 20 years, has a useful life of 25 years, and represents 5 years of free usage of the system, since it generates 2083,82 kWh for a year which means \$ 273,05 income for generated energy.

KEY DESCRIBING WORDS: ENERGETIC POTENTIAL, SOLAR, SYSTEM, PHOTOVOLTAIC, NETWORK.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchos de los países alrededor del mundo están buscando la generación de energía a través de la utilización de recursos renovables, tales como el agua, el sol, el viento, residuos entre otros.

En el Ecuador se observa este hecho a través del cambio de la matriz energética en el que se busca potencializar los recursos que posee el país, a fin de brindar nuevos sistemas de energía renovables.

La presente investigación se encuentra conformada por 4 capítulos, los mismos que se detallan a continuación:

Capítulo I: Básicamente consta de la fundamentación teórica y principales referencias que dan sustento a la investigación.

Capítulo II: Detalla cada uno de los métodos, técnicas e instrumentos a utilizar a lo largo del desarrollo de la investigación propuesta.

Capítulo III: Se exponen los resultados observados del levantamiento de información, sobre lo cual se enmarca la propuesta.

Capítulo IV: Se desarrolla el contenido de la propuesta planteada, básicamente el diseño del sistema de generación de energía fotovoltaica conectado a la red

Finalmente se encuentran las conclusiones y las recomendaciones, así como la bibliografía utilizada

Situación Problemática

Durante los últimos años la contaminación se ha convertido en una de las principales preocupaciones a nivel mundial obligándonos a ser más conscientes en el uso de los recursos naturales. Es por este motivo que se utilizan las energías alternativas que se obtienen de fuentes naturales que son capaces de regenerarse a corto plazo. En Latinoamérica según los datos de la Agencia Internacional de Energía, las energías alternativas se encuentran en crecimiento. Dentro del sector predomina la energía hidroeléctrica cubriendo la mayor parte de generación de energías alternativas, principalmente en países como Brasil o Paraguay. El Ecuador no es la excepción ya que la principal fuente de energía programada para el cambio de la matriz energética es la hidráulica con sus proyectos a grande y mediana escala, sin embargo esto ha causado daños medioambientales en la selva amazónica.

Cada año la radiación solar aporta a la tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Se debe tomar en cuenta también que para la generación de energía fotovoltaica se utiliza principalmente el silicio en paneles fotovoltaicos siendo este el material que relativamente se encuentra en mayor cantidad en el planeta. Uno de los limitantes para generar proyectos de energías alternativas es la información en cuanto a datos del sitio en el que se pretenden implementar éstos, en el caso de la energía solar existe un mapa solar emitido por el CONELEC, con datos que corresponden al período entre el 1 de Enero de 1985 y el 31 de Diciembre de 1991, y fue publicado en Julio del 2006. Los datos representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios de la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales (dentro del período mencionado) de cada una de ellas, expresados en Wh/m²/día. La filtración de celdas, dio una cobertura de 472 puntos sobre el territorio continental ecuatoriano en celdas de 40 km x 40 km, que provienen de los datos originales. Esta versión del Atlas contiene al momento información sobre el Ecuador continental, se está trabajando para en una futura versión, incorporar a la región insular del Ecuador.

Uno de los retos actuales es que se pueda conseguir un crecimiento con equidad en la población, lo que exige la incorporación de los sectores: rural y urbano al proceso de desarrollo del Ecuador.

En la ciudad de Riobamba, se encuentra instalada una estación meteorológica del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en donde se obtienen datos de medidas de radiación de varios años atrás. Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se seleccionó la vivienda N°10 de la Ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, tomando en cuenta que en ella habita una familia promedio de 4 personas de clase media, representando a consideración de la investigadora un consumo también promedio de energía eléctrica, lo cual resulta una muestra ideal para poder solventar la investigación y obtener resultados significativos que puedan ser aplicados en la mayoría de hogares de la ciudad y el país en general.

Formulación del problema

¿Cómo se puede determinar el potencial energético solar en la zona de la ciudadela La Paz en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo para el año 2016 con la finalidad de proponer un diseño de un sistema de generación de energía solar fotovoltaico conectado a la red?

Justificación de la investigación

La electricidad es uno de los recursos que se puede considerar indispensable en las actividades diarias de las personas, y en la actualidad la preocupación por el agotamiento de los recursos no renovables como son los provenientes de restos fósiles es bastante grande. Como una solución a este problema está el uso más eficiente de la energía y la incorporación de fuentes energéticas renovables no convencionales, las mismas que ocupan una posición destacada.

En la actualidad la demanda de energías renovables crece, por lo que se necesita de fuentes de datos que sean más precisos, en Ecuador existían pocas estaciones meteorológicas automáticas, las mismas que colectaban datos de radiación solar,

datos que son requeridos para conocer el potencial y el desempeño de sistemas de energía solar y en particular de sistemas fotovoltaicos, actualmente Ecuador cuenta con 35 nuevas estaciones automáticas de última generación propiedad del INAMHI las mismas que brindan valores más precisos del potencial fotovoltaico, por esta razón es necesario el estudio de la radiación solar que demuestre que invertir en este tipo de proyectos tiene ventajas, ya que a través de las energías renovables se pueden destacar las cualidades únicas de la ubicación de nuestro país para este efecto y la diversificación del cambio de la matriz energética, puesto que Ecuador espera generar energía principalmente de las centrales hidroeléctricas, pero sería muy inteligente imaginar que en época de sequía se pueda generar el faltante a partir de centrales fotovoltaicas cumpliendo un ciclo natural.

Objetivo general

Evaluar el potencial energético solar en la zona de la ciudadela La Paz en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo para el año 2016, y proponer un diseño de un sistema de generación de energía solar fotovoltaico conectado a la red.

Objetivos específicos

- Realizar el estado del arte con el fin de sustentar de manera teórica la investigación.
- Realizar los cálculos de la radiación en la zona de la ciudadela La Paz para conocer si es posible la aplicación de la propuesta.
- Diseñar el sistema fotovoltaico conectado a la red en base a los resultados obtenidos.
- Realizar la evaluación técnico-económica, social y ambiental del proyecto, para determinar su factibilidad.

Hipótesis

La evaluación del potencial energético solar de la zona de la ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, permitirá determinar la viabilidad para el diseño de un sistema de generación de energía solar fotovoltaico conectado a la red.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

En la investigación: Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, atribuida al CONELEC (Concejo Nacional de Electricidad) 2006, describen que la información base que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, fue generada por el National Renewable Energy Laboratory – NREL de los Estados Unidos basada en datos tomados de sistemas satelitales, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética.

La conclusión de este trabajo indica que con los resultados de la investigación se pueden tomar como referencia los datos de radiación solar para implementar sistemas de generación solar fotovoltaica conectadas a la red.

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1. Energía Renovable vs Energía No Renovable

La energía es uno de los temas más hablados en el mundo, y se enfocan básicamente en las acciones que se deben seguir para abastecer el sistema energético en el futuro. Es de conocimiento que las fuentes primarias de energía dominantes en la mayoría de países son los hidrocarburos, que según datos obtenidos en la investigación este asciende al 80.80% de energía producida y consumida. Tanto los países emergentes como los países en vías de desarrollo necesitan tener acceso a fuentes de energías modernas, entendiéndose a estas como electricidad y carburantes; y por esta razón se busca la generación de nuevas fuentes de energía utilizando recursos como el aire, agua, desechos, el sol entre otros; que son considerados como recursos renovables es decir se mantienen en el tiempo y en el espacio (Estrada & Arancibia, 2010)

Es necesario considerar que es de vital importancia que al querer adaptarse a la generación de energía a través del uso de recursos renovables, los sistemas

energéticos deben evolucionar considerablemente. Si se habla a largo plazo, la inversión es realmente grande, ya que esta debe incluir infraestructura, modificación de marcos institucionales y la planificación establecida cambiaría considerablemente; dentro de esta tendencia existe algunos componentes que pueden verse involucrados entre estos tenemos: el uso de automóviles eléctricos, refrigeración y calefacción eléctrica y sobre todo la flexibilidad en la demanda. (Labandeira, Linares, & Wüzburg, 2012).

Para obtener mejores resultados al momento de establecer nuevas matrices y planificaciones al buscar estrategias para implementar la generación de energía a través del uso de recursos renovables, es necesario el trabajo conjunto con investigadores locales e internacionales, con el fin de conocer nuevas experiencias e investigaciones de los mismos; la investigación científica es un factor clave para alcanzar los logros esperados; además de la cooperación internacional fortaleciendo las relaciones diplomáticas entre países (Barrera, 2009).

A través de la cooperación entre países los proyectos de Investigación y Desarrollo se incrementarán; una evidencia de esto por ejemplo es al momento de realizar una investigación se intercambian conocimientos con el o los coautores, presenciando un acto de sinergia; lo mismo sucede con los proyectos I-D, a través de estos se busca conocer las diferentes experiencias, conocimientos, estrategias, ideas, de los diferentes países, a través de los cuales se busca el fortalecimiento de los proyectos a realizar (Barrera, 2009).

1.2.2. La radiación solar

De acuerdo con la Red Iberoamericana de Solarimetría, la radiación solar “Es la energía electromagnética (del sol) emitida, transmitida o recibida” también puede considerarse como una lluvia de partículas pequeñas conocidas como fotones, estos elementos viajan a la velocidad de la luz ($c=3 \times 10^8 \text{m/s}$) independientes de la longitud de onda (Castañeda, Niño, & Herrera, 2010)

El sol es una estrella que por efectos de gravitación de masa, es el dominante del universo y el sistema planetario incluido la Tierra. El sol básicamente es una esfera

con materia gaseosa caliente, que tiene un radio de 1,4 millones de kilómetros y una masa de $M_s = 2 \times 10^{30}$ kg (330000 veces la masa de la tierra): está conformado por diversos elementos que se encuentran en estado gaseoso mayoritariamente con un alto porcentaje de hidrogeno, la potencia liberada es de $L_s = 389 \times 10^{24}$ W. Estos componentes hacen que el sol se constituya como un reactor nuclear enorme, lo que origina la energía solar, y es el que aporta ya sea de manera directa o indirecta la energía que mantiene viva la tierra (Jarillo, 2016)

1.2.3. Características de la radiación solar

La energía radiante procedente del sol incide sobre la superficie de la tierra, de esta energía solo una parte llega de manera efectiva a la superficie de la tierra ya que constituye una superficie de captación casi insignificante, al encontrarse a 150 millones de km. Aun así la potencia que llega es unas 10 000 veces mayor que la que proporcionan todas las fuentes energéticas que el hombre emplea, siendo el motor fundamental del clima (Jarillo, 2016).

1.2.4. Variación del espectro luminoso

Las variaciones de intensidad y color de la luz solar durante la salida y puesta de sol se deben al incremento de la distancia, absorción, reflexión y dispersión de la luz solar cambiando el rango de frecuencias que integran el espectro luminoso así como su intensidad (Roldán, 2012).

De acuerdo con (Roldán, 2012) esta radiación está formada aproximadamente por:

- 47% por el espectro visible.
- 46% por el espectro infrarrojo.
- 7% por el espectro ultravioleta.

1.2.5. Métodos de estimación de la radiación solar

Entre los métodos más utilizados de acuerdo a los diferentes autores son los que a continuación se exponen:

- **Estadísticos**, estos modelos básicamente no precisan de medidas meteorológicas complementarias, la mayor limitación al utilizar este tipo de modelo es la necesidad de contar con datos terrestres de radiación solar y falta de generalidad, por lo que no existe garantía alguna de que los coeficientes de las regresiones tengan los mismos valores en otras áreas. Sin embargo la mayor ventaja de este modelo es la simplicidad con la que se maneja, ya que puede trabajarse con los valores de la cuenta digital del satélite sin la necesidad de convertir estos en la densidad de flujo de radiación solar emergente (Ramírez, y otros, 2003).
- **Físicos**, este tipo de métodos se basan en las consideraciones físicas existentes que permiten los respectivos intercambios de energía radiante que se dan en el sistema Tierra-atmosfera, particularmente se considera los coeficientes de dispersión y absorción de los componentes de la atmósfera clara, el albedo de las nubes, y el albedo superficial. La ventaja de la utilización de este tipo de modelo es la naturaleza generalista de este ya que no dependen de ninguna región en particular por lo que pueden ser aplicados en cualquier lugar, además de ello no precisan de datos terrestres de medidas de radiación global. Contrariamente, los modelos físicos precisan datos meteorológicos complementarios para determinar la interacción de la radiación solar con la atmósfera. Una desventaja de este modelo es que el valor de la cuenta digital utiliza datos de estaciones cercanas, esto es válido cuando se trata de un terreno llano y la distancia entre estaciones es menos a 10km (Ramírez, y otros, 2003).
- **Interpolar valores a partir de medidas de la radiación solar en otras estaciones.** Esta solución, es aplicable cuando la red de estaciones de radiación solar tiene una densidad considerable y dependiendo del tipo de terreno, puede precisarse una densidad de entre 50 y 20 km de distancia entre estaciones (Leloux, Narvarte, Moreton, & Lorenzo, 2015).

1.2.6. Energía solar

La principal fuente de energía proviene del sol, lo que conlleva a ser la primordial fuente de vida en el planeta. La energía proveniente del sol básicamente “dirige los

ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos de carbono, oxígeno, agua y el clima” (Arenas & Zapata, 2011)

1.2.7. Matriz energética en el Ecuador

Dentro del marco macroeconómico es necesario realizar un análisis del impacto económico que tienen los componentes de energía no renovable, en este caso tenemos el petróleo que representa el 89% de oferta energética en el país. En el año 2012 el PIB del Ecuador ascendió a U\$\$ 84.000 millones, de los cuales U\$\$ 9.600 millones le correspondieron al sector petrolero, esto equivale a casi toda la producción de la industria manufacturera de ese año (Cañar, 2014).

En los últimos años el Estado ecuatoriano busca fomentar e incrementar una nueva matriz energética y productiva, ya que como se ha mencionado anteriormente los recursos no renovables tarde o temprano dejarán de existir, lo que implicaría una crisis energética en un futuro (Cañar, 2014).

Según lo citado por (Chuquin & Márquez, 2011), la regulación N° CONCELEC-009/06, se basa en el artículo 63 de la ley de régimen del sector eléctrico ecuatoriano en la cual se especifican resoluciones de gran interés, teniendo así, las siguientes:

- “El estado impulsará a través de la banca de desarrollo, las universidades, las instituciones privadas y los organismos públicos, al uso y desarrollo de los recursos energéticos no convencionales” (Chuquin & Márquez, 2011)
- “El abastecimiento de la electricidad en Ecuador debe considerar la diversificación y participación de las energías no renovables, a efectos de disminuir la vulnerabilidad y dependencia de generación eléctrica a base de combustibles fósiles” (Chuquin & Márquez, 2011)
- Es de relevante importancia aplicar mecanismos que impulsen el desarrollo sustentable de las tecnologías renovables no convencionales, tomando en cuenta que los valores de inversión inicial son altos, sin embargo son compensados por los bajos costos de producción, por lo que será beneficioso para los usuarios.

Como se observa, el estado ecuatoriano busca promover la investigación y desarrollo de energías no convencionales, lo cual constituye un ahorro de costos en gran magnitud; es deber de las y los ciudadanos generar y plasmar proyectos en los que se involucre la creación de fuentes de energía renovables, que no solo beneficiarán al estado sino a todo el pueblo.

1.2.8. Irradiación solar en el Ecuador

La radiación solar es la radiación electromagnética del sol, de la cual, el 97% pertenece a la región del espectro comprendida entre 300 y 4000 nm, conocida como radiación de longitud de onda corta. La radiación solar sufre atenuación por varios componentes atmosféricos como moléculas de aire, aerosoles, gases, gotas de nube y cristales de hielo. Las moléculas de aire dispersan la radiación (dispersión Rayleigh), mientras que los aerosoles no sólo dispersan, sino que también absorben la radiación solar que atraviesa la atmósfera.

La cantidad de radiación dispersada y absorbida depende de la composición química de las partículas y de la humedad del entorno. El vapor de agua, el ozono, el dióxido de carbono y el oxígeno son los principales gases absorbentes del espectro de radiación solar. El ozono absorbe principalmente la radiación solar correspondiente a la región del espectro solar ultravioleta y visible, mientras que las bandas de absorción del vapor de agua y del dióxido de carbono se encuentran desde el infrarrojo cercano hasta la zona del espectro del rojo. Además, el oxígeno absorbe en una pequeña banda de la zona del visible.

1.2.9. Parámetros de cálculo

Para calcular la radiación solar incidente sobre una superficie que tiene una determinada inclinación y orientación, es necesario definir algunos términos. El ángulo cenital solar, es el ángulo que forma la radiación directa del sol y la vertical del lugar, en un punto cualquiera de la Tierra. Este ángulo varía continuamente a lo largo del día y depende también de la latitud del lugar y de la declinación. El ángulo acimutal del Sol “s”, es el ángulo que forma la componente horizontal de la

radiación solar directa, con la dirección Norte-Sur, en el hemisferio norte. Se mide sobre el plano horizontal que pase por el lugar.

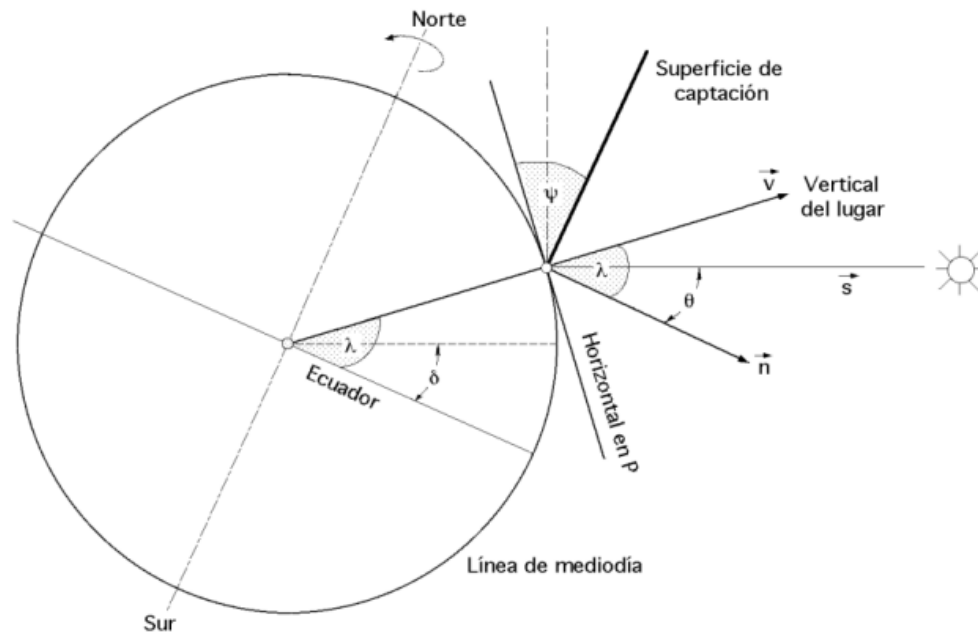


Figura 1 Cálculo de la radiación

Fuente: (Chuquin & Márquez, 2011)

La declinación que es la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto al plano del Ecuador terrestre; el valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar. Esto es debido a que el eje de rotación de la Tierra está inclinado un ángulo de $23^{\circ}45'$ respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del Sol y de ahí que el valor de la declinación varíe entre $\pm 23^{\circ}45'$ a lo largo del año. La declinación al Norte del Ecuador se considera positiva. El ángulo horario es el desplazamiento angular del Sol, respecto al mediodía, que es el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y se corresponde con un ángulo cenital solar mínimo, es decir, con un ángulo horario igual a 0.

Cada hora es igual a 15° de longitud, tomando un valor (+) por las mañanas y (-) por las tardes. La latitud de un lugar cualquiera sobre la superficie de la Tierra, es su desplazamiento angular por encima o por debajo del Ecuador, medido desde el centro de la Tierra. Se considera positiva al N del Ecuador. La longitud del lugar L es el ángulo que forma el semiplano que pasa por los polos en un lugar de la

superficie de la Tierra y el semiplano que pasa por Greenwich. Este semiplano es un cero arbitrario y la línea que corta sobre la superficie terrestre se denomina meridiano de Greenwich. La longitud y la latitud son coordenadas que localizan un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra. Otro ángulo que se debe tener en cuenta es el que forma el terreno (o la superficie que se considere), con la horizontal del lugar; éste es el ángulo cenital de la superficie y, por lo tanto, el ángulo que forma la normal a la superficie con la vertical del lugar.

La altura solar o ángulo de elevación del Sol por encima del horizonte es importante por dos razones. En primer lugar, a mayores alturas solares, la radiación recorre una distancia más corta al atravesar la atmósfera, mientras que, para alturas solares más bajas, la radiación procedente del Sol es forzada a recorrer una masa de aire mucho mayor, $m > 1$.

Los efectos atenuantes de la masa de aire implicados reducen la radiación solar y las mayores alturas solares proporcionan más horas de luz, lo que permite mejores insolaciones. Las relaciones trigonométricas existentes entre la posición de un plano orientado en cualquier forma y en cualquier momento, respecto a la dirección de la componente directa de la radiación solar incidente, se puede expresar mediante la expresión (Benford y Book) de la forma:

Ecuación. 1

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \text{sen}(\delta)\text{sen}(\psi) - \text{sen}(\delta) \cos(\lambda) \text{sen}(\psi) \cos(\beta) \\ & + \cos(\delta) \cos(\lambda) \cos(\psi) \cos(\tau) \\ & + \cos(\delta) \text{sen}(\lambda)\text{sen}(\psi) \cos(\beta) \cos(\tau) \\ & + \cos(\delta) \text{sen}(\psi)\text{sen}(\beta)\text{sen}(\tau) \end{aligned}$$

En la que ψ es el ángulo que forma el terreno con la horizontal del lugar. Cuando el plano del terreno coincida con el horizontal ($\psi = 0$), por lo que el ángulo cenital de la radiación solar directa $\theta = \theta_s$ es:

fotoeléctrico externo y el efecto fotovoltaico. El efecto fotoeléctrico externo, descubierto por Hertz en 1887, consiste en un desprendimiento de electrones de la superficie de los metales al chocar con los mismos fotones con suficiente energía, dando lugar a una corriente eléctrica denominada fotoeléctrica. Las células fotoeléctricas se basan en este efecto (Pacco, 2008).

La energía solar fotovoltaica es definida como el proceso de conversión en el que se obtiene energía a través de paneles fotovoltaicos. Los colectores fotovoltaicos están conformados por semiconductores tipo diodos (Arenas & Zapata, 2011, pág. 29)

En el proceso para obtener este tipo de energía se utiliza dispositivos conocidos como celdas fotovoltaicas, que actúan como semiconductores sensibles de luz solar, de forma que cuando se expone se forma una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras (Secretaría de energía Argentina, 2008).

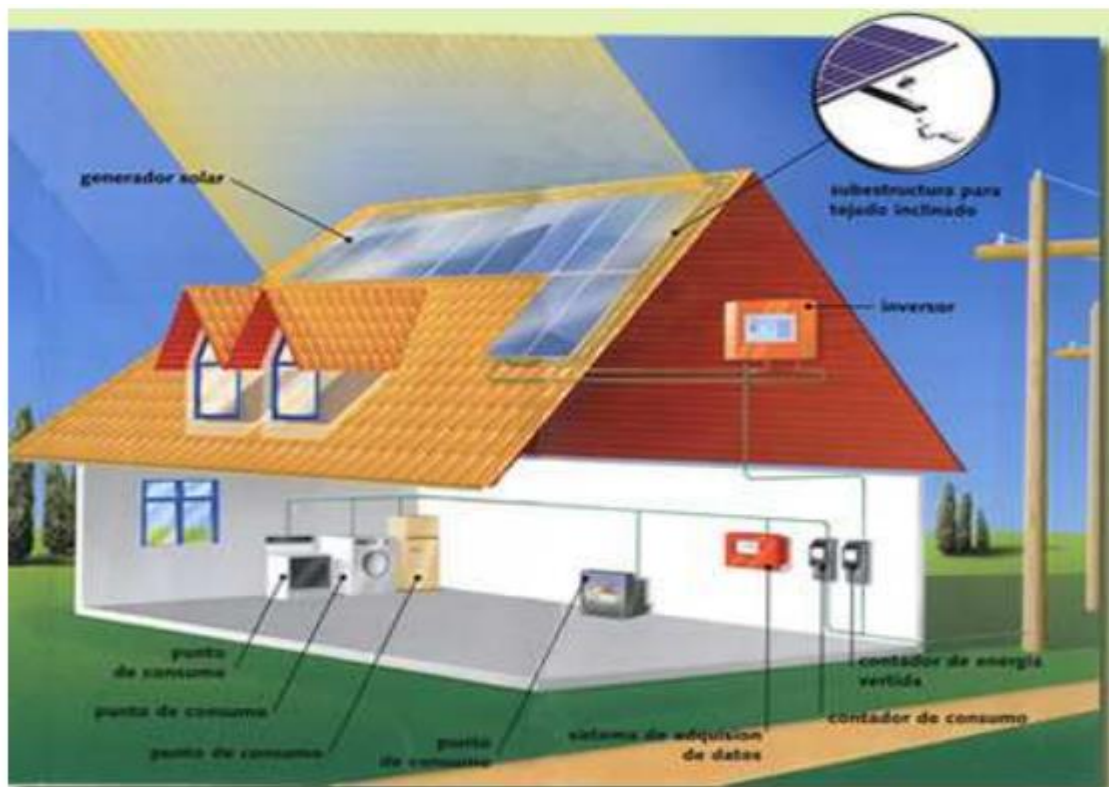


Figura 3 Energía solar fotovoltaica

Fuente: (Pacco, 2008).

1.2.11. Energía solar fotovoltaica conectada a la red

“Los sistemas conectados a la red están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando el generador fotovoltaico no produce energía necesaria. Viceversa si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se gasta, el exceso se transfiere a la red” (Roldán, 2012)

1.2.12. Beneficios de la energía solar fotovoltaica

Según lo menciona (Secretaría de energía Argentina, 2008), las principales ventajas de este sistema de energía son las que a continuación se indican:

- Reducir costos de mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso
- Eliminar costos ecológicos
- Evitar el despoblamiento de determinadas zonas
- Energía descentralizada que puede ser utilizada en el todo el territorio
- Después de la respectiva instalación, el costo energético es nulo
- Costos de mantenimiento bajos
- No produce contaminación al medio ambiente
- Tecnología en rápido desarrollo, reduce costos e incrementa rendimientos

Para (Chuquin & Márquez, 2011) los beneficios ambientales que aporta este sistema de energía son:

- No contamina el agua
- No reduce el caudal de ríos
- No emite radioactivos
- No emite carbono ni ningún otro contaminante
- No produce ninguna clase de residuos

1.2.13. Fundamentos de los sistemas de energía fotovoltaicos

Según lo explicado por (Chuquin & Márquez, 2011), este tipo de sistemas básicamente se encuentra constituido por paneles para la generación, dichos paneles

están conformados por celdas fotovoltaicas y éstas basan su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico. El principio básico de este efecto radica en “liberar electrones de los átomos del material semiconductor y en estos electrones libres hacer el material conductor” (Chuquin & Márquez, 2011).

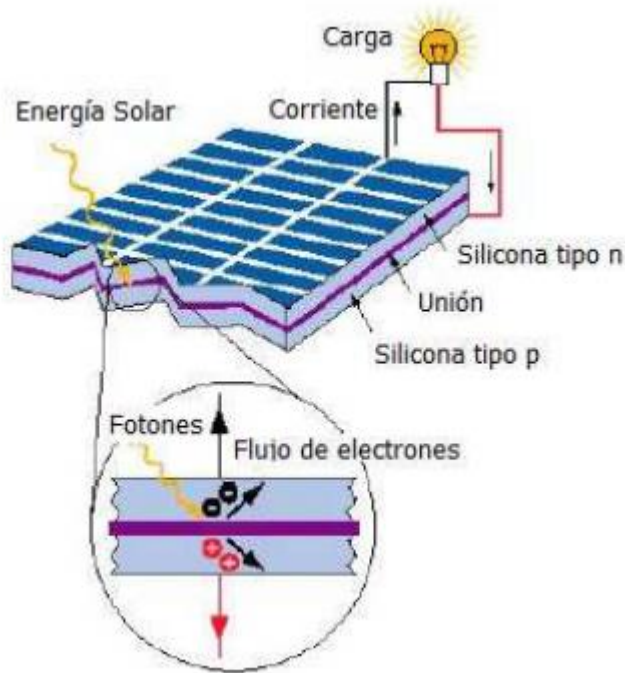


Figura 4 Sistema solar fotovoltaico

Fuente: (Cañar, 2014)

1.2.14. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico

Para que la luz solar sea convertida en electricidad, es necesario el uso de lo denominado “células solares”. Una célula solar básicamente está conformada de material semiconductor dispuesto en dos capas P y N. (Heras, 2007)

1.2.15. Tecnología Fotovoltaica

Los principales componentes que deben existir en un sistema fotovoltaico conectado a la red son 3, así lo menciona (Heras, 2007), y son los siguientes:

- Células fotovoltaicas y paneles
- Inversor

- Contador

1.2.16. Células fotovoltaicas

Normalmente, las células fotovoltaicas se fabrican a partir de silicio monocristalino o policristalino. Para fabricar células fotovoltaicas, los lingotes de silicio o los bloques son cortados en delgadas láminas. Típicamente, las células cristalinas miden 10x10 o 12.5x12.5 cm². El color de una célula de silicio multicristalina es el llamado “steel blue” (un tono de azul que parece de acero), mientras que el silicio monocristalino es de color antracita. Encima de las células, se instala una pantalla de conductores de aluminio (Castro, 2004).

Se refiere básicamente a aquel dispositivo que hace posible la transformación de energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico (Universitat Politècnica de Catalunya , s.f).

1.2.17. Tecnologías de Fabricación de celdas fotovoltaicas

Los autores (Castejón & Santamaría, 2008), mencionan que las celdas solares de silicio se construyen utilizando planchas monocristalinas, planchas policristalinas o láminas delgadas (amorfas).

Silicio Monocristalino: las principales características son:

- Son fabricadas en base a láminas de un único cristal
- El espesor aproximado es de 1/3 a 1/2 milímetro
- Se cortan de un lingote monocristalino, que se crea con una temperatura de 1400°C
- Eficiencia en laboratorio de 24,7%
- Eficiencia 16% en paneles comerciales
- Vida útil de 25 años



Figura 5 Panel solar de silicio monocristalino

Fuente: (Castejón & Santamaría, 2008)

Silicio Policristalino: las principales características son:

- Se fabrican a través de un proceso de moldeo (se funde el silicio y se vierte en moldes)
- Menos costoso
- El proceso deja imperfecciones en la lámina
- La eficiencia en laboratorios es del 19,8%
- Eficiencia de 14% en paneles comerciales
- Poseen un grosor considerable
- Al combinar el silicio con otros materiales semiconductores, es posible crear paneles más finos



Figura 6 Panel solar de silicio policristalino

Fuente: (Castejón & Santamaría, 2008)

Silicio Amorfo: los aspectos más relevantes de este material son:

- Lámina delgada
- Se fabrica al depositar silicio sobre un substrato de vidrio de un gas reactivo
- Eficiencia entre el 5 y 10% para paneles comerciales
- Eficiencia del 13% en laboratorio
- Ventajas de deposición y ensamblado más fácil
- Costos más bajos en relación a los citados anteriormente



Figura 7 Panel solar de silicio amorfo

Fuente: (Castejón & Santamaría, 2008)

1.2.18. Panel fotovoltaico

Conocido como paneles solares, están conformados por un “conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos” (Universitat Politècnica de Catalunya , s.f)

Estos se construyen con marcos adecuados para su posterior montaje. “Un módulo contiene entre 48 y 72 células conectadas en serie; los módulos típicos son 0,8 x 1,2 m² y 0,8 x 1,6 m², que corresponde aproximadamente desde 80 a 150 Wp, y la media de peso de un módulo es de aproximadamente 12 Kg/ m²” (Castro, 2004)

Inversor

La función del inversor es transformar la corriente continua en alterna, además de adecuar correctamente la frecuencia y tensión a la red local. Actualmente, la práctica común es instalar un inversor por cada línea de módulos, o incluso dotar a cada módulo de su propio inversor, un proceso al que también se conoce como crear “módulos CA”. Para reducir las pérdidas entre los paneles y el inversor, se recomienda que éste se sitúe lo más cerca posible de los paneles. Además, hay que asegurarse de que dicho inversor está suficientemente refrigerado y no lo exponga a la luz solar directa. (García & Arribas, 1999)

Equipo de medida

Según (García & Arribas, 1999), para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema fotovoltaico es recomendable contar con rastreo de la producción del sistema, para lo cual es necesario contar con un contador, que registre la cantidad de electricidad producida por el sistema.

1.3. Fundamentación Legal

POLÍTICAS GENERALES SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES Constitución Política de la República del Ecuador (R. O. N°. 449. 2008)

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo

impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Decreto presidencial N° 1681, 2009:

El **artículo 413** de la Constitución de la República establece que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Le corresponde al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, la formulación y coordinación de la política energética del país, así como, la gestión y el control de proyectos del sector eléctrico y garantizar el abastecimiento energético mediante la promoción de la energía renovable y la eficiencia energética;

Plan Nacional del buen vivir.

11.1. Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.

d. Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios.

j. Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad.

t. Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción.

Ley de fomento de energías no convencionales.

Art. 1.- El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales, a través de las instituciones de investigación y bajo la coordinación del Instituto Nacional de Energía (INE), a fin de adoptar y desarrollar nuevas tecnologías para la utilización de estos recursos.

Art. 2.- (Reformado por el Art. 28 de la Ley 12, R.O. 82-S, 9-VI-1997).- Exonérese del pago de derechos arancelarios y demás impuestos adicionales, de todo gravamen que afecte a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, necesarios para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, geotérmica, eólica, biomasa, centrales hidráulicas y otras, con fines de investigación o producción de energía, previo los informes favorables del Ministerio de Finanzas, del Instituto Nacional de Energía; y, del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), en el caso de la mini-hidroelectricidad de hasta 5.000 kW. En su lugar créase el gravamen único del uno por ciento del valor CIF de los materiales y equipos importados, valor que será destinado al Instituto Nacional de Energía a través del Presupuesto General del Estado.

El INAMHI se encuentra dentro de la categoría de Instituto de Investigación, es por esta razón y por ser el ente rector en el tema del manejo de la información climática es que se encuentra en la necesidad de generar este tipo de estudios favorecidos legalmente.

La energía solar fotovoltaica es menos invasiva con el medio ambiente que cualquier otra energía convencional, el impacto se produce más bien en la fase de extracción de la materia prima que para el silicio se precisan grandes cantidades de energía en su transformación, los materiales necesarios para la producción fotovoltaica son fácilmente reciclables al cumplir su vida útil. En el medio físico y biológico no existen afecciones importantes, además presenta ventajas incluso sobre otros tipos de energías renovables ya que proviene de una fuente inagotable que es el sol, no contamina al no producir emisiones de CO₂, no precisa de un suministro exterior como el agua o el viento, no produce ruidos, los sistemas son de fácil instalación, los sistemas pueden instalarse en casi cualquier lugar, las instalaciones son fácilmente escalables, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia, los sistemas casi no requieren mantenimiento, resisten condiciones climáticas extremas, es perfecto para zonas donde el tendido eléctrico no puede llegar por lo que se benefician los usuarios de escasos recursos y habitan en lugares remotos.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipos de estudio

El tipo de investigación será exploratorio, ya que se deberá estar en contacto con la realidad en el área de estudio del sistema de generación fotovoltaico y realizando cálculos y análisis de las variables que se utilizarán para el estudio.

En la presente investigación se utilizará el paradigma cuantitativo ya que se recolectará y analizará los datos ofrecidos por instituciones públicas afines a temas energéticos y de radiación solar, para probar la hipótesis utilizando herramientas matemáticas, estadísticas y aplicaciones de software para realizar el diseño del sistema fotovoltaico con los indicadores de cada una de las variables necesarias.

2.2. Métodos

Se utilizará el método inductivo-deductivo ya que parte de situaciones concretas como los datos de la radiación solar del atlas solar del CONELEC y espera encontrar información tanto actual de las estaciones automáticas como históricos de instrumentos convencionales para analizarlos en un marco teórico general.

2.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

La técnica utilizada es la documental, ya que serán revisados y analizados directamente las referencias bibliográficas afines al tema de estudio, además de datos e información relacionada a la radiación solar o energía solar, proporcionada por organismos e instituciones afines, tales como el INAMHI y CONELEC; posteriormente los datos obtenidos serán sometidos a cálculos matemáticos para hallar las variables establecidas en el estudio.

2.4. Variables

Variable Independiente

Potencial energético solar real en la zona y la demanda de energía de una vivienda.

Variable Dependiente

Generación de energía con un sistema fotovoltaico conectado a la red

2.5. Operacionalización de variables

Cuadro 1 Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE:	El potencial energético solar				
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un análisis de datos generados por instrumentos u ofrecidos por organismos de estudio y determina la demanda energética utilizando procedimientos estadísticos matemáticos	Estaciones Meteorológicas Convencionales	Brillo solar	Horas de sol/día	Consulta datos CONELEC	Observación
	Estaciones meteorológicas automáticas	Cantidad de radiación	W/m ² /h	Consulta datos CONELEC	Cálculos matemáticos
	Atlas solar CONELEC	Cantidad de radiación	W/m ² /día	Consulta datos CONELEC	Cálculos matemáticos
	Diagnóstico de consumo	Potencia	W	Consulta	Observación

Elaborado por: Autora

VARIABLE DEPENDIENTE:	Diseño de un sistema fotovoltaico				
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un proceso de cálculos para la generación fotovoltaica partiendo de los datos del potencial energético solar en el sitio y las necesidades de los equipos a ser energizados.	Pluviómetros	Precipitación	mm/m ²	Análisis históricos	Software
	Energías renovables	Potencia	W	Cálculos	Software – Ecuaciones

Elaborado por: Autora

CAPITULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Dentro del análisis e interpretación de resultados se presentan los cálculos realizados a partir de los datos obtenidos del CONELEC, para determinar la radiación solar existente en la casa objeto de estudio, lo cual se presenta en los siguientes cuadros y figuras.

Cabe manifestar que los cálculos han sido realizados para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, debido a que representan la época del año con menor radiación debido a las condiciones climáticas existentes en la zona, y obviamente representa la temporada de análisis crítica, ya que de ello dependerá la viabilidad de la propuesta.

3.1. Cálculo de radiación solar

A continuación se muestra el cálculo de radiación estimado para los meses críticos. (Diciembre, enero, febrero, marzo)

Diciembre

Cuadro 2 Resumen cálculo radiación diciembre

RADIACIÓN SOLAR			
6 AL 10 DE DICIEMBRE			
	W/m² día	MJ/m² día	kW/m² día
6-dic	4858,08	17,49	4,86
7-dic	4890,06	17,60	4,89
8-dic	4920,14	17,71	4,89
9-dic	4948,31	17,81	4,95
10-dic	4974,55	17,91	4,97
PROMEDIO	4918,23	17,71	4,91

Elaborado por: Autora

Al realizar los respectivos cálculos se observa que la radiación solar en el mes de Diciembre es de 4,91 kW/m² promedio

Enero

Cuadro 3 Resumen cálculo radiación enero

RADIACIÓN SOLAR			
6 AL 10 DE ENERO			
	W/m² día	MJ/m² día	kW/m² día
6-ene	4916,41	17,70	4,92
7-ene	4885,98	17,59	4,89
8-ene	4853,62	17,47	4,85
9-ene	4819,38	17,35	4,82
10-ene	4783,25	17,22	4,78
PROMEDIO	4851,73	17,47	4,85

Elaborado por: Autora

Al realizar los respectivos cálculos se observa que la radiación solar en el mes de Enero es de 4,85 kW/m² promedio; al realizar una comparación tanto entre el mes de Diciembre como Enero se concluye que no existen cambios significativos en la variación.

Febrero

Cuadro 4 Resumen cálculo radiación febrero

RADIACIÓN SOLAR			
6 AL 10 DE FEBRERO			
	W/m² día	MJ/m² día	kW/m² día
6-feb	3349,69	12,06	3,35
7-feb	3275,56	11,79	3,28
8-feb	3200,59	11,52	3,20
9-feb	3124,83	11,25	3,12
10-feb	3048,37	10,97	3,05
PROMEDIO	3199,81	11,52	3,20

Elaborado por: Autora

Al realizar los respectivos cálculos se observa que la radiación solar en el mes de Febrero empieza a decrecer y es así que se obtiene un promedio de 3,20kW/m², un índice bajo en comparación con los meses de Diciembre y Enero.

Marzo

Cuadro 5 Resumen cálculo radiación marzo

RADIACIÓN SOLAR			
6 AL 10 DE MARZO			
	W/m² día	MJ/m² día	kW/m² día
6-mar	1218,60	4,39	1,22
7-mar	1153,00	4,15	1,15
8-mar	1088,97	3,92	1,09
9-mar	1026,54	3,70	1,03
10-mar	965,72	3,48	0,97
PROMEDIO	1090,56	3,93	1,09

Elaborado por: Autora

Al realizar los respectivos cálculos se observa que la radiación solar en el mes de Marzo decrece notablemente en comparación con los meses de Diciembre, Enero y Febrero, obteniendo 1,09 kW/m² promedio. Por lo que se concluye que Marzo es el mes más crítico de todo el año en cuanto a radiación solar se refiere.

3.2. Realización de la matriz energética solar en la ciudadela la Paz

El estudio del problema del aseguramiento energético, requiere de investigación de campo de acuerdo a sus recursos fundamentales (intensidad de la radiación solar), así como a su ubicación.

Los datos de radiación directa son los tomados del atlas solar del CONELEC, mismos que pueden ser observados en los cuadros de cálculo anteriores.

3.3. Análisis de radiación difusa

La ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba se encuentran entre las latitudes -1,683367 y -78,651454, es importante manifestar que el microclima es de región sierra y su irradiancia en su paso por la atmosfera es atenuada, una parte por dispersión y otra por absorción, debido a la contaminación.

En los datos obtenidos en el estudio para radiación difusa, entre los días 6 al 10 de diciembre 2016, enero, febrero y marzo de 2017, se presentan en el siguiente

Cuadro, además se presenta las imágenes satelitales con la latitud de la ciudadela la Paz.



Figura 8 Localización ciudadela La Paz

Fuente: Google earth

3.3.1. Cálculo Radiación Solar ciudadela La Paz

Cuadro 6 Resumen del cálculo radiación solar promedio

Radiación Global Diaria		
Día	KW/m ² día	W/m ² día
6 de Diciembre de 2016	4,9	4858,1
7 de Diciembre de 2016	4,9	4890,1
8 de Diciembre de 2016	4,9	4920,1
9 de Diciembre de 2016	4,9	4948,3
10 de Diciembre de 2016	5	4974,6
6 de Enero de 2017	4,9	4916,4
7 de Enero de 2017	4,9	4886
8 de Enero de 2017	4,9	4853,6
9 de Enero de 2017	4,8	4819,4
10 de Enero de 2017	4,8	4783,2

6 de Febrero de 2017	3,3	3349,7
7 de Febrero de 2017	3,3	3275,6
8 de Febrero de 2017	3,2	3200,6
9 de Febrero de 2017	3,1	3124,8
10 de Febrero de 2017	3	3048,4
6 de Marzo de 2017	1,2	1218,6
7 de Marzo de 2017	1,2	1153
8 de Marzo de 2017	1,1	1089
9 de Marzo de 2017	1	1026,5
10 de Marzo de 2017	1	965,7
Σ	70,3	70301,7
Media	3,515	4393,86

Elaborado por: Autora

CAPITULO IV

4. MARCO PROPOSITIVO

4.1. Diseño de un sistema de generación de energía solar fotovoltaico conectado a la red

Los sistemas fotovoltaicos con conexión a la red eléctrica convencional, son aquellos cuya instalación se ve motivada por el suministro de energía eléctrica de dicha red, ya sea con el fin de comercializar la producción del sistema fotovoltaico o como apoyo de producción energético de la red eléctrica convencional.

La propuesta tiene como objetivo diseñar una central fotovoltaica para una vivienda promedio en la ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba, misma que estará conectada a la red eléctrica convencional o pública, de manera que se pueda abastecer el propio consumo residencial.

Para la realización del diseño se han considerado cinco pasos fundamentales, que se presentan a continuación:

- 1) Se estima el consumo de energía diario del inmueble, para un día típico de cada mes. Este cálculo puede hacerse en base a la curva de carga residencial típica y las facturas de energía eléctrica de la vivienda. Así se puede estimar la potencia demandada máxima y la variación de potencia en función del tiempo para días típicos de cada mes.
- 2) Obtener información sobre la radiación, considerando la latitud y longitud de la localidad donde se ubica la vivienda. Esta información permite estimar la cantidad de energía que se podría generar por unidad de área, para un día típico de cada mes, con la inclinación y orientación que tengan los paneles seleccionados.
- 3) Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, donde se calcula la cantidad de paneles necesarios para alimentar el consumo en los meses más críticos, es decir en invierno. Deben tenerse en cuenta las restricciones de espacio existentes en el lugar de emplazamiento.

- 4) Especificación y selección de los elementos adicionales necesarios para operar la instalación correctamente, como inversor, protecciones eléctricas, conductores, entre otros.
- 5) Diseño de la malla a tierra para la seguridad de las personas y enseres de la vivienda.

Desarrollo

El primer conjunto de datos que se debe considerar es el consumo mensual de electricidad de la vivienda, el cual como se mencionó anteriormente se puede obtener a partir de las boletas de consumo de energía eléctrica.

Cuadro 7 Consumo histórico vivienda

Año consumo 2016	kWh/mes Consumo histórico de vivienda
Enero	321
Febrero	293
Marzo	309
Abril	309
Mayo	327
Junio	339
Julio	346
Agosto	338
Septiembre	203
Octubre	322
Noviembre	314
Diciembre	200
Acumulado	3621
Promedio	301,75

Elaborado por: Autora

El segundo conjunto de datos que se necesita es la radiación en la ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba, es decir el lugar de emplazamiento de la vivienda.

Como se observa en el capítulo anterior, la potencia radiante media horaria para un día típico de cada mes, es de $3,51 \text{ kW/m}^2$ o $4393,86 \text{ W/m}^2$.

4.2. Cálculo de módulos

Se realizará el cálculo para establecer el número de módulos (placas o paneles solares) en función de las condiciones de radiación. Para realizar este cálculo se ha elegido módulos de 225 W. Este dato viene dado en las características técnicas de los módulos elegidos según cada modelo y fabricante.

Cuadro 8 Datos característicos del fabricante del módulo fotovoltaico (Sunpower spr-225-BLK).

MÓDULO FOTOVOLTAICO	
Potencia	225W
Número de células en serie	72
$V_{oc} (25)^{\circ}$	48,5 V
$I_{sc} (25)^{\circ}$	5,87 A
V en el punto de máxima potencia (V_{MPP})(25) ⁰	45 V
I en el punto de máxima potencia (I_{MPP}) (25) ⁰	5,49 A
Temp. Coeficiente de tensión	-0,132v/k
Longitud	61,4in (1559mm)
Ancho	31,4in (799mm)
Profundidad	1,8in (46mm)
Peso	33lb (15kg)

Fuente: Sunpower, 2016

4.2.1. Número de módulos necesarios

Para el cálculo de los módulos necesarios en base al consumo histórico y la radiación disponible se tiene la siguiente fórmula.

Numero de módulos = (energía necesaria) / (HSP * rendimiento de trabajo * potencia pico del módulo)

El rendimiento de trabajo tiene en cuenta pérdidas producidas por el posible ensuciamiento y/o deterioro de los paneles fotovoltaicos (normalmente 0,7 – 0,8).

Entonces se tiene:

$$\#Módulos = (3621) / (3,51 * 0,8 * 225) = 5,73 \text{ Redondeando } 6 \text{ módulos}$$

4.2.4. Disposición de la agrupación de módulos

La distribución de los módulos (serie/paralelo) debe ser de tal manera que debe coincidir con el número de entradas del inversor elegido, de esta manera se tiene que:

Ecuación. 6

$$\text{Disposición mod. en paralelo} = \frac{\text{Total módulos}}{\text{Entradas de inversor}}$$

$$\text{Disposición mod. en paralelo} = \frac{6}{12}$$

$$\text{Disposición mod. en paralelo} = 0,5 = 1$$

Ahora se debe tratar de agrupar aproximadamente 1 módulo, como los cálculos son aproximaciones y se necesita tener valores enteros para hacer coincidir el número de agrupaciones de módulos con el número de entradas del inversor, se tomará la cantidad de 1 módulo, el cual estará contenido en 1 subcampo como se muestra en la siguiente figura. De forma que la agrupación de 1 contenga 6 módulos en serie agrupados en un subgrupo de 1 módulo.

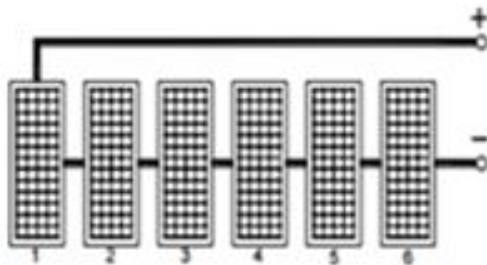


Figura 9 Subagrupación en serie de módulos fotovoltaicos

Elaborado por: Autora

Las dimensiones del subcampo será de 1 módulo, de esta manera se dispondrá de un subcampo cuyas dimensiones son de 1 x 1 módulos (1 filas, 1 columnas) que contienen 6 módulos en serie como lo muestra la siguiente figura.

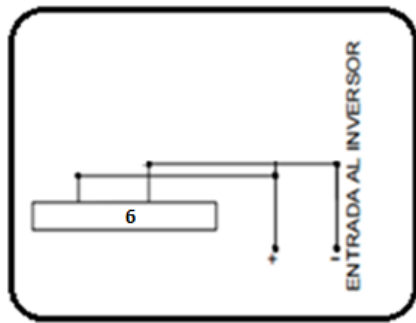


Figura 10 Subcampo de generador fotovoltaico

Elaborado por: Autora

Con estas consideraciones se cuenta con un número real definido de módulos:

Ecuación. 7

$$\text{Módulos real total} = 6 * 1 * 1$$

$$\text{Módulos real total} = 6$$

$$I \text{ subcampo} = 1 * 5,49A$$

$$I \text{ subcampo} = 5,49A$$

$$V \text{ subcampo} = 6 * 45$$

$$V \text{ subcampo} = 270V$$

De esta forma el campo fotovoltaico contendrá la siguiente disposición como se muestra en la siguiente figura.

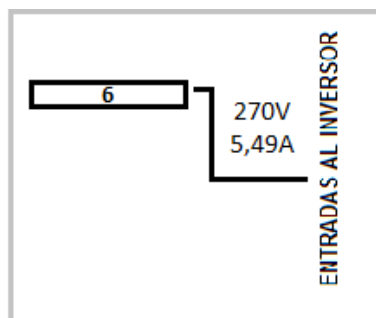


Figura 11 Disposición final de los módulos del campo fotovoltaico

Elaborado por: Autora

4.3. Potencia real generada

La potencia real generada por los módulos de la central se obtiene multiplicando el número total de módulos por la potencia individual de cada uno, de esta manera se tiene lo siguiente:

Ecuación. 9

$$Potencia\ real = 6 * 225\ W$$

$$Potencia\ real = 1350\ W\ (1,350\ kW)$$

Especificación de Accesorios

Además de los paneles fotovoltaicos, es necesario contar con varios elementos adicionales para la generación solar, que permiten el correcto funcionamiento del sistema, como son el inversor, el medidor de energía, los elementos destinados a proteger a las personas y a los elementos de la instalación, los cables y otros:

Inversor

Dispositivo electrónico encargado de convertir la corriente continua que entregan los paneles, en corriente alterna. El inversor está diseñado para suministrar energía a la vivienda (y ajustar la magnitud y frecuencia del voltaje alterno que entrega) y para inyectar energía en la red pública. Para escoger el inversor se debe considerar la potencia máxima generada por el conjunto de paneles (como caso extremo, puede suponerse que la radiación fuera $1000\ W/m^2$, lo que es un supuesto ideal). Luego se escoge un panel comercial con una capacidad un 5 a 10% mayor, para tener un margen de error en caso de sobrecarga. Normalmente cuentan con una protección contra cortocircuito en la salida, y detectan caídas de voltaje a la entrada, desconectándolo cuando llegan a un valor crítico. El lugar de instalación del inversor idealmente debe ser fresco y seco, protegido contra polvo, vapores, radiación directa y lluvia, y tener buena accesibilidad para hacer mantenimiento en caso de necesitarse.

A continuación, se mencionan varias marcas de entre las cuales se pueden optar.

- SMA

- Fronius
- Omnik New Energy
- ABB
- KACO
- Enphase Energy
- Growatt
- Ginlong Technology
- Schneider Electric
- Renesola
- Solarmax
- Steca Elektronik
- Zeversolar
- Hauwei
- Involar
- Samil Power
- LeadSolar
- Ingeteam
- Aros Solar Technology
- Sinvert
- Think Power
- OPTI- Solar
- Autarco
- Voltronic Power
- Goodwe
- MAstervolt
- Grintec.

La potencia del inversor a seleccionar debe superar ligeramente la potencia de generación (1000 W/m^2), para esto se ha seleccionado un inversor con las siguientes características:

Cuadro 9 Datos característicos del fabricante de inversor Sinvert 1000 MS

Datos técnicos de los inversores SINVERT PV									
Modelo de inversor *		350 M	420 M	700 MS	850 MS	1000 MS	1300 MS	1400 MS	1700 MS
Entrada DC									
Tensión en el punto de máxima potencia	V	450 – 750							
Tensión máx. de empleo	V	820 (opc. 900 V)							
Tensión máx. del sistema	V	900 (dno debe superarse)							
Potencia de entrada	kW	373	465	746	930	1119	1395	1492	1860
Corriente de entrada	A	820	1022	1640	2044	2460	3066	3280	4088
N.º de entradas DC		4	4	8	8	12	12	16	16
Corriente máx. por entrada DC	A	250							
Salida AC									
Conexión de red		3 ~ 230/400 V; 50 Hz (60 Hz opc.)							
Capacidad nominal	kW	357	435	714	870	1071	1305	1428	1740
Corriente de salida	A	518	630	1036	1260	1554	1890	2072	2520
Rendimiento									
eta EU	%	95,5	95,7	96	96,2	96,1	96,2	96,1	96,3
Máx. rendimiento	%	96,5							

Fuente: Sinvert, 2016

Medidor bidireccional

Es el encargado de medir las energías consumida e inyectada a la red, mediante la integración de la potencia activa en periodos de tiempo de 15 minutos, valores de energía que se van almacenando. Los medidores bidireccionales estáticos son los que la corriente y la tensión actúan sobre elementos electrónicos para obtener una salida de impulsos proporcional a la energía activa.

Los medidores de última generación permiten leer tanto la energía inyectada como la consumida por separado (no sólo la resta entre ambas), con lo cual se puede realizar el cálculo del pago por energía sin problemas para la distribuidora, cuando el precio del kWh comprado a la distribuidora es diferente al precio del kWh vendido a ésta. Además, algunos tienen la capacidad de detectar fallas y entregar información a la empresa distribuidora.

Algunas de las marcas más comunes en el mercado son:

- Clou
- Constan

- Elster
- EMH
- IMC
- Itron
- Kamstrup
- Ladis Gyr
- Star.

Tablero de distribución TDA

Este tablero es el lugar donde se alojan las protecciones y dispositivos de maniobra para los circuitos de la instalación eléctrica; el cual puede ser alimentado desde un tablero general o directamente desde el empalme, como es el caso que ocurre por lo general en el caso de consumos domésticos.

En un tablero de distribución se encuentran las principales protecciones, que son protecciones diferenciales y disyuntores monofásicos. La protección diferencial es un dispositivo electromagnético que sirve para proteger a las personas del contacto directo con partes activas de la instalación o indirecto (falla en el aislamiento) y el disyuntor monofásico (o interruptor automático) es el encargado de abrir el circuito cuando la corriente que circula por él sobrepasa un valor crítico, con la finalidad de evitar daños en los equipos eléctricos. Estas protecciones se pueden usar como protecciones generales (protegen toda la instalación) y también parciales, es decir que protegen cada uno de los circuitos o partes en que se subdivide la instalación; y también están las que protegen las conexiones del generador FV con la instalación de la vivienda y con la red de distribución pública.

Conductores

Los conductores de sistemas fotovoltaicos siempre se encuentran expuestos a fuertes cargas mecánicas, y condiciones ambientales extremas, por encontrarse al aire libre, por lo que deben ser más resistentes que los usados en el común de las instalaciones eléctricas; de tal manera que es recomendable usar cables de tipo PV ZZ-F, que son diseñados para aplicaciones fotovoltaicas. Los cables PV ZZ-F son unipolares, con doble aislamiento, y pueden transportar corriente continua con una

tensión de hasta 1800 V; ofrecen gran resistencia térmica y climática (contra rayos UV, frío y humedad), tienen una buena resistencia al fuego, y el material aislante que poseen también es de alta calidad. El conductor está estañado, ya que de esta forma tiene mayor resistencia contra la oxidación. Para el cálculo de la sección de conductores en corriente continua, se empleará la siguiente fórmula; que considera una caída de voltaje máxima aceptable de 3% del voltaje del generador fotovoltaico:

Ecuación. 10

$$S \geq \frac{2 \cdot L \cdot P}{0,03 \cdot V^2 \cdot \sigma}$$

Dónde:

S = sección transversal del conductor en m^2

L = largo del conductor m

P = máxima potencia suministrada por el generador FV W

V = voltaje del generador V

σ = conductividad eléctrica del cobre puro de $5,8 \cdot 10^7 S/m$, a una temperatura de $20^\circ C$.

La sección obtenida con la ecuación anteriormente presentada se debe ajustar al valor normalizado (comercial) inmediatamente superior.

Conexión y sincronización a la Red Eléctrica Pública

Un Sistema fotovoltaico conectado a una Red Eléctrica Pública, está constituido por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, generar energía eléctrica en forma de corriente continua (CC) y acondicionar dicha energía a las características que la hagan utilizable por los consumidores conectados a la red de distribución de corriente alterna (CA). Este tipo de instalaciones fotovoltaicas trabajan en paralelo con la Red Eléctrica Pública. El siguiente diagrama muestra las componentes principales de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red Eléctrica Pública. (SFV-IR).

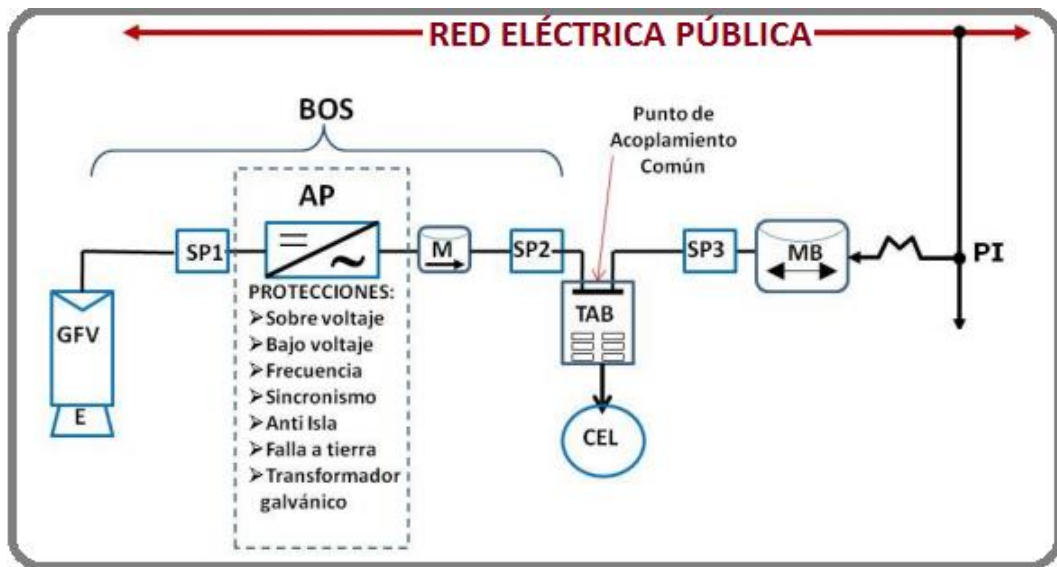


Figura 12 Diagrama de bloques de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red Eléctrica pública

Elaborado por: Autora

La nomenclatura de las siglas mostradas en el diagrama son las siguientes:

GFV: Módulo, arreglo o Generador fotovoltaico.

E: Estructura de soporte para el GFV.

SP: Sistema de protección para seguridad.

AP: Acondicionador de potencia o inversor.

TAB: Tablero de distribución o interfaz entre el GFV y la Red Eléctrica Pública.

MB: Medidor bidireccional de energía.

M: Medidor de energía eléctrica (wattorímetro).

CEL: Cargas Eléctricas Locales.

BOS: Siglas que denotan Balance del Sistema.

Medios de Desconexión Dsc.

De acuerdo a las normas de seguridad vigentes en el Ecuador, se requiere de un Medio de Desconexión (Dsc), para abrir los conductores eléctricos NO aterrizados en todas las fuentes de energía. En consecuencia, todos los SFV-IR deben tener

medios de desconexión en los circuitos de salida del GFV o entrada del inversor, y salida del inversor, como un Sistema de Protección para seguridad del usuario; es decir, tanto el circuito de salida fotovoltaica como el del inversor deben satisfacer dicho requerimiento. En la siguiente figura se muestra un diagrama esquemático de un SFV-IR en donde se muestra las posiciones sugeridas en donde deben localizarse los Medios de Desconexión (Dsc).

- Los Dsc pueden ser interruptores de cuchilla, interruptores termomagnéticos, o interruptores de palanca y deben seleccionarse de acuerdo al tipo de corriente a manejar (corriente alterna o corriente continua).
- Los Dsc para el CS-FV (zona de corriente continua) deben ser del tipo de Interrupción con carga; debiendo ser bipolares para interrumpir efectivamente tanto el conductor positivo como el conductor negativo. En el circuito de salida fotovoltaico (CS-FV) se recomienda que el Dsc sea multipolar (más de dos polos) para evitar el arqueo.

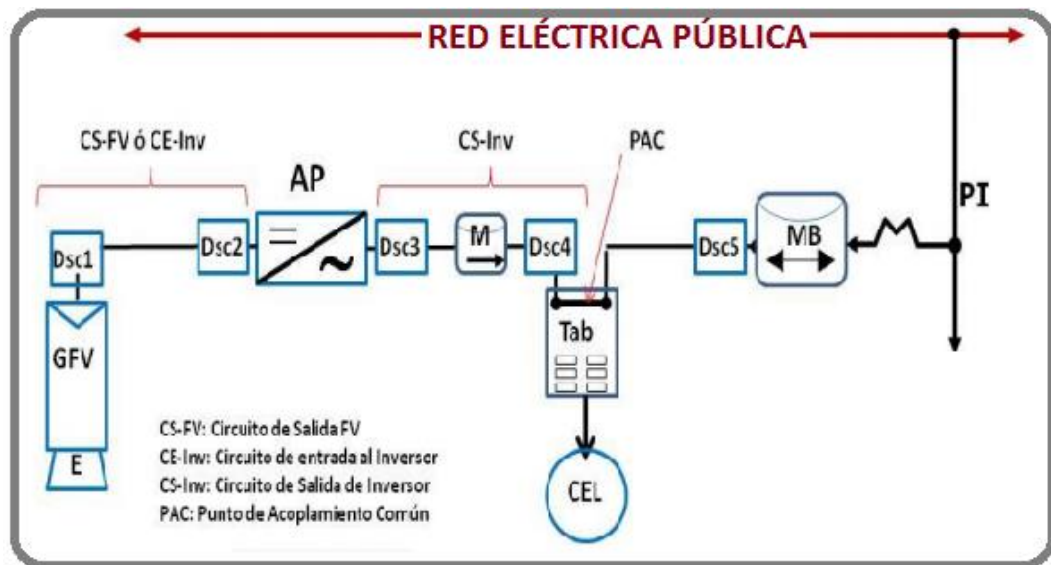


Figura 13 Diagrama esquemático de un SFV-IR

Elaborado por: Autora

- El circuito de salida fotovoltaico (CS-FV) debe tener un Medio de Desconexión (Dsc1) tan cerca como sea posible al GFV.

- Cuando el Inversor NO se encuentre “a la vista” del Medio de Desconexión del GFV (Dsc1) y el inversor NO incluya un Medio de Desconexión en su circuito de entrada (CE-Inv), se requiere a la entrada del inversor un Medio de Desconexión (Dsc2).
- Cuando el Inversor NO tenga un Medio de Desconexión en su Circuito de Salida (CS-Inv), se requiere a la salida del inversor un medio de desconexión (Dsc3) tan cerca como sea posible de éste.
- La conexión del circuito de salida del inversor (CS-Inv) en el Punto de Acoplamiento Común (PAC), que se sugiere sea en el Tablero de Distribución General (TAB), debe hacerse a través de un Medio de Desconexión (Dsc4).
- El Medio de Desconexión Dsc5 es exigido por normas de seguridad, como el interruptor de servicio de la acometida que debe estar instalado de manera accesible al personal del Suministrador de energía eléctrica.
- Los Medios de Desconexión deben estar contenidos en una caja con grado de protección de acuerdo a su ubicación; interior IP54 (NEMA tipo 2) o exterior IP65 (NEMA tipo 4 ó 4X en ambientes salinos) o superior. Alternativamente, pueden instalarse en o dentro del inversor siempre y cuando se pueda garantizar la desconexión eléctrica para realizar trabajos de servicio y mantenimiento.

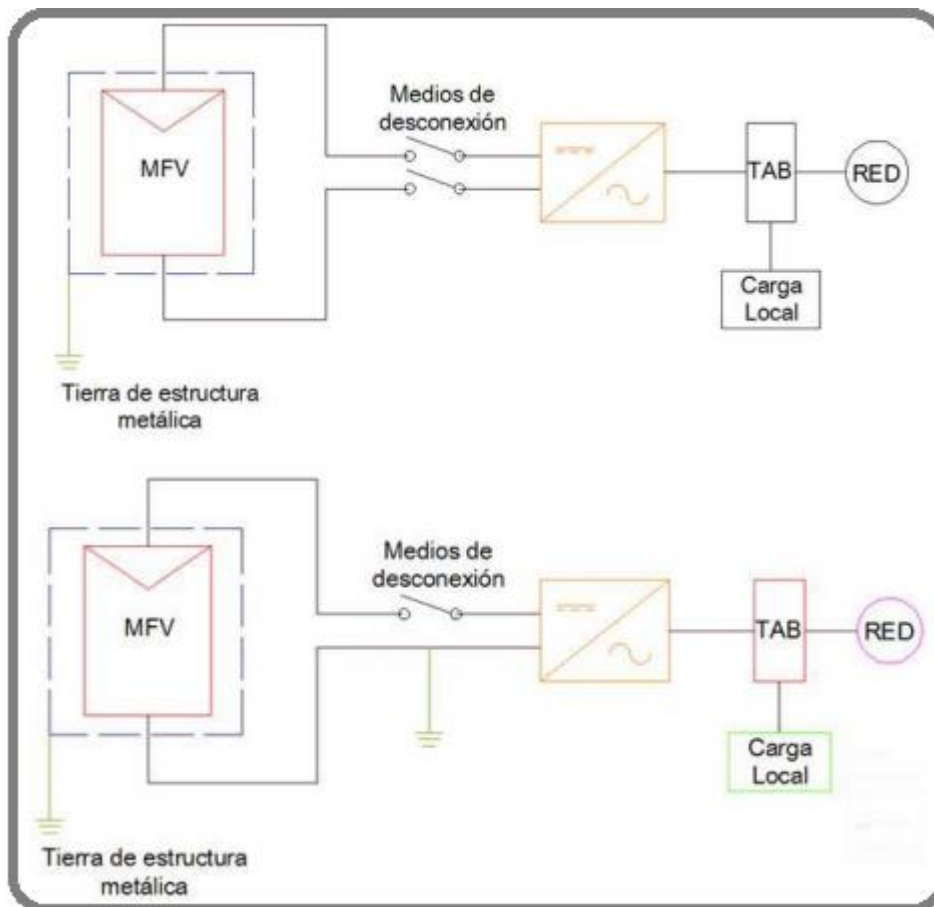


Figura 14 Localización de medios de desconexión en un sistema flotante y aterrizado.

Elaborado por: Autora

En el caso de micro inversores que tienen integrados conectores (Por ejemplo del tipo MC4) o equivalente) para la terminal positiva y terminal negativa en el circuito de entrada, se acepta al conector/enchufe como medio de desconexión para el circuito de salida fotovoltaica. Se aceptan los conectores para aplicaciones fotovoltaicas como medios de desconexión para el circuito de salida fotovoltaica, siempre y cuando tengan la ampacidad correspondiente. Para instalaciones fotovoltaicas realizadas sobre lozas o techos de inmuebles (casas, comercios, o naves industriales, etc.) y el inversor se encuentre ubicado en el interior del inmueble, se debe contar con un sistema de desconexión de emergencia que conste de un contactor o interruptor y un botón de paro cuya función es desconectar el

generador fotovoltaico del resto del sistema en caso de una emergencia (incendio o temblor). El interruptor o contactor se debe colocar en la Caja de Desconexión, en los conductores del circuito de salida del arreglo FV, mientras que el botón de paro, debe estar instalado tan cerca como sea posible del Tablero de distribución o de la acometida del suministrador de potencia eléctrica.

Malla de tierra

En instalaciones fotovoltaicas domésticas convencionales, donde los paneles se ubican sobre el techado, es suficiente la tierra de protección que se emplea en la instalación eléctrica de la vivienda. Esta consiste en una barra de acero cubierta con cobre (“copperweld”) enterrada verticalmente en el terreno, donde se conectan las estructuras metálicas de los artefactos eléctricos y el neutro de la instalación.

La barra usualmente tiene una longitud de 1,5 a 3 m (dependiendo de la resistividad del terreno, entre otras cosas) y de 5/8, ¾ ó 1 pulgada de diámetro según la resistencia mecánica del terreno. (Conexweld, 2015) Los paneles fotovoltaicos generalmente se conectan con los terminales y cables positivo (+) y negativo (-) aislados de tierra, pero con todas las estructuras metálicas de los paneles y eventuales cubiertas metálicas de cables de C.C., conectadas a la puesta a tierra de la instalación. Esto es importante, pues con una instalación fotovoltaica ubicada en una techumbre, hay mayor riesgo de incendios de origen eléctrico que se inician en dicha instalación, y que se pueden evitar con la puesta a tierra. (Conexweld, 2015)

Cabe manifestar que en cuanto a la sincronización del sistema a la red pública, se instalarán los equipos de medición respectivos, conforme a ello en los días de baja radiación y producción de los paneles, el suministro de la red pública abastecerá el hogar, no obstante, los momentos en que el sistema sustente el consumo de energía y exista un excedente, este será incorporado al sistema público.

Ubicación del sistema

La vivienda seleccionada cuenta con un área de construcción total de 196 m², teniendo dimensiones de 14 m²x14 m², cuenta con una terraza despejada, que es el lugar donde serán ubicados los paneles, mismos que tienen dimensiones de 1,7 m² x 1 m², de tal manera que el sistema completo de paneles ocuparía un espacio de

aproximadamente 6 m x 1,7 m, lo cual se observa en la siguiente figura a manera de ilustración.

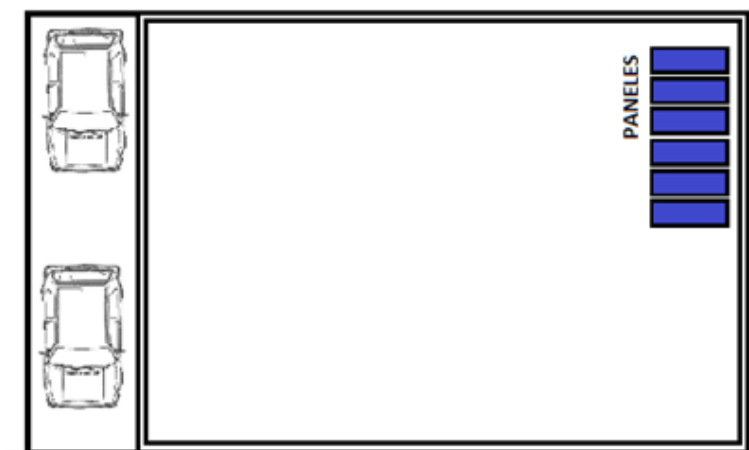


Figura 15 Ubicación del sistema

Elaborado por: Autora

4.4. Cálculo de la producción anual esperada

De acuerdo a los cálculos realizados se tiene el siguiente Cuadro:

Cuadro 10 Hora solar pico para la Ciudadela La Paz.

Día	MJ/m²	kW*h/m²
6 de Diciembre de 2016	17,5	4,9
7 de Diciembre de 2016	17,6	4,9
8 de Diciembre de 2016	17,7	4,9
9 de Diciembre de 2016	17,8	4,9
10 de Diciembre de 2016	17,9	5
6 de Enero de 2017	17,7	4,9
7 de Enero de 2017	17,6	4,9
8 de Enero de 2017	17,5	4,9
9 de Enero de 2017	17,3	4,8
10 de Enero de 2017	17,2	4,8
6 de Febrero de 2017	12,1	3,3
7 de Febrero de 2017	11,8	3,3
8 de Febrero de 2017	11,5	3,2

9 de Febrero de 2017	11,2	3,1
10 de Febrero de 2017	11	3
6 de Marzo de 2017	4,4	1,2
7 de Marzo de 2017	4,2	1,2
8 de Marzo de 2017	3,9	1,1
9 de Marzo de 2017	3,7	1
10 de Marzo de 2017	3,5	1
Σ	253,1	70,3
Media	12,655	3,515

Elaborado por: Autora

Se debe mencionar que de acuerdo a la normativa de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur (E.E.R.C.S.) para la generación distribuida utilizando sistemas fotovoltaicos, “la conexión a la red de distribución para los sistemas de generación fotovoltaica del tipo residencial (de hasta 1kW), se conectarán directamente a la red de baja tensión (220/110V) tomando en cuenta las consideraciones que debe tener el inversor de dicha instalación en cuanto a su conexión con la red, además se debe realizar una inspección previa por parte del personal de la empresa distribuidora para determinar si la red es apta para la conexión en dicho punto”. (E.E.R.C.S., 2015)

De tal manera que para conectar un sistema fotovoltaico directamente a la red de baja tensión, es necesario generar una potencia pico de 1kW con el generador fotovoltaico y además se debe determinar las diferentes pérdidas tanto para los datos de máxima y mínima radiación, en la energía obtenida al final.

De acuerdo a los cálculos realizados se tiene para la ciudadela La Paz lo siguiente:

$$\text{HSP (Hora Solar Pico)} = 3,51 \text{ kWh}$$

$$P = 1 \text{ kW}$$

Por lo tanto el valor de Energía será:

$$E = P * \text{HSP}$$

$$E = 3,51 \text{ Kwh}$$

Al valor obtenido de energía se lo multiplica por el rendimiento del inversor elegido, en el presente caso el elegido es el inversor Sinvert 1000 MS, que es un

inversor monofásico para conexión a red de 2,5 kW de potencia nominal, de esta manera entonces se tiene:

Ecuación. 12

$$E=3,51\text{kWh}*0,96$$

$$E=3,3696\text{kWh}$$

Procediendo con el cálculo, se multiplica E por el coseno del ángulo al cual va a estar orientado el panel solar, para ello en el presente proyecto se selecciona una inclinación de 10° , en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una baja captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz.

Ecuación. 13

$$3,3696\text{kWh} * \cos 10^\circ = 3,3184 \text{ kWh}$$

Entonces, para obtener un valor de energía por mes se tiene el siguiente Cuadro:

Cuadro 11 Energía mensual generada

Para Potencia a Instalar (1kw)	Mes	HSP	Energía	Eficiencia % 0,96	Ángulo °	Corrección de Ángulo	Días	kWh/mes máximo a generar	Para potencia a instalar de 1,35kW	kWh/mes Consumo histórico de vivienda	% de sustentación
Cos(10)	Enero	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	321	60%
	Febrero	3,3	3,3	3,168	10	3,11987174	29	90,48	122,14	293	42%
	Marzo	1,2	1,2	1,152	10	1,13449882	31	35,17	47,48	309	15%
	Abril	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	30	138,98	187,62	309	61%
	Mayo	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	327	59%
	Junio	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	30	138,98	187,62	339	55%
	Julio	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	346	56%
	Agosto	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	338	57%
	Septiembre	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	30	138,98	187,62	203	92%
	Octubre	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	322	60%
	Noviembre	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	30	138,98	187,62	314	60%
	Diciembre	4,9	4,9	4,704	10	4,63253683	31	143,61	193,87	200	97%
Total Año kWh								1543,20	2083,32	3621	

Elaborado por: Autora

El consumo histórico generado por la vivienda objeto de estudio, ha sido tomado de las planillas mensuales de enero a diciembre del año 2016, sin embargo, se adjunta un inventario de artefactos domésticos de la vivienda, con las estimaciones de consumo respectivas, lo cual sustenta también el consumo generado promedio.

Cuadro 12 Inventario de artefactos y consumo estimado

ARTEFACTO	CANTIDAD	POTENCIA CADA ARTEFACTO W	HORAS USO DIARIA	CONSUMO DIARIO GENERADO kWh	CONSUMO MENSUAL GENERADO kWh	
Televisor LCD	4	75	4	1200	Enero	309,80
Decodificador	4	35	4	560	Febrero	279,81
Focos	20	20	6	2400	Marzo	309,80
Computador de escritorio	1	250	3	750	Abril	299,80
Lavadora	1	550	1	550	Mayo	309,80
Plancha	1	1200	0,16	192	Junio	299,80
Refrigeradora	1	575	7	4025	Julio	309,80
Licuada	1	350	0,083	29,05	Agosto	309,80
Minicomponente	1	75	0,5	37,5	Septiembre	299,80
Microondas	1	1000	0,25	250	Octubre	309,80
				9993,55	Noviembre	299,80
					Diciembre	309,80
					Total	3647,64

Elaborado por: Autora

4.5. Análisis económico

Para un adecuado análisis que determine la viabilidad económica del proyecto propuesto, es importante mostrar una previsión de la cuenta de resultados de la instalación durante los 25 años de vida útil estimada, para lo cual se estima el ingreso anual que produce el sistema.

4.5.1. Presupuesto de la instalación

En el siguiente Cuadro, se detallan todos los rubros que se deberán incurrir por motivo de materiales y equipos para la instalación fotovoltaica, éste presupuesto se considera para la vivienda seleccionada para el estudio.

Cuadro 13 Presupuesto instalación

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	PRECIO TOTAL USD
Módulo Suntech STP250S Monocristalino	6	306,05	1836,3
Inversor Sinvert 1000 MS	1	1634,45	1634,45
Soporte de paneles	3	150	450
Anclajes de paneles	3	3,5	10,5
Interruptor magnético 30A	1	45	45
Conector macho 6mm	1	2,5	2,5
Conector hembra 6mm	1	2,7	2,7
Cable 2,5mm	60	2,1	126
Contador monofásico	1	1200	1200
Instalación del sistema	1	1500	1500
		Total	6807,45

Fuente: Comercial MM

Elaborado por: Autora

4.5.2. Previsión de ingresos anuales

Los ingresos anuales previstos corresponden a la venta de la energía eléctrica que produce la instalación. Viene determinada por la potencia de la instalación y el precio de transferencia. Según lo que establece el Conelec en su REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11, en donde se detalla que los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh para la instalación fotovoltaica dentro del territorio continental es de : 40,03 centavos de dólar. A continuación se adjunta el Cuadro con la previsión de energía eléctrica producida y los ingresos recibidos:

Cuadro 14 Ingreso generado

Mes	kWh/mes	Precio por kWh	Ingresos por excedente	Pago mensual histórico	Ingreso por sustentación	Total ingreso
Enero	0,00	0,4003	0,00	41,44	25,03	25,03
Febrero	0,00		0,00	37,76	15,74	15,74
Marzo	0,00		0,00	39,34	6,04	6,04
Abril	0,00		0,00	39,84	24,19	24,19
Mayo	0,00		0,00	42,24	25,04	25,04
Junio	0,00		0,00	30,82	17,06	17,06
Julio	0,00		0,00	44,75	25,07	25,07
Agosto	0,00		0,00	43,61	25,01	25,01
Septiembre	0,00		0,00	36,47	33,71	33,71
Octubre	0,00		0,00	43,09	25,94	25,94
Noviembre	0,00		0,00	42,05	25,13	25,13
Diciembre	0,00		0,00	0,00	25,87	25,08
TOTAL	0,00		0,00	467,28		273,05

Elaborado por: Autora

Al no existir excedente de producción de energía que pueda integrarse a la red pública no se percibe ingreso por dicho rubro, sin embargo los ingresos grabados están dados por el ahorro en pago de planilla, lo cual se ve en la columna de ingreso por sustentación, valor que se obtiene de multiplicar el monto mensual de pago de planilla histórico por el porcentaje de sustentación generado por la energía producida por el sistema propuesto, teniendo un ingreso anual acumulado de 273,05 usd.

4.5.3. Cálculo de Valor actual Neto

Para hallar el VAN es necesario obtener la tasa mínima atractiva de retorno, lo cual se describe en el siguiente cuadro.

Cuadro 15 TMAR

Indicadores	%
Tasa Pasiva*	4,53%
Tasa de inflación global de la economía*	3,59%
Riesgo del proyecto (mediano) *	5,24%
TMAR :	13,36%

Fuente: Banco Central del Ecuador

Cuadro 16 VAN

Tasa descuento	13,36%
Años	Flujos
Inversión	6.807,45
Año 1	273,05
Año 2	273,05
Año 3	273,05
Año 4	273,05
Año 5	273,05
Año 6	273,05
Año 7	273,05
Año 8	273,05
Año 9	273,05
Año 10	273,05
VAN	7.293,86

Elaborado por: Autora

4.5.4. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

Cuadro 17 TIR

Años	Flujos
Inversión	6.807,45
Año 1	273,05
Año 2	273,05
Año 3	273,05
Año 4	273,05
Año 5	273,05
Año 6	273,05
Año 7	273,05
Año 8	273,05
Año 9	273,05
Año 10	273,05
TIR	-13,90%

Elaborado por: Autora

Como se observa se tiene una TIR de -13,90%, misma que a pesar de ser negativa no significa que exista pérdidas, sino solamente que no tiene un rendimiento como cualquier otro tipo de inversión que persiga lucro, sin embargo, se debe considerar que en este aspecto no solamente entra en juego la factibilidad económica, sino también la social y ambiental, siendo el proyecto un gran aporte para el medio ambiente ya que es un medio de generación de energías limpias y renovables.

Por otro lado cabe mencionar que el sistema tiene una vida útil de 25 años, de tal manera que se estima que la recuperación de capital será en alrededor de 20 años (multiplicando los ingresos anuales por el número de años cuando ya se obtiene el monto de inversión, es decir $273,05 \times 20$); de tal manera que se tendría un estimado de uso de 5 años de manera gratuita que sería la rentabilidad del proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio y análisis documental por medio del cual se pudo sustentar teórica y técnicamente la evaluación del potencial energético solar y a su vez para el diseño del sistema de generación fotovoltaico.
- La medición de radiación en la ciudadela La Paz de la ciudad de Riobamba para determinar el potencial energético, fue realizado en base a datos obtenidos del INAMHI y CONELEC, tales como humedad, inclinación, horas de luz, etc.; a partir de los cuales se aplicaron los cálculos matemáticos respectivos. La toma de información fue realizada en diferentes días, específicamente desde el 6 al 10 de Diciembre del año 2016, Enero, Febrero y Marzo del año 2017, en la ciudadela la Paz, ubicada en la Ciudad de Riobamba Provincia de Chimborazo; dichos días fueron tomados considerando que son los meses más críticos para el proyecto, ya que suelen normalmente presentar menor brillo solar por la estación invernal que atraviesa la zona de estudio. Se obtuvo una media de radiación diaria de 3,51 kWh, lo cual indica que existe radiación suficiente para que sea factible la aplicación del sistema de generación de energía solar fotovoltaica.
- El diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red se realizó mediante el análisis de los datos obtenidos con anterioridad, de la misma manera se procuró que el sistema se adapte a las condiciones de las familias de la Ciudadela La Paz, considerando las necesidades de los mismos, a fin de generar satisfacción al usuario mediante la utilización del diseño propuesto; el sistema propuesto tienen 6 paneles, que no sustentan en su totalidad al consumo de energía, no obstante contribuye en forma significativa al ahorro económico de la familia.

- Básicamente al considerarse que el diseño presentado usa energía renovable, se estima que el impacto ambiental es positivo, y ello representa la mayor factibilidad del proyecto, ya que haciendo referencia al aspecto económico, es evidente que no es atractivo como inversión.

RECOMENDACIONES

- Fomentar el estudio de la utilización de energías renovables, mediante el análisis de indicadores que permitan determinar la eficacia de este tipo de proyectos, las instituciones encargadas de la brindar energía al país deben considerar la creación de nuevas fuentes de energía.
- La participación conjunta tanto entre ciudadanos, estudiantes, docentes, e instituciones a quien le competa, buscar soluciones para la generación de nuevas formas de generar energía utilizando los recursos disponibles, para lo cual es necesario el análisis de información recopilada a fin de tomar decisiones en beneficio del país.
- Fomentar dentro de las instituciones educativas el desarrollo de nuevos diseños e instrumentos que permitan la generación de energía a través de la utilización de energía renovable, para de esta manera no depender únicamente de la energía no renovable que con el transcurso del tiempo ésta se agotará.
- Incentivar la creación de proyectos sostenibles y sustentables cuidando el medio ambiente y el entorno en el que el ser humano habita, procurando el bienestar de todo ser vivo que se encuentre en el mismo.

Bibliografía

- Arenas, D., & Zapata, H. (2011). *Libro Intercativo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Barrera, R. (2009). La investigación y el desarrollo en energías renovables en Iberoamérica. Situación actual y tendencias. *Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana* , 47-70.
- Cañar, D. (2014). *Energía solar térmica para generación de electricidad en el Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Castañeda, D., Niño, R., & Herrera, J. (2010). Diseño e implementación de un sistema de telemetría para el captador solar del grupo de investigación de energías alternativas GIEAUD enmarcado en el grupo de investigación TELETECNO en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá-Colombia. *Revista de Sistémica, Cibernética e Informática*.
- Castejón, A., & Santamaría, G. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. México: Editex.
- Castro, M. (2004). *Modelo práctico de un sistema solar fotovoltaico*. Bogotá: Books bog.
- Conexweld. (11 de octubre de 2015). *Sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas*. Obtenido de <http://conexweld.net/>.
- Chuquin, N., & Márquez, F. (2011). *Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente ZELIO*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .
- Estrada, C., & Arancibia, C. (2010). Las energías renovables: La energía solar y sus aplicaciones . *Revista Digital Universitaria (UNAM)*.

- García, M., & Arribas, L. (1999). *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. Madrid: IEPALA.
- Heras, M. (2007). *Montaje eléctrico y electrónico en sistema solares fotovoltaicos*. IC Editores.
- Jarillo, O. (2016). *La ceación, el continente americano y la cultura cainiana*. California: Windmille .
- Labandeira, J., Linares, P., & Wüzburg, K. (2012). Energías renovables y cambio climático. *Eforenergy*.
- Leloux, J., Narvarte, L., Moreton, R., & Lorenzo, E. (2015). *Método de generación de datos de irradiación solar a partir de datos de producción energética de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ramírez, L., Mora, L., Sidrach, M., Navarro, A., Varela, M., & Echeandía, M. (2003). Radiación solar global en la España Peninsular a partir de imágenes de satélite. *Plataforma Solar de Almería*.
- Roldán, J. (2012). *Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial* . España: Reprográficas.
- Secretaría de energía Argentina. (2008). *Energías Renovables 2008- Energía solar* . Argentina.
- Universitat Politècnica de Catalunya . (s.f). *Instalación Solar Fotovoltaica conectada a red* . Universitat Politècnica de Catalunya .

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de radiación solar

Cuadro 18 Cálculo radiación solar 6 de Diciembre 2016

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,323	2,243	166,99	0,60
6	0,372	1,943	219,30	0,79
7	0,422	1,714	274,38	0,99
8	0,469	1,544	327,60	1,18
9	0,508	1,423	374,46	1,35
10	0,539	1,343	411,01	1,48
11	0,558	1,297	434,21	1,56
12	0,565	1,281	442,16	1,59
13	0,558	1,297	434,21	1,56
14	0,539	1,343	411,01	1,48
15	0,508	1,423	374,46	1,35
16	0,469	1,544	327,60	1,18
17	0,422	1,714	274,38	0,99
18	0,372	1,943	219,30	0,79
19	0,323	2,243	166,99	0,60
20	0,276	2,619	121,59	0,44
21	0,236	3,060	86,06	0,31
22	0,206	3,514	61,63	0,22
23	0,187	3,876	47,82	0,17
24	0,180	4,016	43,43	0,16
1	0,187	3,876	47,82	0,17
2	0,206	3,514	61,63	0,22
3	0,236	3,060	86,06	0,31
4	0,276	2,619	121,59	0,44
5	0,323	2,243	166,99	0,60
	Radiación Global Diaria		4858,1	17,5
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

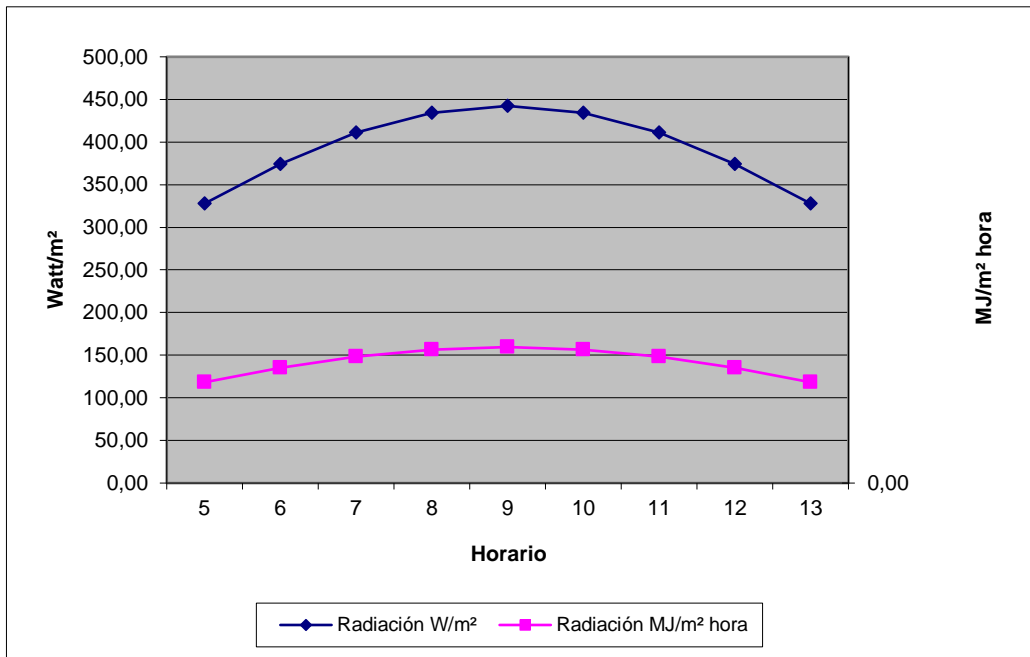


Figura 16 Radiación solar 6 de Diciembre 2016

Elaborado por: Autora

7 diciembre de 2016

Cuadro 19 Cálculo radiación solar 7 de Diciembre 2016

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,325	2,229	169,02	0,61
6	0,374	1,933	221,41	0,80
7	0,424	1,706	276,53	1,00
8	0,470	1,538	329,77	1,19
9	0,510	1,418	376,62	1,36
10	0,541	1,338	413,17	1,49
11	0,560	1,292	436,37	1,57
12	0,566	1,277	444,32	1,60
13	0,560	1,292	436,37	1,57
14	0,541	1,338	413,17	1,49
15	0,510	1,418	376,62	1,36
16	0,470	1,538	329,77	1,19
17	0,424	1,706	276,53	1,00
18	0,374	1,933	221,41	0,80
19	0,325	2,229	169,02	0,61
20	0,278	2,600	123,49	0,44
21	0,239	3,034	87,81	0,32
22	0,208	3,479	63,21	0,23
23	0,189	3,832	49,27	0,18
24	0,182	3,970	44,82	0,16
1	0,189	3,832	49,27	0,18
2	0,208	3,479	63,21	0,23
3	0,239	3,034	87,81	0,32
4	0,278	2,600	123,49	0,44
5	0,325	2,229	169,02	0,61
	Radiación Global Diaria		4890,1	17,6
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

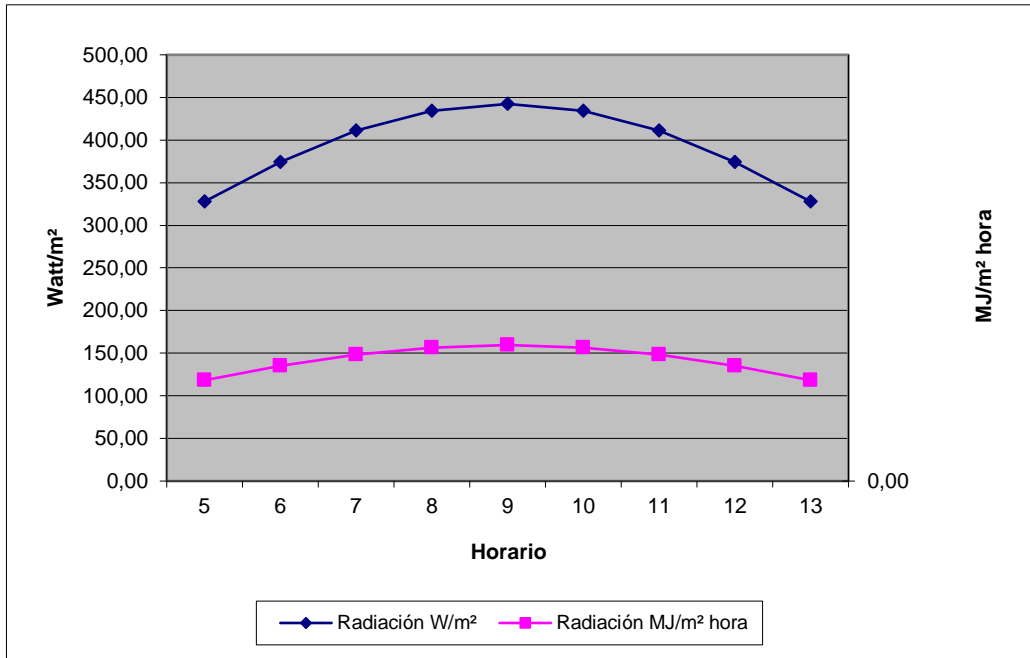


Figura 17 Radiación solar 7 de Diciembre 2017

Elaborado por: Autora

8 de Diciembre del 2016

Cuadro 20 Cálculo radiación solar 8 de Diciembre 2016

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,327	2,216	170,92	0,62
6	0,376	1,924	223,39	0,80
7	0,426	1,699	278,55	1,00
8	0,472	1,533	331,80	1,19
9	0,512	1,414	378,66	1,36
10	0,542	1,334	415,20	1,49
11	0,562	1,289	438,39	1,58
12	0,568	1,274	446,34	1,61
13	0,562	1,289	438,39	1,58
14	0,542	1,334	415,20	1,49
15	0,512	1,414	378,66	1,36
16	0,472	1,533	331,80	1,19
17	0,426	1,699	278,55	1,00
18	0,376	1,924	223,39	0,80
19	0,327	2,216	170,92	0,62
20	0,280	2,582	125,29	0,45
21	0,240	3,009	89,46	0,32

22	0,210	3,446	64,70	0,23
23	0,191	3,793	50,65	0,18
24	0,184	3,927	46,16	0,17
1	0,191	3,793	50,65	0,18
2	0,210	3,446	64,70	0,23
3	0,240	3,009	89,46	0,32
4	0,280	2,582	125,29	0,45
5	0,327	2,216	170,92	0,62
	Radiación Global Diaria		4920,1	17,7
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

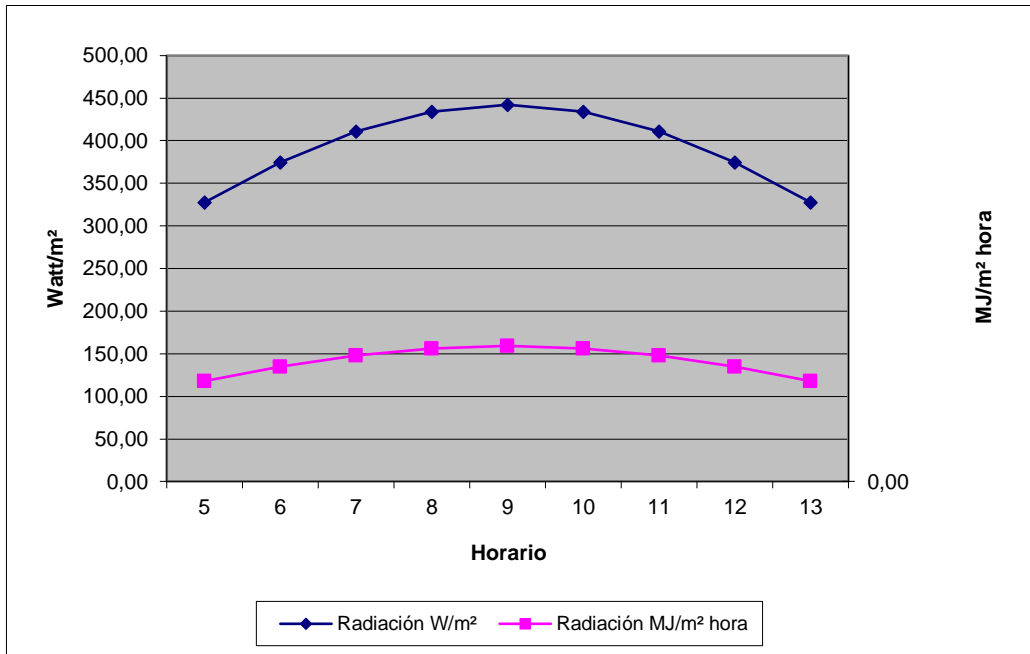


Figura 18 Radiación solar 8 de Diciembre 2016

Elaborado por: Autora

9 de Diciembre del 2016

Cuadro 21 Cálculo radiación solar 9 de Diciembre 2016

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,328	2,204	172,71	0,62
6	0,378	1,915	225,24	0,81
7	0,428	1,693	280,44	1,01
8	0,474	1,527	333,70	1,20
9	0,513	1,409	380,56	1,37
10	0,544	1,330	417,10	1,50
11	0,563	1,285	440,29	1,59
12	0,570	1,270	448,23	1,61
13	0,563	1,285	440,29	1,59
14	0,544	1,330	417,10	1,50
15	0,513	1,409	380,56	1,37
16	0,474	1,527	333,70	1,20
17	0,428	1,693	280,44	1,01
18	0,378	1,915	225,24	0,81
19	0,328	2,204	172,71	0,62
20	0,282	2,566	126,98	0,46
21	0,242	2,987	91,01	0,33
22	0,212	3,416	66,12	0,24
23	0,193	3,756	51,95	0,19
24	0,186	3,888	47,42	0,17
1	0,193	3,756	51,95	0,19
2	0,212	3,416	66,12	0,24
3	0,242	2,987	91,01	0,33
4	0,282	2,566	126,98	0,46
5	0,328	2,204	172,71	0,62
	Radiación Global Diaria		4948,3	17,8
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

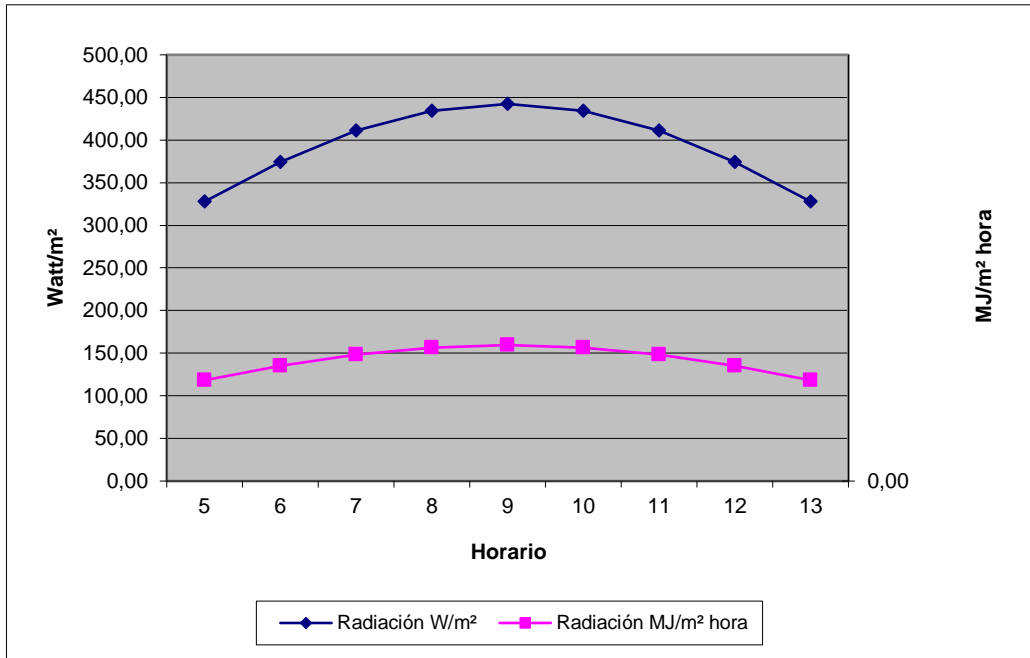


Figura 19 Radiación solar 9 de Diciembre 2016

Elaborado por: Autora

10 de Diciembre del 2016

Cuadro 22 Cálculo radiación solar 10 de Diciembre 2016

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,330	2,194	174,38	0,63
6	0,379	1,907	226,97	0,82
7	0,429	1,686	282,20	1,02
8	0,475	1,522	335,48	1,21
9	0,515	1,405	382,34	1,38
10	0,545	1,327	418,86	1,51
11	0,565	1,282	442,05	1,59
12	0,571	1,267	449,99	1,62
13	0,565	1,282	442,05	1,59
14	0,545	1,327	418,86	1,51
15	0,515	1,405	382,34	1,38
16	0,475	1,522	335,48	1,21
17	0,429	1,686	282,20	1,02
18	0,379	1,907	226,97	0,82
19	0,330	2,194	174,38	0,63
20	0,284	2,551	128,55	0,46
21	0,244	2,966	92,47	0,33

22	0,214	3,389	67,44	0,24
23	0,194	3,723	53,17	0,19
24	0,188	3,852	48,60	0,17
1	0,194	3,723	53,17	0,19
2	0,214	3,389	67,44	0,24
3	0,244	2,966	92,47	0,33
4	0,284	2,551	128,55	0,46
5	0,330	2,194	174,38	0,63
	Radiación Global Diaria		4974,6	17,9
			W/m² día	MJ/m² día
			5,0	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

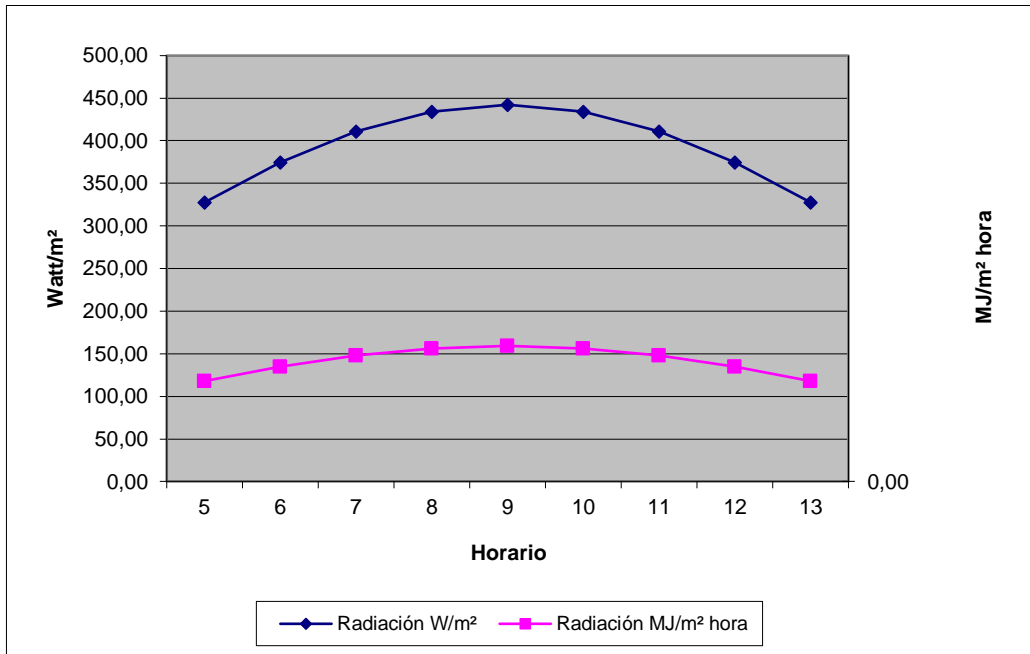


Figura 20 Radiación solar 10 de Diciembre 2016

Elaborado por: Autora

6 de Enero del 2017

Cuadro 23 Cálculo radiación solar 6 de Enero 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,326	2,218	170,69	0,61
6	0,376	1,925	223,14	0,80
7	0,426	1,700	278,30	1,00
8	0,472	1,533	331,55	1,19
9	0,512	1,414	378,41	1,36
10	0,542	1,335	414,94	1,49
11	0,561	1,289	438,14	1,58
12	0,568	1,274	446,09	1,61
13	0,561	1,289	438,14	1,58
14	0,542	1,335	414,94	1,49
15	0,512	1,414	378,41	1,36
16	0,472	1,533	331,55	1,19
17	0,426	1,700	278,30	1,00
18	0,376	1,925	223,14	0,80
19	0,326	2,218	170,69	0,61
20	0,280	2,584	125,07	0,45
21	0,240	3,012	89,25	0,32
22	0,210	3,450	64,52	0,23
23	0,191	3,797	50,48	0,18
24	0,184	3,932	45,99	0,17
1	0,191	3,797	50,48	0,18
2	0,210	3,450	64,52	0,23
3	0,240	3,012	89,25	0,32
4	0,280	2,584	125,07	0,45
5	0,326	2,218	170,69	0,61
	Radiación Global Diaria		4916,4	17,7
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

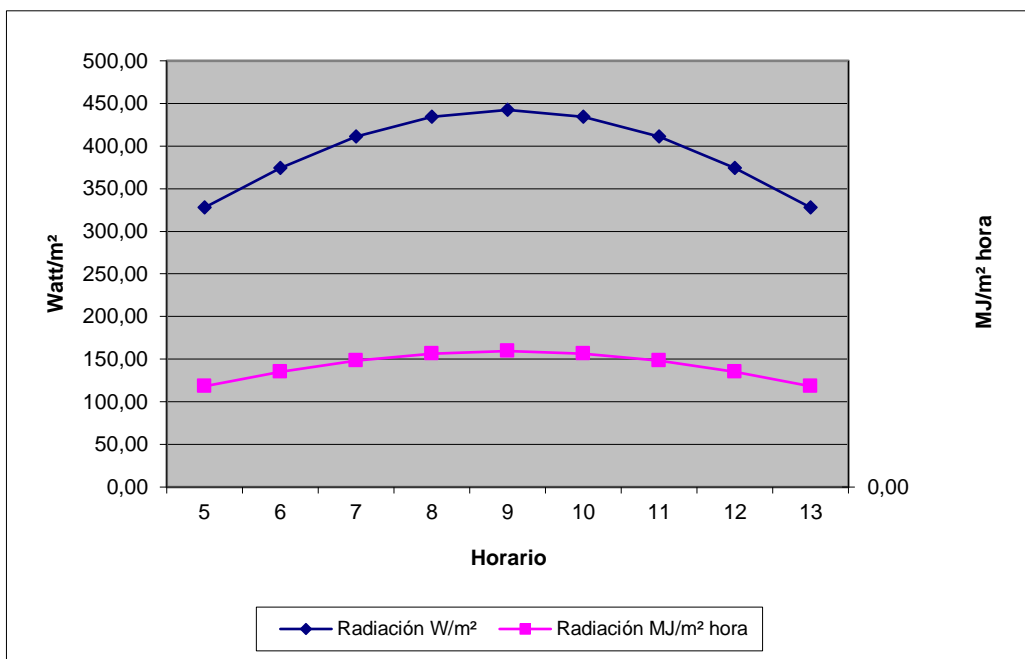


Figura 21 Radiación solar 6 de Enero 2017

Elaborado por: Autora

7 de Enero del 2017

Cuadro 24 Cálculo radiación solar 7 de Enero 2017

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,324	2,231	168,76	0,61
6	0,374	1,934	221,14	0,80
7	0,424	1,707	276,25	0,99
8	0,470	1,539	329,49	1,19
9	0,510	1,419	376,35	1,35
10	0,540	1,339	412,89	1,49
11	0,560	1,293	436,09	1,57
12	0,566	1,278	444,04	1,60
13	0,560	1,293	436,09	1,57
14	0,540	1,339	412,89	1,49
15	0,510	1,419	376,35	1,35
16	0,470	1,539	329,49	1,19
17	0,424	1,707	276,25	0,99
18	0,374	1,934	221,14	0,80
19	0,324	2,231	168,76	0,61
20	0,278	2,602	123,25	0,44
21	0,238	3,037	87,58	0,32

22	0,208	3,483	63,00	0,23
23	0,189	3,838	49,08	0,18
24	0,182	3,976	44,65	0,16
1	0,189	3,838	49,08	0,18
2	0,208	3,483	63,00	0,23
3	0,238	3,037	87,58	0,32
4	0,278	2,602	123,25	0,44
5	0,324	2,231	168,76	0,61
	Radiación Global Diaria		4886,0	17,6
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

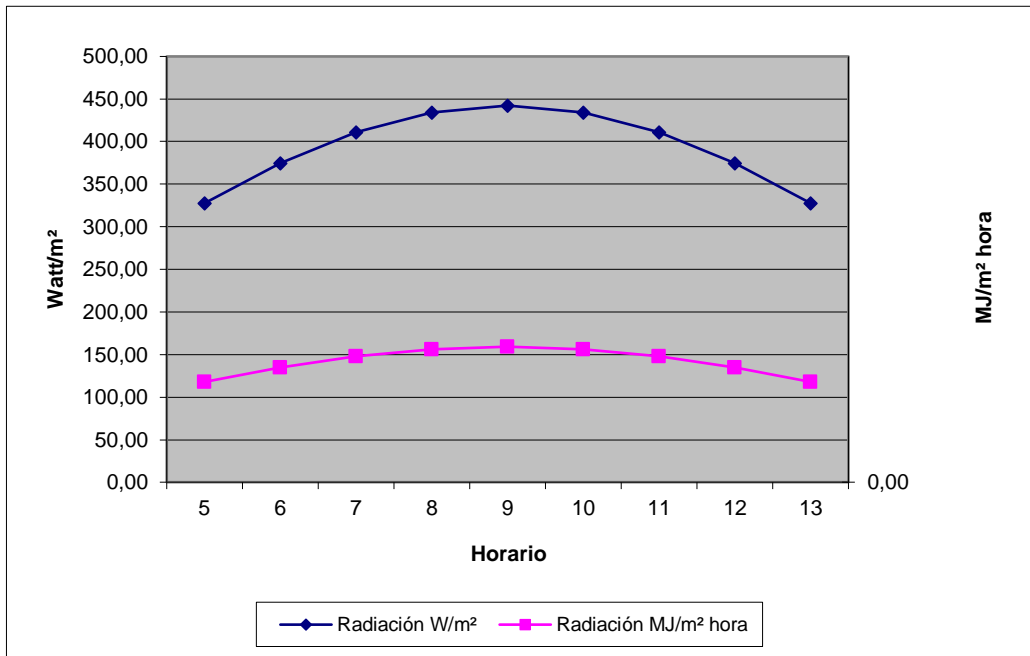


Figura 22 Radiación solar 7 de Enero 2017

Elaborado por: Autora

8 de Enero del 2017

Cuadro 25 Cálculo radiación solar 8 de Enero 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,322	2,245	166,71	0,60
6	0,372	1,944	219,01	0,79
7	0,422	1,715	274,08	0,99
8	0,468	1,545	327,30	1,18
9	0,508	1,424	374,16	1,35
10	0,539	1,343	410,70	1,48
11	0,558	1,297	433,91	1,56
12	0,564	1,282	441,86	1,59
13	0,558	1,297	433,91	1,56
14	0,539	1,343	410,70	1,48
15	0,508	1,424	374,16	1,35
16	0,468	1,545	327,30	1,18
17	0,422	1,715	274,08	0,99
18	0,372	1,944	219,01	0,79
19	0,322	2,245	166,71	0,60
20	0,276	2,622	121,33	0,44
21	0,236	3,064	85,82	0,31
22	0,206	3,519	61,41	0,22
23	0,186	3,882	47,62	0,17
24	0,180	4,023	43,23	0,16
1	0,186	3,882	47,62	0,17
2	0,206	3,519	61,41	0,22
3	0,236	3,064	85,82	0,31
4	0,276	2,622	121,33	0,44
5	0,322	2,245	166,71	0,60
	Radiación Global Diaria		4853,6	17,5
			W/m² día	MJ/m² día
			4,9	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

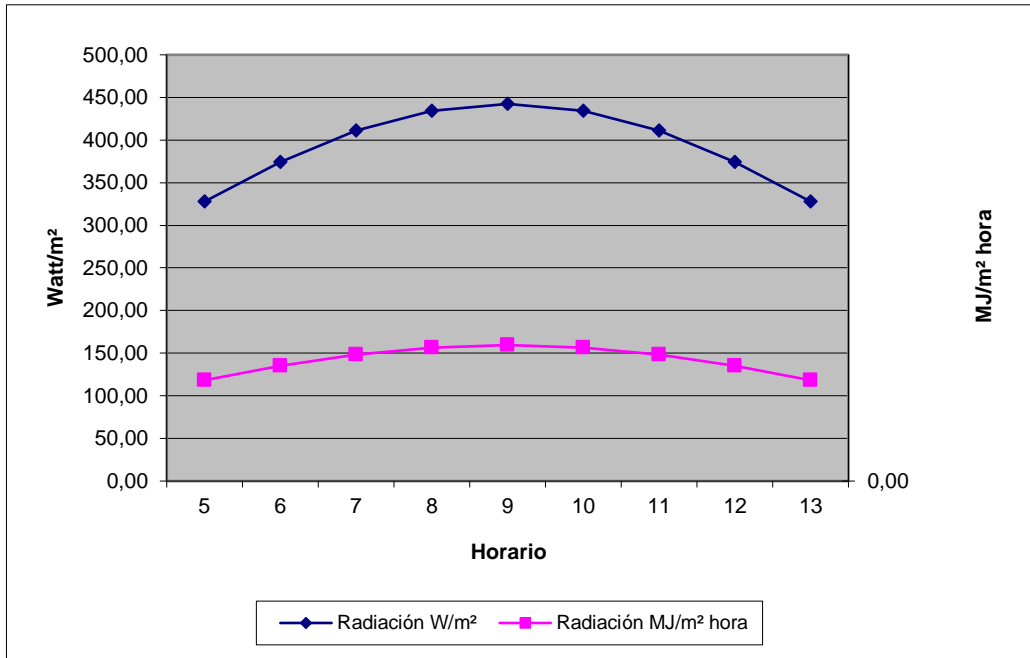


Figura 23 Radiación solar 8 de Enero 2017

Elaborado por: Autora

9 de Enero del 2017

Cuadro 26 Cálculo radiación solar 9 de Enero 2017

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,320	2,260	164,55	0,59
6	0,370	1,955	216,76	0,78
7	0,420	1,723	271,79	0,98
8	0,466	1,552	324,99	1,17
9	0,506	1,430	371,84	1,34
10	0,537	1,348	408,39	1,47
11	0,556	1,302	431,60	1,55
12	0,563	1,286	439,56	1,58
13	0,556	1,302	431,60	1,55
14	0,537	1,348	408,39	1,47
15	0,506	1,430	371,84	1,34
16	0,466	1,552	324,99	1,17
17	0,420	1,723	271,79	0,98
18	0,370	1,955	216,76	0,78
19	0,320	2,260	164,55	0,59
20	0,274	2,643	119,30	0,43
21	0,234	3,093	83,96	0,30

22	0,203	3,558	59,74	0,22
23	0,184	3,929	46,09	0,17
24	0,178	4,074	41,76	0,15
1	0,184	3,929	46,09	0,17
2	0,203	3,558	59,74	0,22
3	0,234	3,093	83,96	0,30
4	0,274	2,643	119,30	0,43
5	0,320	2,260	164,55	0,59
	Radiación Global Diaria		4819,4	17,3
			W/m² día	MJ/m² día
			4,8	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

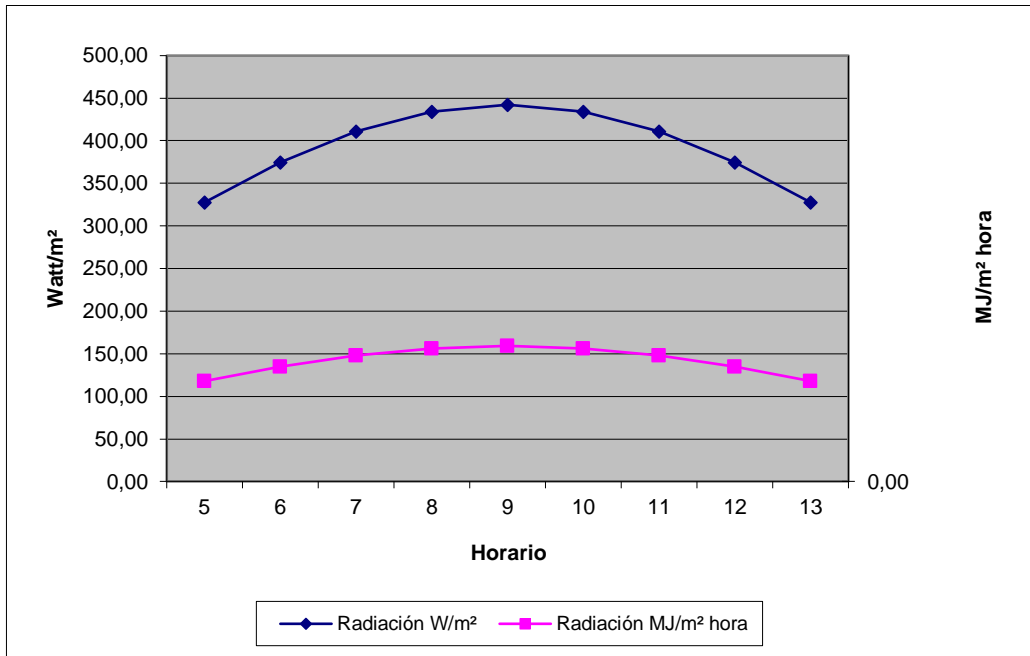


Figura 24 Radiación solar 9 de Enero 2017

Elaborado por: Autora

10 de Enero del 2017

Cuadro 27 Cálculo radiación solar 10 de Enero 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,318	2,275	162,27	0,58
6	0,368	1,967	214,39	0,77
7	0,418	1,732	269,37	0,97
8	0,464	1,559	322,54	1,16
9	0,504	1,435	369,39	1,33
10	0,535	1,353	405,94	1,46
11	0,554	1,306	429,16	1,54
12	0,561	1,291	437,12	1,57
13	0,554	1,306	429,16	1,54
14	0,535	1,353	405,94	1,46
15	0,504	1,435	369,39	1,33
16	0,464	1,559	322,54	1,16
17	0,418	1,732	269,37	0,97
18	0,368	1,967	214,39	0,77
19	0,318	2,275	162,27	0,58
20	0,272	2,665	117,17	0,42
21	0,232	3,124	82,02	0,30
22	0,201	3,600	57,99	0,21
23	0,182	3,981	44,50	0,16
24	0,175	4,130	40,22	0,14
1	0,182	3,981	44,50	0,16
2	0,201	3,600	57,99	0,21
3	0,232	3,124	82,02	0,30
4	0,272	2,665	117,17	0,42
5	0,318	2,275	162,27	0,58
	Radiación Global Diaria		4783,2	17,2
			W/m² día	MJ/m² día
			4,8	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

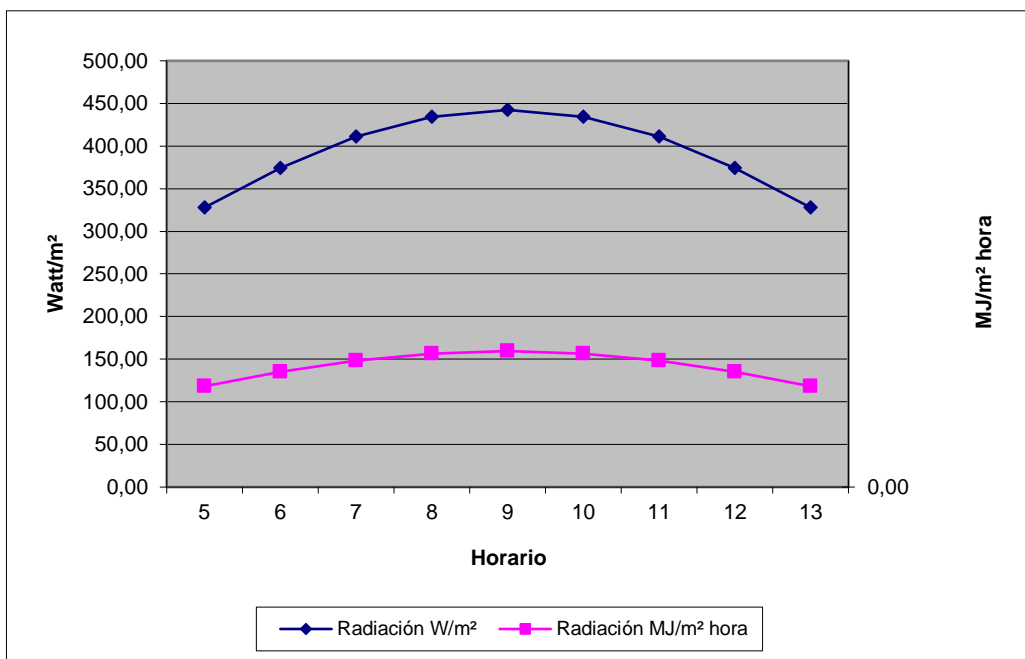


Figura 25 Radiación solar 10 de Enero 2017

Elaborado por: Autora

6 de Febrero del 2017

Cuadro 28 Cálculo radiación solar 6 de Febrero 2017

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m²	Radiación MJ/m² hora
5	0,226	3,199	77,53	0,28
6	0,278	2,605	123,00	0,44
7	0,329	2,197	173,87	0,63
8	0,377	1,917	224,78	0,81
9	0,419	1,728	270,52	0,97
10	0,450	1,606	306,63	1,10
11	0,470	1,538	329,71	1,19
12	0,477	1,517	337,64	1,22
13	0,470	1,538	329,71	1,19
14	0,450	1,606	306,63	1,10
15	0,419	1,728	270,52	0,97
16	0,377	1,917	224,78	0,81
17	0,329	2,197	173,87	0,63
18	0,278	2,605	123,00	0,44
19	0,226	3,199	77,53	0,28
20	0,178	4,063	42,08	0,15
21	0,137	5,289	19,06	0,07

22	0,105	6,883	7,37	0,03
23	0,085	8,491	2,99	0,01
24	0,078	9,226	2,00	0,01
1	0,085	8,491	2,99	0,01
2	0,105	6,883	7,37	0,03
3	0,137	5,289	19,06	0,07
4	0,178	4,063	42,08	0,15
5	0,226	3,199	77,53	0,28
	Radiación Global Diaria		3349,7	12,1
			W/m² día	MJ/m² día
			3,3	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

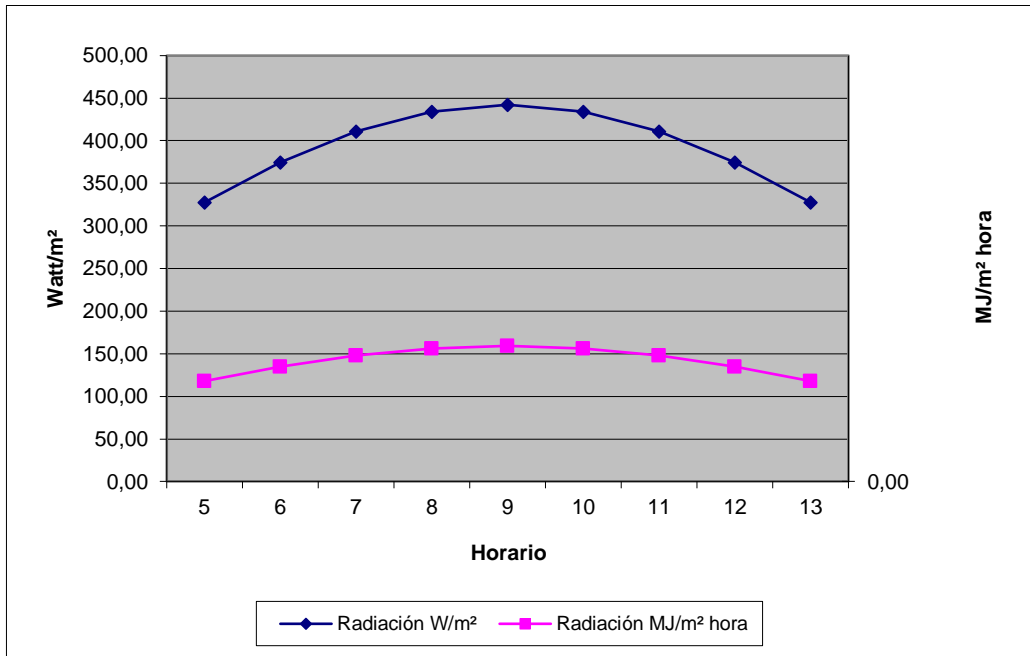


Figura 26 Radiación solar 6 de Febrero 2017

Elaborado por: Autora

7 de Febrero del 2017

Cuadro 29 Cálculo radiación solar 7 de Febrero 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,221	3,271	73,54	0,26
6	0,273	2,651	118,45	0,43
7	0,325	2,229	168,97	0,61
8	0,373	1,941	219,67	0,79
9	0,414	1,747	265,29	0,96
10	0,446	1,623	301,33	1,08
11	0,466	1,554	324,38	1,17
12	0,473	1,531	332,31	1,20
13	0,466	1,554	324,38	1,17
14	0,446	1,623	301,33	1,08
15	0,414	1,747	265,29	0,96
16	0,373	1,941	219,67	0,79
17	0,325	2,229	168,97	0,61
18	0,273	2,651	118,45	0,43
19	0,221	3,271	73,54	0,26
20	0,173	4,181	38,88	0,14
21	0,132	5,493	16,81	0,06
22	0,100	7,235	6,02	0,02
23	0,080	9,038	2,22	0,01
24	0,073	9,877	1,41	0,01
1	0,080	9,038	2,22	0,01
2	0,100	7,235	6,02	0,02
3	0,132	5,493	16,81	0,06
4	0,173	4,181	38,88	0,14
5	0,221	3,271	73,54	0,26
	Radiación Global Diaria		3275,6	11,8
			W/m² día	MJ/m² día
			3,3	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

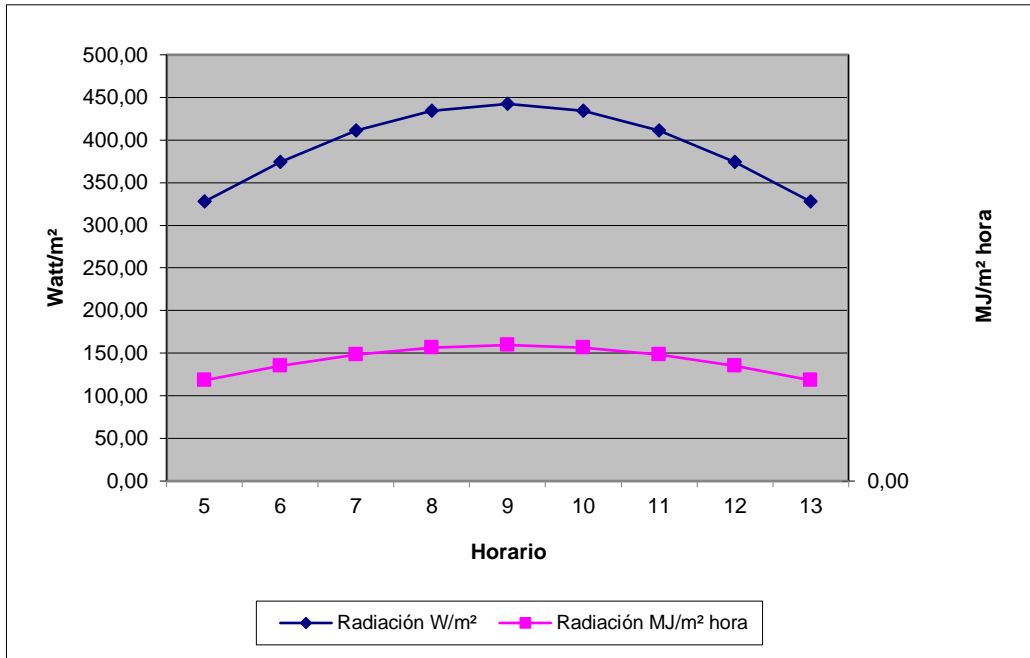


Figura 27 Radiación solar 7 de Febrero 2017

Elaborado por: Autora

8 de Febrero del 2017

Cuadro 30 Cálculo radiación solar 8 de Febrero 2017

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,216	3,347	69,55	0,25
6	0,268	2,700	113,87	0,41
7	0,320	2,263	164,02	0,59
8	0,368	1,967	214,49	0,77
9	0,409	1,768	259,98	0,94
10	0,441	1,640	295,96	1,07
11	0,461	1,569	318,98	1,15
12	0,468	1,546	326,89	1,18
13	0,461	1,569	318,98	1,15
14	0,441	1,640	295,96	1,07
15	0,409	1,768	259,98	0,94
16	0,368	1,967	214,49	0,77
17	0,320	2,263	164,02	0,59
18	0,268	2,700	113,87	0,41
19	0,216	3,347	69,55	0,25
20	0,168	4,307	35,72	0,13
21	0,127	5,717	14,67	0,05

22	0,095	7,633	4,81	0,02
23	0,075	9,671	1,58	0,01
24	0,068	10,640	0,95	0,00
1	0,075	9,671	1,58	0,01
2	0,095	7,633	4,81	0,02
3	0,127	5,717	14,67	0,05
4	0,168	4,307	35,72	0,13
5	0,216	3,347	69,55	0,25
	Radiación Global Diaria		3200,6	11,5
			W/m² día	MJ/m² día
			3,2	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

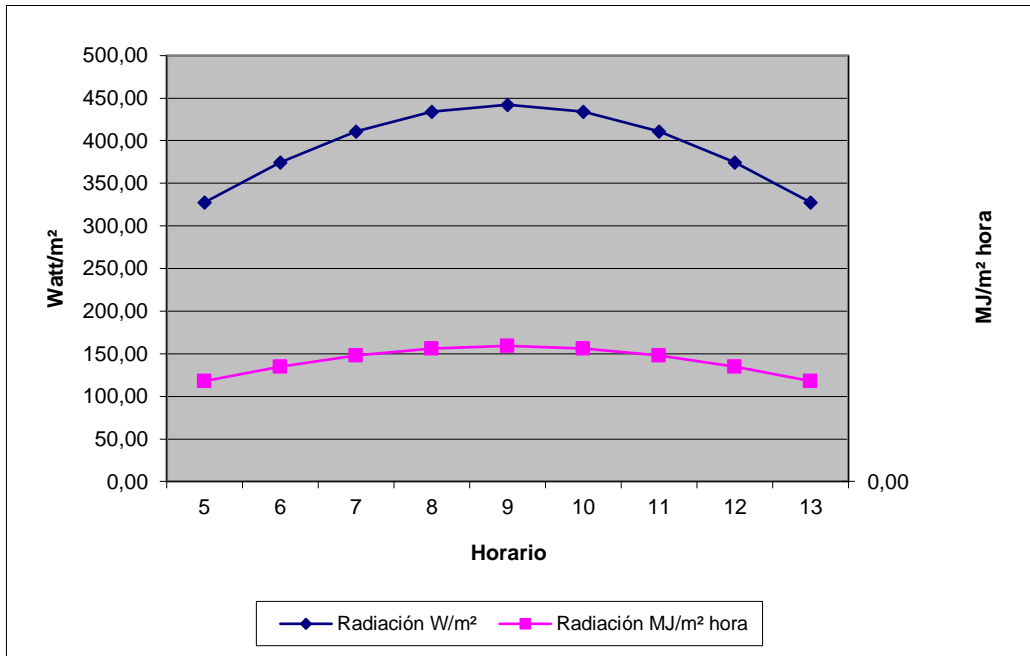


Figura 28 Radiación solar 8 de Febrero 2017

Elaborado por: Autora

9 de Febrero del 2017

Cuadro 31 Cálculo radiación solar 9 de Febrero 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,211	3,428	65,58	0,24
6	0,263	2,752	109,28	0,39
7	0,315	2,299	159,02	0,57
8	0,363	1,993	209,25	0,75
9	0,405	1,789	254,60	0,92
10	0,436	1,658	290,51	1,05
11	0,456	1,586	313,49	1,13
12	0,463	1,562	321,40	1,16
13	0,456	1,586	313,49	1,13
14	0,436	1,658	290,51	1,05
15	0,405	1,789	254,60	0,92
16	0,363	1,993	209,25	0,75
17	0,315	2,299	159,02	0,57
18	0,263	2,752	109,28	0,39
19	0,211	3,428	65,58	0,24
20	0,163	4,445	32,64	0,12
21	0,121	5,964	12,64	0,05
22	0,090	8,084	3,74	0,01
23	0,069	10,411	1,07	0,00
24	0,063	11,545	0,59	0,00
1	0,069	10,411	1,07	0,00
2	0,090	8,084	3,74	0,01
3	0,121	5,964	12,64	0,05
4	0,163	4,445	32,64	0,12
5	0,211	3,428	65,58	0,24
	Radiación Global Diaria		3124,8	11,2
			W/m² día	MJ/m² día
			3,1	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

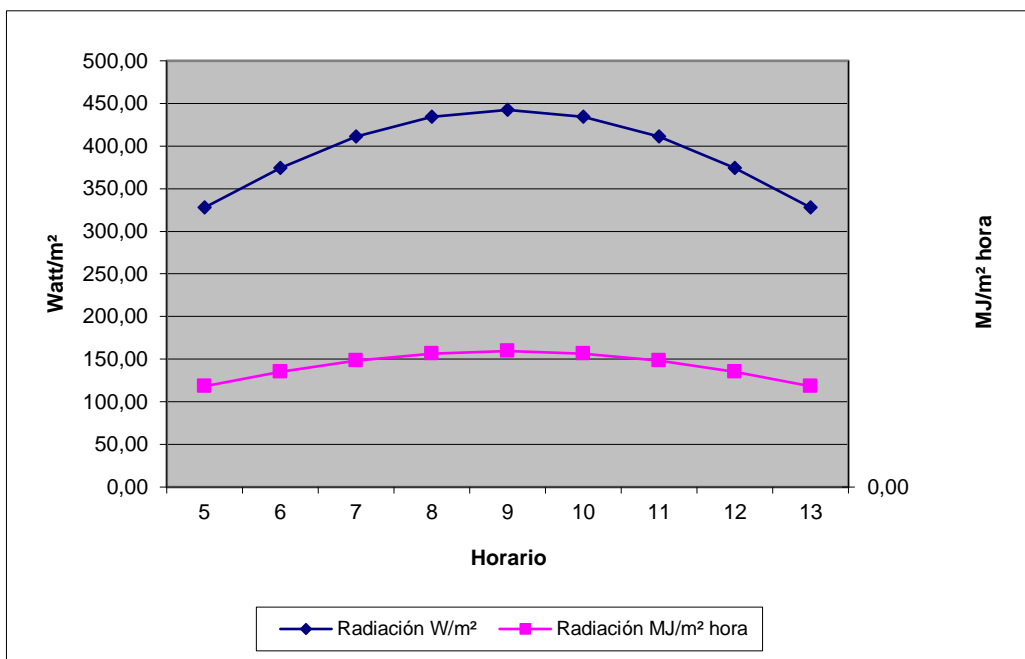


Figura 29 Radiación solar 9 de Febrero 2017

Elaborado por: Autora

10 de Febrero del 2017

Cuadro 32 Cálculo radiación solar 10 de Febrero 2017

Horas día	Angulo cenital cos θ	M	Radiación W/m ²	Radiación MJ/m ² hora
5	0,206	3,514	61,63	0,22
6	0,258	2,807	104,66	0,38
7	0,310	2,336	153,98	0,55
8	0,358	2,021	203,95	0,73
9	0,400	1,811	249,15	0,90
10	0,432	1,677	284,98	1,03
11	0,452	1,602	307,92	1,11
12	0,458	1,579	315,82	1,14
13	0,452	1,602	307,92	1,11
14	0,432	1,677	284,98	1,03
15	0,400	1,811	249,15	0,90
16	0,358	2,021	203,95	0,73
17	0,310	2,336	153,98	0,55
18	0,258	2,807	104,66	0,38
19	0,206	3,514	61,63	0,22
20	0,158	4,593	29,62	0,11
21	0,116	6,238	10,74	0,04

22	0,084	8,600	2,81	0,01
23	0,064	11,289	0,67	0,00
24	0,057	12,636	0,34	0,00
1	0,064	11,289	0,67	0,00
2	0,084	8,600	2,81	0,01
3	0,116	6,238	10,74	0,04
4	0,158	4,593	29,62	0,11
5	0,206	3,514	61,63	0,22
	Radiación Global Diaria		3048,4	11,0
			W/m² día	MJ/m² día
			3,0	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

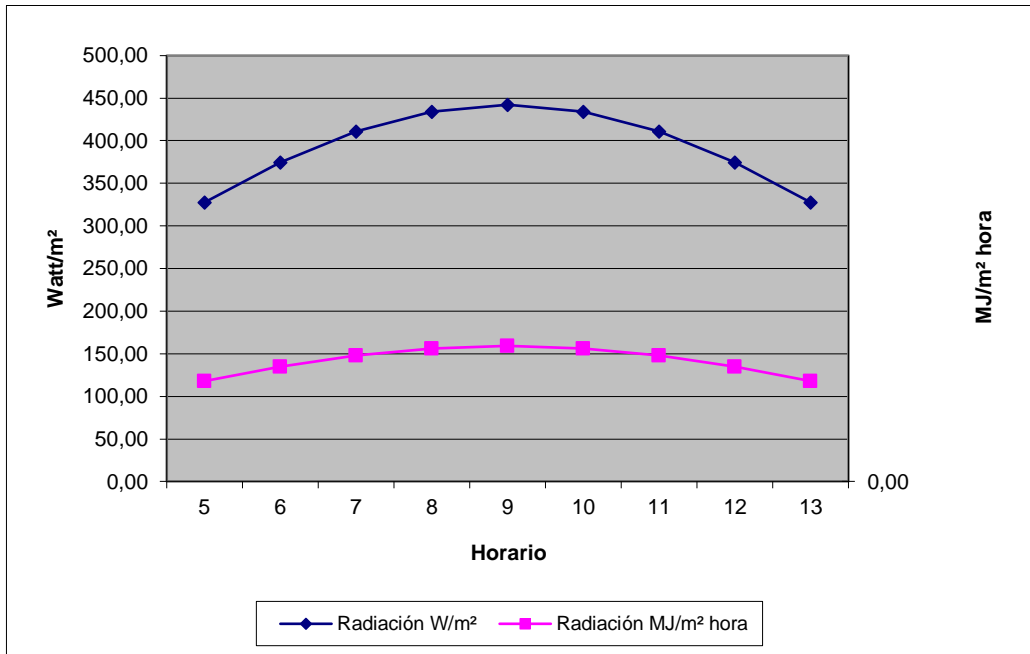


Figura 30 Radiación solar 10 de Febrero 2017

Elaborado por: Autora

6 de Marzo del 2017

Cuadro 33 Cálculo radiación solar 6 de Marzo 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,062	11,612	0,57	0,00
6	0,116	6,251	10,65	0,04
7	0,169	4,277	36,45	0,13
8	0,219	3,304	71,73	0,26
9	0,262	2,765	108,19	0,39
10	0,295	2,457	139,02	0,50
11	0,315	2,296	159,42	0,57
12	0,322	2,246	166,54	0,60
13	0,315	2,296	159,42	0,57
14	0,295	2,457	139,02	0,50
15	0,262	2,765	108,19	0,39
16	0,219	3,304	71,73	0,26
17	0,169	4,277	36,45	0,13
18	0,116	6,251	10,65	0,04
19	0,062	11,612	0,57	0,00
20	0,013	57,783	0,00	0,00
21	-0,030	-23,932	-1234432,32	-4443,96
22	-0,063	-11,478	-12036,24	-43,33
23	-0,084	-8,648	-4721,64	-17,00
24	-0,091	-7,978	-3834,16	-13,80
1	-0,084	-8,648	-4721,64	-17,00
2	-0,063	-11,478	-12036,24	-43,33
3	-0,030	-23,932	-1234432,32	-4443,96
4	0,013	57,783	0,00	0,00
5	0,062	11,612	0,57	0,00
	Radiación Global Diaria		1218,6	4,4
			W/m² día	MJ/m² día
			1,2	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

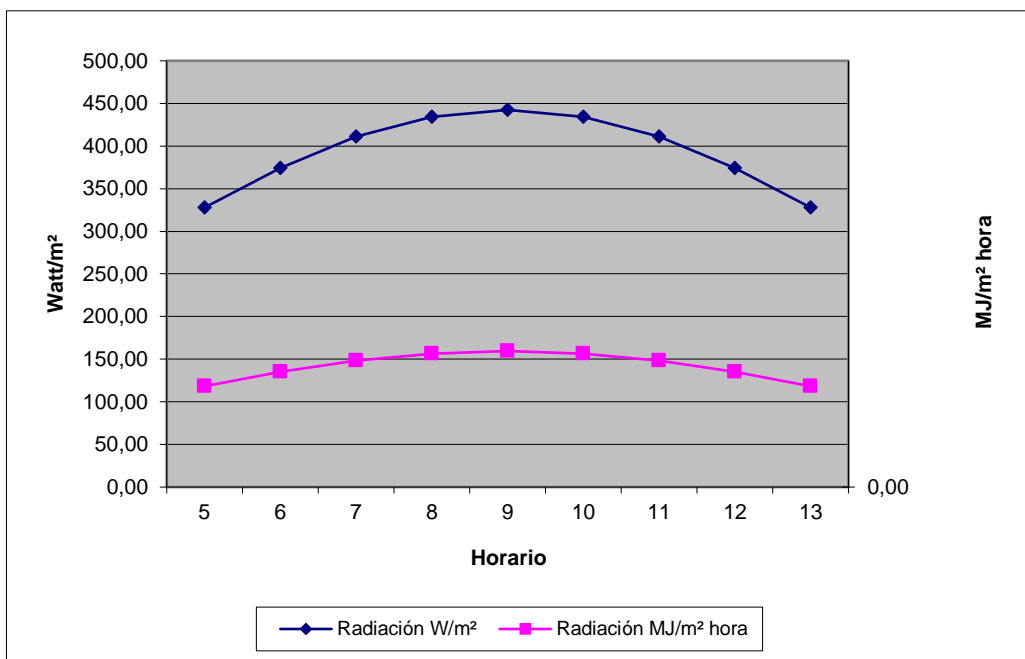


Figura 31 Radiación solar 6 de Marzo 2017

Elaborado por: Autora

7 de Marzo del 2017

Cuadro 34 Cálculo radiación solar 7 de Marzo 2017

Horas día	Angulo cenital $\cos \theta$	M	Radiación W/m²	Radiación MJ/m² hora
5	0,056	12,978	0,28	0,00
6	0,109	6,624	8,56	0,03
7	0,163	4,447	32,58	0,12
8	0,213	3,405	66,68	0,24
9	0,255	2,834	102,43	0,37
10	0,288	2,511	132,86	0,48
11	0,309	2,343	153,05	0,55
12	0,316	2,291	160,10	0,58
13	0,309	2,343	153,05	0,55
14	0,288	2,511	132,86	0,48
15	0,255	2,834	102,43	0,37
16	0,213	3,405	66,68	0,24
17	0,163	4,447	32,58	0,12
18	0,109	6,624	8,56	0,03
19	0,056	12,978	0,28	0,00
20	0,006	122,129	0,00	0,00
21	-0,037	-19,628	-235641,67	-848,31

22	-0,070	-10,382	-8298,78	-29,88
23	-0,090	-8,010	-3871,80	-13,94
24	-0,097	-7,431	-3252,17	-11,71
1	-0,090	-8,010	-3871,80	-13,94
2	-0,070	-10,382	-8298,78	-29,88
3	-0,037	-19,628	-235641,67	-848,31
4	0,006	122,129	0,00	0,00
5	0,056	12,978	0,28	0,00
	Radiación Global Diaria		1153,0	4,2
			W/m² día	MJ/m² día
			1,2	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

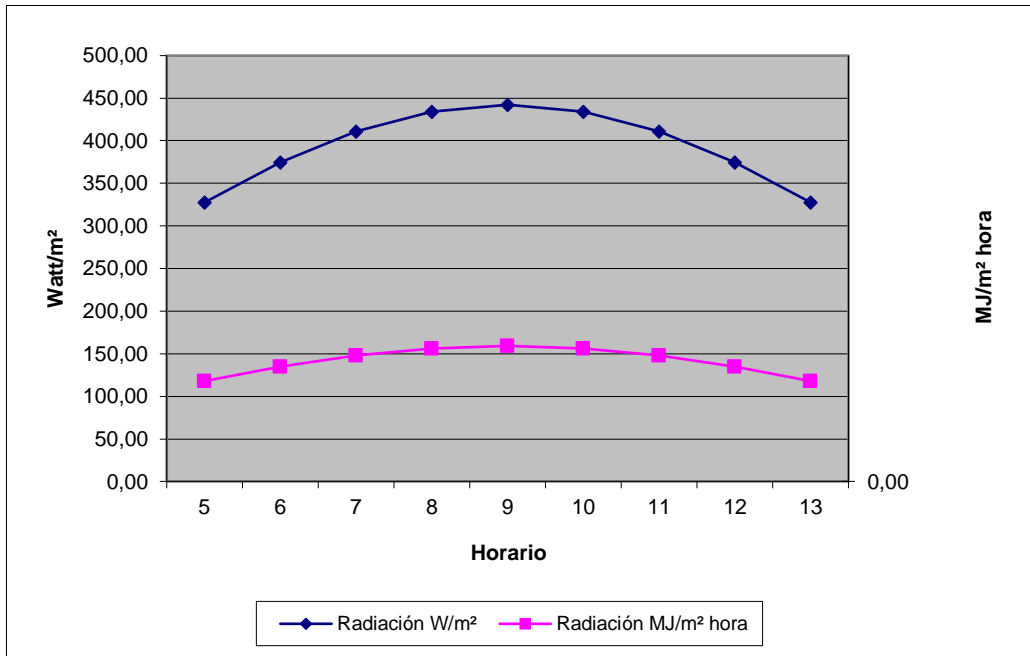


Figura 32 Radiación solar 7 de Marzo 2017

Elaborado por: Autora

8 de Marzo del 2017

Cuadro 35 Cálculo radiación solar 8 de Marzo 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	m	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,049	14,717	0,12	0,00
6	0,103	7,047	6,71	0,02
7	0,156	4,633	28,88	0,10
8	0,206	3,511	61,74	0,22
9	0,249	2,907	96,74	0,35
10	0,282	2,568	126,74	0,46
11	0,302	2,393	146,71	0,53
12	0,309	2,338	153,69	0,55
13	0,302	2,393	146,71	0,53
14	0,282	2,568	126,74	0,46
15	0,249	2,907	96,74	0,35
16	0,206	3,511	61,74	0,22
17	0,156	4,633	28,88	0,10
18	0,103	7,047	6,71	0,02
19	0,049	14,717	0,12	0,00
20	-0,001	-1035,701	-5541958435444570000000000	-19951050367600400000000
21	-0,044	-16,626	-76350,49	-274,86
22	-0,076	-9,474	-6150,57	-22,14
23	-0,097	-7,457	-3277,79	-11,80
24	-0,104	-6,952	-2828,70	-10,18
1	-0,097	-7,457	-3277,79	-11,80
2	-0,076	-9,474	-6150,57	-22,14
3	-0,044	-16,626	-76350,49	-274,86
4	-0,001	-1035,701	-5541958435444570000000000	-19951050367600400000000
5	0,049	14,717	0,12	0,00
Radiación Global Diaria			1089,0	3,9
			W/m² dia	MJ/m² dia
			1,1	
			KW/m² dia	

Elaborado por: Autora

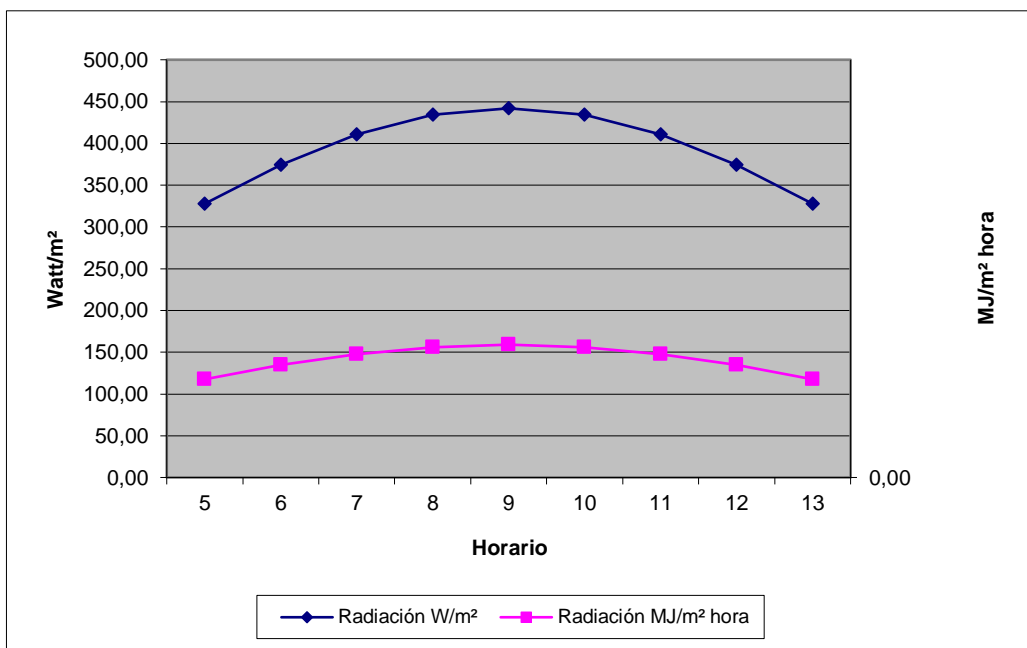


Figura 33 Radiación solar 8 de Marzo 2017

Elaborado por: Autora

9 de Marzo del 2017

Cuadro 36 Cálculo radiación solar 9 de Marzo 2017

Horas día	Angulo cenital	m	Radiación	
	cos θ		W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,043	17,003	0,04	0,00
6	0,096	7,529	5,10	0,02
7	0,150	4,835	25,36	0,09
8	0,200	3,626	56,92	0,20
9	0,242	2,985	91,13	0,33
10	0,275	2,628	120,67	0,43
11	0,296	2,445	140,40	0,51
12	0,303	2,388	147,31	0,53
13	0,296	2,445	140,40	0,51
14	0,275	2,628	120,67	0,43
15	0,242	2,985	91,13	0,33
16	0,200	3,626	56,92	0,20
17	0,150	4,835	25,36	0,09
18	0,096	7,529	5,10	0,02
19	0,043	17,003	0,04	0,00
20	-0,007	-98,504	-26809586012748300000,00	-96514509645893900,00

21	-0,050	-14,415	-33967,18	-122,28
22	-0,083	-8,710	-4813,97	-17,33
23	-0,104	-6,975	-2846,79	-10,25
24	-0,111	-6,531	-2511,21	-9,04
1	-0,104	-6,975	-2846,79	-10,25
2	-0,083	-8,710	-4813,97	-17,33
3	-0,050	-14,415	-33967,18	-122,28
4	-0,007	-98,504	-26809586012748300000,00	-96514509645893900,00
5	0,043	17,003	0,04	0,00
Radiación Global Diaria			1026,5	3,7
			W/m² día	MJ/m² día
			1,0	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

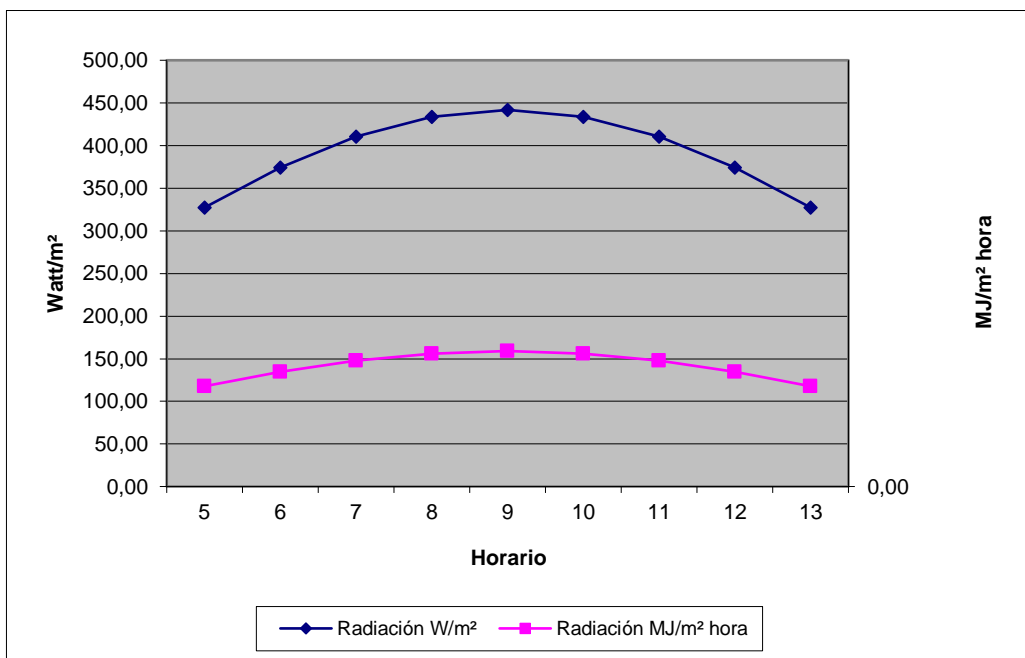


Figura 34 Radiación solar 9 de Marzo 2017

Elaborado por: Autora

10 de Marzo del 2017

Cuadro 37 Cálculo radiación solar 10 de Marzo 2017

	Angulo cenital		Radiación	Radiación
Horas día	cos θ	M	W/m ²	MJ/m ² hora
5	0,036	20,145	0,01	0,00
6	0,090	8,084	3,74	0,01
7	0,143	5,057	22,03	0,08
8	0,193	3,749	52,22	0,19
9	0,236	3,067	85,59	0,31
10	0,269	2,692	114,65	0,41
11	0,289	2,500	134,14	0,48
12	0,297	2,440	140,97	0,51
13	0,289	2,500	134,14	0,48
14	0,269	2,692	114,65	0,41
15	0,236	3,067	85,59	0,31
16	0,193	3,749	52,22	0,19
17	0,143	5,057	22,03	0,08
18	0,090	8,084	3,74	0,01
19	0,036	20,145	0,01	0,00
20	-0,014	-51,631	-87027753352,55	-313299912,07
21	-0,057	-12,718	-18536,34	-66,73
22	-0,090	-8,058	-3929,80	-14,15
23	-0,110	-6,550	-2524,39	-9,09
24	-0,118	-6,156	-2267,22	-8,16
1	-0,110	-6,550	-2524,39	-9,09
2	-0,090	-8,058	-3929,80	-14,15
3	-0,057	-12,718	-18536,34	-66,73
4	-0,014	-51,631	-87027753352,55	-313299912,07
5	0,036	20,145	0,01	0,00
	Radiación Global Diaria		965,7	3,5
			W/m² día	MJ/m² día
			1,0	
			KW/m² día	

Elaborado por: Autora

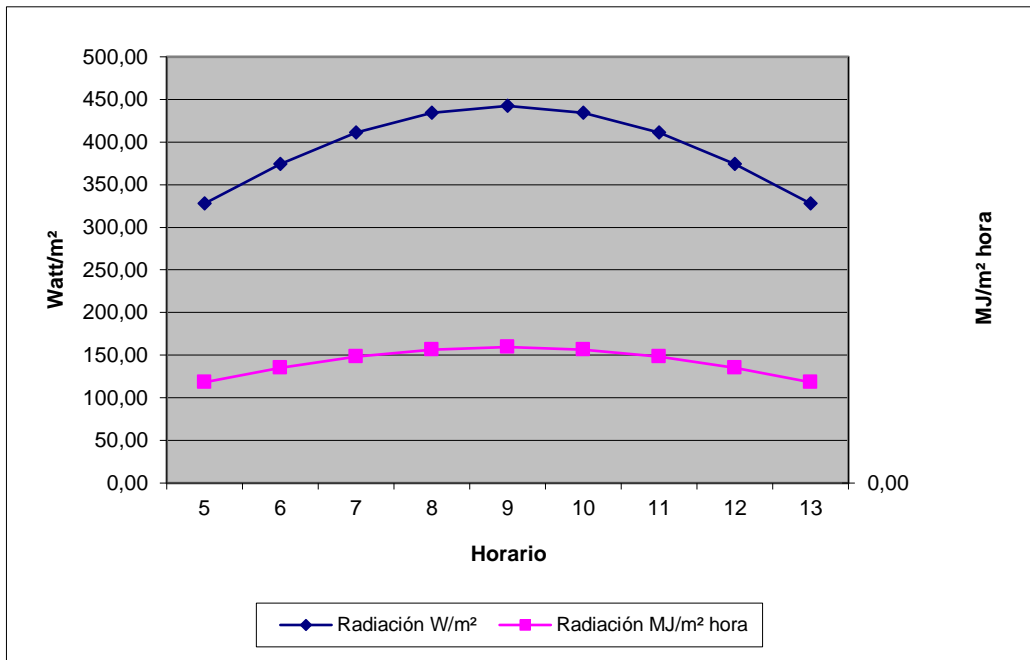


Figura 35 Radiación solar 10 de Marzo 2017

Elaborado por: Autora