

**ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y GESTIÓN DE UNA MICRO RED ELÉCTRICA PARA  
EDIFICACIONES RESIDENCIALES USANDO PANELES FOTOVOLTAICOS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y GESTIÓN DE UNA MICRO RED ELÉCTRICA  
PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES USANDO PANELES  
FOTOVOLTAICOS**

**AUTOR:  
CARLOS RODOLFO VÁSQUEZ RUIZ**

**DIRECTOR:  
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

**Quito, diciembre de 2014**

## **DECLARATORIA DE AUTORÍA:**

Yo, Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, Diciembre del 2014

---

**Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz**  
**CC: 1717271645**

**AUTOR**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la tesis, así como el funcionamiento del “ANÁLISIS, MODELAMIENTO Y GESTIÓN DE UNA MICRO RED ELÉCTRICA PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES USANDO PANELES FOTOVOLTAICOS” realizada por el Sr. Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, Diciembre del 2014

---

**Ing. Diego Francisco Carrión Galarza**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

*Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz*

*Este proyecto es dedicado  
con mucho amor a mi familia y en especial  
al Rey de reyes y Señor de señores (**Jesucristo**)  
por su inmenso amor e infinita misericordia inmerecida brindada a mi familia,  
al proveer de salud, sabiduría, paciencia, gozo y paz.  
A mis Padres, Carlos y María por su amor, su esfuerzo incondicional,  
sus valores, su sabiduría y enseñanzas a lo largo de mi vida para cumplir este anhelo,  
a pensar de los distintos problemas supieron levantarse, con lucha, garra y  
perseverancia convirtiéndose en mis amigos y en un ejemplo de vida.  
A mis hermanos por ser parte esencial de mi vida, con sus alegrías llenan mi vida de  
amor y felicidad.*

## **AGRADECIAMIENTO.**

*Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz*

*A la Universidad Politécnica Salesiana por su servicio  
de formación académica y profesional,  
a todo personal capacitado que forma parte de esta noble institución  
por su ayuda y colaboración en mi vida estudiantil.  
A todos los docentes que me brindaron sus elevados  
conocimientos y experiencias vividas en el campo profesional,  
en especial al Ing. Diego Carrión por su orientación y ayuda  
para la culminación de la misma.*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
SITUACIÓN ACTUAL DEL RECURSO SOLAR EN EL ECUADOR.....	2
1.1    Energía Solar .....	3
1.1.1    Radiación Solar.....	5
1.2    Evaluación de la Energía Solar .....	6
1.2.1    Condiciones meteorológicas .....	9
1.2.2    Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal.....	10
1.2.3    Presencia de superficie reflectantes .....	11
1.2.4    Movimiento del sol .....	11
1.3    Métodos de captación para la Energía Solar .....	13
1.3.1    Heliógrafo .....	14
1.3.2    Piranómetro.....	15
1.4.1    Pirheliómetro .....	16
1.4    Captación en Edificaciones Residenciales .....	17
1.4.2    Análisis del emplazamiento de los módulos.....	23
1.4.3    Diseño de la instalación .....	23
1.4.4    Ejecución de la instalación .....	23
1.4.5    Mantenimiento .....	23
CAPÍTULO II.....	27
ENERGÍA RENOVABLES APORTACIÓN EN EL ECUADOR .....	27
2.1    Irradiancia según los sectores geográficos del Ecuador.....	30
2.2    Ángulo de incidencia según los sectores geográficos del Ecuador.....	35
2.2.1    Poste.....	36
2.2.2    Tejado .....	36
2.2.3    Pared .....	37
2.2.4    Suelo .....	37
2.3    Horas de captación según los sectores geográficos del Ecuador .....	39
2.4    Aportación de kWp según los sectores geográficos del Ecuador .....	45
CAPÍTULO III.....	53
MODELAMIENTO DE APORTACIÓN DE PANELES SOLARES EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES .....	53
3.1    Diseño de captación .....	54
3.2    Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	61
3.2.1    Temperatura máxima y mínima del panel fotovoltaico .....	64
3.2.2    Distancia entre módulos.....	66

3.2.3	Número de paneles.....	67
3.3	Configuraciones e instalaciones del sistema fotovoltaico.....	68
3.3.1	Sección del conductor .....	73
3.3.2	Protecciones .....	74
3.3.3	Puesta a tierra.....	75
3.4	Cálculo de aportación de paneles solares.....	76
3.5	Modelo de Gestión .....	78
CAPÍTULO IV .....		87
APORTACIÓN DEL SISTEMA CONECTADO A LA RED.....		87
4.1	Aportación en edificaciones residenciales en zonas urbanas.....	87
4.2	Aportación en edificaciones residenciales en zonas rurales .....	90
4.3	Aportación de la red con la micro red fotovoltaica.....	92
4.4	Costo al implementar la micro red fotovoltaica.....	100
Conclusiones.....		111
Recomendaciones .....		113
Bibliografía .....		114
ANEXOS .....		117
ANEXO A.....		118
ANEXO B.....		119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Reacciones nucleares del Sol. ....	3
Figura 1.2. Utilizacion de la energía solar térmica. ....	4
Figura 1.3. Utilización de la energía solar fotovoltaica. ....	5
Figura 1.4. Componentes de la Radiación Solar.....	6
Figura 1.5. Espectro de la radiación solar.....	7
Figura 1.6. Condiciones meteorológicas extremas .....	9
Figura 1.7. Posición del Sol relativa a una superficie plana. ....	10
Figura 1.8. Objetos reflejantes.....	11
Figura 1.9. Movimiento del sol.....	12
Figura 1.10. Irradiancia vs Tiempo (horas del día).....	13
Figura 1.11. Instrumentos meteorológicos para la medición de la radiación. ....	13
Figura 1.12. Heliógrafo.....	14
Figura 1.13. Piranómetro. ....	15
Figura 1.14. Piranómetro protegido (radiación difusa).....	16
Figura 1.15. Pirheliómetro. ....	16
Figura 1.16. Componentes del módulo fotovoltaic.....	17
Figura 1.17. Paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino y policristalino respectivamente.....	19
Figura 1.18. Estructura de los paneles de silicio monocristalino, policristalino y aformo respectivamente.....	19
Figura 1.19. Curva característica I-V de una celda fotovoltaica. ....	21
Figura 1.20. Estructura Arquitectónica de paneles fotovoltaicos en una vivienda residencial.....	22
Figura 1.21. Sistema con integración arquitectónica en edificaciones. ....	24
Figura 1.22. Esquema de la instalación automática utilizando paneles fotovoltaicos.....	25
Figura 1.23. Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. ....	26
Figura 2.1.Cambio de la matriz energética. ....	27

Figura 2.2. Cordillera de los Andes. ....	31
Figura 2.3. Edificaciones residenciales tipo .....	33
Figura 2.4. Atlas solar del Ecuador-Insolación global promedio. ....	34
Figura 2.5. Colocación de paneles fotovoltaicos sobre un poste. ....	36
Figura 2.6. Colocación de paneles fotovoltaicos sobre el tejado. ....	36
Figura 2.7. Colocación de paneles fotovoltaicos en paredes. ....	37
Figura 2.8. Colocación de paneles fotovoltaicos sobre el suelo. ....	37
Figura 2.9. Secretaria de Ambiente. ....	38
Figura 2.10. Radiación solar normal horaria de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	40
Figura 2.11. Radiación solar normal horaria en un mes de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	41
Figura 2.12. Radiación solar normal horaria en un mes promedio de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	41
Figura 2.13. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	42
Figura 2.14. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Cotocollao de la Secretaría de Ambiente. ....	42
Figura 2.15. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Carapungo de la Secretaría de Ambiente. ....	43
Figura 2.16. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Belisario de la Secretaría de Ambiente. ....	43
Figura 2.17. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación El Camal de la Secretaría de Ambiente. ....	44
Figura 2.18. Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Los Chillos de la Secretaría de Ambiente. ....	44
Figura 2.19. Temperatura media diaria en un mes de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	47
Figura 2.20. Temperatura media mensual anual de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. ....	48
Figura 2.21. Temperatura media mensual anual de la Estación Cotocollao de la Secretaría de Ambiente. ....	49

Figura 2.22. Temperatura media mensual anual de la Estación Carapungo de la Secretaría de Ambiente.....	49
Figura 2.23. Temperatura media mensual anual de la Estación Belisario de la Secretaría de Ambiente.....	50
Figura 2.24. Temperatura media mensual anual de la Estación El Camal de la Secretaría de Ambiente.....	50
Figura 2.25. Temperatura media mensual anual de la Estación Los Chillos de la Secretaría de Ambiente.....	51
Figura 3.1. Ubicación del cantón de Tumbaco. ....	53
Figura 3.2. Plano arquitectónico de la urbanización ubicada en el sector Tumbaco.....	54
Figura 3.3. Orientación del panel fotovoltaico en la urbanización ubicada en el sector de Tumbaco.....	50
Figura 3.4. Pérdidas con inclinación de 10° respecto al clima anual.....	56
Figura 3.5. Pérdidas vs. Inclinación del panel a 10°.....	57
Figura 3.6. Estructura para el montaje de paneles fotovoltaicos en suelos. ....	57
Figura 3.7. Soporte para el montaje de paneles fotovoltaicos en terrazas.....	58
Figura 3.8. Estructura para huertas solares íntegramente en aluminio. ....	58
Figura 3.9. Curva de carga residencial promedio usada en un día. ....	61
Figura 3.10. Dimensionamiento de vivienda en el sector Tumbaco.....	61
Figura 3.11. Dimensionamiento del espacio útil a lo largo. ....	62
Figura 3.12. Distancia entre módulos por fila. ....	66
Figura 3.13. Emplazamiento de generación de paneles fotovoltaicos.....	68
Figura 3.14. Calculo de protecciones en los tableros DC y AC. ....	75
Figura 3.15. Diagrama unifilar de puesta a tierra. ....	76
Figura 3.16. Producción de energía eléctrica fotovoltaica anual en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.....	78
Figura 3.17. Modelo de Gestión. ....	80
Figura 3.18. Configuración adoptada para simular el modelo del campo fotovoltaico en Simulink .....	82
Figura 3.19. Configuración adoptada para simular el modelo de la demanda residencial en Simulink .....	82

Figura 3.20. Resultado de la simulación del campo solar en Simulink. ....	83
Figura 3.21. Resultado de la simulación de la demanda o carga residencial en Simulink .....	83
Figura 3.22. Resultado de la simulación diaria de la demanda residencial y la generación fotovoltaica .....	84
Figura 3.23. Resultado de la simulación semanal de la demanda residencial y la generación fotovoltaica .....	84
Figura 3.24. Resultado de la simulación mensual de la demanda residencial y la generación fotovoltaica .....	85
Figura 3.25. Resultado de la simulación anual de la demanda residencial y la generación fotovoltaica .....	85
Figura 4.1. Diagrama unifilar de producción fotovoltaica AC sin batería. ....	88
Figura 4.2. Diagrama unifilar de producción fotovoltaica AC usando batería. ....	88
Figura 4.3. Diagrama unifilar de producción fotovoltaica con un inversor/cargador usando batería .....	89
Figura 4.4. Diagrama unifilar de producción fotovoltaica con un inversor/cargador con 2 entradas AC usando baterías .....	90
Figura 4.5. Diagrama unifilar de producción de energía renovable usando batería. ....	92
Figura 4.6. Información de meteorología de superficie y energía solar. ....	93
Figura 4.7. Coordenadas geográficas de la estación Tumbaco .....	94
Figura 4.8. Datos de meteorología de superficie y energía solar NASA de la estación Tumbaco.....	94
Figura 4.9. Trayectoria solar de la estación Tumbaco mediante el software PVsyst. ....	95
Figura 4.10. Trayectoria solar 07H00 en la estación Tumbaco mediante el software PVsyst.....	95
Figura 4.11. Trayectoria solar 17H00 en la estación Tumbaco mediante el software PVsyst.....	96
Figura 4.12. Ingreso de datos del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.....	97
Figura 4.13. Ingreso de datos del panel fotovoltaico en el software PVsyst. ....	97
Figura 4.14. Ingreso de datos del inversor en el software PVsyst. ....	98

Figura 4.15. Informe final 1 de la simulación del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.....	98
Figura 4.16. Informe final 2 de la simulación del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.....	99
Figura 4.17. Análisis del porcentaje de interés (TIR) respecto a precios en tarifa por kWh sin préstamos .....	105
Figura 4.18. Análisis del porcentaje de interés (TIR) respecto a precios en tarifa por kWh con préstamos .....	106
Figura 4.19. Saldo de flujo neto con la vida útil de proyecto fotovoltaico a un precio de 25 c\$/kWh .....	108
Figura 4.20. Saldo de flujo neto con la vida útil de proyecto fotovoltaico a un precio de 28 c\$/kWh .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Radiación Térmica (longitud de onda) .....	6
Tabla 1.2. Definición de la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal ...	10
Tabla 1.3. Eficiencia de módulos fotovoltaicos según su material.....	20
Tabla 2.1. Capacidad efectiva en generación. ....	28
Tabla 2.2. Producción Total de Energía e Importaciones.....	29
Tabla 2.3. Producción Total de Energía e Importaciones S.N.I. ....	30
Tabla 2.4. Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Litoral o Costa.....	31
Tabla 2.5. Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Interandina o Sierra .....	32
Tabla 2.6. Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Interandina o Amazonía.....	32
Tabla 2.7. Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Insular o isla Galápagos.....	32
Tabla 2.8. Estaciones de Secretaria de Ambiente y su ubicación.....	39
Tabla 2.9. Proyectos de generación mayores a 1MW.....	45
Tabla 2.10. Constante de emisividad en la Secretaría de Ambiente.....	47
Tabla 2.11. Temperatura Media mensual de las Estación de la Secretaría de Ambiente.....	48
Tabla 2.12. Valores de energía solar sobre la superficie terrestre de la Secretaría de Ambiente.....	52
Tabla 2.13. Estimación de la energía solar promedio de la Secretaría de Ambiente.....	52
Tabla 3.1. Ángulo del panel fotovoltaico dependiendo de la latitud del sitio .....	56
Tabla 3.2. Planilla para la determinación demandas unitarias de diseño. ....	59
Tabla 3.3. Demanda del sistema en la edificación residencial en un día aleatorio.....	60
Tabla 3.4. Especificación Técnica del panel fotovoltaico de 230Wp.....	63
Tabla 3.5. Temperatura máxima y mínima del panel fotovoltaico escogido.....	64
Tabla 3.6. Voltaje máximo y mínimo a máxima potencia del panel fotovoltaico.....	65
Tabla 3.7. Número de paneles fotovoltaicos en el espacio accesible. ....	67

Tabla 3.8. Especificación Técnica del inversor sunny boy 2000HF-30. ....	69
Tabla 3.9. Conjunto de posibilidades de arreglo en serie/paralelo para el diseño. ....	71
Tabla 3.10. Restricciones de cada arreglo según el aporte en kWp en serie/paralelo. ...	71
Tabla 3.11. Restricciones de cada arreglo según el aporte en kWp en serie/paralelo. ...	71
Tabla 3.12. Voltaje máximo en circuito abierto a temperatura mínima del panel fotovoltaico.....	72
Tabla 3.13. Voltaje máximo en circuito abierto. ....	72
Tabla 3.14. Especificaciones del campo solar en una edificación fotovoltaica.....	72
Tabla 3.15. Energía solar promedio mensual en la estación Tumbaco.....	76
Tabla 3.16. Energía eléctrica anual en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.....	77
Tabla 3.17. Porcentaje de producción de energía fotovoltaica respecto a la carga en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.....	86
Tabla 4.1. Costos de inversión para el sistema fotovoltaico.....	101
Tabla 4.2. Tabla de amortización.....	104
Tabla 4.3. El Costo/Beneficio y el TIR sin préstamos bancarios. ....	106
Tabla 4.4. El Costo/Beneficio y el TIR con préstamos bancarios. ....	107
Tabla 4.5. Resultados económicos TIR y VAN del sistema fotovoltaico a un precio de 25 c\$/kWh.....	108
Tabla 4.6. Resultados económicos TIR y VAN del sistema fotovoltaico a un precio de 28 c\$/kWh.....	109

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>CENACE</b>	Centro Nacional de Control de Energía
<b>CONELEC</b>	Consejo Nacional de Electricidad
<b>EEQ.SA</b>	Empresa Eléctrica Quito
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado
<b>FERUM</b>	Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>DMQ</b>	Distrito Metropolitano de Quito
<b>SRI</b>	Servicio de Rentas Internas
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space administration
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>m.s.n.m</b>	Metro sobre el nivel del mar
<b>P<sub>n</sub></b>	Potencia nominal
<b>FFUn</b>	Factor de frecuencia de uso
<b>CIR</b>	Carga instalada del consumidor representativo
<b>FS<sub>n</sub></b>	Factor de simultaneidad
<b>DMU</b>	Demanda Máxima Unitaria
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>AC</b>	Corriente Alterna
<b>PU</b>	Por Unidad
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>H<sub>sp</sub></b>	Hora solar pico
<b>K<sub>e</sub></b>	Constante de emisividad
<b>STC</b>	Condiciones Estándar de Medida
<b>MPPT</b>	Punto Máximo de Potencia
<b>°C</b>	Grados centígrados

<b>°K</b>	Grado kelvin
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Vatios por metro cuadrado
<b>W</b>	Vatio
<b>Wp</b>	Vatio pico
<b>kW</b>	Kilovatios
<b>kWh</b>	Kilovatios hora
<b>Voc</b>	Voltaje de circuito abierto
<b>Vmp</b>	Voltaje máxima potencia
<b>Icc</b>	Corriente de cortocircuito
<b>Imp</b>	Corriente máxima de potencia
<b>USD</b>	Dólar americano
<b>c\$/kWh</b>	Centavos de dólar americano por kilovatio hora
<b>VAN</b>	Valor actual neto
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno

## RESUMEN

# Análisis, Modelamiento y Gestión de una Micro Red Eléctrica para Edificaciones Residenciales usando Paneles Fotovoltaicos

Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz

[cvasquezru@gmail.com](mailto:cvasquezru@gmail.com)

Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*—En el presente proyecto se da a conocer una propuesta alternativa al usuario o dueño de una edificación residencial, a la utilización o aportación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos independientemente de su emplazamiento y estética de la misma, otorgando una posibilidad o cambio de ideología al usuario, de no ser solo consumidor o dependiente de la energía eléctrica, proveniente de las distintas distribuidoras de generación existentes en el Ecuador y así convertirse en cogenerador de su propia energía eléctrica mediante una micro red, permitiendo reducir el consumo de energía producida por los distintos aparatos eléctricos o electrónicos que conforman la edificación residencial, mediante el aprovechamiento de energía emitida por el sol con la utilización de paneles fotovoltaicos, representando así; la cogeneración de una energía renovable, limpia, de fácil instalación, poco mantenimiento; además admite el desarrollo de redes inteligentes con una mejor gestión energética o cobertura nacional de electrificación.

La cobertura nacional de electrificación es el componente estratégico para el desarrollo del país y para el mejoramiento de vida de los usuarios, indiscutiblemente del lugar donde esté se encuentre, es así que el usuario de la edificación residencial debe brindar y ayudar con el aporte al desarrollo del país, es decir, debe ser cogenerador de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales como la energía fotovoltaica. El Estado permitirá la fomentación de esta energía eléctrica por medio de leyes o incentivos que beneficien a personas que deseen incorporar este sistema y que deberá ser supervisado por las distintas empresas con su respectivo marco legal.

# ABSTRACT

## Analysis, Modeling and Management of an Electrical Microgrid for Residential Buildings using Photovoltaic Panels

Carlos Rodolfo Vásquez Ruiz  
cvasquezru@gmail.com  
Universidad Politécnica Salesiana

*Abstract*— The present project announces an alternative offer to the user or owner of a residential building to the contribution of electric power using solar photovoltaic independently it's emplacement and aesthetics, granting a possibility or change of ideology to the user not only as consumer or salesman of the electric power from the different distributors of generation that exist in the Ecuador and turns in cogeneration of his own electric power by a microgrid, allowing to reduce the consumption of energy produced by the different electrical or electronic devices that shape the residential building through the application of energy emitted by the sun with the usage of solar photovoltaic representing the renewable energy cogeneration, clean, easy installation, little maintenance; also it supports the development of intelligent networks with a better power management system or national electrification coverage.

The national electrification coverage is the strategic component for the country's development and the improvement of life of users, indisputably the place where you are, so that the user of residential building is provided and assisted with development impact the country is the cogeneration of electricity through unconventional sources such as solar photovoltaic. The State allows to further this electric power through legislation or incentives that benefit people who want to incorporate this system and should be supervised by different companies with their respective legal framework.

## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica producida por las distintas generadoras en el Ecuador tienen planes estratégicos para garantizar el abastecimiento de la demanda (industrial, comercial, residencial) permitiendo el desarrollo y la sostenibilidad del País. La producción de la electricidad debe ser eficiente y confiable, hacia los usuarios en cualquier sitio donde se encuentre, es así que se ha desarrollado proyectos de generación eléctrica con el uso de energías renovables en sitios donde se dificulta la transmisión de energía y donde la demanda va en crecimiento.

La creciente proyección de la demanda genera un uso eficiente y de ahorro de energía eléctrica por parte del usuario residencial ya que es el mayor consumidor de la misma, de ahí que nace la importancia de generar electricidad desde las propias edificaciones residenciales por medio de una generación distribuida.

La generación distribuida es la producción de energía que se ubica cerca de la carga, como por ejemplo en viviendas residenciales ayudará a fomentar la producción de energía eléctrica proveniente de energías renovables que no produce residuos tóxicos ni gases de efecto invernadero como las energías no renovables, aportando en su consumo de energía.

En la presente tesis se abordará un estudio y análisis que permitirá conocer si el usuario residencial puede generar una micro red eléctrica en sus edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos estimando su lugar geográfico y el grado de aportación que puede aportar al usuario residencial y a una posible reducción o alivio en la red de distribución en horas pico permitiendo que el estado tome en cuenta con incentivos a las personas que pueden invertir este sistema.

Este estudio ayudará a disminuir la posible incertidumbre o duda al integrar una micro red en viviendas residenciales y permitirá dimensionar correctamente este sistema en caso que los usuarios residenciales puedan optar por esta opción.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN ACTUAL DEL RECURSO SOLAR EN EL ECUADOR

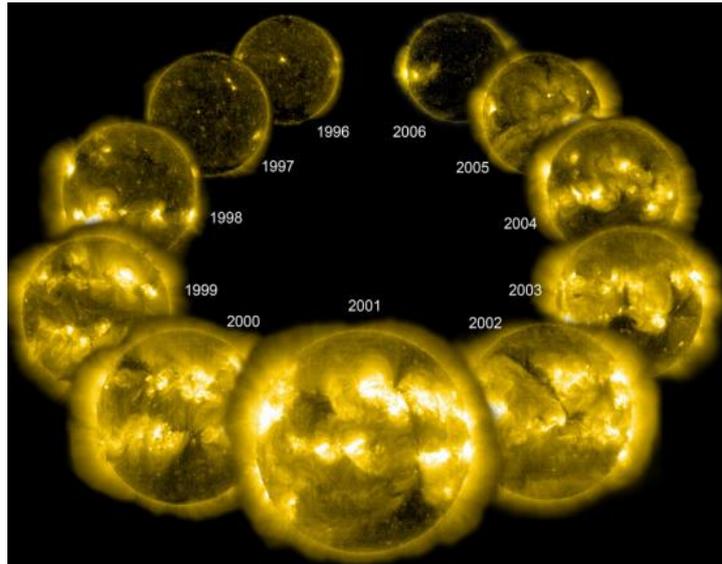
La generación eléctrica ha tenido un cambio radical en su matriz de producción energética renovando netamente la tendencia al incorporar energía renovable por la energía convencional. Esta necesidad del cambio del suministro de energía viene dado por rol protagónico del Estado que es el encargado de generar los nuevos proyectos de producción energética netamente con la participación de la energía renovable cambiando así la matriz energética y creando un plan de eficiencia y ahorro energético con el incremento de la cobertura nacional del servicio eléctrico del País.

Durante la vigencia de la REGULACIÓN No. CONELEC 004/11 que fue aprobada desde el 14 de abril del 2011 y codificada desde el 12 de enero del 2012, basándose en el “Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales” estableciendo requisitos, precios, período de vigencia y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados con la intervención de energías no convencionales como: eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomasa, biogás e hidroeléctricas menores a 50 MW, la vigencia de los precios serán de 15 años. Esta regulación cumplió el objetivo de incentivar al sector privado a la generación de energía eléctrica no convencional, que obtuvo una masiva participación de generadores fotovoltaicos por lo que la nueva REGULACIÓN No. CONELEC 001/13 que se basa en “La participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales” buscando fomentar la participación de otras energías renovables no convencionales como por ejemplo centrales de biomasa y biogás para todas aquellas empresas que hubieren suscrito hasta el 31 de diciembre de 2016 y su vigencia será igual de 15 años [1].

En la actualidad los proyectos de generación fotovoltaica han tenido un avance muy limitado por falta de financiamiento y trabas burocráticas que se presentan en nuestro país según dicho por empresas constructoras [2]. Uno de los proyectos de generación fotovoltaica pertenece al cantón Pimampiro en la provincia de Imbabura que se unió al sistema nacional interconectado (SNI), a pesar del retraso es la primera planta fotovoltaica a gran escala del Ecuador con 25 MW [3].

## 1.1 Energía Solar

El sol es una central energética situada en el corazón del sistema solar, fuente de vida y principio de las demás fuentes de energía como resultado de las reacciones de fusión nuclear que se emiten a la Tierra a través del espacio; en la Figura 1.1 se observa la producción de energía nuclear durante los ciclos de 1998-2006, la máxima producción de energía sucedió en 2001 y los mínimos en 1996 y 2007.



**Figura 1.1.** Reacciones nucleares del Sol.

**Fuente:** R.Bachiller, E. L. Sol and N.Estella, 2009, pp.371-382.

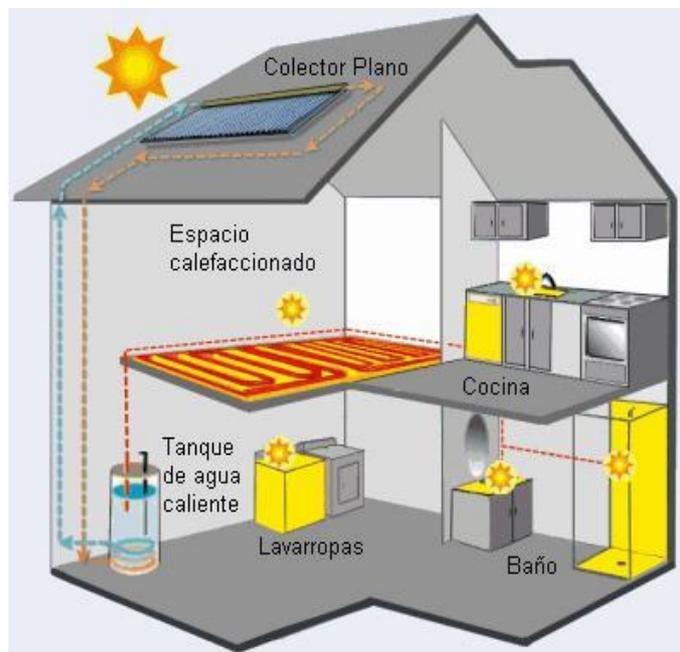
El sol es la fuente primaria que aporta a la Tierra de energía en cada momento y es el origen de las distintas fuentes de energías renovables, la radiación es retenida por la atmósfera permitiendo mantener un equilibrio para que exista vida en nuestro planeta [4], [5].

El Sol emite energía que puede ser en forma directa o indirecta permitiendo generar energías secundarias, estas energías producen efectos como se describe a continuación:

1. La Energía Directa produce dos efectos, térmico y fotónico, el efecto térmico que permite producir Energía Solar Térmica mientras que el efecto fotónico permite generar Energía Solar Fotovoltaica y Biomasa.
2. La Energía Indirecta produce igual que la Energía Directa dos efectos, esto se debe porque atraviesan sobre las dos capas externas, la primera capa es la atmósfera que permite generar Energía Eólica, y la segunda capa que es la

hidrósfera que permite generar Energía Hidráulica y Energía Mareomotriz [6], [7].

La energía directa es la mayor y la más importante en aplicaciones de energía solar, la cual permite transformarla en calor conocida como energía solar térmica o fototérmica que se divide en pasiva y activa, pasiva que es aprovechada en arquitectura solar e invernaderos y la activa que se divide en baja temperatura y alta temperatura. En baja temperatura es aprovechada en captadores de placa plana que a su vez sirve para la utilización en climatización de piscinas, secado de productos agrícolas, calentamiento de agua sanitaria, mientras que en alta temperatura es aprovechada en concentradores que luego se utiliza para realizar hornos solares y centrales solares.



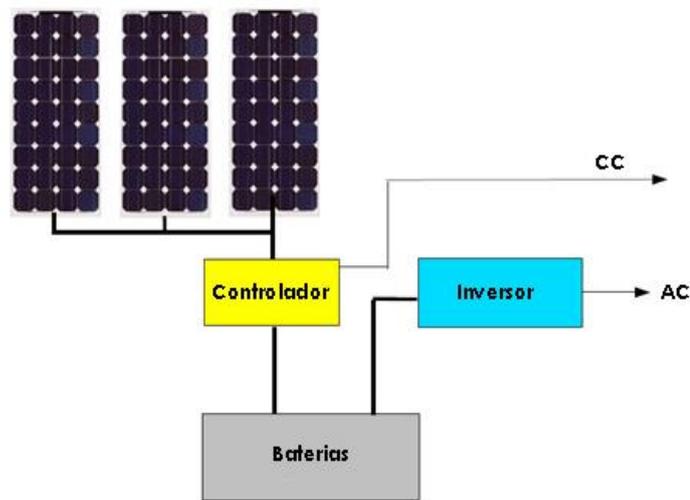
**Figura 1.2.** Utilización de la energía solar térmica.

**Fuente:** Afinidad Eléctrica, Energías alternativas Energía Solar, 2007.

También se utiliza la energía directa en la transformación de electricidad, conocida como energía solar fotovoltaica o energía fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de celdas solares conocidos como celdas fotovoltaicas.

Los paneles fotovoltaicos contienen filas de celdas fotovoltaicas que son semiconductores, fabricados de silicio cristalino las cuales están eléctricamente conectadas entre sí y encapsuladas en un envase o cubierta a prueba de agua; los mismos que son utilizados para generar electricidad sea en corriente continua (D.C,

C.C) o corriente alterna (A.C) como por ejemplo en iluminación, bombeo, cerca eléctrica, ventilación de forma directa o a través de acumuladores para luego introducirlos en la red de distribución eléctrica [4], [7].



**Figura 1.3.** Utilización de la energía solar fotovoltaica.  
**Fuente:** Solar Energy Chile, Tecnología Fotovoltaico, 2010.

### 1.1.1 Radiación Solar

La energía liberada por el Sol se lo denomina radiación solar, su valor aproximado es de  $63.450.720 \text{ W/m}^2$  y sabiendo que el Sol emite energía a todas las direcciones de la Tierra, la distancia del Sol a la Tierra sería de 149,6 millones de Km y la radiación solar recibida o conocida como constante solar es de  $1366,1 \text{ W/m}^2$  [4], [8]. La energía radiante que llega del sol a la tierra es aproximadamente  $1/3$  de la energía total interceptada por la atmósfera y de ella el 70% cae en el mar, incluso así esta energía es mayor al consumo energético mundial en nuestro planeta [9].

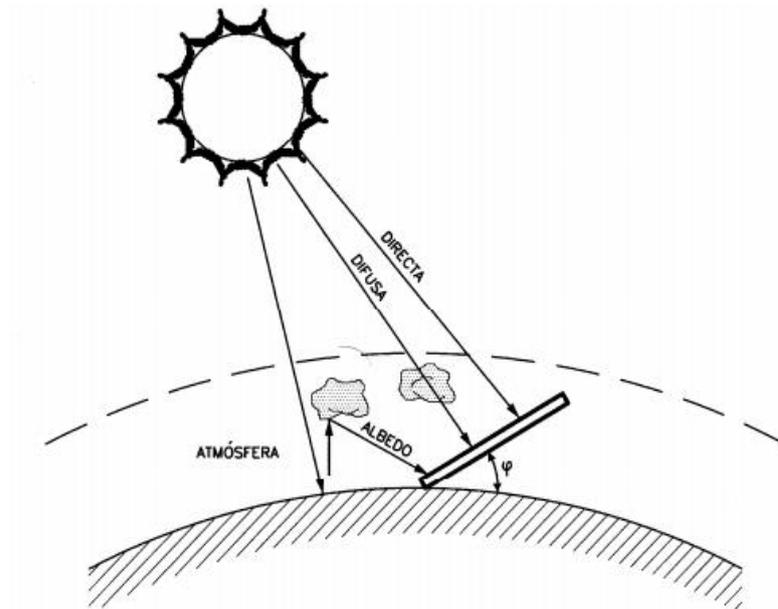
Los componentes de la radiación solar, cumple una función importante cuando atraviesa las capas de la tierra en rayos que inciden en la superficie terrestre tales como [6], [8]:

- Radiación Directa
- Radiación Difusa
- Radiación Albedo
- Radiación Global

La radiación directa es aquella que es emitida por el sol sin que se desvíe o desperdicie en su paso por la atmósfera, cabe destacar que esta radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones de energía solar. La radiación difusa es la que sufre cambios en su dirección cuando atraviesa la atmósfera, debido principalmente a la

reflexión y difusión. La radiación de albedo o conocida también como radiación reflejada es la radiación que recibe la superficie a través de las radiaciones (directa y difusa) que es recibe por la reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

La radiación global es la suma de todas las radiaciones anteriores (directa, difusa, albedo) que se presenta en una unidad de área o superficie.



**Figura 1.4.** Componentes de la Radiación Solar.

**Fuente:** L. A. R. Solar, Cefire sagunt energías renovables, 2008, pp.1-12.

## 1.2 Evaluación de la Energía Solar

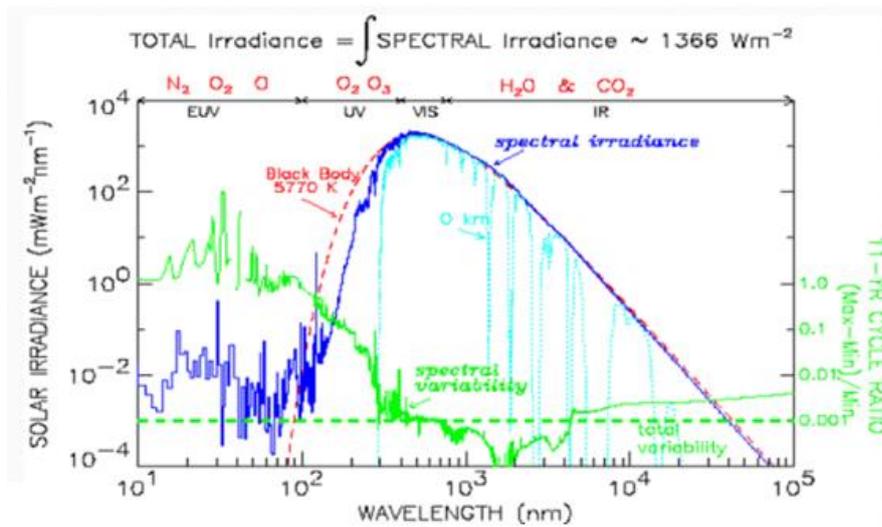
El espectro de la radiación solar que incide en la tierra está compuesto de un conjunto de frecuencias y longitudes de onda distintas que presentan un distinto nivel de energía en cada una emitida por el sol en toda gama del espectro electromagnético, sin embargo para uso o aprovechamiento de energía solo es importante la radiación térmica que incluye [7]:

**Tabla 1.1.** Radiación Térmica (longitud de onda).

Radiación Ultravioleta (UV)	$\lambda < 0,38 \mu m$ (7% 95,7 $W/m^2$ )
Radiación Visible (VIS)	$0,38\mu m < \lambda < 0,78 \mu m$ (47,3% 646,6 $W/m^2$ )
Radiación Infrarroja (IR)	$\lambda > 0,78 \mu m$ (45,7% 624,7 $W/m^2$ )

En la Figura 1.5 se muestra el espectro de la radiación solar de 10 a 100 000 nm (color azul oscuro), su variabilidad transcurre desde la radiación solar máximo y mínimo

(color verde) y la transparencia relativa de la atmósfera de la Tierra a nivel del mar (color azul claro).



**Figura 1.5.** Espectro de la radiación solar.

**Fuente:** Sra. Judith Lean del Laboratorio de Investigación Naval de EE.UU, NASA.

La energía de la radiación solar es diferente en la parte exterior de la atmósfera que sobre la superficie de la tierra, debido a la longitud de onda, la frecuencia y conociendo que todas las frecuencias viajan a la velocidad de la luz  $3 \times 10^8$  m/s de las ondas se relacionan por la ecuación (1.1) [7].

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1.1)$$

Dónde:

$\lambda$  Longitud de onda

$c$  Velocidad de la luz

$\nu$  Frecuencia de oscilación de los fotones (Hz)

Los fotones se caracterizan por su frecuencia o por su longitud de onda como por su energía (E) ya que permiten o no introducirse a la atmósfera concluir que algunos fotones de poca energía no pueden penetrar la atmósfera de la tierra como se muestra en la ecuación [7].

$$E = h * \nu \quad (1.2)$$

Dónde:

- E Energía de los fotones en Julios (J).  
h Constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} Js$ )  
 $\nu$  Frecuencia de oscilación de los fotones (Hz)

La energía de la radiación solar que llega a la parte exterior de la atmósfera se mide por medio de una constante solar ( $G_{sc}$ ), que representa la energía emitida del sol por la unidad de tiempo en un área de  $1[m^2]$  perpendicular a la dirección de propagación de la radiación.

El comportamiento de la radiación en la parte exterior de la atmósfera es diferente en el tiempo, se presenta como un ciclo anual que se lo puede representar por medio de una formulación matemática (1.3); con los movimientos característicos de la tierra y el sol que representa en el ciclo [10].

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad (1.3)$$

Dónde:

- $G_{on}$  Radiación extraterrestre medida en el plano normal a la radiación en el día “n” del año ( $W/m^2$ )  
 $G_{sc}$  Constante Solar ( $1366 W/m^2$ )  
n Día del año ( 1 al 365)

La radiación extraterrestre media en el plano normal a la radiación del día existe un cambio reciente realizado a la ecuación (1.3), en el factor “n” sustituido por “n - 3” porque el día 3 de enero es actualmente el día del perihelio solar y su formulación matemática (1.3) es la siguiente [11]:

$$G_{on} = G_{sc} \left\{ 1 + 0,033 \cos \left[ \frac{360(n-3)}{365} \right] \right\} \quad (1.4)$$

La evaluación de la energía solar que incide a la superficie de la tierra es de sólo el 47% y el 53% de la energía restante no alcanza la superficie de la tierra [12], debemos tomar en cuenta que la energía solar debe basarse en una información disponible, en cualquier emplazamiento o lugar geográfico para el diseño y el análisis económico de un sistema

de aprovechamiento solar; al igual que las proporciones de radiación que recibe en una superficie dependen de condiciones meteorológicas, inclinación de la superficie respecto al plano horizontal y presencia de superficies reflectantes que son emitidas del sol [4], [13].

La utilización y aportación de la energía solar mediante la medición de la radiación con la ayuda de los instrumentos de medida que puede existir en un lugar determinado no puede exceder su error de no más del 10%, teniendo en cuenta cuán confiables son los datos registrados en un periodo determinado (días, meses, años) y partiendo de cuales periodos de tiempo son necesarios y suficientes en las variaciones de horas y estaciones existentes para conocer los niveles altos y bajos de intensidad para la utilización práctica de energía solar [14].

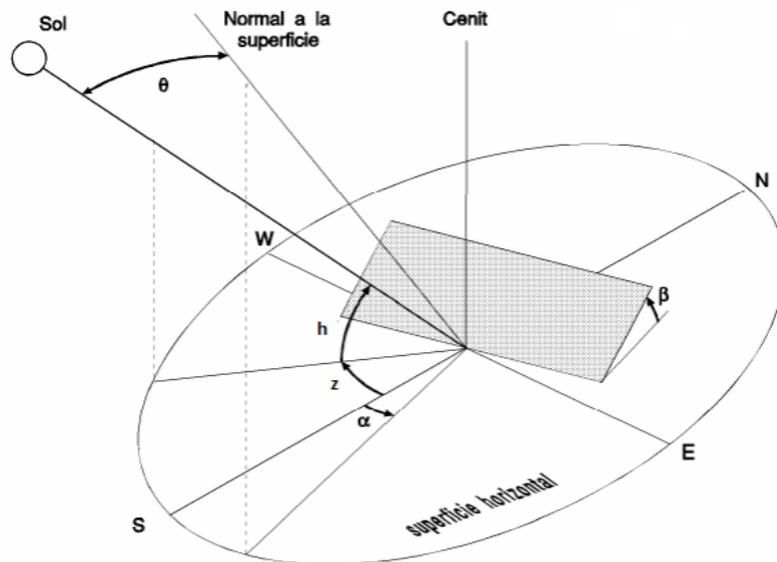
### 1.2.1 Condiciones meteorológicas



**Figura 1.6.** Condiciones meteorológicas extremas  
**Fuente:** Vaisala, Meteorología, 2014.

Las condiciones meteorológicas son un factor muy importante para conocer los datos o informes que se presentan en periodos de tiempo, como por ejemplo en un día soleado su radiación es en forma directa mientras que en un día nublado, la radiación es prácticamente difusa. Estas condiciones meteorológicas influyen en la radiación solar como por ejemplo a su vez en la temperatura ambiente, presión, humedad relativa, velocidad y dirección del viento que deberán ser medidos para su fiabilidad y el rendimiento que puede representar en un lugar determinado [15].

### 1.2.2 Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal



**Figura 1.7.** Posición del Sol relativa a una superficie plana.

**Fuente:** Aleda Valenciano Suarez, Energía Solar y Transmisión de la energía, 2011.

**Tabla 1.2.** Definición de la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal

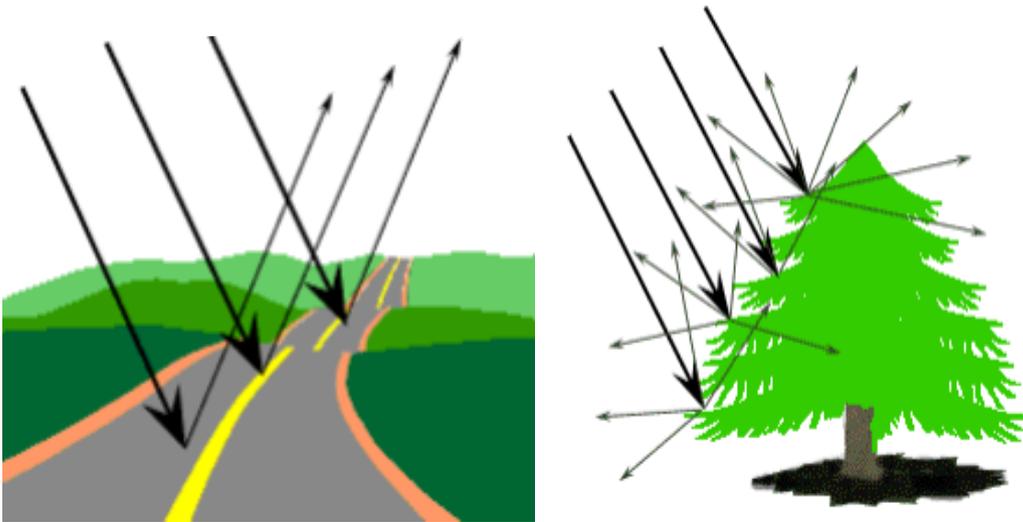
SIMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
$\theta$	Ángulo de Incidencia	Ángulo formado entre el rayo solar y la normal a la superficie
$h$	Altura solar	Se mide a partir del horizonte $0^\circ$ a $90^\circ$
$z$	Azimuth solar	Se mide a partir del sur $0^\circ$ a $\pm 180^\circ$ , positivo hacia el oeste y negativa hacia el este
$\alpha$	Orientación o Azimuth del captador	Se Ángulo formado por la proyección horizontal de la normal a la superficie, se mide en el plano del horizonte de S a E positivo.
$\beta$	Pendiente o Inclinación	Ángulo formado por la superficie pala con el plano horizontal

**Fuente:** Aleda Valenciano Suarez, “Energía Solar y Transmisión de la energía”, 2011.

La radiación o una proporción de energía que recae a la superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada. La inclinación y la posición de donde se encuentre del sol respecto al ángulo solar que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado el término conocido tiene unidades de energía por área que es representado como  $[W/m^2]$ .

### 1.2.3 Presencia de superficie reflectantes

La proporción de energía en una superficie determinada se toma en cuenta si es reflejante o no, por ejemplo las superficies claras son las más reflectantes de tal manera que la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno.

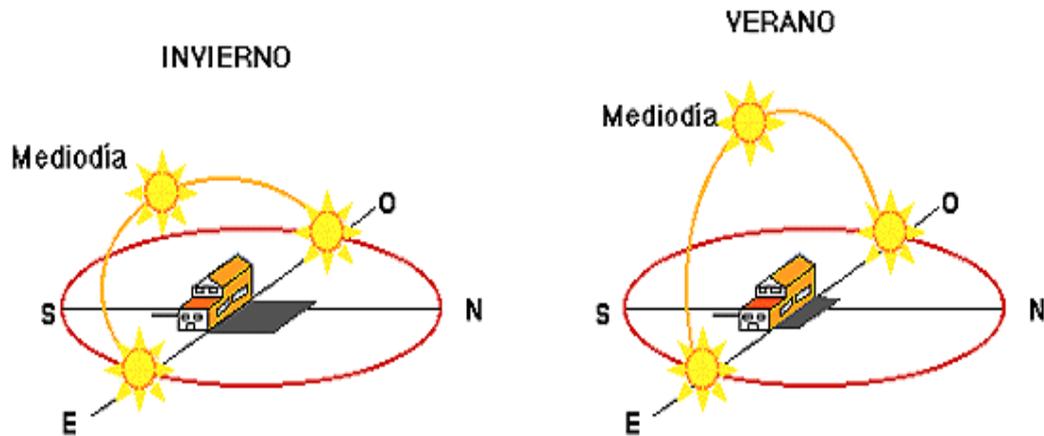


**Figura 1.8.** Objetos reflejantes.

**Fuente:** Manuel Arbelo, Fundamentos Físicos, 1999, pp.1-21.

### 1.2.4 Movimiento del sol

El movimiento del sol dibuja trayectorias diferentes a lo largo del año, esto se debe según las estaciones del año existentes en diferentes lugares geográficos, el movimiento del sol se lo conoce mediante un sistema de coordenadas con los ángulos representada en la Figura 1.7 que permite conocer en cada momento dónde se encuentra dicha trayectoria  $h$  (el ángulo de elevación es el que sigue el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur) y  $z$  (el azimuth solar que nos ayuda a seguir el movimiento diario del sol de este a oeste), tales como en el invierno sube poco el ángulo solar y en verano sube mucho lo que hace que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras como se muestra en la Figura 1.9.



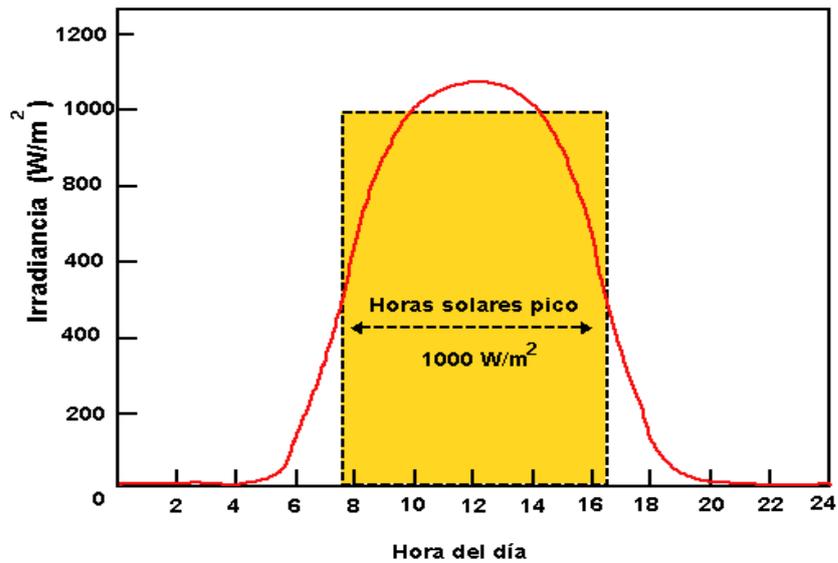
**Figura 1.9.** Movimiento del sol.  
**Fuente:** Solar.nmsu.edu, Energía Fotovoltaica, 2005.

Los aspectos tratados anteriormente nos permiten conocer las proporciones de radiación solar, que se recibe en una superficie determinada y con las condiciones representadas en un lugar geográfico se le conoce como Irradiancia y se mide en unidades de  $[W/m^2]$  ó  $kW/m^2$ . La irradiancia su variación de valor es indistinto para cada instante como por ejemplo en un día despejado la irradiancia a las 10H00 será diferente por el movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje) y menor a la que se obtiene a las 13H00. La irradiancia es  $0 W/m^2$  cuando no existe radiación por ende ese valor siempre será en la noche.

Al igual que la irradiancia también podemos obtener la insolación que es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, es decir, son acumulaciones de energía horaria, diaria, estacional o anual y se mide en unidades de  $Wh/m^2$  ó  $kWh/m^2$ . Para dimensionar sistemas fotovoltaico es esencial conocer los datos de la insolación diaria promedio preferiblemente para cada mes del año.

La insolación diaria promedio comúnmente se expresa en horas solares pico (HSP), una hora solar pico es la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de  $1 kW/m^2$  es decir,  $1 kWh/m^2$  es igual a 1 HSP.

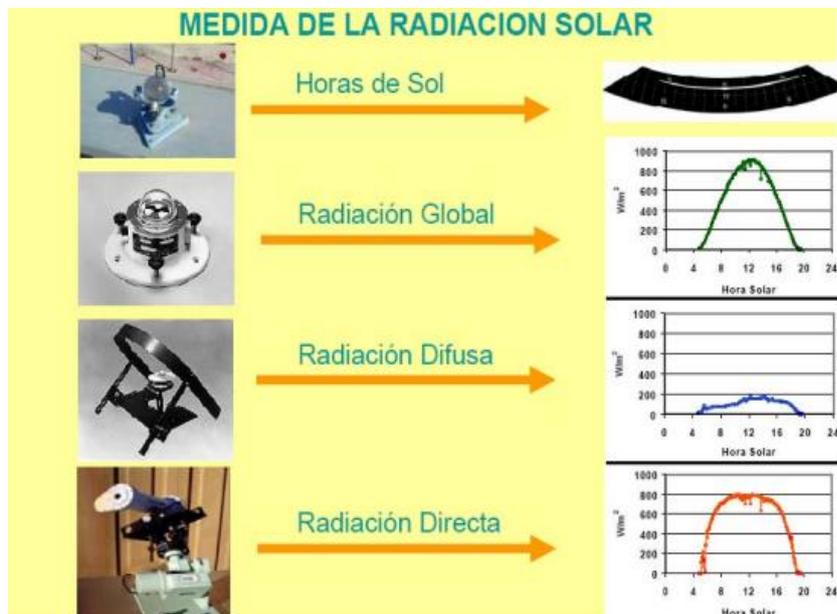
La insolación que se puede presentar en un intervalo de tiempo como por ejemplo en un día promedio varía entre 3 y 7 HSP. No se debe confundir las “HSP” con las “horas luz” que corresponde a la duración del día como se representa en la Figura 1.10.



**Figura 1.10.** Irradiancia vs Tiempo (horas del día).  
**Fuente:** Solar.nmsu.edu, Energía Fotovoltaica, 2005.

### 1.3 Métodos de captación para la Energía Solar

La captación de energía solar se realiza mediante instrumentos de medida de radiación solar en un periodo determinado permitiendo conocer los valores en diferentes lugares geográficos para que dichos valores sean directos e indirectos que luego son modeladas en un método de estimación.



**Figura 1.11.** Instrumentos meteorológicos para la medición de la radiación.  
**Fuente:** Daniel Pérez Carrasco, Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de Estación Radiométrica.

Existen varias medidas que se pueden realizar a la hora de evaluar la meteorología (distintas variables climáticas) y la disponibilidad energética de un lugar geográfico, como por ejemplo disponer de una buena estación de medida con registros correctos y con mínimos errores posibles, con ayuda de instrumentos de medida que permitirán estimar los valores de radiación en la superficie como se muestra en la Figura 1.11.

La forma principal de actuación de los instrumentos de medida es la conversión de la energía proveniente del sol en otro tipo de energía principalmente eléctrica, de modo que pueda ser medida de una forma mucho más sencilla, esa energía dependerá de la inclinación y en su caso de la orientación en la que esté situado el instrumento de medida debido a que no sería lo mismo registrar la radiación incidente en una superficie horizontal que en una vertical, por razones obvias.

A continuación vamos a detallar los instrumentos de medida de radiación:

### 1.3.1 Heliógrafo



**Figura 1.12.** Heliógrafo.

**Fuente:** Ineter, Instrumentos Meteorológicos, 2006.

Los heliógrafos sirven para medir la heliófania (medida de la radiación solar) que son registrados los datos de la duración de la luz solar, insolación o brillo solar en horas y décimas que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial y vale  $120 \text{ W/m}^2$  [12].

La obtención de un registro correcto de las horas del sol, se debe al instrumento de medida el cuál debe estar bien orientado según sea la época del año y de acuerdo con las variaciones de la declinación del sol, como por ejemplo la instalación debe hacerse de forma que el instrumento sea paralelo al eje del mundo (eje polo N-S terrestre) y que su plano de simetría coincida con el plano meridiano del lugar de instalación forme un ángulo igual a la latitud del lugar.

### 1.3.2 Piranómetro

Los piranómetros sirven para medir la radiación global que es la suma de la radiación que procede directamente de la radiación directa y la radiación dispersada a su paso de la atmósfera, conocida como radiación difusa recibe en todas direcciones por lo que el instrumento tiene que descansar sobre una base horizontal, que se encuentra constituido de un desecante para evitar la condensación en el interior del instrumento y de un nivel de burbuja para facilitar la nivelación; mientras que su respuesta espectral es prácticamente plana en todo el intervalo de interés, la mayor fuente de incertidumbre es su respuesta direccional.



**Figura 1.13.** Piranómetro.

**Fuente:** Direct industry, Medición de radiación solar, 2014.

La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida entre el intervalo espectral de  $0,3 \mu m$  y  $3 \mu m$ , si está protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor entonces mide sólo la radiación difusa como lo muestra la Figura 1.14.



**Figura 1.14.** Piranómetro protegido (radiación difusa).  
**Fuente:** Herter Instruments, Transmisores de luz, 2014.

#### 1.4.1 Pirheliómetro



**Figura 1.15.** Pirheliómetro.  
**Fuente:** Direct industry, Medición de radiación solar, 2014.

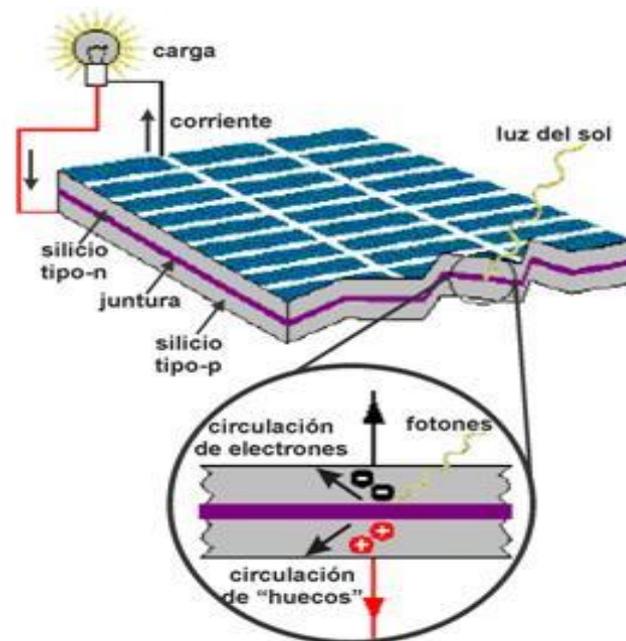
Los pirheliómetros sirven para medir la radiación solar directa total, este instrumento de medida tiene una abertura colimada y una cara de recepción que debe permanecer siempre normal a los rayos solares, su campo de visión es de 5 grados. Las aperturas de este dispositivo están dispuestas de forma que sólo la radiación procedente del disco solar y de una estrecha franja anular en torno al mismo alcanzan el receptor.

El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo a través de un tubo largo gracias a que este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del sol, frecuentemente sirve para calibrar los piranómetros.

#### 1.4 Captación en Edificaciones Residenciales

La captación de energía eléctrica en las edificaciones residenciales siempre ha sido dependiente del suministro eléctrico de las empresas distribuidoras de energía de tal manera que el usuario residencial no ha buscado la manera de generar su propia energía eléctrica.

En los últimos años se ha tratado de aprovechar la energía alternativa que es emitida de los recursos naturales, permitiendo generar energía en regiones apartadas donde no puede llegar el recurso energético sea esto por falta de financiamiento y otras por el daño que se puede realizar en regiones por su fauna y flora, la energía solar se convierte en una forma de alternativa no solo a gran escala más bien a nivel residencial se beneficiaría dependiendo del sector geográfico y el nivel de carga que reducirá la demanda energética con la utilización de paneles fotovoltaicos en zonas favorables.



**Figura 1.16.** Componentes del módulo fotovoltaico.  
**Fuente:** Karina Pacco, Energía solar y sus aplicaciones, 2010.

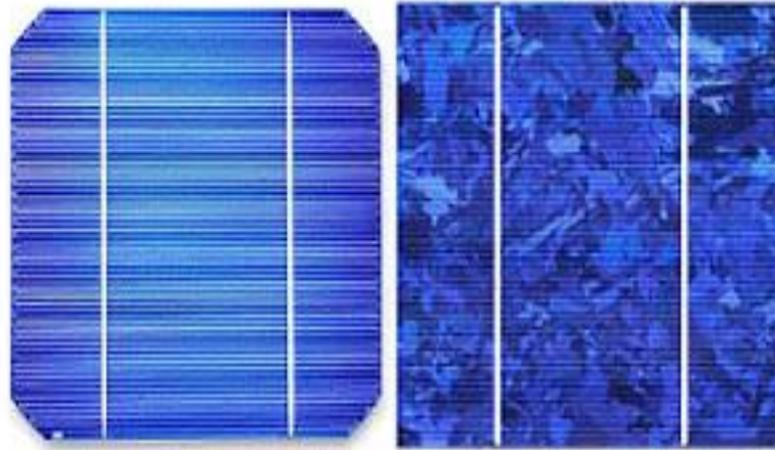
El aprovechamiento eléctrico emitida por la energía solar fotovoltaica, es deriva de las células fotovoltaicas (módulos fotovoltaicos) que son dispositivos electrónicos, capaces de transformar el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol mediante la radiación solar como el silicio, telurio de cadmio o diseleniuro de indio y cobre porque sus átomos son muy sensibles que transforma directamente en electricidad aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores [16], [17].

Los módulos fotovoltaicos están formadas de materiales semiconductores tales como una rejilla semiconductor que permite generar un campo eléctrico positivo (P) en un lado y negativo (N), que cuando queda expuesto a la radiación solar los fotones contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores (módulos fotovoltaicos) que proceden a romper la barrera de potencial de la unión P-N produciéndose así corriente eléctrica como se observa en la Figura 1.16.

Los paneles fotovoltaicos existentes en el mercado son de silicio monocristalino y policristalino son los más usados y constituyen aproximadamente el 80 % de los paneles fotovoltaicos existentes en el mercado.

La unidad de medida de la potencia de un módulo fotovoltaico se lo conoce como kilowatio pico (kWp) que es la referencia al máximo valor que puede producir ya que esta depende de la radiación solar que no es constante (amanecer, anochece, nubosidad).

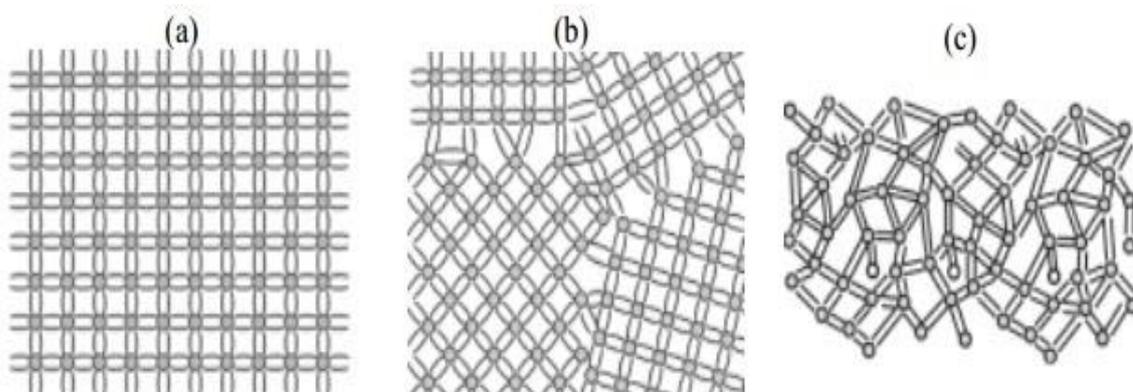
Los paneles de silicio monocristalino están constituidos de células de cristal de silicio su eficiencia es de 12-15 % y la superficie que tiene este módulo para generar 1kWp es de 7-12  $m^2$ , mientras que los paneles de silicio policristalino su formación es de células de múltiples cristales y su eficiencia es de 11-13% y la superficie que tiene este módulo para generar 1kWp es de 8-11  $m^2$ , estos módulos son comparables a los fabricados con paneles de silicio monocristalinos en cuanto a la construcción, características, costo y durabilidad.



**Figura 1.17.** Paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino y policristalino respectivamente.  
**Fuente:** Plan solar San Juan, Fabricación de Paneles Solares, 2013.

Los paneles de silicio amorfo tiene una estructura cristalina irregular y tienden a sufrir degradaciones más aceleradas, su coste de fabricación es bajo pero a comparación de los paneles de silicio monocristalino o policristalino es una desventaja debido a que al usar este tipo de tecnología se debe incrementar el tamaño del módulo fotovoltaico que representa si se desea conseguir o generar 1kWp es de 16-20  $m^2$  y su eficiencias es de 8-10%.

La estructura de construcción de los paneles de silicio monocristalino(a), policristalino(b) y aformo(c), como se muestra en la Figura 1.18, son básicamente las misma a diferencia que los paneles de silicio monocristalino son los que se requiere mayor gasto de energía y mayor rigor en el control del proceso de fabricación para cumplir su eficiencia.



**Figura 1.18.** Estructuras de los paneles de silicio monocristalino, policristalino y aformo respectivamente.

**Fuente:** Plan solar San Juan, Fabricación de Paneles Solares, 2013.

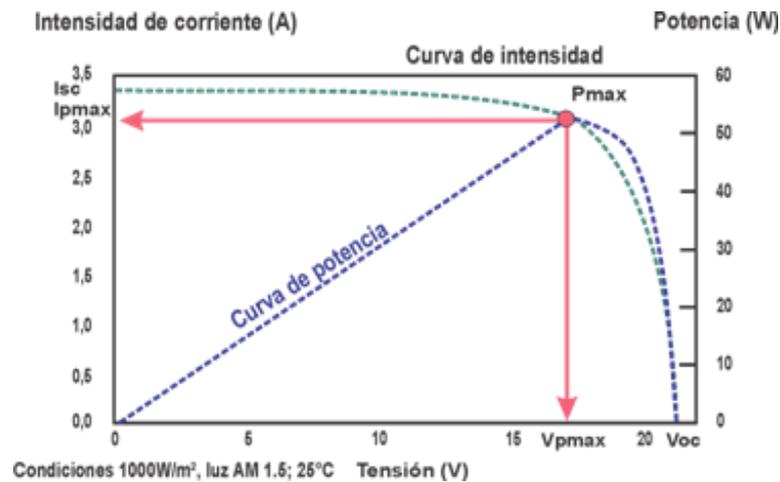
Los paneles de telurio de cadmio (CdTe) es una tecnología relativamente nueva y no es muy difundida debido a que las ventas a nivel mundial de este tipo de paneles es menor a los paneles monocristalino y policristalino ya que la eficiencia de este tipo de módulos fotovoltaicos alcanza 10-11% aproximadamente y la superficie que tiene este módulo para generar 1kWp es de 14-18  $m^2$ , también los paneles diseleniuro de indio y cobre (CIS) esta tecnología es relativamente nueva y no es muy difundida debido al igual que los paneles de telurio de cadmio (CdTe) su eficiencia de este tipo de módulos fotovoltaicos es de 8-11% aproximadamente y la superficie que tiene este módulo para generar 1kWp es de 11-13  $m^2$ .

**Tabla 1.3.** Eficiencia de módulos fotovoltaicos según su material.

<b>Material del panel fotovoltaico</b>	<b>Eficiencia</b>
Silicio monocristalino	12-15 %
Silicio policristalino	11-13%
Silicio amorfo	8-10%.
Telurio de cadmio (CdTe)	10-11%
Diseleniuro de indio y cobre (CIS)	8-11%

Los parámetros importantes para conocer la eficiencia de un panel fotovoltaico es su corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) y su voltaje de circuito abierto ( $V_{ca}$ ), que representa como el máximo valor de corriente que circula por una celda fotovoltaica y se da cuando los terminales de la celda solar está en cortocircuito, su valor típico es de decenas de miliamperios por cada centímetro cuadrado de la celda solar, mientras que la tensión de circuito abierto para la cual los procesos de recombinación igualan a los de generación y por lo tanto la corriente que se extrae de la celda solar es nula. Constituye la máxima tensión que puede extraerse de una celda solar [18].

El funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se presenta por la curva características de I-V, dicha curva se observan las características eléctricas de la celda fotovoltaica, en el incremento de voltaje desde 0 hasta el voltaje de circuito abierto, la corriente es casi constante hasta un voltaje máximo  $V_{m\acute{a}x}$  y de ahí desciende rápidamente. Para obtener la máxima potencia se puede calcular como  $P=V \times I$  lo que se muestra gráficamente en la curva de segmentos es decir cuando el voltaje es máximo al igual que la corriente la potencia será máxima conocida como potencia máxima pico ( $P_{mp}$ ).



**Figura 1.19.** Curva característica I-V de una celda fotovoltaica.  
**Fuente:** Karina Pacco, Energía solar y sus aplicaciones, 2010..

La calidad del panel fotovoltaico se determina por el área del rectángulo  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  y el área del rectángulo  $I_{cc}$ ,  $V_{ac}$  que se lo conoce como factor de forma y su fórmula es la siguiente:

$$FF = \frac{I_{max} * V_{max}}{I_{cc} * V_{ac}} \quad (1.5)$$

La eficiencia del módulo fotovoltaico o rendimiento es la relación entre la potencia de entrada con la potencia de salida y su formulación para determinar la eficiencia del módulo fotovoltaico es la siguiente:

$$\eta_c = \frac{P_M}{G * A_c * N_c} \quad \eta_M = \frac{P_M}{G * A_M} \quad (1.6)$$

Dónde:

$\eta_c$ : Eficiencia del panel fotovoltaico

$P_M$ : Potencia nominal del panel fotovoltaico en vatios pico [Wp]

$G$ : Radiación Solar en [W/m<sup>2</sup>]

$A_c$ : Área del módulo en [m<sup>2</sup>]

$N_c$ : Número de celdas en el panel

$\eta_M$ : Eficiencia del panel fotovoltaico

$A_M$ : Área del módulo en [m<sup>2</sup>]

Una vez conociendo los módulos fotovoltaicos según su tipo de estructura y la eficiencia deberemos tomar en cuenta cuales son los factores que pueden aportar para un mejor rendimiento del panel fotovoltaico, como por ejemplo el análisis del emplazamiento de los módulos, diseño de la instalación, ejecución de la instalación, mantenimiento permitiendo una integración a las edificaciones residenciales.

Tendremos que tomar en cuenta si las edificaciones residenciales están ya construidas o en vías de construcción por ende tendremos que aprovechar los espacios libres en donde sea factible obtener el recurso solar, como por ejemplo en techos o cubiertas ya que esta instalación es la más común ya que no implica un estudio de diseño de integración de módulos desde el proyecto arquitectónico sino que simplemente se utilizan los espacios disponibles en cubierta para su ubicación. Colocando estructuras ya sea inclina o plana dependiendo de la forma arquitectónica que se encuentre la edificación residencial.



**Figura 1.20.** Estructura Arquitectónica de paneles fotovoltaicos en una vivienda residencial.

**Fuente:** Casas solares, Arquitectura de casas, 2008.

### **1.4.2 Análisis del emplazamiento de los módulos**

Debemos analizar y tener en cuenta la accesibilidad y la seguridad tanto del espacio que va a ser elegido, como de la su superficie tomando en cuenta la orientación, sombras y las pérdidas para que de tal manera obtener la mayor eficiencia de los módulos fotovoltaicos.

### **1.4.3 Diseño de la instalación**

Para la utilización de paneles fotovoltaicos debemos tomar en cuentas aspectos tales como el lugar geográfico o emplazamiento, datos históricos de la radiación, sus condiciones climáticas así mismo la carga que se va a utilizar en la edificación residencial, cargas dinámicas y cargas estáticas para la elección de los módulos fotovoltaicos y la rentabilidad de dicha instalación.

### **1.4.4 Ejecución de la instalación**

Tomando en cuenta los aspectos anteriores debemos planificar si la vivienda está construida o en vías de construcción para partir con la instalación o ejecución de los módulos fotovoltaicos con personas especializadas en la colocación de los mismos.

La configuración básica de un sistema fotovoltaico como cualquier otra instalación eléctrica se los realiza con los medios apropiados, adecuadamente y en forma segura para la conexión y la desconexión eléctrica del sistema fotovoltaico.

### **1.4.5 Mantenimiento**

El mantenimiento requerido para un módulo fotovoltaico es importante para su vida útil y para la eficiencia o rendimiento que fue construido el equipo de tal manera que los valores estimados de energía sean idóneos.

Debemos tomar en cuenta el soporte o estructura es la encargada de asegurar un buen anclaje del panel fotovoltaico que facilitan la instalación y mantenimiento de los paneles a la vez que proporcionan no solo la orientación necesaria, sino también el ángulo de inclinación idóneo para un mejor aprovechamiento de la radiación.

La integración fotovoltaica en edificaciones residenciales nos permitirá la sustitución de materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos fotovoltaicos generadores de energía, permitiendo tener una estética diferente a lo convencional de forma que seremos participantes o aportadores de un autoconsumo de energía que ayudará a disminuir el efecto de gases de efecto invernadero y a disminuir la carga en los sistemas de distribución.

El diseño arquitectónico es una parte esencial cuando existe una edificación ya construida, es decir, debemos buscar la manera más factible para no romper o destruir lo menos posible con la estética, fijación, cableado e integración de los módulos fotovoltaicos en las edificaciones, en este caso se sacrificará el diseño arquitectónico a costa de la producción eléctrica o viceversa, en cualquiera de las dos formas debe llegarse a una solución racional de equilibrio entre ambos factores y debe buscarse en lo posible un resultado estético acorde con el contexto y la armonía de la edificación residencial.

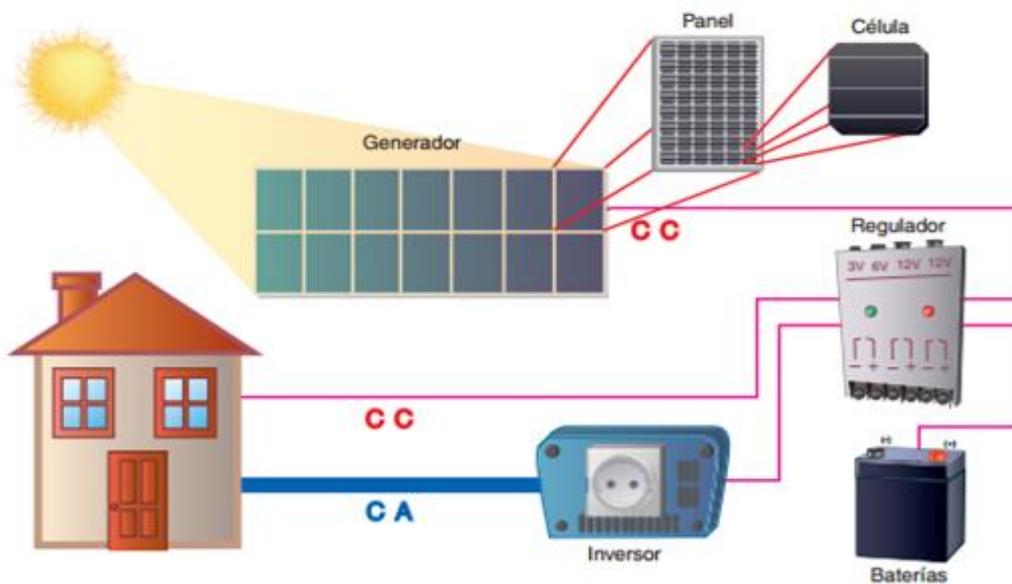


**Figura 1.21.** Sistema con integración arquitectónica en edificaciones.

**Fuente:** Carlos Sánchez Pacheco, Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano, 2010.

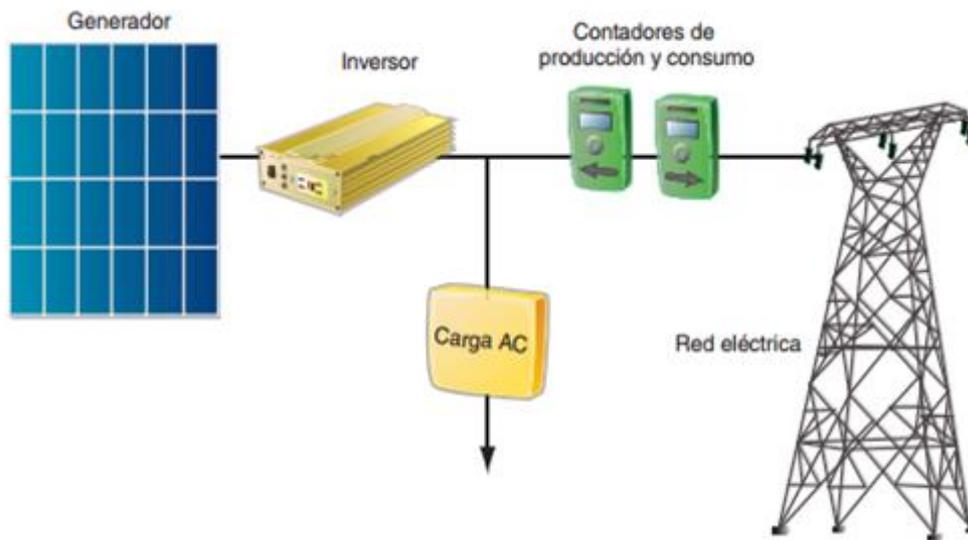
Teniendo en cuenta los criterios de diseño en la integración de paneles fotovoltaicos en edificaciones residenciales, como se puede observar en la Figura 1.21 nos indica las opciones de diseño y a su vez podremos calcular la aportación de energía dependiendo de la elección del diseño arquitectónico y la necesidad o no de aportar a la edificación de forma autónoma o conectada a la red de distribución.

Los sistemas eléctricos autónomos en edificaciones residenciales pueden ser una alternativa independiente del usuario, dependiendo de la utilización o carga que vaya a ser utilizada y siempre analizando los niveles de aportación que se puede llegar a obtener del recurso solar, para que la inversión sea conveniente a corto plazo y largo plazo por la utilización de paneles fotovoltaicos, un regulador de voltaje, batería y la utilización de un inversor dependiendo de la utilización si se utiliza equipos de Corriente alterna (CA) o Corriente directa (CD).



**Figura 1.22.** Esquema de la instalación automática utilizando paneles fotovoltaicos.  
**Fuente:** Mc Graw-Hill, Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010, pp.1-30.

Pero también no solo podemos utilizar de forma automática más bien los sistemas conectados a la red eléctrica de distribución ayudan a la aportación de energía emitida directamente por el recurso solar, al igual que los sistemas automáticos los componentes de esta instalación serían los mismo salvo la utilización de baterías que no se las utilizaría y no fueran necesarias, ya que la energía que es captada será consumida en el mismo instante o será inyectada a la red de distribución.

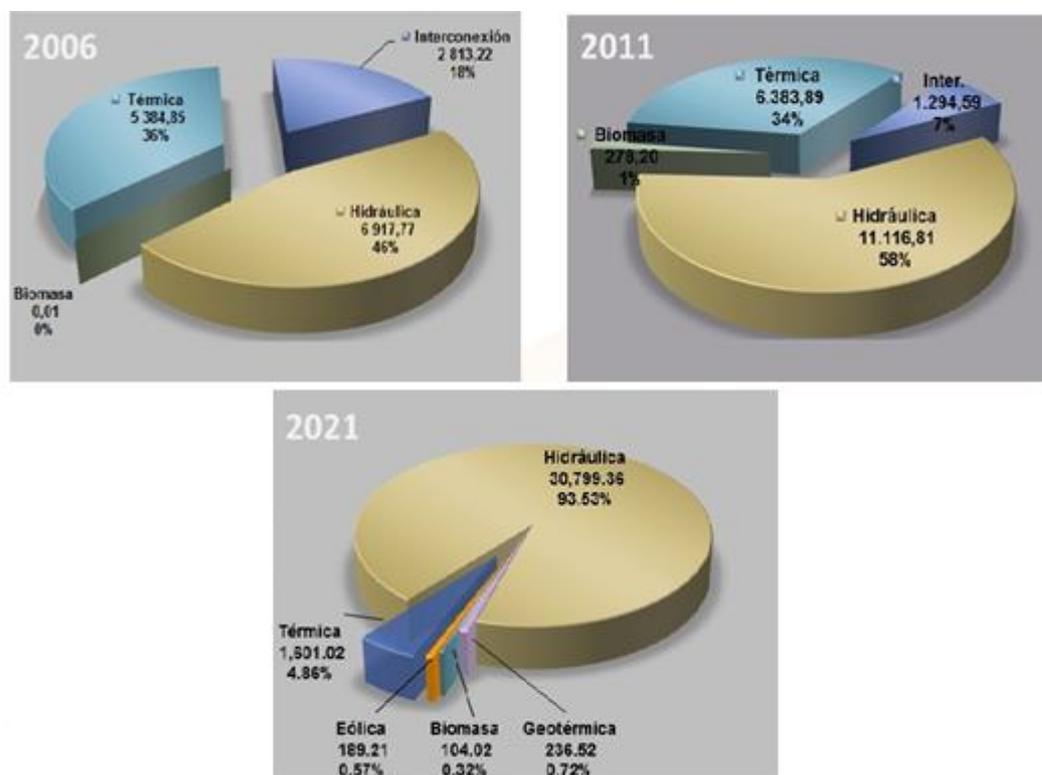


**Figura 1.23.** Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica.  
**Fuente:** Mc Graw-Hill, Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010, pp.1-30.

## CAPÍTULO II

### ENERGÍA RENOVABLES APORTACIÓN EN EL ECUADOR

La aportación de energía renovable convencional en el Ecuador es alta, la inversión del estado Ecuatoriano en la energía eléctrica es netamente en el sector hidroeléctrico por su capacidad de generación, bajos costos de mantenimiento y por su capacidad de almacenamiento pero sin dejar de lado proyectos de energía renovable no convencional como son la energía eólica, solar, geotérmica, biomasa y biogás. Es así que hay un cambio de matriz energética a través de los años como se muestra en la Figura 2.1 en el año 2006 el mayor aporte de energía renovable es la Hidráulica y conforme a nuevas iniciativas e incentivos para el año 2011 se logró producir otro tipo de energía renovable como la Biomasa que no es más que la cogeneración con bagazo de caña utilizado por la centrales de las empresas azucareras, y se espera para el año 2021 que intervengan más energías renovables no convencionales marcando así un ritmo de transición energética requerida para no depender solo de los combustibles fósiles y más bien aportando al medio con energías limpias como son las energías eólica, solar, geotérmica, biomasa y biogás [19], [20].



**Figura 2.1.** Cambio de la matriz energética.  
**Fuente:** CELEC EP, Cambio de matriz energética, 2006.

La energía hidráulica es el mayor aportador de energía eléctrica renovable actualmente en el Ecuador que se genera y en el que más se invierten como son en proyectos pequeños, medianos y de gran escala, sin olvidar que esta energía es el mayor aportador al sistema nacional interconectado (S.N.I).

A continuación en las siguientes Tablas 2.1 y 2.2 se muestra el balance nacional de energía eléctrica con las estadísticas del total de capacidad instalada, el total de producción nacional e importaciones, el total de producción nacional en el sistema nacional interconectado e importaciones de energía tanto renovable como no renovable en megavatios [MW] y su porcentaje que aporta con cada una de las diferentes energías que se genera en el Ecuador según la información de abril del 2014 [21].

En la Tabla 2.1 se muestra la capacidad efectiva en generación, esta se encuentra dividida en dos secciones que son la capacidad de energía renovable y la capacidad de energía no renovables la suma de estas dos energías dan el total de la capacidad instalada en la generación de energía eléctrica. La capacidad de energía renovable está conformada por las aportaciones de energía hidráulica, solar o fotovoltaica, eólica, turbovapor. La energía hidráulica es el mayor aportador de energía eléctrica seguido de la energía de turbovapor, eólica y solar.

**Tabla 2.1.** Capacidad efectiva en generación.

Capacidad efectiva en generación		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	2,237.33	43.85%
	Solar	4.87	0.10%
	Eólica	18.90	0.37%
	Turbovapor	93.40	1.83%
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>2,354.50</b>	<b>46.15%</b>
No Renovable	MCI	1,326.16	25.99%
	Turbogas	973.30	19.08%
	Turbovapor	448.24	8.79%
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>2,747.70</b>	<b>53.85%</b>
<b>Total Capacidad Instalada</b>		<b>5,102.21</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: CONELEC, Balance Nacional de Energía Eléctrica, 2014.

En la Tabla 2.2 se muestra la producción total de energía e importaciones en Gigavatios hora [GWh] y el porcentaje de cada una de las energías tanto renovables como no renovables, son producidas en determinadas horas que sumando estas energías tendríamos como resultado el total de producción nacional de energía eléctrica y cuando la capacidad de carga sobrepasa la producción de energía eléctrica se recurre a las interconexiones entre Ecuador-Colombia y Ecuador- Perú o cuando la producción de

energía debe almacenarse por el ahorro de divisas en la disminución de diésel, es preferible importar que producir energía por el precio que representaría en la producción de energía eléctrica. La interconexión entre Colombia consta de dos partes (interconexión de 138kV y 230kV).

La interconexión eléctrica a 138kV entró en servicio el 4 de octubre de 2001 con una línea de transmisión de simple circuito que une la subestación Tulcán con la subestación Panamericana (IpiALES) y la interconexión eléctrica a 230kV, entró en operación el 1 de marzo de 2003 con una línea de transmisión de circuito que une las subestación Pomasqui con la subestación Jamondino (Pasto) [22]. La aportación de energía eléctrica en la interconexión se la realiza a Colombia con un 3,09% de la energía total de producción nacional.

**Tabla 2.2.** Producción Total de Energía e Importaciones.

Producción Total de Energía e Importaciones		GWh	%
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	10,403.70	42.90%
	Eólica	72.34	0.30%
	Fotovoltaica	5.26	0.02%
	Térmica Turbovapor (1)	289.35	1.19%
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>10,770.64</b>	<b>44.41%</b>
<b>No Renovable</b>	Térmica MCI	6,590.36	27.17%
	Térmica Turbogas	3,364.84	13.87%
	Térmica Turbovapor	2,778.26	11.46%
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>12,733.46</b>	<b>52.50%</b>
<b>Total Producción Nacional</b>		<b>23,504.11</b>	<b>96.91%</b>
<b>Interconexión</b>	Colombia	749.27	3.09%
	Perú	-	0.00%
	Importación	749.27	3.09%
<b>Total Producción Nacional + Importación</b>		<b>24,253.37</b>	<b>100.00%</b>

**Fuente:** CONELEC, Balance Nacional de Energía Eléctrica, 2014.

La producción total de energía e importaciones al sistema nacional interconectado (S.N.I) con las aportaciones de energía renovable, energía no renovable y las interconexiones que refuerzan a la generación de energía eléctrica abasteciendo la demanda a nivel nacional en el Ecuador.

Como se indicó anteriormente la energía renovable hidráulica es el mayor aportador en la producción de energía eléctrica en el sistema nacional interconectado, seguido de la energía renovable no convencional térmica turbovapor que corresponde a la generación cuyo combustible es la Biomasa (Bagazo de caña) cogenerado de empresas azucareras, energía eólica y energía solar o fotovoltaica.

En la Tabla 2.3 se muestra que la energía renovable es el mayor aportador de energía eléctrica en el sistema nacional interconectado con el 50,85% a comparación de la energía no renovable que tiene 45,61% de la producción nacional, cabe recalcar que la producción total de energía del S.N.I es menor que la producción total de energía (Tabla 2.2) esto se debe a las pérdidas en la conexión.

**Tabla 2.3.** Producción Total de Energía e Importaciones S.N.I.

<b>Producción Total de Energía e Importaciones S.N.I.</b>		<b>GWh</b>	<b>%</b>
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	10,385.42	49.13%
	Eólica	68.57	0.32%
	Fotovoltaica	4.69	0.02%
	Térmica Turbovapor (1)	289.35	1.37%
<b>Total Energía Renovable S.N.I.</b>		<b>10,748.02</b>	<b>50.85%</b>
<b>No Renovable</b>	Térmica MCI	4,041.80	19.12%
	Térmica Turbogas	2,880.58	13.63%
	Térmica Turbovapor	2,718.34	12.86%
<b>Total Energía No Renovable S.N.I.</b>		<b>9,640.72</b>	<b>45.61%</b>
<b>Total Producción Nacional S.N.I.</b>		<b>20,388.74</b>	<b>96.46%</b>
<b>Interconexión</b>	Colombia	749.27	3.54%
	Perú	-	0.00%
	<b>Importación</b>	<b>749.27</b>	<b>3.54%</b>
<b>Total Producción Nacional + Importación S.N.I.</b>		<b>21,138.01</b>	<b>100.00%</b>

**Fuente:** CONELEC, Balance Nacional de Energía Eléctrica, 2014.

La aportación de las energías renovables en los últimos años va avanzando para un cambio de matriz energética, es así que para los años siguientes más del 90% de la energía eléctrica será de fuentes de energía renovable convirtiéndose así el Ecuador en el primer país de Latinoamérica en usar su recurso natural netamente en energía eléctrica renovable convencional y no convencional [23], [24].

## 2.1 Irradiancia según los sectores geográficos del Ecuador

La geografía del Ecuador está constituida con una extensión territorial de 270.670 Km<sup>2</sup> que se encuentra dividida en una extensión Continental que tiene 262.826 Km<sup>2</sup> y una extensión en la región Insular de 7.844 Km<sup>2</sup>. La Cordillera de los Andes divide al Ecuador en dos cadenas montañosas o llanuras de enormes ramificaciones cubiertas de enormes riquezas indescriptibles de flora y fauna que se adaptan a las bajas temperaturas, vientos anárquicos, lluvias, granizos, nieve, desigualdad de insolación y grandes altitudes. La Cordillera de los Andes consta de dos cadenas paralelas distintas Cordillera Occidental, Cordillera Oriental y estas dos cordilleras tienen una estrecha banda intermedia bordeada por una avenida de volcanes cuaternarias estos picos

volcánicos exceden los 5000 m de altura y se encuentran cubiertos por glaciares, en la Figura 2.2 se muestra los volcanes existentes del Ecuador conociendo que el volcán más alto es el Chimborazo con 6310 m [25], [26].



**Figura 2.2.** Cordillera de los Andes.  
**Fuente:** Astronoo, Volcanes del Ecuador, 1997.

La Cordillera de los Andes divide al territorio Continental en tres regiones diferentes que son: Región Litoral o Costa, Región Interandina o Sierra y Región Oriental o Amazonía cabe recalcar que nuestro país tiene una cuarta región conocida como Región Insular o isla Galápagos. La división política del Ecuador está distribuida en 24 provincias de las cuales la Región Litoral o Costa consta de 6 provincias, la Región Interandina o Sierra consta de 11 provincias, Región Oriental o Amazonía consta de 6 provincias y Región Insular o isla Galápagos de 1 provincia, a continuación se describe las capitales de cada provincia y la superficie terrestre [27].

**Tabla 2.4.** Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Litoral o Costa.

Superficie [Km <sup>2</sup> ]	Provincia	Capital
15.954	Esmeraldas	Esmeraldas
18.506	Manabí	Portoviejo
19.623	Guayas	Guayaquil
8.189	Santa Elena	Santa Elena
7.100	Los Ríos	Babahoyo
5.879	El Oro	Machala

**Fuente:** Ecuador Online, División Política del Ecuador, 2001.

**Tabla 2.5.** Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Interandina o Sierra.

<b>Superficie [Km<sup>2</sup>]</b>	<b>Provincia</b>	<b>Capital</b>
3.790	Carchi	Tulcán
4.611	Imbabura	Ibarra
13.465	Pichincha	Quito
3.857	Santo Domingo Tsáchilas	Santo Domingo
6.008	Cotopaxi	Latacunga
3.222	Tungurahua	Ambato
4.148	Bolívar	Guaranda
5.999	Chimborazo	Riobamba
3.669	Cañar	Azogues
8.189	Azuay	Cuenca
11.100	Loja	Loja

**Fuente:** Ecuador Online, División Política del Ecuador, 2001.

**Tabla 2.6.** Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Oriental o Amazonía.

<b>Superficie [Km<sup>2</sup>]</b>	<b>Provincia</b>	<b>Capital</b>
17.947	Sucumbíos	Nueva Loja
10.556	Zamora Chinchipe	Zamora
13.342	Napo	Tena
29.068	Pastaza	Puyo
25.875	Morona Santiago	Macas
21.691	Orellana	Puerto Francisco de Orellana

**Fuente:** Ecuador Online, División Política del Ecuador, 2001.

**Tabla 2.7.** Superficie terrestre, Provincias y capitales de la Región Insular o isla Galápagos.

<b>Superficie [Km<sup>2</sup>]</b>	<b>Provincia</b>	<b>Capital</b>
8.010	Galápagos	Puerto Baquerizo Moreno

**Fuente:** Ecuador Online, División Política del Ecuador, 2001.

Las 24 provincias del Ecuador se subdividen en cantones y éstos en parroquias urbanas y rurales estas mismas se encuentran dirigidas por gobernadores, alcaldes, jefes políticos y tenientes políticos según la necesidad de cada provincia, cantón o parroquias respectivamente [25].

Las zonas más pobladas en el Ecuador es la provincia del guayas, seguido por la provincia de pichincha que representan una extensión territorial muy agradable para la creación de edificaciones residenciales dentro y fuera de las distintas ciudades, en los últimos años la provincia de pichincha ha crecido a nivel de población y ha permitido la creación de edificaciones residenciales [28].

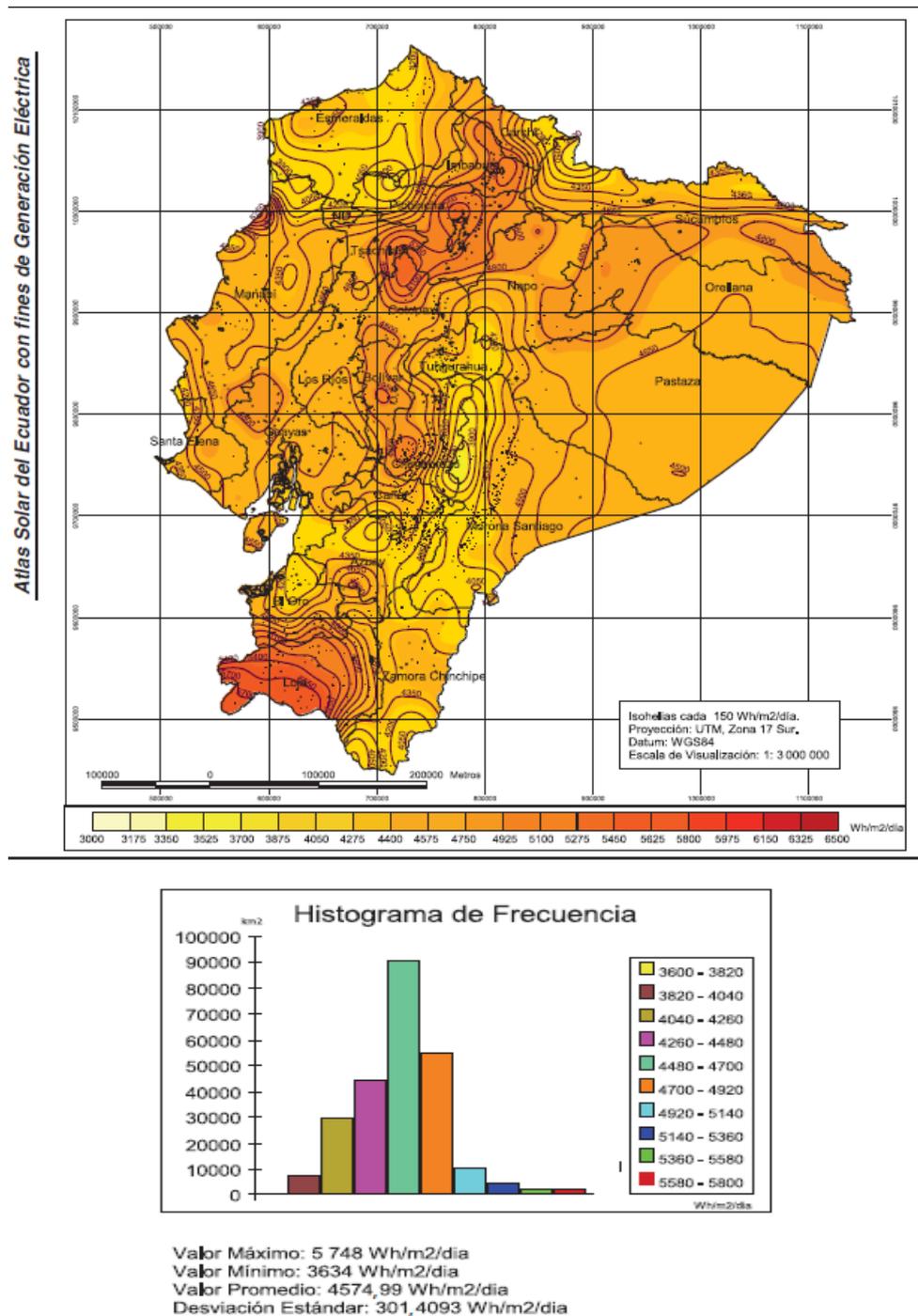
Las edificaciones residenciales en los últimos años han disminuido la superficie terrestre de construcción, sea esto por los altos precios en terrenos y por la creación de urbanizaciones, condominios o casas tipo que han facilitado a distintas personas a la compra de estas viviendas, que se ven atraídas no por sus precios, si no por sus formas de pago y por su facilidad en adquirirlas.



**Figura 2.3.** Edificaciones residenciales tipo  
**Fuente:** Trovit, Conjunto habitacional, 2013.

La irradiancia es la energía o potencia que incide en una superficie determinada, debemos tomar en cuenta que los sectores geográficos del Ecuador presentan una importante radiación de energía solar es así que el CONELEC en el año 2008 presentó el “Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica” con el fin de promover

y dar iniciativas para la generación de energía eléctrica. Este documento fue elaborado por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) que presenta los valores de insolación difusa, directa y global de un año mensualmente y a su vez presenta las insolaciones promedio de las mismas [29].



**Figura 2.4.** Atlas solar del Ecuador-Insolación global promedio.  
**Fuente:** CONELEC, Atlas solar del Ecuador, 2008

Los meses de mayor insolación global son septiembre, octubre, noviembre y los meses de menor insolación global son abril, mayo y junio. El promedio de insolación de energía anual la energía es de  $4574,99 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$  generado por el CONELEC [29].

## **2.2 Ángulo de incidencia según los sectores geográficos del Ecuador**

La radiación que adquiere una superficie plana depende del ángulo de incidencia de esta a la superficie, si la dirección de la radiación no es perpendicular a la superficie el valor de la energía real emitida que incide en la esta superficie debe multiplicarse por el coseno del ángulo que forman la dirección de la radiación y la perpendicular de la superficie.

La incidencia en un panel fotovoltaico se debe realizar de forma que entregue el mayor rendimiento a lo largo del año, es por este motivo que se debe orientarlos con una inclinación que forme un ángulo con respecto a la horizontal igual a la latitud del lugar, ya que la inclinación de los rayos solares con respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año, máximo en verano y mínimo en invierno, por esta razón no se coloca los paneles fotovoltaicos fijos, más bien existe un ángulo óptimo de colocación para no utilizar un seguimiento solar por la variación a lo largo del año ya que su coste sería elevado para la captación de energía [31].

Es recomendable que los paneles fotovoltaicos sean orientados de  $10$  a  $15^\circ$  respecto a la horizontal beneficiando al ángulo para un mayor rendimiento y para que cuando existan lluvias los paneles fotovoltaicos se laven.

El uso del panel fotovoltaico en su emplazamiento debe tomarse en cuenta que la cara que va a captar la energía solar va al sentido contrario al hemisferio por ejemplo un punto de radiación que se encuentra en el hemisferio sur debe ser orientada su cara hacia el hemisferio norte.

El emplazamiento de los paneles fotovoltaicos es muy importante en el ángulo de incidencia según los sectores geográficos permitiendo ser colocados en el poste, tejado pared y suelo permitiendo generar energía eléctrica en distintas partes según sea la estética y la necesidad de aportación de energía, a continuación se mostrará de mejor

manera la forma de ubicación que se puede obtener en distintas partes de edificaciones residenciales.

### 2.2.1 Poste



**Figura 2.5.** Colocación de paneles fotovoltaicos sobre un poste.  
**Fuente:** Proyecto EnDev-GIZ, Instalación de Sistemas Fotovoltaicos, 2013.

Estas instalaciones se las realizan en instalaciones de pequeñas dimensiones ya que permiten obstaculizar o eliminar las sombras cercanas del lugar donde se los colocara pero a su vez lo hace sensible al viento, son muy utilizadas este tipo de montaje en equipos de comunicación aislada o en lámparas.

### 2.2.2 Tejado



**Figura 2.6.** Colocación de paneles fotovoltaicos sobre el tejado.  
**Fuente:** Solar Power World, The Mosaic Home Solar Loan, 2014.

Este tipo de instalaciones son las más utilizadas por la facilidad disponible del espacio, por la ventaja de estar protegidos contra el robo y por la estética, pero presentan inconvenientes como por ejemplo el anclar la estructura sobre la cubierta y menor facilidad de orientación.

### 2.2.3 Pared



**Figura 2.7.** Colocación de paneles fotovoltaicos en paredes.  
**Fuente:** Solar Decathlon, Casa Ecológica con Paredes Solares, 2007.

Este tipo de instalaciones presenta una ventaja al igual que la instalación sobre el techo están protegidos contra robos además tienen menos exposición al viento y no dañan la impermeabilización de la cubierta, son utilizados como casas decorativas para atraer una mejor estética al medio.

### 2.2.4 Suelo



**Figura 2.8.** Colocación de paneles fotovoltaicos sobre el suelo.  
**Fuente:** Hogar útil, Instalación de placas fotovoltaicas, 2008.

Esta forma de instalación permite tener mejor facilidad y accesibilidad al montaje, presentan ventajas en cuanto al área opuesta al viento pero para tener un mejor anclaje se debe realizar sobre cimentaciones de hormigón, formada por una losa para que no sean susceptibles a rupturas por animales o personas y a su vez al poder quedar enterrada por inundaciones por lluvias se deberá colocar los paneles elevados unos 30 cm por encima del suelo.

Los anteriores aspectos se deben tomar en cuenta para un determinado lugar, dependiendo del espacio disponible, la necesidad de aportación de energía, su determinada forma de construcción, la estética que se pretende obtener, la disponibilidad del servicio eléctrico. Los sectores geográficos del Ecuador presentan una importante incidencia de radiación solar por la línea ecuatorial es por esta razón que tomaremos en cuenta al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) centrándonos en datos de la “Secretaría de Ambiente” como se presenta en la Figura 2.9.

La “Secretaría de Ambiente” ha empleado un sensor para la medición de radiación la cual es un piranómetro de la marca Kippzonen modelo CMP 3 que permite la medición de radiación global, 180° de visión y estabilidad del 1% por año [32]. Estos datos han sido captados desde el año 2005 aproximadamente hasta la actualidad en 9 diferentes lugares o estaciones a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) esta información esta publicada en su página web [33].



The image shows a web interface for the 'Secretaría de Ambiente' (Environment Secretariat) of Quito. At the top, there is a header with the organization's logo and the text 'Secretaría de Ambiente' and 'Quito Verde'. Below the header, there are two main sections: 'Reporte Datos' (Data Report) and 'Reporte Gráficos' (Data Graphs). Each section contains five buttons for different time intervals: 'Datos diez minutos', 'Datos diarios', 'Datos horarios', 'Datos semihorarios', and 'Datos octohorarios'. Below these sections, there is a form titled 'Ingreso de parámetros - Gráfico Datos Diarios' (Daily Data Graph Parameter Entry). This form includes fields for 'Fecha Inicio' (Start Date) and 'Fecha Fin' (End Date), both with calendar icons. It also has two dropdown menus for 'Estaciones' (Stations) and 'Magnitudes' (Magnitudes), both with 'Seleccione...' (Select...) as a placeholder. A 'Buscar' (Search) button is located at the bottom of the form.

**Figura 2.9.** Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2014.

**Tabla 2.8.** Estaciones de Secretaría de Ambiente y su ubicación.

<b>Estación</b>	<b>Ubicación</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Altura (m.s.n.m)</b>	<b>Latitud (λ)</b>	<b>Longitud (L)</b>
Cotocollao	2793	-0,10778	-78,49722
Carapungo	2660	-0,09833	-78,44722
Belisario	2835	-0,18000	-78,49000
El Camal	2840	-0,25000	-78,51000
Tumbaco	2331	-0,21000	-78,40000
Los Chillos	2453	-0,30000	-78,46000

En la Tabla 2.8 se describe las 6 estaciones dado que las estaciones Jipijapa, Centro, Guamani se incorporaron recientemente a las 9 estaciones de la “Secretaría de Ambiente” su ubicación como es su altura, latitud, longitud y que tomaremos en cuenta para conocer sus estaciones climatológicas como radiación solar en determinadas días de la semana.

### **2.3 Horas de captación según los sectores geográficos del Ecuador**

El número de horas de sol depende de las condiciones climatológicas, la situación geográfica y los distintos números horas distribuidas del sol al año por consecuencia de la inclinación del eje de rotación de la tierra respecto al plano de la órbita en un ángulo de desviación ya que esto da lugar a las distintas estaciones del año en un determinado lugar.

El número de horas está dado por la siguiente ecuación (2.1) y los máximos valores se alcanzan en zonas de alta montaña y en zonas desérticas.

$$\#h = \frac{2}{15} \cos^{-1} (\tan \phi * \tan \delta) \quad (2.1)$$

Dónde:

$\#h$  = número de horas de sol en el día.

$\phi$  = latitud geográfica (°).

$\delta$  = ángulo de declinación (°).

El tiempo de duración del brillo del sol es conocido como heliofanía es reflejado en horas, décimos de hora y se encuentra representada por la ecuación (2.2), en relación con las horas teóricas que el sol permanece sobre el horizonte que es considerado de 12 horas en el Ecuador.

$$H = I * hps \quad (2.2)$$

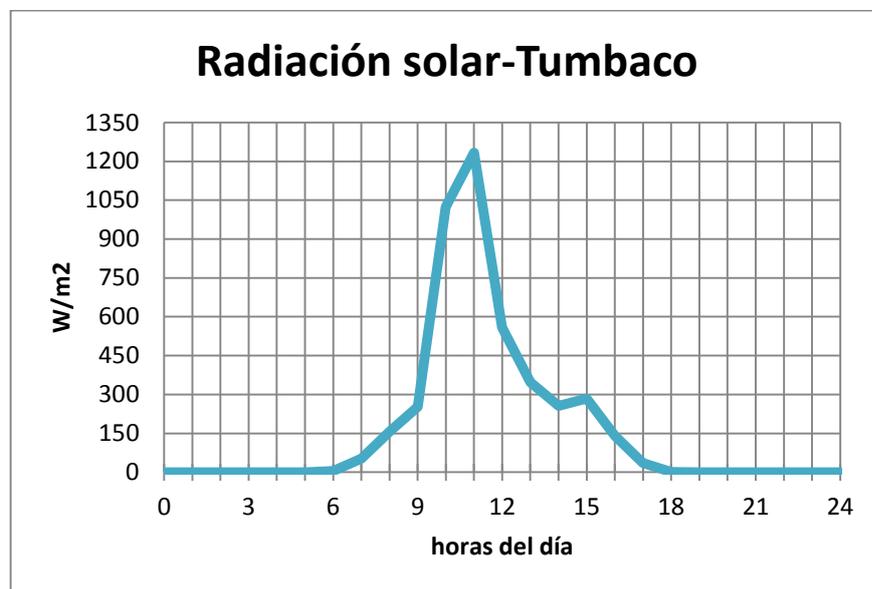
Dónde:

$H$  = Irradiación promedio expresado en  $[Wh/m^2]$ .

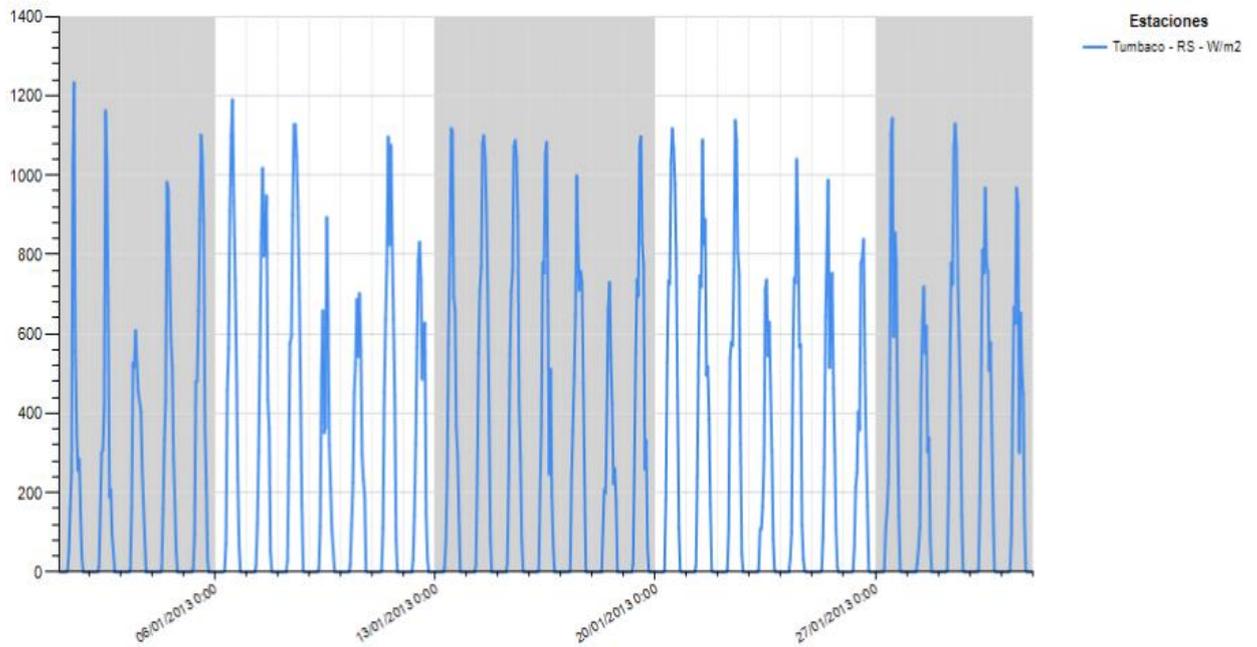
$I$  = Constante de irradiancia que recibe la superficie terrestre.

$hps$  = Horas pico solar.

En la “Secretaría de Ambiente” da a conocer los reportes de datos de diez minutos, diarios, horarios, semihorarios, octohorarios según la necesidad de información deseada existe fecha de inicio y fin dependiendo de los reportes a ser elegidos. A continuación se observará los valores de radiación solar horarios de la estación Tumbaco.

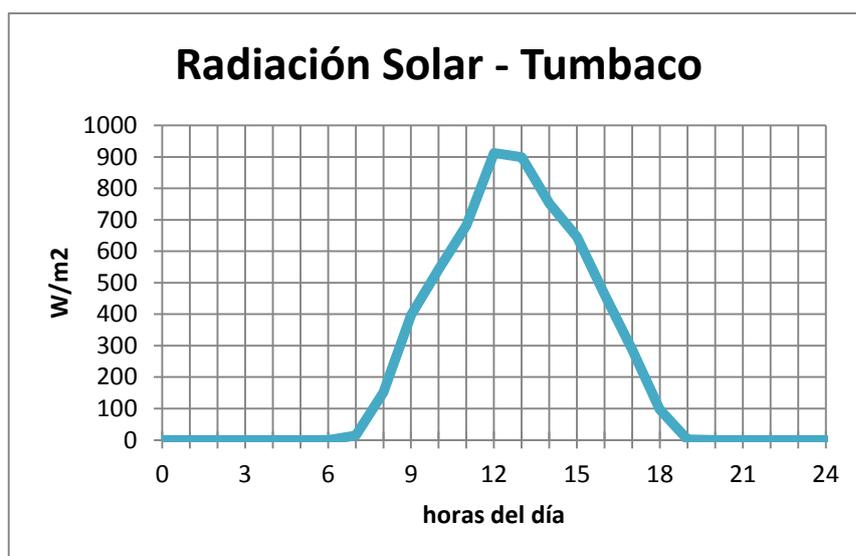


**Figura 2.10.** Radiación solar normal horaria de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 2.11.** Radiación solar normal horaria en un mes de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.

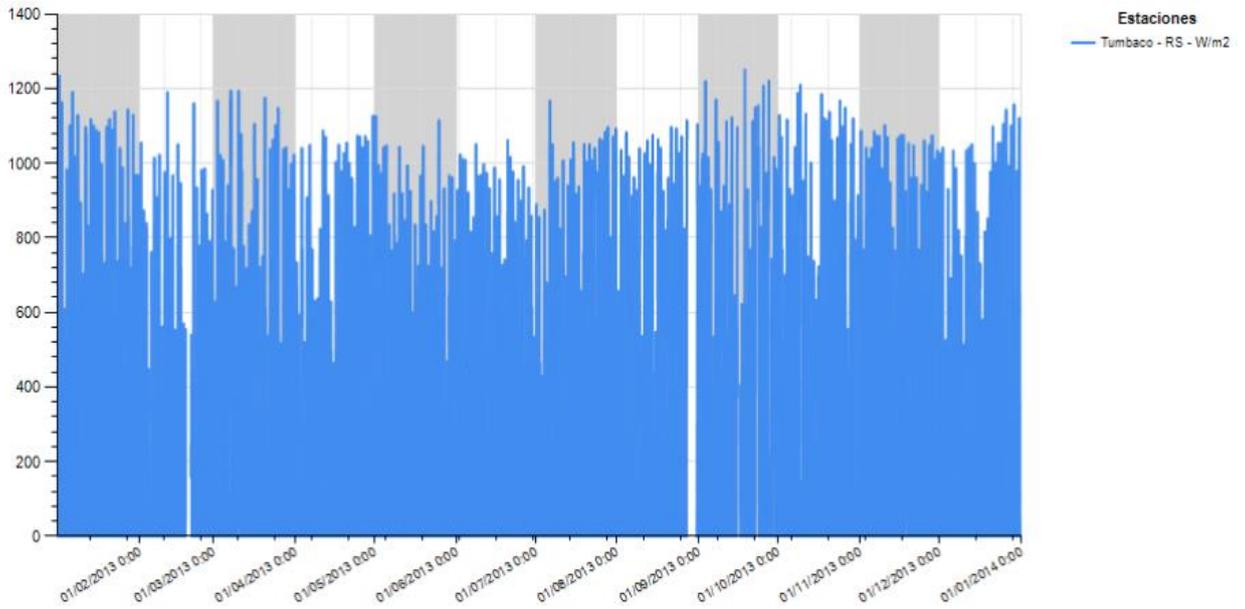
**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.



**Figura 2.12.** Radiación solar normal horaria en un mes promedio de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Propia del Autor.

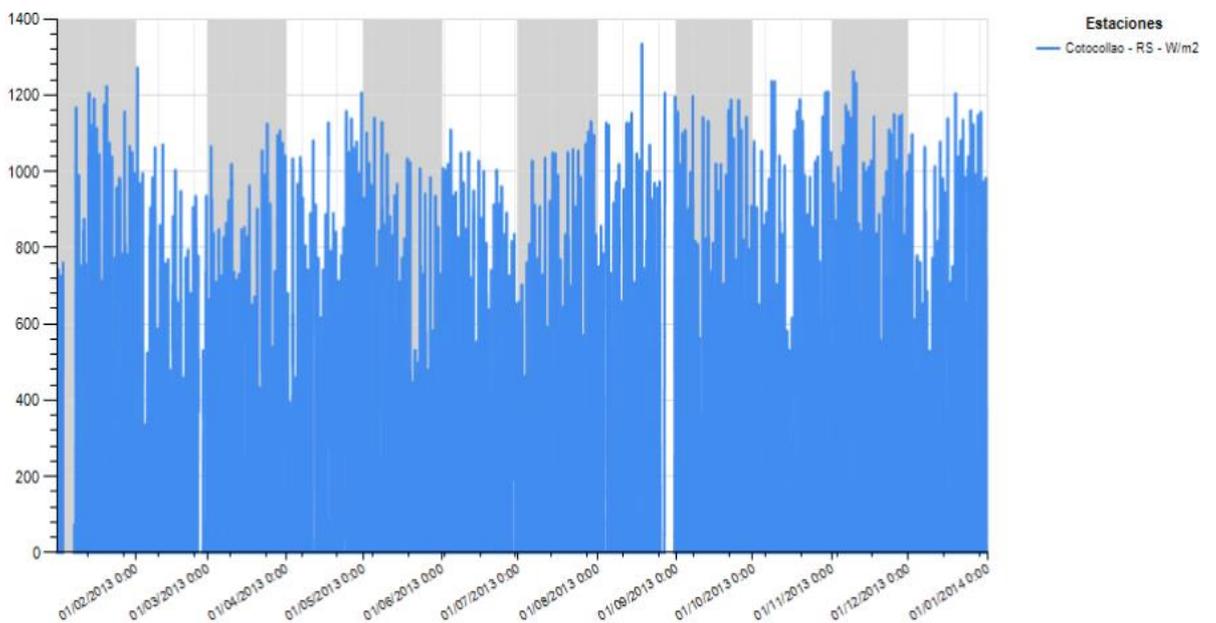
En la Figura 2.12 se muestra la radiación solar de horas al día promedio de un mes determinado en la estación Tumbaco, la radiación empieza desde las 7H00 de la mañana y va en ascenso la radiación solar teniendo en cuenta el punto más alto que es 12H00 del día y luego va en descenso hasta que llega a ocultarse el sol 19H00 que no genera ningún valor de radiación solar.



**Figura 2.13.** Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.

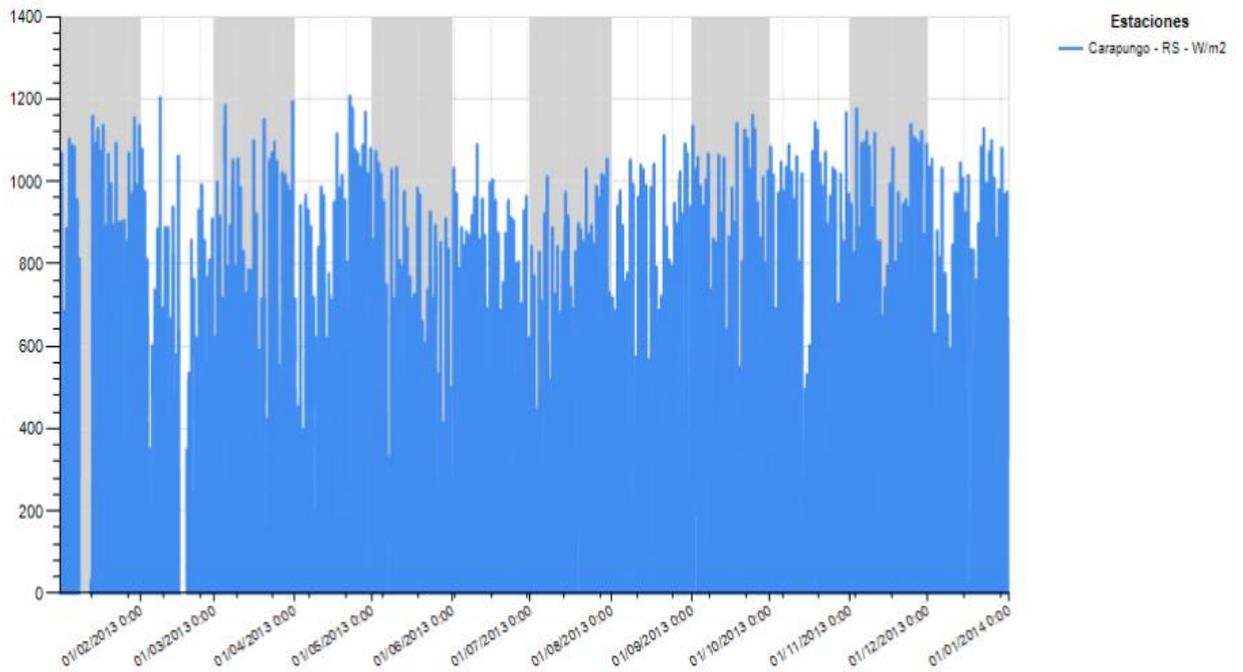
**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.

En la Figura 2.13 se presenta los valores de radiación solar vs horas del día, desde Enero del año 2013 hasta Diciembre del mismo año, donde se representa en las columnas de color plomo los meses correspondientes a Enero, Marzo, Mayo, Julio, Septiembre y Noviembre respectivamente y las columnas de color blanco los meses de Febrero, Abril, Junio, Agosto, Octubre y Diciembre respectivamente.



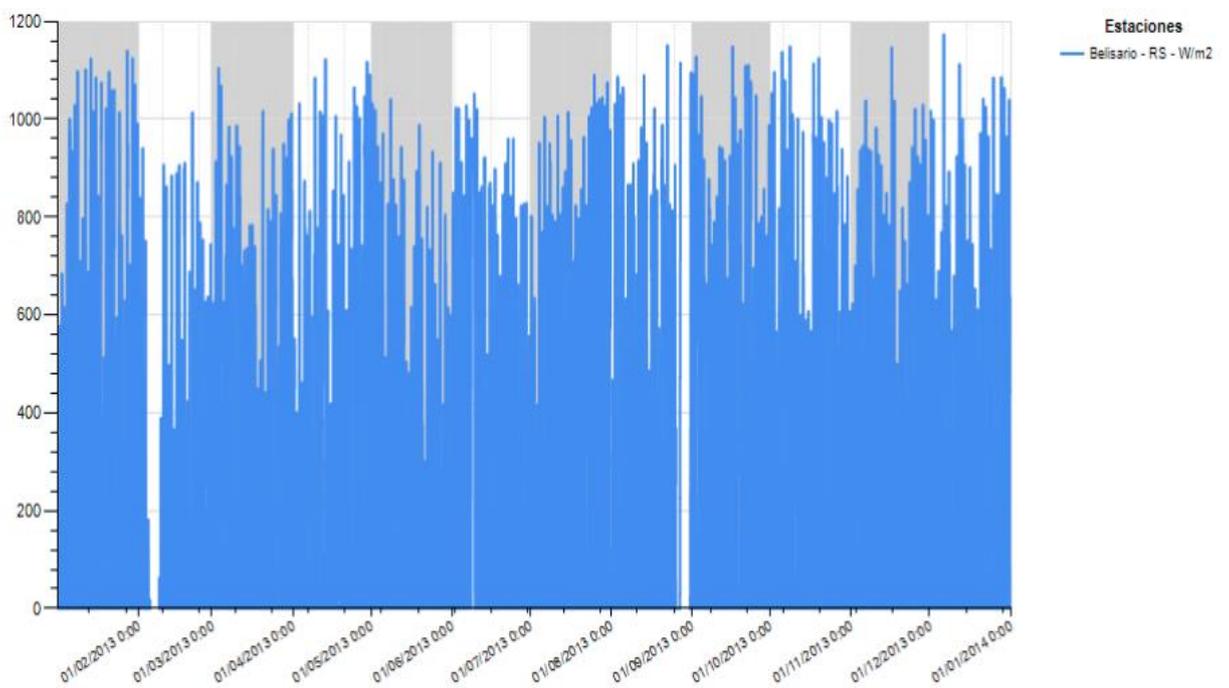
**Figura 2.14.** Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Cotocollao de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.



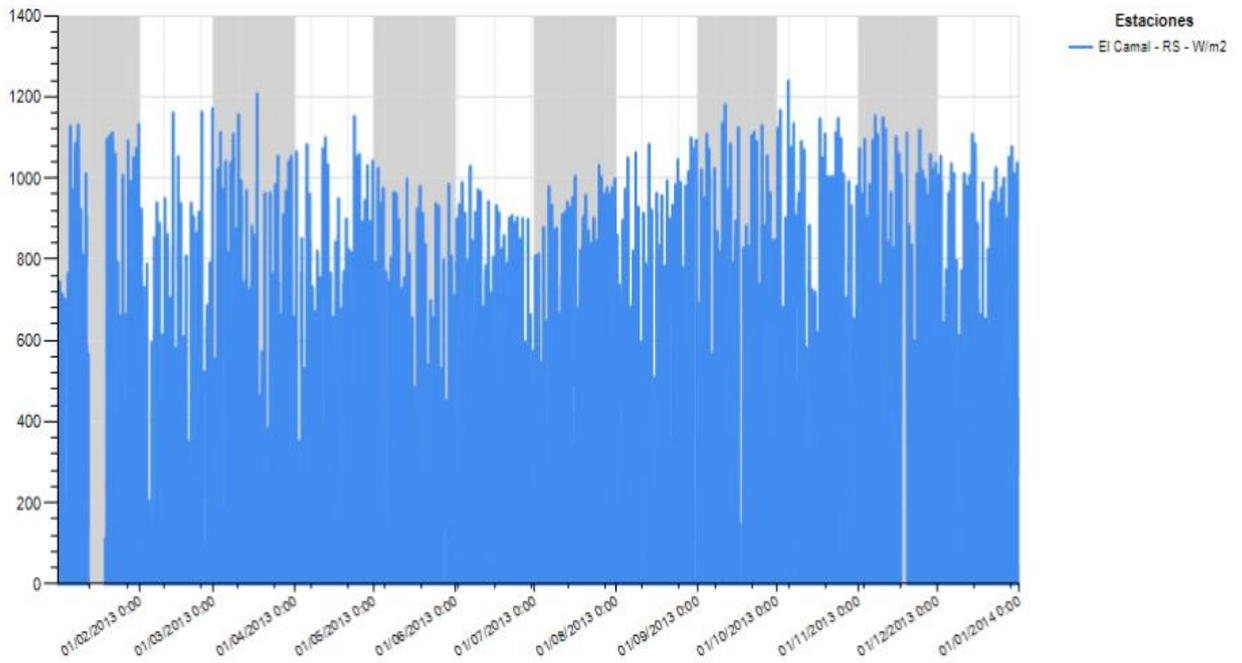
**Figura 2.15.** Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Carapungo de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.



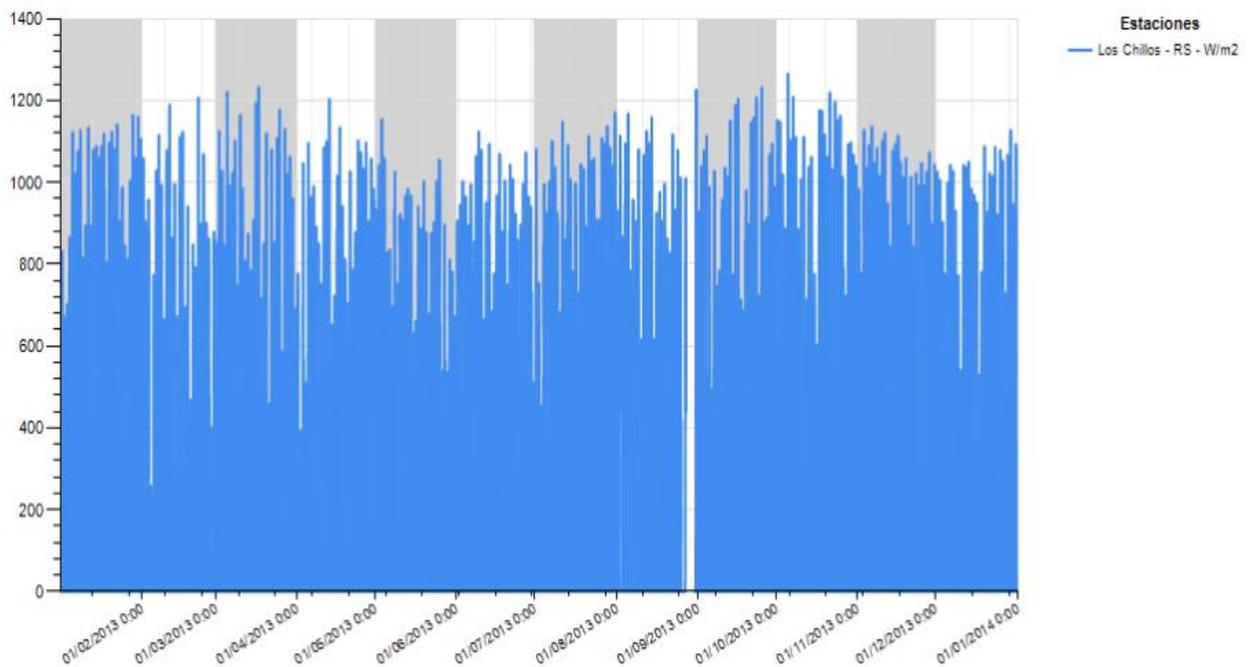
**Figura 2.16.** Radiación solar normal diaria en un año de la Estación Belisario de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.



**Figura 2.17.** Radiación solar normal diaria en un año de la Estación El Camal de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.



**Figura 2.18.** Radiación solar normal horaria en un año de la Estación Los Chillos de la Secretaría de Ambiente.

**Fuente:** Secretaría de Ambiente, Reporte de magnitudes, 2013.

En la “Secretaría de Ambiente” las estaciones como Cotocollao, Carapungo, Belisario, El Camal, Tumbaco y Los Chillos se muestra la radiación solar normal horaria promedio de un año, teniendo en cuenta los picos más altos son desde las 10H00 de la

mañana hasta las 14H00 de la tarde y luego va en descenso hasta dejar de adquirir los valor de radiación solar.

## 2.4 Aportación de kWp según los sectores geográficos del Ecuador

En el Ecuador la aportación de energía eléctrica con la utilización de la energía solar mayores a 1MW, estuvieron conformados con 15 proyectos sujetos a la Regulación 004/11 que están distribuidas en las siguientes provincias:

- Provincia de Pichincha con 5
- Provincia de Manabí con 4
- Provincia de Guayas con 4
- Provincia de Imbabura con 2

A continuación se detalla los proyectos con su capacidad en MW que se encuentran ubicados en Quito, Guayaquil, Ibarra y Manta:

**Tabla 2.9.** Proyectos de generación mayores a 1MW.

<b>Proyectos</b>	<b>Capacidad MW</b>
SHIRI I	50
SALINAS	2
IMBABURA-PIMÁN	25
SANTA ELENA I	25
CENTRO DEL MUNDO	10
RANCHO CAYAMBE	16
VAIANA	20
CHOTA-PIMÁN	8
MANABÍ	30
MONTECRISTI	12
SAN ALFONSO	6
ZAPOTILLO	8
LAGARTO	20
CONDORSOLAR	30
SOLARCONNECTION	20

Fuente: CONELEC.

De todos estos proyectos el único que se encuentra conectado al S.N.I es el proyecto de Pimampiro en la provincia de Imbabura, los otros proyectos se encuentran estancados como se dio a conocer en el capítulo I por trabas burocráticas.

Este proyecto va estar centrado en analizar los sectores geográficos o estaciones de la “Secretaría de Ambiente” con un modelo de radiación solar, su aportación de energía según la estación y la probabilidad de uso de paneles fotovoltaicos en edificaciones residenciales. El modelo a utilizar será el de Stefan – Boltzmann que indica que en la superficie de un cuerpo incide siempre energía por medio de ondas electromagnéticas tanto desde el interior como desde el exterior [34].

La ecuación (2.3) de Stefan – Boltzmann a utilizarse es:

$$H = Ke * \sigma * T^4 \quad (2.3)$$

Dónde:

$H$  = Energía solar sobre la superficie terrestre expresado en  $[W/m^2]$ .

$Ke$  = Constante de emisividad dependiendo del cuerpo entre 0 y 1.

$\sigma$  = La constante de Stefan – Boltzman ( $5,6703 \times 10^{-8}$ ) expresado en  $[W/m^2 * K^4]$ .

$T^4$  = Temperatura absoluta expresado en  $[^{\circ}K]$ .

En el Distrito Metropolitano de Quito se desarrolló un modelamiento que permitirá conocer la aportación de energía incidente en una superficie determinada en  $[W/m^2]$ , este proyecto que se realizó permitirá tener una mejor idea para basarnos en este modelamiento por la razón que el “Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica” tiene un error es del 6.2 % en el proyecto fotovoltaico del Cenace [30]<sup>1</sup>. En el Atlas Solar del Ecuador no se encuentra establecido los valores de energía incidente en el Distrito Metropolitano de Quito específicamente en “Secretaría de Ambiente”.

En el proyecto mencionado se aplicó 3 modelos del cual tomaremos el modelo de radiación de Stefan – Boltzmann donde se utilizó latitud, longitud, altura elaborando así su constante de emisividad ( $Ke$ ) de la “Secretaría de Ambiente” que se presenta en la Tabla 2.10. Para el cálculo del modelo de Stefan – Boltzmann la temperatura deberá encontrarse en  $^{\circ}C$  (grados centígrados) y no  $^{\circ}K$  (grados Kelvin) para la determinación de energía incidente en la superficie.

---

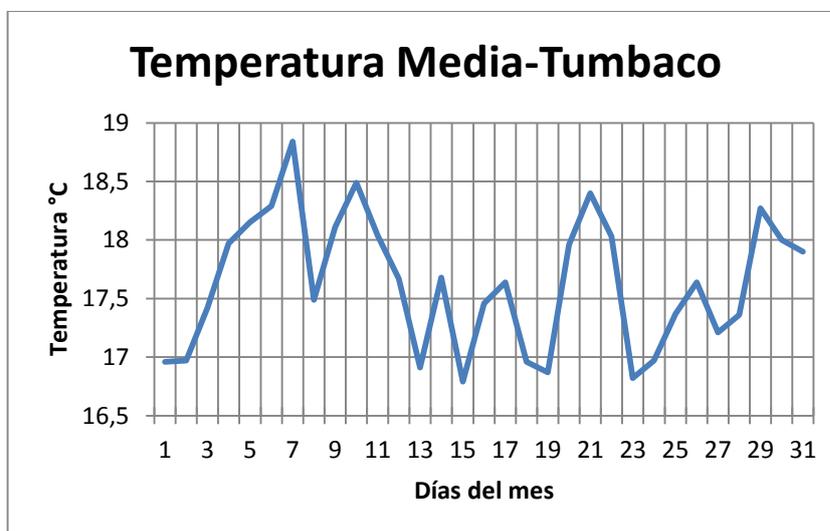
<sup>1</sup> C. Segura, J. Remigio, “Modelamiento y análisis de la distribución espacial y temporal del recurso solar en el DMQ para generación de energía”. 2013.

**Tabla 2.10.** Constante de emisividad en la Secretaría de Ambiente.

<b>Estación</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Constante Ke</b>
Cotocollao	73911
Carapungo	65302
Belisario	71559
El Camal	67440
Tumbaco	37718
Los Chillos	43874

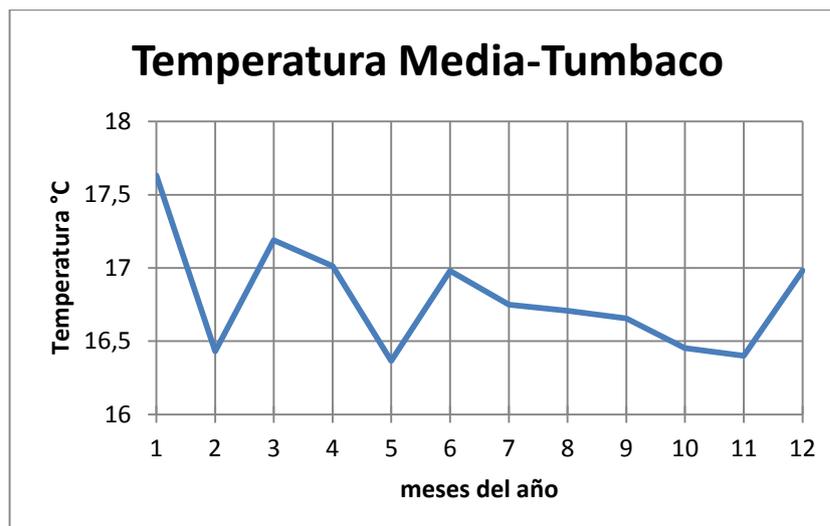
**Fuente:** Joffre Constante.

En la Tabla 2.11 se presenta la temperatura media mensual de las estaciones de la Secretaría de Ambiente obteniendo el promedio de temperatura de un año de cada una de las mismas. En la Figura 2.19 de la estación Tumbaco se presenta la temperatura media obtenida en °C (grados centígrados) en la cual el valor máximo diario al mes es de 18,84°C y el valor mínimo es de 16,79°C, obteniendo como resultado la temperatura media mensual de 17,73°C.



**Figura 2.19.** Temperatura media diaria en un mes de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

Mientras que en la Figura 2.20 de la misma estación el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 17,63°C y el valor mínimo es de 16,36°C, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 16,8°C.

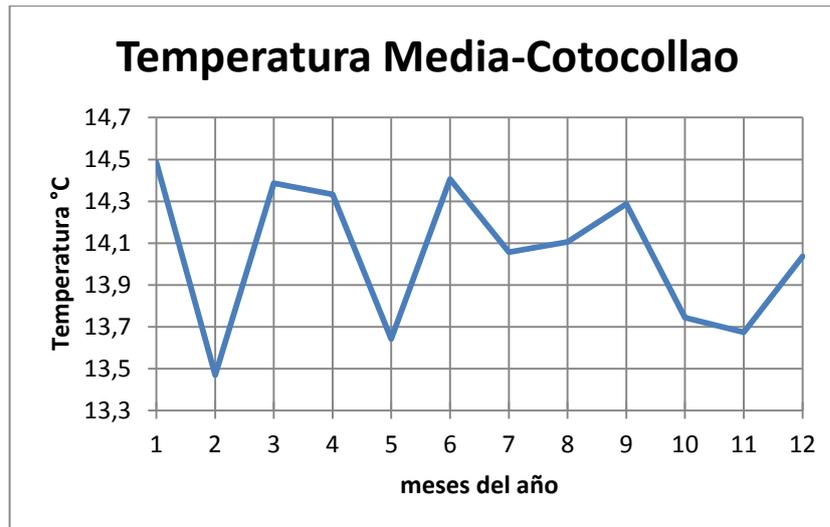


**Figura 2.20.** Temperatura media mensual anual de la Estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

**Tabla 2.11.** Temperatura Media mensual de las Estación de la Secretaría de Ambiente.

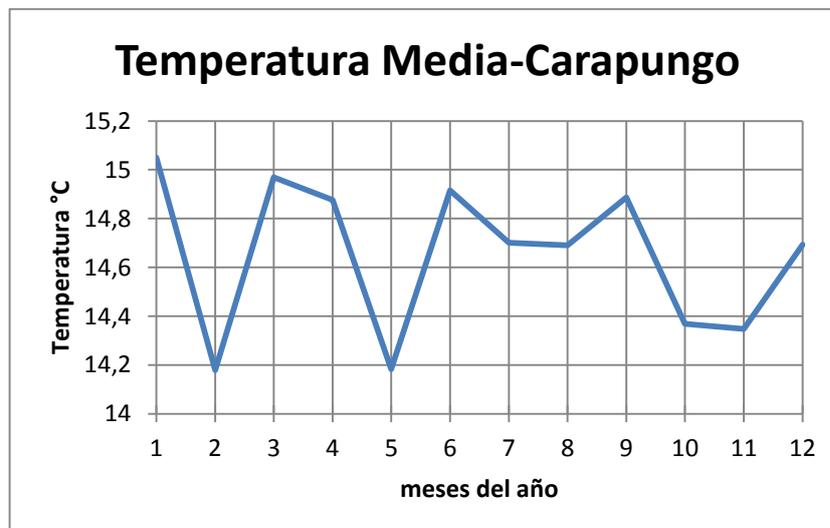
Meses	Estaciones					
	Cotocollao	Carapungo	Belisario	El Camal	Tumbaco	Los Chillos
Enero	14,485	15,050	14,975	15,315	17,633	16,981
Febrero	13,468	14,178	13,771	13,907	16,430	15,86
Marzo	14,386	14,969	14,567	14,734	17,189	16,620
Abril	14,332	14,876	14,587	14,599	17,012	16,121
Mayo	13,641	14,182	13,807	13,907	16,365	15,762
Junio	14,406	14,916	14,804	14,945	16,979	16,466
Julio	14,056	14,701	14,561	14,510	16,748	16,239
Agosto	14,106	14,690	14,420	14,362	16,707	16,010
Septiembre	14,287	14,886	14,663	14,550	16,654	16,227
Octubre	13,743	14,368	13,955	13,987	16,451	15,923
Noviembre	13,674	14,348	13,727	13,825	16,400	15,900
Diciembre	14,036	14,693	14,306	14,267	16,982	16,402
<b>Promedio</b>	<b>14,05</b>	<b>14,65</b>	<b>14,35</b>	<b>14,41</b>	<b>16,80</b>	<b>16,21</b>

En la estación Cotocollao, el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 14,49°C y el valor mínimo es de 13,47°C, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 14,05°C como se muestra en la Figura 2.21.



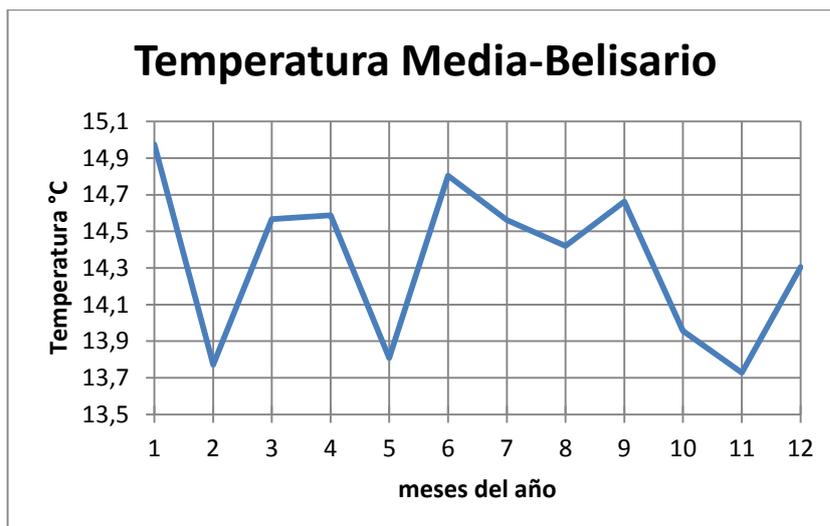
**Figura 2.21.** Temperatura media mensual anual de la Estación Cotocollao de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la Figura 2.22 se presenta el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 15,05°C y el valor mínimo es de 14,19°C de la estación Carapungo, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 14,65°C.



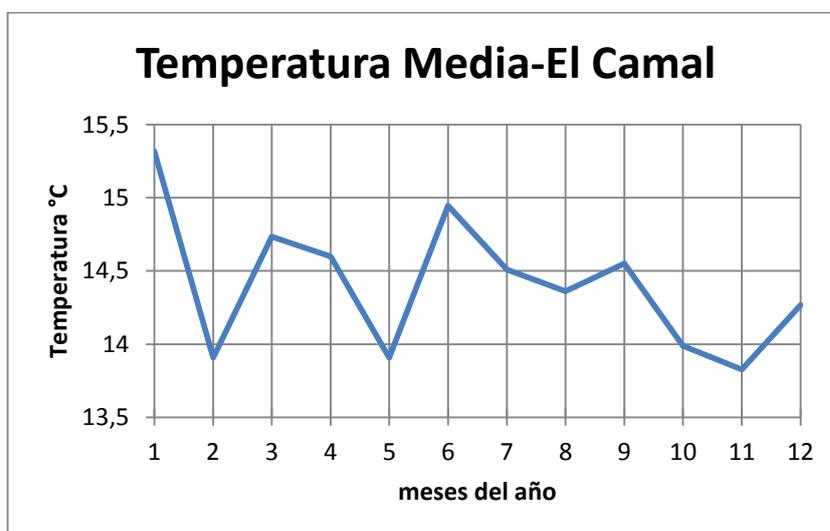
**Figura 2.22.** Temperatura media mensual anual de la Estación Carapungo de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la Figura 2.23 se presenta el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 14,98°C y el valor mínimo es de 13,73°C de la estación Belisario, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 14,35°C.



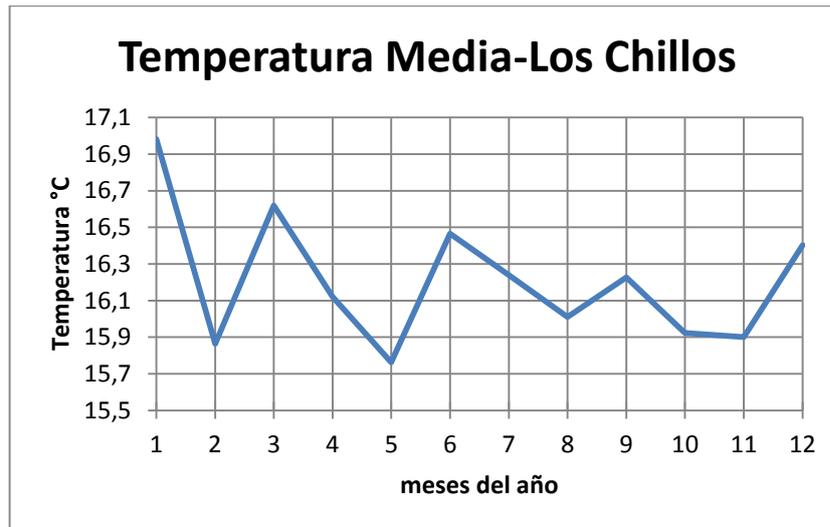
**Figura 2.23.** Temperatura media mensual anual de la Estación Belisario de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la estación El Camal, el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 15,32°C y el valor mínimo es de 13,83°C, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 14,41°C como se muestra en la Figura 2.24.



**Figura 2.24.** Temperatura media mensual anual de la Estación El Camal de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la estación Los Chillos, el valor máximo de temperatura media mensual anual es de 16,98°C y el valor mínimo es de 15,76°C, obteniendo como resultado la temperatura media anual de 16,21°C como se muestra en la Figura 2.25.



**Figura 2.25.** Temperatura media mensual anual de la Estación Los Chillos de la Secretaría de Ambiente.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la ecuación (2.3) descrita anteriormente procederemos a utilizar la temperatura media promedio anual y los valores máximos, mínimos de la temperatura media de los meses correspondientes al año como se presenta en la Tabla 2.12 de las distintas estaciones de la Secretaria de Ambiente.

En la en la estación Tumbaco su constante de emisividad es de 37718 y el resultado de la temperatura media se presentó en la Figura 2.20, utilizaremos su constante y la ecuación de Stefan – Boltzmann para obtener la energía solar sobre la superficie terrestre de la misma como se muestra a continuación.

El valor promedio anual de la estación Tumbaco es:

$$H = 170,37 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

El valor máximo de la temperatura media mensual al año es:

$$H = 206,78 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Y el valor mínimo de la temperatura media mensual al año es:

$$H = 153,43 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

**Tabla 2.12.** Valores de energía solar sobre la superficie terrestre de la Secretaría de Ambiente

<b>Estación</b>		<b>Energía solar sobre la superficie terrestre [W/m<sup>2</sup>]</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Constante Ke</b>	<b>Valor promedio anual</b>	<b>Valor máximo mensual al año</b>	<b>Valor mínimo mensual al año</b>
Cotocollao	73911	163,40	184,50	137,92
Carapungo	65302	170,79	189,97	149,64
Belisario	71559	171,86	204,08	144,10
El Camal	67440	164,86	210,42	139,73
Tumbaco	37718	170,30	206,78	153,43
Los Chillos	43874	171,77	153,43	153,58

Con la utilización de los valores de energía solar sobre la superficie terrestre procedemos a calcular la aportación de energía solar promedio en las distintas estaciones de la Secretaría de Ambiente como se representa en la Tabla 2.13.

**Tabla 2.13.** Estimación de la energía solar promedio de la Secretaría de Ambiente

<b>Estación</b>	<b>Estimación de la energía solar promedio [Wh/m<sup>2</sup>/día]</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Valor promedio anual</b>	<b>Valor máximo mensual al año</b>	<b>Valor mínimo mensual al año</b>
Cotocollao	3922	4428	3310
Carapungo	4099	4559	3591
Belisario	4125	4898	3458
El Camal	3957	5050	3354
Tumbaco	4087	4963	3682
Los Chillos	4122	3682	3686

## CAPÍTULO III

### MODELAMIENTO DE APORTACIÓN DE PANELES SOLARES EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES

Este capítulo se basará en el dimensionamiento de una edificación residencial tipo, que tendrá una demanda básica de energía eléctrica y un estudio previo para la aportación de paneles fotovoltaicos tanto si la necesidad del usuario es tipo aislado o conectado a la red, permitiendo generar distintos puntos de vista en una posible aportación de la misma.

La gestión que se pretende dar a conocer con la aportación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos al usuario es averiguar o percibir los aportes de energía en el sector de Tumbaco como se muestra su ubicación en la Figura 3.1, gracias al programa PVsyst6.2.6 y a la Tabla 2.8 del capítulo anterior donde obtuvimos la latitud y longitud del lugar.



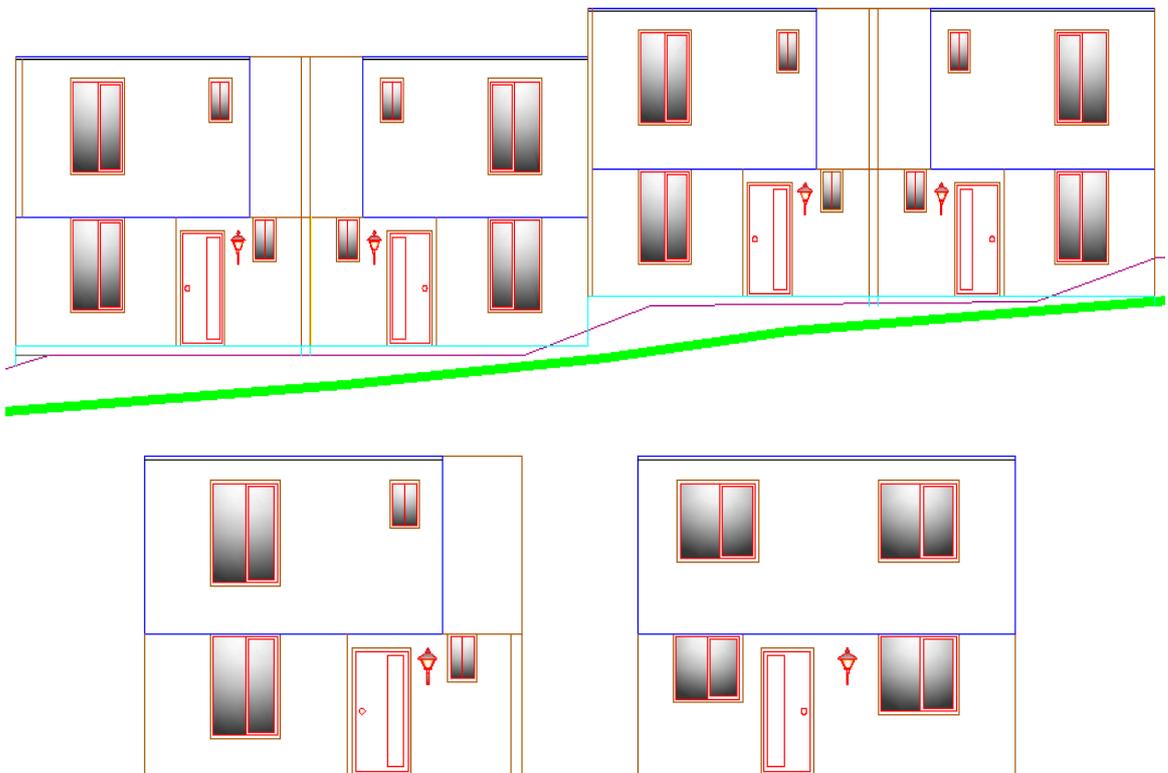
**Figura 3.1.** Ubicación del cantón de Tumbaco.

**Fuente:** Propia del Autor.

La ubicación del emplazamiento permitirá conocer un posible abastecimiento de energía eléctrica diría con y sin aportación de energía de la red de distribución. Teniendo en cuenta los anteriores aspectos podremos saber si es preferible obtener un sistema aislado o conectado a la red con baterías para un almacenamiento cuando el nivel de aportación de energía FV es alto o bajo en días nublados.

### 3.1 Diseño de captación

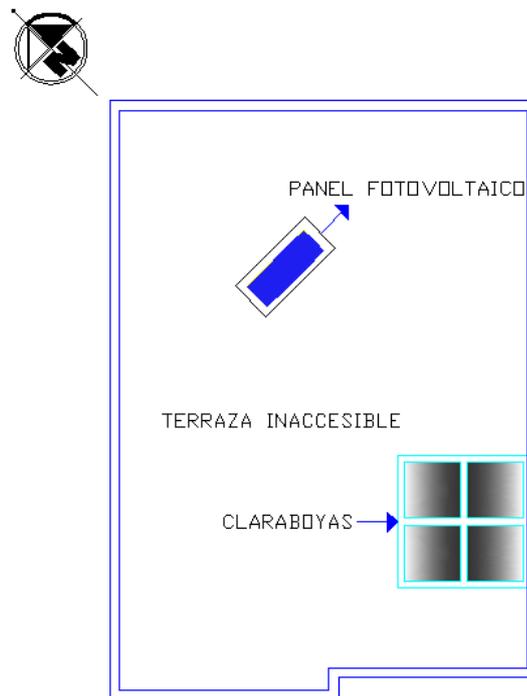
Las edificaciones residenciales ubicadas en el sector de Tumbaco constan de catorce viviendas tipo como se representa en la Figura 3.2, el modelo de las viviendas que se encuentra en la parte superior de la figura y en la parte inferior de figura se representa la vivienda tipo con su parte frontal y posterior respectivamente, permitiendo conocer el área que tendremos y beneficiaremos en el análisis de la aportación de energía solar con paneles fotovoltaicos en la terraza que no es accesible al usuario, permitiendo obtener beneficios de los espacios que no son utilizados por estas viviendas.



**Figura 3.2.** Plano arquitectónico de la urbanización ubicada en el sector Tumbaco.  
**Fuente:** Propia del Autor.

Para un diseño de captación tomaremos en cuenta todos los puntos tratados en el capítulo dos, como por ejemplo la orientación que se debe de dar al panel fotovoltaico que si la situación del emplazamiento se encuentra en la parte norte el panel fotovoltaico tendrá que tener vista hacia el sur y viceversa para generar una cantidad optima de energía.

En la Figura 3.3 se muestra la forma que está conformada la losa de las edificaciones residenciales, existe un espacio en la losa que es ocupado por las claraboyas que disminuirá el índice de aportación de energía y el número de futuros paneles fotovoltaicos en la misma, el punto de referencia para la ubicación de la edificación residencial es el hemisferio norte, dónde apunta a la Línea Ecuatorial, de modo que la colocación de los posibles paneles fotovoltaicos debe ser orientado a la misma, para obtener los mejores beneficios que se necesita para la mayor aportación de energía solar para luego ser transformada en energía eléctrica.



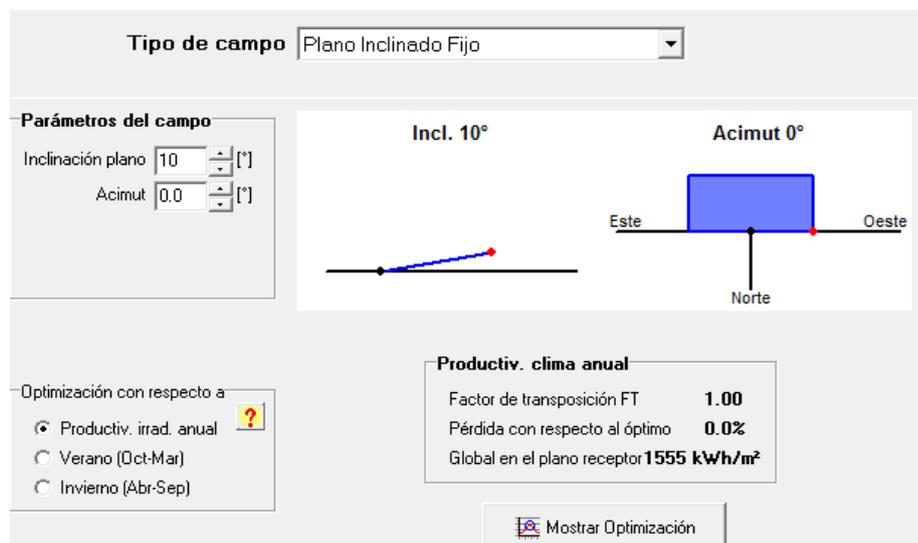
**Figura 3.3.** Orientación del panel fotovoltaico en la urbanización ubicada en el sector Tumbaco.  
**Fuente:** Propia del Autor.

La orientación que se pretende dar a los paneles fotovoltaicos es hacia el hemisferio Sur, es importante identificar pero también debemos complementar y conocer cuál es su ángulo de inclinación para alcanzar su eficiencia cuando está en dirección perpendicular al sol, pero sin olvidar que no siempre van alcanzar un ángulo de  $90^\circ$ , el análisis de los paneles fotovoltaicos con respecto al sol debe entregar el mayor rendimiento a lo largo del año. Es así que dependiendo de la latitud se puede colocar un ángulo idóneo para la colocación de los distintos paneles solares en diferentes lugares, en la Tabla 3-1 se muestra los valores de latitud existentes así como los valores de su ángulo de inclinación óptimos para su colocación [35].

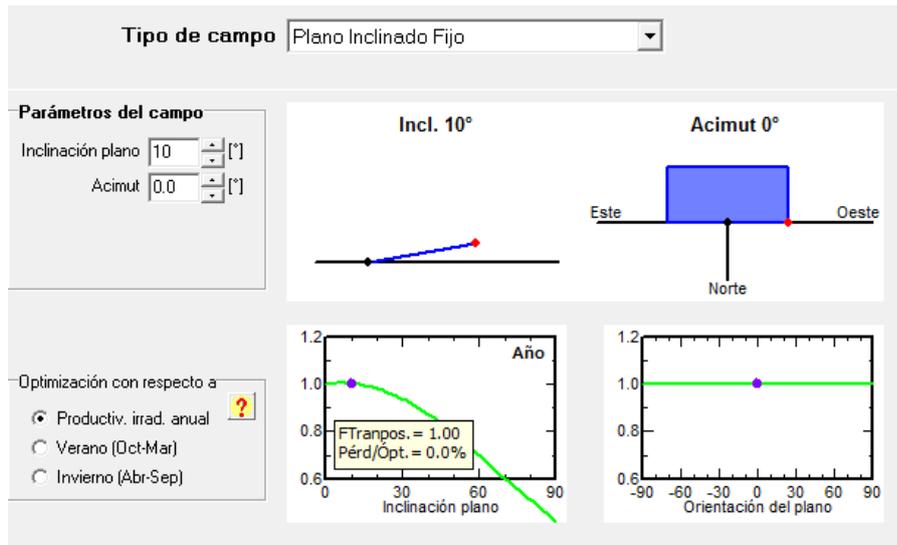
**Tabla 3.1.** Ángulo del panel fotovoltaico dependiendo de la latitud del sitio

Latitud del sitio	Ángulo de inclinación máximo
0°-5°	0-10°
6°-20°	Latitud local + 5°
21°-45°	Latitud local + 10°
46°-65°	Latitud local + 15°
66°-75°	80°

Las edificaciones residenciales están ubicación en el sector de Tumbaco como se dijo anteriormente y tiene una latitud de 00°13', entonces el ángulo de inclinación de acuerdo a la tabla sería de 0°-10° en este sitio, esta desviación mínima a comparación de otros Países se debe que el Ecuador está ubicada en la línea Ecuatorial que divide los hemisferios. Mediante el Software PVsyst se puede tener una idea con el ángulo de inclinación respecto al plano horizontal en la producción de irradiación anual permitiendo la obtención de valores de posibles pérdidas, para una mayor optimización a su inclinación como se muestra en las Figuras 3.4 y 3.5 que para nuestro caso podremos un ángulo de 10° que beneficiará a la limpieza de los paneles fotovoltaicos, cuando existan adherencias de residuos (polvo, hojas) por medio del viento y agua lluvia dependiendo del lugar a emplearse.



**Figura 3.4.** Pérdidas con inclinación de 10° respecto al clima anual.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 3.5.** Pérdidas vs. Inclinación del panel a 10°.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En el análisis de las edificaciones residenciales no vamos a tener un seguidor solar por los altos costos que representaría, es así que consideraremos solo el estudio en un plano inclinado fijo, dónde obtendremos resultados de pérdidas y de máxima optimización en misma.

Ahora que ya conocemos el ángulo de inclinación que se debe colocar y el lado donde deberá ser orientado debemos definir un tipo de soporte para la colocación de los paneles solares fotovoltaicos, en la Figura 3.6 y Figura 3.7 podemos observar la forma de una estructura tipo, colocados en espacios que no son utilizados como por ejemplo en entradas, en lozas que son realizadas de cimentaciones de hormigón permitiendo obtener una mejor acople y ajuste a este tipo de estructura que en este caso son de estructuras de aluminio.



**Figura 3.6.** Estructura para el montaje de paneles fotovoltaicos en suelos.  
**Fuente:** PROVIENTO.S.A, Energías renovables en el Ecuador, 2014.



**Figura 3.7.** Soporte para el montaje de paneles fotovoltaicos en terrazas.  
**Fuente:** PROVIENTO.S.A, Energías renovables en el Ecuador, 2014.

En las Figuras 3.6 y 3.7 presentadas anteriormente los soportes son prefabricadas de acuerdo a la necesidad del emplazamiento tanto regular como irregular, pero no debemos olvidar que este tipo de soportes deben tener una máxima durabilidad a la colocación de los paneles fotovoltaicos y no debe tener riesgos de que el viento levante los paneles.

Los soportes pueden ser fabricadas como se muestra en la Figura 3.8 ó prefabricadas de diferente manera ya que el Ecuador no existe una normativa que regularice este tipo de soportes para la colocación de los paneles fotovoltaicos, por lo tanto deberemos conocer la necesidad y el modo que se pretende dar ya que la fabricación y la colocación deberá tener el ángulo de inclinación especificada para la obtención y optimización del aporte de energía.



**Figura 3.8.** Estructura para huertas solares íntegramente en aluminio.  
**Fuente:** Soporte Solares .S.L, ESTRUCTURA SS-HU, 2012.

El tipo de soportes fabricados pueden ser de acero inoxidable, estructura galvanizada o de aluminio, dependen del tiempo de fabricación y del coste siendo el aluminio cómodo y barato para realizar el tipo de soportes al igual que el anclar de la misma, por lo tanto especificamos que el tipo de soporte recomendable por su costo y por los beneficios en la colocación en espacios pequeños de paneles solares es el aluminio. Analizados los aspectos más importantes para el dimensionamiento en la aportación de energía fotovoltaica procederemos a realizar el estudio de carga y demanda.

**Tabla 3.2.** Planilla para la determinación demandas unitarias de diseño.

	Empresa Eléctrica Quito S.A.	<b>ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA</b>		FECHA: <u>2014</u> <u>10</u> <u>24</u> aa mm dd			
	<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> <b>ACTIVIDAD TIPO:</b> Urbanización <b>Localización:</b> Tumbaco <b>Servicio para:</b> <b>Usuario tipo:</b> B <b>Número de usuario:</b> 14						
<b>PLANILLA PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO</b>							
#	Aparatos y alumbrado			FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
	Descripción	Cantidad	Pn (W)				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Puntos de iluminación	15	60	90	810	80	648
2	Tv	2	60	90	108	60	64,8
3	Radios	1	100	40	40	30	12
4	Refrigeradora	1	300	80	240	30	72
5	Computador	1	300	70	210	50	105
6	Plancha	1	1000	70	700	20	140
7	Ducha Eléctrica	1	2000	70	1400	30	420
8	Lavadora	1	400	10	40	30	12
9	Microonda	1	1100	40	440	40	176
10	Cocina Eléctrica	1	4000	80	3200	60	2560
11	Licudadora	1	375	30	112,5	30	67,5
12	Laptop	1	30	70	21	30	6,3
Totales			9729		7327,5		4291,6
Factor de demanda							0,52
Factor de potencia		0,90					
DMU (kVA)		4,77					
Ti(%)		1,50					
(1+Ti/100)10		1,16					
DMUp (kVA)		5,53					
Número de usuarios		14,00					
Factor de diversidad		2,83					
Demanda de diseño		<b>27,38</b>					
FACTOR DE SOBRECARGA		<b>1,00</b>					
DEMANDA DE DISEÑO KVA		<b>27,38</b>					

En la Tabla 3.2 presentada anteriormente es conocida como planilla para la determinación de demandas unitarias de diseño eléctrico, con posibles cargas que se compone en cada edificación residencial especificando los aparatos que son los más utilizados en viviendas comunes con sus respectivos parámetros como se presenta a continuación:

**Pn:** Potencia nominal, en Vatios [W].

**FFUn:** Factor de frecuencia de uso, en [%].

**CIR:** Carga instalada del consumidor representativo, en Vatios [W].

**FSn:** Factor de simultaneidad, en [%].

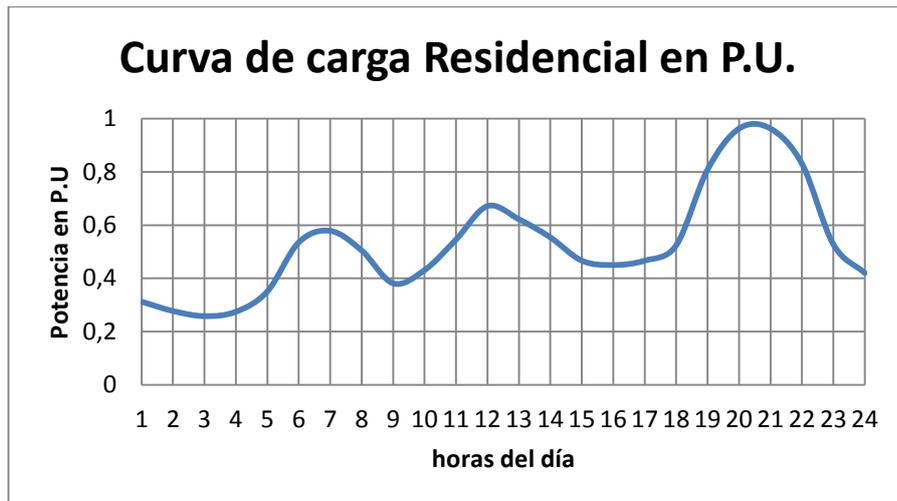
**DMU:** Demanda Máxima Unitaria, en Vatios [W]

Mientras en la Tabla 3.3 se analiza la energía consumida diaria promedio, por las distintas cargas que existen en la edificación residencial tomando en cuenta la cocina a inducción o eléctrica, estos valores pueden cambiar según el tiempo de consumo de cada vivienda por lo que tomaremos valores de tiempo de consumo posible como se muestra a continuación:

**Tabla 3.3.** Demanda del sistema en la edificación residencial en un día aleatorio.

Ítems	Potencia (W)	Cantidad	Consumo al día (h/día)	Consumo Total (W)	Energía Total (kWh/día)
Puntos de iluminación	60	15	5	900	4,5
Tv led	60	2	5	120	0,6
Radios	100	1	4	100	0,4
Refrigeradora	300	1	6	300	1,8
Computador	300	1	3	300	0,9
Plancha	1000	1	0,3	1000	0,3
Ducha Eléctrica	2000	1	0,5	2000	1
Lavadora	400	1	0,8	400	0,32
Microonda	1100	1	0,5	1100	0,55
Cocina Eléctrica	4000	1	2,7	4000	10,8
Licuada	375	1	0,5	375	0,1875
Laptop	30	1	0,5	30	0,015
<b>Total</b>				<b>10625,00</b>	<b>21,37</b>

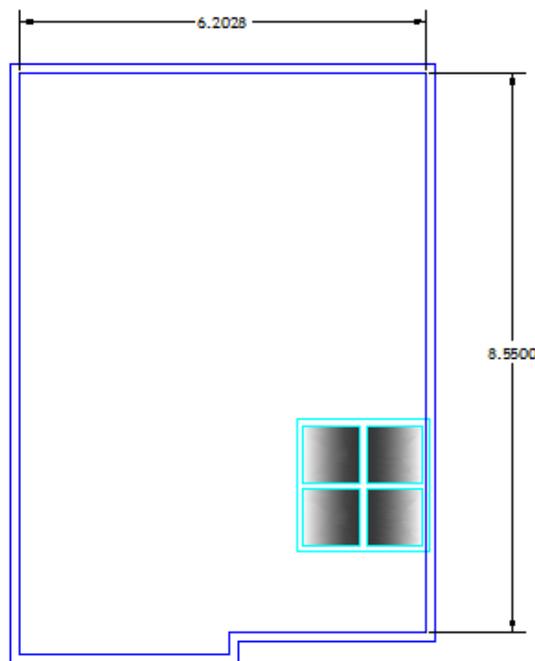
Con este cálculo conoceremos el valor diario de consumo de energía eléctrica utilizado los distintos aparatos eléctricos en ciertas horas del día, como se representa en la Figura 3.9, esto nos permitirá conocer la demanda diaria promedio y el uso en ciertas horas del día para una posible aportación de la micro red eléctrica, usando paneles fotovoltaicos en una edificación residencial ya sea aislada o conectada a la red.



**Figura 3.9.** Curva de carga residencial promedio usada en un día.  
**Fuente:** Propia del Autor.

### 3.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para un correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico consideraremos la disponibilidad de la extensión en la edificación residencial que en este caso es una vivienda tipo, en la urbanización en el sector de Tumbaco que consta de un espacio físico de 6,2 m de ancho y 8,55 m de largo como se muestra en la Figura 3.10.

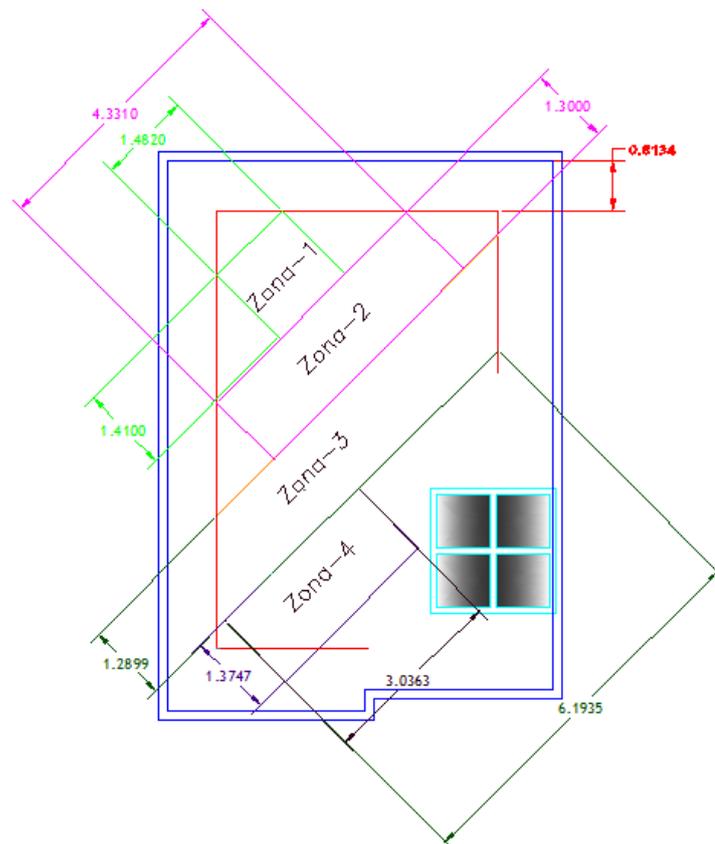


**Figura 3.10.** Dimensionamiento de vivienda en el sector Tumbaco.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En este espacio disponible deberemos tomar aspectos importantes, como el espacio ocupado por las claraboyas y la posición de orientación de los paneles fotovoltaicos mostrados en la Figura 3.3.

Es así que tomado en cuenta los aspectos anteriores dividimos los espacios que pueden ser disponibles, como se representa en la Figura 3.11, cabe recalcar que los paneles deben tener una separación por la sombra que genera al colocarlos a  $10^\circ$  de inclinación, analizando y observando los espacios de mayor accesibilidad es así que se dividió por zonas donde representa el espacio en el cual se podrá tener un acceso a los diferentes paneles fotovoltaicos para un mejor manejo de los mismos.

Las zona-1, zona-2, zona-3 y zona-4 representan los espacios a lo largo ya ancho donde serán colocados los paneles fotovoltaicos según la capacidad disponible en este emplazamiento.



**Figura 3.11.** Dimensionamiento del espacio útil a lo largo.  
**Fuente:** Propia del Autor.

Conociendo estos aspectos deberemos considerar los paneles fotovoltaicos existentes en el Ecuador, hay una gama de distinta potencia máxima pico de cada panel es por este motivo que consideraremos los siguientes aspectos:

- a) Tolerancia de la potencia nominal suministrada ya que proporciona estabilidad, regularidad y fiabilidad a la instalación.
- b) Geometría del panel, dimensiones y peso coherente al emplazamiento que disponemos.
- c) Los aspectos técnicos del panel, potencia, eficiencia, voltaje de salida e intensidad.
- d) Precio y garantía del panel fotovoltaico.

Tomando en cuenta los aspectos necesarios para la elección del panel fotovoltaico, es indispensable obtener la mayor aportación de energía fotovoltaica por el espacio disponible, es decir, si hubiese un espacio de mayor disponibilidad para la colocación de los paneles fotovoltaicos, no tendría sentido la ubicación de paneles fotovoltaicos de mayor eficiencia o de aportación, por lo tanto los paneles fotovoltaicos a utilizarse deberán ser potencias mayores o iguales 230W para optimizar al máximo la instalación. A continuación en la Tabla 3.4 observaremos los datos técnicos, eléctricos y el coeficiente de temperatura del panel escogido como se detalla en el Anexo A, que su costo aproximado es de \$370[36].

**Tabla 3.4.** Especificación Técnica del panel fotovoltaico de 230Wp.

<b>Datos técnicos</b>	
Fabricante	Simax
Modelo	SP660-230W
Tipo de celda solar	Monocristalino 156x156(mm)
Dimensionamiento (LxWxH)	1640x992x40 (mm)
Peso	19,1 kg
<b>Datos eléctricos</b>	
Potencia Máxima pico ( <b>Pmax</b> )	230 [Wp]
Tolerancia de Potencia	±3%
Potencia Máxima de Voltaje( <b>Vmpp</b> )	29,7 [V]
Potencia Máxima de Corriente( <b>Imp</b> )	7,69 [A]
Voltaje de circuito abierto ( <b>Voc</b> )	36,8 [V]
Corriente de corto circuito ( <b>Isc</b> )	8,30 [A]
Máximo voltaje del sistema	1000[V]
<b>Coefficiente de Temperatura</b>	
TONC	45±2°C
Pmax	-0,39 [%/°C]
Voc	-0,34 [%/°C]
Isc	-0,036 [%/°C]

<b>Garantía de Potencia</b>
10 años de garantía de rendimiento $\geq 90\%$
25 años de garantía de rendimiento $\geq 80\%$

### 3.2.1 Temperatura máxima y mínima del panel fotovoltaico

Conociendo las especificaciones del panel fotovoltaico vamos analizar la temperatura máxima y mínima del ambiente que se presentan a la variación del año, a continuación se describe la ecuación 3.1 [37], que nos ayudará para realizar estos cálculos como se presenta en la Tabla 3.5.

$$T_p = T_a + \frac{TONC - 20}{800} * I \quad (3.1)$$

Dónde:

$T_p$  = Temperatura máxima y mínima del panel fotovoltaico [°C].

$T_a$  = Temperatura ambiente máxima y mínima del panel fotovoltaico [°C].

$TONC$  = Temperatura normal de operación del panel fotovoltaico [°C].

$I$  = Irradiación Solar [W/m<sup>2</sup>].

**Tabla 3.5.** Temperatura máxima y mínima del panel fotovoltaico escogido.

	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Irradiación [W/m<sup>2</sup>].</b>	<b>Temperatura del panel Fotovoltaico [°C]</b>
<b>Mínimo</b>	14,6	120	18,5
<b>Máximo</b>	18,8	1260	58,2

También podemos conocer el voltaje de rendimiento o de operación del panel fotovoltaico cuando se encuentra trabajando en temperatura máxima o mínima, ya que a menor temperatura existirá mejor rendimiento del panel para esto se representan las siguientes ecuaciones (3.2), (3.3), (3.4) y (3.5) [38].

$$dV_{mp}/dT = \frac{(dV_{oc}/dT) * V_{mp}}{100} \quad (3.2)$$

Dónde:

$dV_{mp}/dT$  = Diferencia de voltaje máxima de potencia en [V/°C].

$dV_{oc}/dT$  = Diferencia de voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico en [%/°C].

$V_{mp}$  = Voltaje máximo de potencia del panel fotovoltaico en [V].

$$\Delta(\text{máx/mín})V_{mp} = \Delta T * dV_{mp}/dT \quad (3.3)$$

Dónde:

$\Delta(\text{máx/min})V_{mp}$  = Variación máxima o mínima de voltaje máxima de potencia [V].

$\Delta T$  = Variación de temperatura [Temperatura estándar (25°C) - Temperatura máxima o mínima] en [°C].

$$V_{máx_{mp}} = V_{mp} + \Delta_{máx}V_{mp} \quad (3.4)$$

Dónde:

$V_{máx_{mp}}$  = Voltaje máximo de máxima potencia cuando la temperatura ambiente es mínima en [V].

$$V_{mín_{mp}} = V_{mp} - \Delta_{mín}V_{mp} \quad (3.5)$$

Dónde:

$V_{mín_{mp}}$  = Voltaje mínimo de máxima potencia cuando la temperatura ambiente es máxima [V].

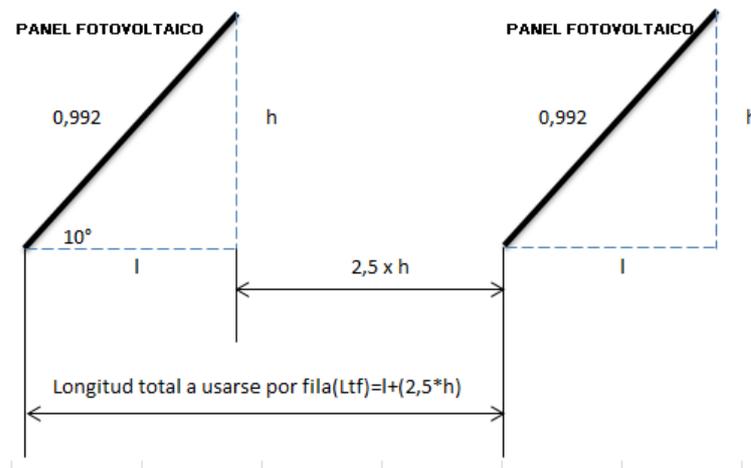
En la Tabla 3.6, a continuación se muestra los valores calculados del voltaje de máximo de máxima y mínimo potencia con las formulas explicadas anteriormente.

**Tabla 3.6.** Voltaje máximo y mínimo a máxima potencia del panel fotovoltaico.

$\Delta T_{mín} =$	6,49	$\Delta T_{máx} =$	33,17
$\Delta_{máx}V_{mp} =$	0,66	$\Delta_{mín}V_{mp} =$	3,35
<b><math>V_{máx\_mp} =</math></b>	18,66	<b><math>V_{mín\_mp} =</math></b>	14,65

### 3.2.2 Distancia entre módulos

Ahora que ya conocemos los datos técnicos del dimensionamiento y el ángulo ideal del panel, procedemos a realizar el cálculo a lo largo y ancho del emplazamiento que va a hacer ocupado con los paneles fotovoltaicos. Es importante conocer la distancia mínima entre filas, por la sombra que puede generar el panel con su ángulo de inclinación, para la eliminación de la sombra y del rendimiento del panel deberá multiplicarse por 2,5 veces la altura proyectada del panel [38], como se muestra en la Figura 3.13.



**Figura 3.12.** Distancia entre módulos por fila.  
**Fuente:** Propia del Autor.

Como se observó la figura anterior los paneles fotovoltaicos van a estar colocados de manera horizontal, es decir, el largo del panel en el suelo y el ancho va hacer su inclinación. La distancia de separación por fila será:

$$h = 0,172 \quad l = 0,976 \quad Ltf = 1,4075$$

**Dónde:**

**h:** Altura de la inclinación del panel fotovoltaico.

**l:** Longitud de la inclinación del panel fotovoltaico.

**Ltf:** Longitud total de uso del panel fotovoltaico para la colocación de la siguiente fila.

### 3.2.3 Número de paneles

Analizados y calculados estos aspectos podremos calcular el número de paneles máximo a utilizarse a lo largo y ancho del dimensionamiento de las Figuras 3.11 y 3.12, tomando como ejemplo la Zona-3, tendremos que dividir el largo del espacio dimensionado sobre el largo del panel fotovoltaico y el ancho del espacio dimensionado con el ancho del panel respectivamente, ya que los paneles fotovoltaicos se colocarán de forma horizontal es decir la dimensión mayor del panel hacia abajo:

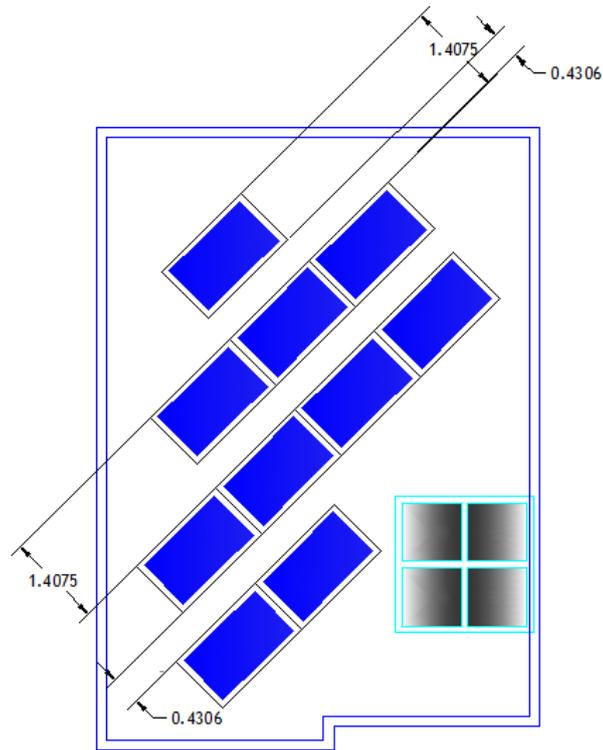
<b>Filas útiles (F.u)</b>	<b>Ancho útil (A.u)</b>
$Largo_{dimensión} = 6,1925$	$Ancho_{dimensión} = 1,2899$
$Largo_{Panel} = 1,640$	$Ancho_{Panel} = 1,407$
$F.u = 3,77$	$A.u = 0,92$

Número de paneles a utilizarse en la Zona-3 es de 4 a lo largo y 1 a lo ancho, ya que los decimales no suben al inmediato superior y que por su multiplicación obtendremos los paneles fotovoltaicos requeridos que en este caso es de 4. Ahora se analiza las figuras restantes como se muestra en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7.** Número de paneles fotovoltaicos en el espacio accesible.

Figura	Largo (m)	Ancho (m)	Fila útil	Ancho útil	Paneles fotovoltaicos a utilizarse
Zona-1	1,48	1,41	1	1	1
Zona-2	4,33	1,30	3	1	3
Zona-3	6,19	1,29	4	1	4
Zona-4	3,04	1,37	2	1	2
				<b>Total</b>	10

El número total de paneles fotovoltaicos a utilizarse es de 10, distribuidos en las zona-1, zona-2, zona-3 y zona-4. Comprendida ya la distribución de los paneles procederemos a ubicarlos con sus medidas antes calculadas como se realizó en la Figura 3.13 que deberá ser el espacio de panel a panel. Los 10 paneles fotovoltaicos analizados anteriormente podrán aumentar, dependiendo del espacio que se pueda reducir pero no puede disminuir y deberá ser en número par por los futuros arreglos para el inversor.



**Figura 3.13.** Emplazamiento de generación de paneles fotovoltaicos.  
**Fuente:** Propia del Autor.

### 3.3 Configuraciones e instalaciones del sistema fotovoltaico

La configuración de un sistema fotovoltaico nos permite conocer cuántos tipos de paneles serían conectados en paralelo o en serie, cabe mencionar que las conexiones en paralelo aumentan la corriente dependiendo de los paneles conectados pero su voltaje es estable a comparación de la conexión en serie donde su voltaje aumenta y pero la corriente es estable.

Debemos conocer qué tipo de consumo vamos a abastecer sea este DC o AC, en nuestro caso las edificaciones residenciales tienen su carga en AC y es necesario transformar la energía generada de los paneles fotovoltaicos (DC) en AC por medio de un inversor.

El inversor tendrá que cumplir ciertos parámetros como por ejemplo la tensión de entrada-salida, corriente de entrada-salida y potencia nominal de entrada-salida, para nuestro caso de emplazamiento deberemos conocer su potencia máxima de entrada y el factor de ajuste que se aplica en el Ecuador a la entrada del inversor, que en este caso es 0,85 [38].

La potencia máxima de entrada al inversor requerido se calcula con la fórmula (3.6)

$$P_{m\acute{a}x_{input\_inv}} = P_p * N_p * F_j \quad (3.6)$$

Dónde:

$P_{m\acute{a}x_{input\_inv}}$  = Potencia máxima de entrada del inversor requerida en [Wp].

$P_p$  = Potencia máxima pico del panel fotovoltaico [Wp].

$N_p$  = Número de paneles fotovoltaicos calculados para el emplazamiento.

$F_j$  = Factor de ajuste para el cálculo de potencia de entrada del inversor.

Calculando la ecuación 3.5 con los parámetros requeridos, el inversor requerido es de  $P_{m\acute{a}x_{input\_inv}} = 1344$  [Wp]. Conocido ya el inversor necesario, procederemos a la elección del mismo como se presenta en la Tabla 3.8 datos técnicos de inversor escogido como se detalla a más profundidad en el Anexo B.

**Tabla 3.8.** Especificación Técnica del inversor sunny boy 2000HF-30.

<b>Datos técnicos</b>	
Fabricante	SMA
Modelo	Sunny Boy 2000HF-30
Dimensionamiento (LxWxH)	348x580x145 (mm)
Peso	<18 kg
<b>Datos eléctricos</b>	
Potencia máxima de entrada DC	2100W
Tensión máxima de entrada DC	700 V
Rango de Tensión fotovoltaico (MPPT)	175-560 V
Corriente máxima de entrada	12 A
Número máximo de strings (cadena)	2
Potencia nominal de salida AC	2000 W
Potencia máxima de salida AC	2000W
Máxima corriente de salida	11,4 A
Tensión nominal AC/rango	220-240V/180-260V
Frecuencia	50,60 Hz ± 4,5 Hz
Factor de potencia	1
Conexión AC	Monofásica

Con las características del inversor procederemos a conocer cuántos paneles fotovoltaicos van en serie y paralelo con las siguientes ecuaciones:

$$Nps_{m\acute{a}x} \leq \frac{MPPT_{m\acute{a}x\_inversor}}{Voc_{panel}} \quad (3.7)$$

$$Nps_{m\acute{i}n} \geq \frac{MPPT_{m\acute{i}n\_inversor}}{Vmp_{panel}} \quad (3.8)$$

Dónde:

$Nps$  = Número posible de paneles fotovoltaicos en serie máximos y mínimos.

$MPPT$  = Rango de tensión nominal de entrada del inversor en [V].

$Voc_{panel}$  = Voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico en [V].

$Vmp_{panel}$  = Voltaje máximo de potencia del panel fotovoltaico en [V].

$$Npp \leq \frac{I_{m\acute{a}x\_inversor}}{Icc_{panel}} \quad (3.9)$$

Dónde:

$Npp$  = Número posible de paneles fotovoltaicos en paralelo máximos y mínimos.

$I_{m\acute{a}x\_inversor}$  = Corriente máxima de entrada del inversor [A].

$Icc_{panel}$  = Corriente de cortocircuito máximo del panel fotovoltaico en [A].

Resolviendo las ecuaciones (3,7), (3,8) y (3,9) obtenemos un resultado de:

$$Nps_{m\acute{a}x} \leq \frac{560}{36,8} \quad ; \quad Nps_{m\acute{a}x} \approx 15,22$$

$$Nps_{m\acute{i}n} \geq \frac{175}{29,7} \quad ; \quad Nps_{m\acute{i}n} \approx 5,89$$

$$Nps_{m\acute{i}n} \leq \frac{12}{8,30} \quad ; \quad Nps_{m\acute{i}n} \approx 1,44$$

Y su arreglo o conjunto de posibilidades sería, como se representa en la Tabla 3.9, calculando también así su potencia de entrada del inversor en función de la potencia máxima pico del panel fotovoltaico, multiplicado el factor de ajuste obteniendo por la potencia del campo solar, obteniendo así las características del inversor con sus respectivas restricciones en cada arreglo como se muestra en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.9.** Conjunto de posibilidades de arreglo en serie/paralelo para el diseño.

Nps / Npp	1
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14

**Tabla 3.10.** Restricciones de cada arreglo según el aporte en kWp en serie/paralelo.

Nps/Npp	1
6	1,17
7	1,37
8	1,56
9	1,76
10	1,96
11	2,15
12	2,35
13	2,54
14	2,74

Si consideramos la entrada de potencia máxima de entrada (DC) del inversor que en nuestro caso es de 2100Wp según el fabricante, el arreglo que más se ajusta es el siguiente:

**Tabla 3.11.** Restricciones de cada arreglo según el aporte en kWp en serie/paralelo.

<b>Nps</b>	10
<b>Npp</b>	1
<b># T paneles</b>	10
<b>Pp [kW]</b>	2,3
<b>P al inversor [kW]</b>	1,95
<b>P nom_inversor [kW]</b>	2,1
<b>% Carga</b>	93,09

Ahora para la determinación de la conveniencia del arreglo tendremos que verificar el voltaje y corriente de entrada al inversor, está no debe superar su corriente máxima y la tensión máxima de entrada, para determinar esto utilizaremos la diferencia de voltaje de circuito abierto, el voltaje máximo en circuito abierto del panel fotovoltaico, la

diferencia de voltaje de máxima potencia calculada en la ecuación (3.2), la temperatura estándar, la temperatura ambiente mínima como se representa en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12.** Voltaje máximo en circuito abierto a temperatura mínima del panel fotovoltaico.

<b>dVoc /dT</b>	0,34	[%/°C]
<b>Voc</b>	36,8	[V]
<b>dVmp / dT</b>	0,100	[V/°C]
<b>Temp estándar :</b>	25	[°C]
<b>Tp mín :</b>	14,6	[°C]
<b>Variación ΔT :</b>	10,4	[°C]
<b>Variación máxima de voltaje</b>	1,05	[V]
<b>Voltaje máximo de circuito abierto</b>	37,85	[V]

Permitiendo obtener como resultado global el voltaje máximo en circuito abierto y la corriente del campo solar como se representa en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13.** Voltaje máximo en circuito abierto.

<b>Nps</b>	<b>Npp</b>	<b>Comprobación de voltaje [V]</b>		<b>Comprobación de corriente[A]</b>	
		<b><i>VOC<sub>máx_panel</sub></i></b>	<b><i>VOC<sub>máx_arreglo</sub></i></b>	<b><i>ICC<sub>máx_panel</sub></i></b>	<b><i>ICC<sub>máx_arreglo</sub></i></b>
10	1	37,85	378,502	8,30	8,30

El voltaje máximo de circuito abierto es menor a 560 [V] y la corriente de cortocircuito del arreglo es menor a la corriente máxima de entrada al inversor 12 [A], por esta razón el arreglo cumple con las especificaciones del inversor, por lo tanto se tendría el siguiente arreglo en el campo solar con las siguientes especificaciones:

**Tabla 3.14.** Especificaciones del campo solar en una edificación fotovoltaica.

Número Total de Paneles	10
Número de módulos en serie por arreglo	10
Número de módulos en paralelo por arreglo	1
Número de arreglos (inversores)	1
Potencia del Campo Solar (kW)	2,3
Tensión de circuito abierto (V)	378,50
Intensidad de cortocircuito por arreglo (A)	8,30
Intensidad de cortocircuito total (A)	8,30
Tensión en el punto de máxima potencia (V)	297

### 3.3.1 Sección del conductor

Conocidos estos aspectos importantes debemos conocer ahora la dimensión de la sección de los conductores que se necesitan para la conexión de las especificaciones del campo solar que son:

- Conductor conexionado por cada ramal hasta el tablero de D.C
- Conductor del Tablero de D.C al inversor.
- Conductor desde el inversor al tablero de conexión.

Para realizar el cálculo de la sección del cable (S) en los distintos tramos o aspectos hablados anteriormente se emplearán las siguientes ecuaciones: (3.10) para DC y (3.11) para AC.

$$S = \frac{2 * L * I}{K * \Delta V * V} \quad (3.10)$$

Dónde:

S = Sección del cable conductor  $mm^2$

L = Longitud del conductor en [m].

I = Intensidad en [A].

K= Conductividad del conductor (56 Cu; 35Al).

$\Delta V$  = Porcentaje de caída de tensión admisible.

V = Voltaje de trabajo en [V].

$$S = \frac{\delta * 2 * L * I * \cos \varphi}{\Delta V * V} \quad (3.11)$$

Dónde:

$\delta$  = Resistividad del conductor  $\left(0,0175 \frac{\Omega mm^2}{m} Cu; 0,0282 \frac{\Omega mm^2}{m} Al\right)$ .

$\cos \varphi$  = Factor de potencia

Resolviendo las ecuaciones descritas para el cálculo de la conexión del ramal hasta el tablero de corriente continua (C.C) da como resultado:

$$S = 3,273mm^2 \text{ donde su seccion seria ; } S = 3,31mm^2$$

El conductor a utilizarse sería #12 AWG del ramal hasta el tablero de C.C y la interconexión entre paneles sería con el conductor #14 AWG.

El conductor del tablero de C.C al inversor debe soportar la corriente máxima producida por cada arreglo fotovoltaico, en nuestro caso solo existe un ramal y el conductor a utilizarse sería #12 AWG.

Para el cálculo del conductor desde el inversor al tablero de conexión utilizaremos la ecuación (3.11), se considera que a la salida del inversor el factor de potencia es igual a 1.

$$S = 2,189mm^2 \text{ donde su seccion seria } ; S = 3,31mm^2$$

El conductor a utilizarse sería #12 AWG, estos conductores analizados y calculados debemos conocer en qué tipo de circunstancias van a trabajar dependiendo del caso se utilizará el conductor conveniente para la intemperie, humedad, calor ya que cada uno tiene su diseño de fabricación.

### 3.3.2 Protecciones

Conocidos los valores de corriente, voltaje y conductor procederemos a conocer el tipo de protecciones que se necesita para un sistema fotovoltaico tanto en DC y AC. En el tablero de C.C tendremos que saber la corriente del panel fotovoltaico utilizado para la elección del fusible, número de ramales como se muestra en las ecuaciones (3.12), (3.13), (3.14) y (3.15) [38].

$$\text{fusible} = 1,2 * I_{cc_{panel}} \quad (3.12)$$

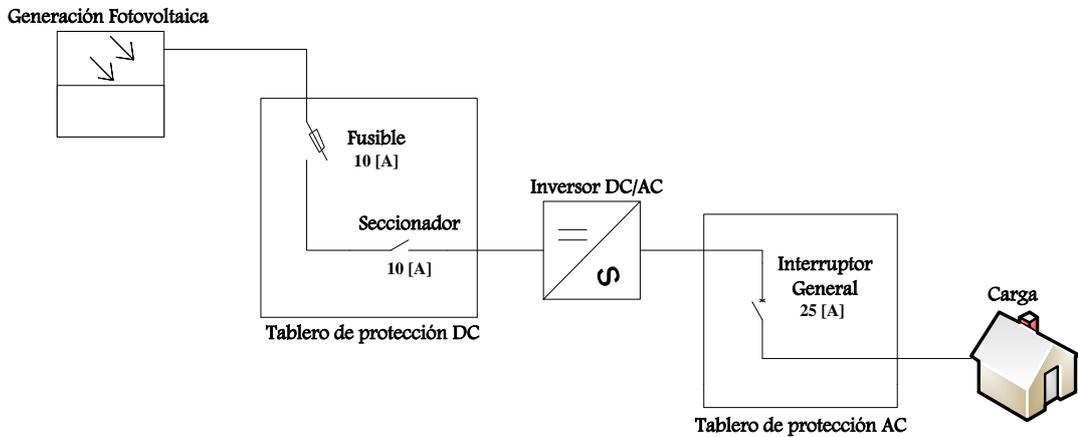
$$\text{Secionador} = 1,2 * \# \text{ ramales} * I_{cc_{panel}} \quad (3.13)$$

Mientras que para el tablero de conexión las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Interruptor Magnetotérmico} = 1,2 * \frac{\text{Potencia inversor}}{V_{monofasico} * \cos \varphi} \quad (3.14)$$

$$\text{Interruptor general} = \# \text{ de arreglos} * \text{Magnetotérmico} \quad (3.15)$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores obtendremos los valores de protecciones que se utilizarán el sistema fotovoltaico como se muestra en la Figura 3.14 con sus valores normalizados.



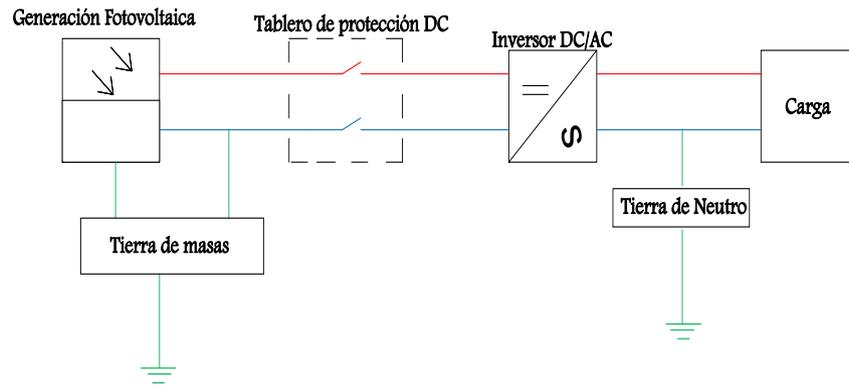
**Figura 3.14.** Calculo de protecciones en los tableros DC y AC.  
**Fuente:** Propia del Autor.

### 3.3.3 Puesta a tierra

No debemos olvidar que las protecciones son dispositivos para proteger a los equipos, mas no a las personas, es por este motivo que la puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas deberá ser parte fundamental para la colocación de los equipos a utilizarse mediante una toma de tierra, por medio de un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.

Mediante la instalación de puesta a tierra, el objetivo principal es delimitar la tensión emitida por un conjunto de instalaciones no activas de fácil acceso y que es propensa al contacto en un momento determinado como pueden ser las masas metálicas; la puesta a tierra elimina o disminuye el riesgo que supone cuando existe una falla en estas instalaciones por sobretensión de los equipos utilizados.

La tierra de masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente es decir DC con DC y AC con AC, asegurando así la seguridad de las personas. En el Figura 3.15 se encuentra el diagrama unifilar del sistema de la conexión de puesta a tierra.



**Figura 3.15.** Diagrama unifilar de puesta a tierra.  
Fuente: Propia del Autor.

### 3.4 Cálculo de aportación de paneles solares

Para el cálculo de aportación de energía eléctrica fotovoltaica, debemos conocer la estimación de radiación global que se analizó en capítulo 2 con la aportación promedio, máxima y mínima. En la Tabla 3.15 se muestra la aportación de radiación en los meses del año 2013 en Tumbaco, tomamos en cuenta este año ya que en los últimos 13 años la energía solar incidente no ha incrementado [30].

**Tabla 3.15.** Energía solar promedio mensual en la estación Tumbaco.

Meses del año	kWh/m <sup>2</sup> /día	Número de días	kWh/m <sup>2</sup> /mes
Enero	4,96	31	153,85
Febrero	3,74	28	104,72
Marzo	4,48	31	138,91
Abril	4,30	30	129,00
Mayo	3,68	31	114,14
Junio	4,27	30	128,01
Julio	4,04	31	125,21
Agosto	4,00	31	124,00
Septiembre	3,95	30	118,47
Octubre	3,76	31	116,56
Noviembre	3,71	30	111,42
Diciembre	4,27	31	132,34

Con estos valores de energía solar promedio se analiza la estimación anual o mensual de aportación de energía eléctrica con la potencia pico de instalación de los paneles fotovoltaicos como se muestra en la ecuación (3.16).

$$E = P_p * H_g * PR \quad (3.16)$$

Dónde:

$E$  = Energía mensual o anual producida en [kWh].

$Pp$  = Potencia pico de instalación [kWp].

$Hg$  = Radiación global promedio sobre el sitio de emplazamiento.

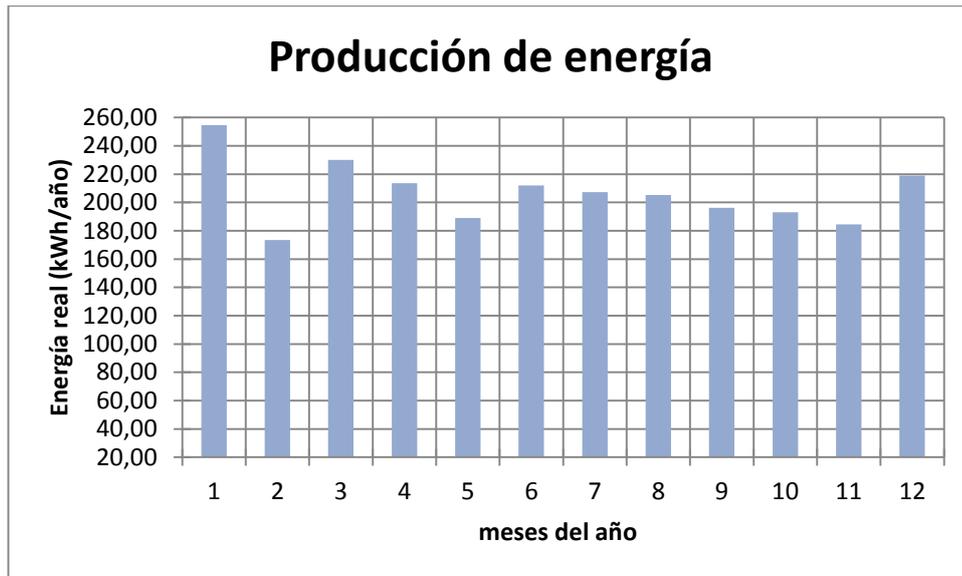
$PR$  = Rendimiento energético de la instalación (0,6-0,8).

Aplicando la ecuación (3.16) obtenemos la energía anual producida en la estación Tumbaco como muestra en la Tabla 3.16, y en la Figura 3.16 se presenta el gráfico de producción de energía fotovoltaica en los diferentes meses del año permitiendo observar la producción de energía real en (kWh/año).

**Tabla 3.16.** Energía eléctrica anual en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.

Meses del año	kWh/m2/día	# DÍAS	E [kWh]	Ereal [kWh]
Enero	4,96	31	283,09	254,78
Febrero	3,74	28	192,68	173,42
Marzo	4,48	31	255,60	230,04
Abril	4,30	30	237,36	213,62
Mayo	3,68	31	210,02	189,02
Junio	4,27	30	235,54	211,98
Julio	4,04	31	230,38	207,35
Agosto	4,00	31	228,16	205,34
Septiembre	3,95	30	217,98	196,19
Octubre	3,76	31	214,47	193,02
Noviembre	3,71	30	205,01	184,51
Diciembre	4,27	31	243,50	219,15
Total Generado			2753,81	2478,43

La energía real producida es el valor de estimación mensual y anual que se espera obtener en la instalación fotovoltaica, la energía eléctrica producida de los paneles fotovoltaicos fue calculada con un rendimiento energético de instalación o factor de planta de 0,8.



**Figura 3.16.** Producción de energía eléctrica fotovoltaica anual en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.

**Fuente:** Propia del Autor.

### 3.5 Modelo de Gestión

La sustitución del gas licuado de petróleo (GLP) por el uso de cocinas de inducción, es debido al cambio de matriz energética que representará un cambio a nivel residencial en el Ecuador, su consumo es 91% de GLP a nivel residencial [39], es por este motivo que tendrá subsidio de hasta 80 (kWh-mes) el consumo eléctrico adicional por este cambio pero no será permanente sino hasta el 2017, y a partir del 2018 los clientes deberán pagar una tarifa de USD 0,04 ctvs (kWh-mes) destinada para la cocción de alimentos.

Es por esta razón que este proyecto pretende generar un modelo de gestión como se representa en la Figura 3.17, teniendo como punto de partida la cobertura nacional de electrificación, esto permitirá brindar una mejor calidad de vida al usuario o consumidor final, teniendo dos actores principales; el Estado Ecuatoriano y el consumidor residencial; el Estado siendo el principal ente para promover la aportación de energías no convencionales como por ejemplo la generación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos en viviendas residenciales que permitirá la generación de tarifas e incentivos tanto económicos como tecnológicos.

Los incentivos económicos deberían representar algunas formas de financiamiento dependiendo del futuro campo solar instalado, que dependerá de dimensionamiento y abastecimiento de la vivienda residencial y si en un posible caso podría obtener beneficios por los excedentes de sistema fotovoltaico.

La generación de tarifas puede ser neta o preferencial, independientemente si el sistema esté o no conectada a la red; la tarifa neta representa al pago de planilla mensual, es decir, la diferencia entre la energía generada y energía consumida o emitida por la red; mientras que la tarifa preferencial tiene un valor de venta mayor al de energía consumida o emitida por la red, es decir, que se tendrá dos planillas; una de generación o producción de energía del usuario y otra por consumo del mismo.

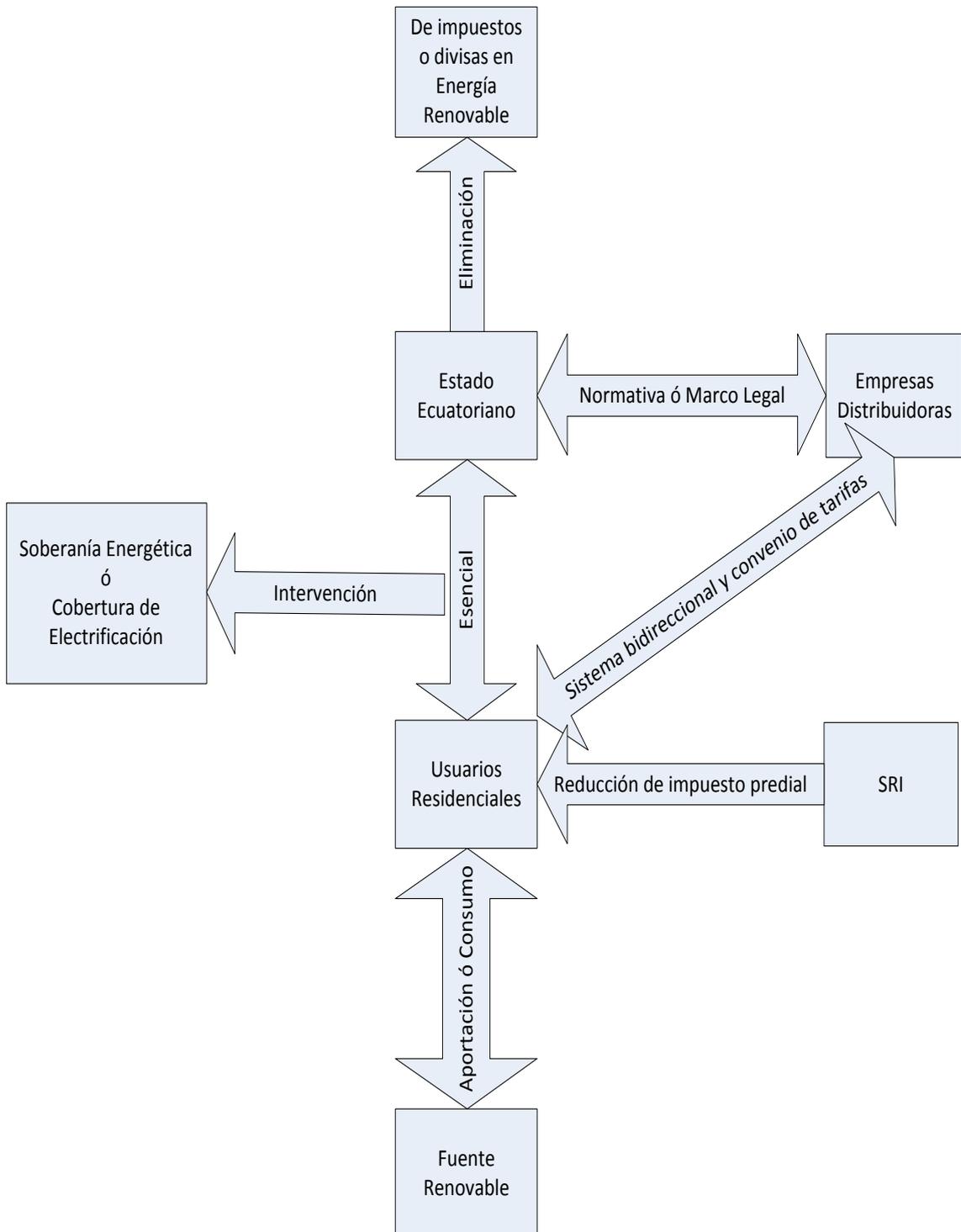
Los equipos tecnológicos cumplen sin duda una función importante, que debería el gobierno tener iniciativas, mediante las distintas empresas que suministraran la energía eléctrica en innovar su tecnología con un sistema bidireccional al usuario obteniendo así un equipamiento más rápido, efectivo y eficaz .

El usuario con la aportación de energía renovable, que en este caso es para la generación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos en viviendas residenciales, que permite la operación, administración y mantenimiento del sistema por parte del propio consumidor, que en nuestro caso es un cliente residencial, esto garantiza una mejor cobertura nacional de electrificación de energía y que sea sostenible en tiempo, con un respectivo marco legal de parte del Estado; y siendo los distintos distribuidores de energía eléctrica o empresas los encargados de cumplir esta normativa o marco legal.

La propuesta de modelo de gestión debe cumplir los siguientes propósitos:

- a) Definir la actuación del usuario.- El consumidor o usuario del sistema de energía eléctrica producido por energía fotovoltaica será el único inversionista que analizará y tomará decisiones tales como; si dicho sistema conviene ser aislado o integrado a red dependiendo del uso diario, semanal, mensual y anual de la demanda de consumo.
- b) Promover una cultura empresarial.- El usuario podrá tener su propia empresa con el fin de producir un bien a su servicio para luego obtener ganancias, permitiendo; controlar y supervisar los beneficios generados por la energía fotovoltaica y ponerlos a su servicio.
- c) Fortalecer la sostenibilidad de su servicio eléctrico.- El usuario será beneficiado de la energía eléctrica cuando existan fallas, cortes o reparaciones de energía emitidas por la red de distribución teniendo en cuenta siempre que el sistema fotovoltaico deberá ser almacenado en baterías .
- d) Evaluación de emplazamiento.- El usuario deberá conocer el lugar en donde puede ser instalado el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta condiciones técnicas para estos sistemas como por ejemplo radiación, temperatura, sitio.

- e) Incentivos.- El Estado deberá brindar algunas alternativas sean estas económicas, tecnológicas para que el usuario coopere en la producción de energía que el mismo ocupa en los diferentes tiempos del día.



**Figura 3.17. Modelo de Gestión.**

**Fuente:** Propia del Autor.

Con estos aspectos analizados procederemos a generar un modelo, para el cálculo de una futura aportación de energía fotovoltaica frente a la demanda producida sea esta diaria, semanal, mensual y anual por medio del programa Matlab; mediante el entorno de Simulink. En este programa colocaremos los datos de entrada y salida que fueron analizados en el capítulo dos; como es la radiación y temperatura, éstas serán las variables de entrada de nuestro modelamiento lineal, que varían durante el día entonces la generación de los paneles fotovoltaicos dependerá de la siguiente ecuación (3.17) [40]:

$$P_{PV} = P_{STC} * \frac{G}{G_{STC}} * [1 + k * (T - T_{STC})] \quad (3.17)$$

Dónde:

$P_{PV}$  = Potencia generada por el panel fotovoltaico.

$P_{STC}$  = Potencia nominal del panel fotovoltaico módulo en condición de prueba estándar.

$G$  = Radiación solar incidente.

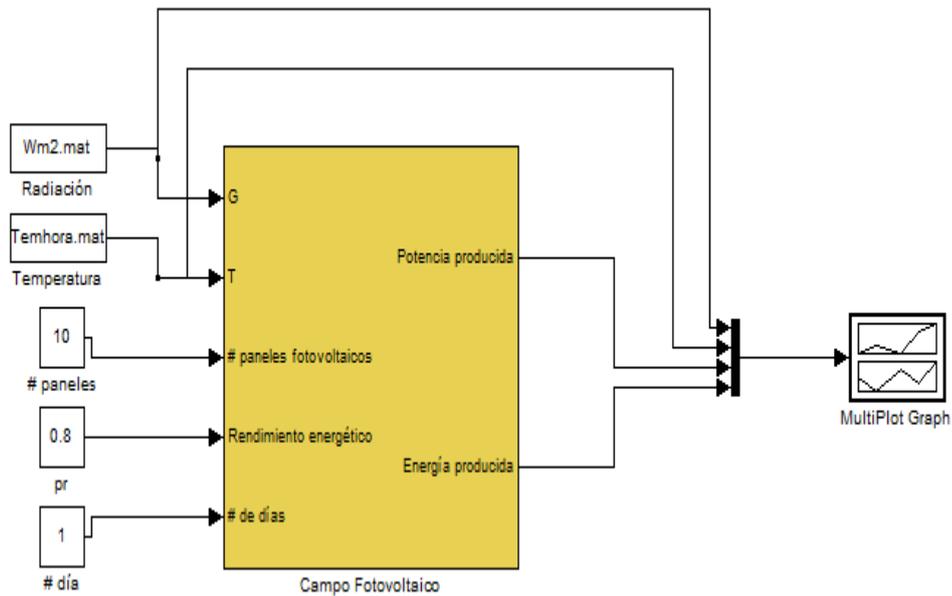
$G_{STC}$  = Radiación solar en condiciones de prueba estándar del panel fotovoltaico.

$k$  = Coeficiente de potencia de temperatura del panel fotovoltaico.

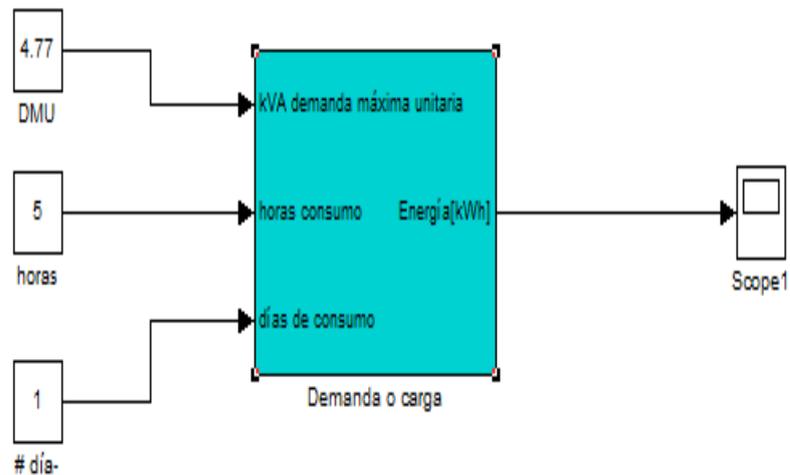
$T$  = Temperatura referencial de la célula (temperatura ambiente).

$T_{STC}$  = Temperatura de la célula en condiciones de prueba del panel fotovoltaico.

Con la ecuación (3.17) procedemos a realizar un modelamiento para el campo fotovoltaico, que dependerá de la radiación y temperatura como se habló anteriormente; más el número de paneles fotovoltaicos a utilizarse, el rendimiento energético de la instalación y los días a calcularse, como se muestra en Figura 3.18 y que será utilizada para el cálculo diario, semanal, mensual y anual. Mientras que en la Figura 3.19 representa la demanda o posible consumo de una edificación residencial conociendo la demanda máxima unitaria (DMU), las horas de consumo al día y el número de días del año en la utilización de energía eléctrica.

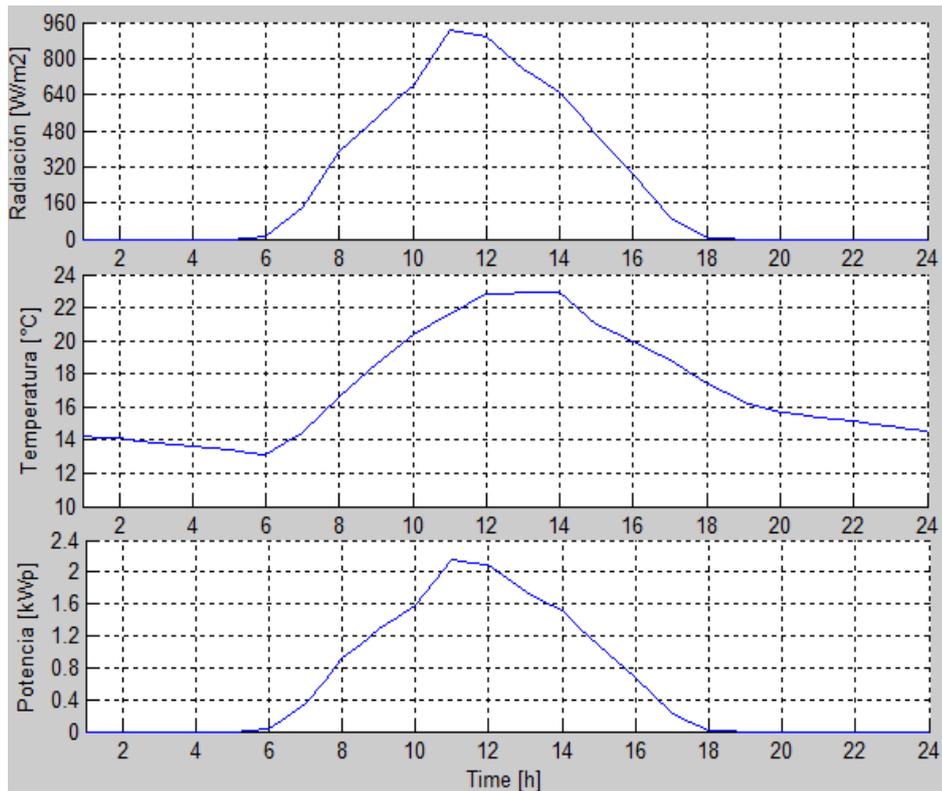


**Figura 3.18.** Configuración adoptada para simular el modelo del campo fotovoltaico en Simulink.  
**Fuente:** Propia del Autor.

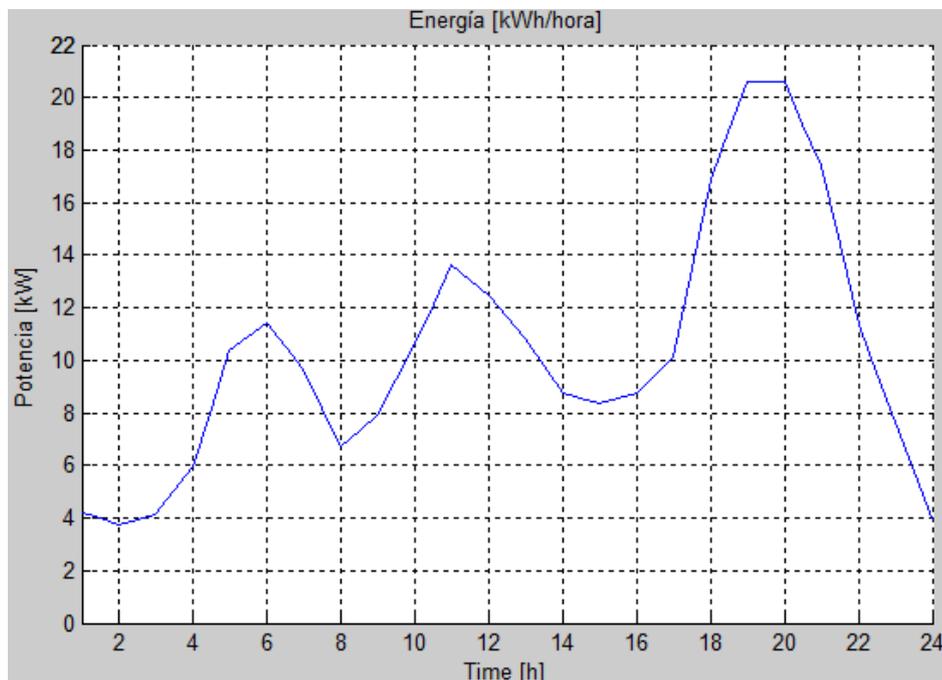


**Figura 3.19.** Configuración adoptada para simular el modelo de la demanda residencial en Simulink.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la Figura 3.20, se representa la simulación de la radiación solar, temperatura diaria y la potencia generada a lo largo de las horas del día mediante la configuración del modelo del campo fotovoltaico y en la Figura 3.21, se muestra la curva de carga de la configuración adoptada para el modelo de demanda residencial.

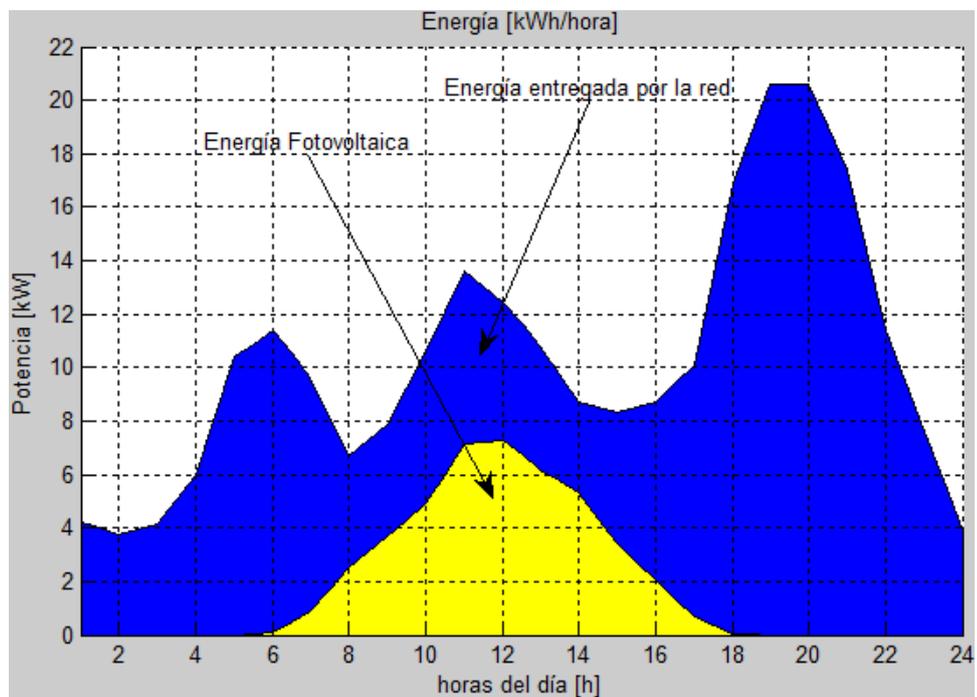


**Figura 3.20.** Resultado de la simulación del campo solar en Simulink.  
**Fuente:** Propia del Autor.

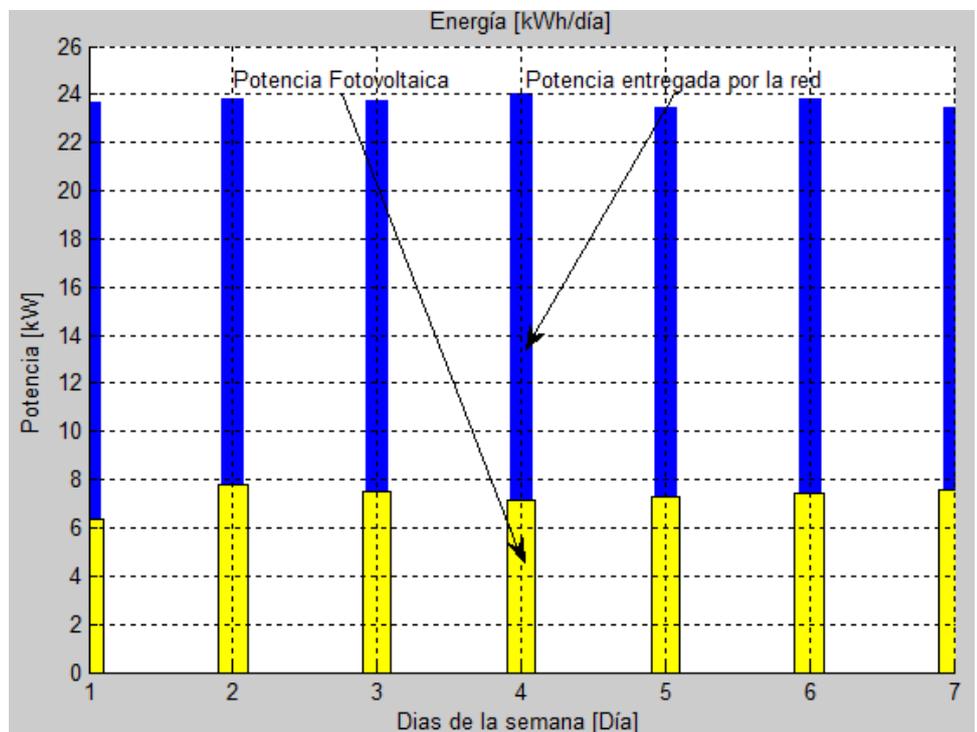


**Figura 3.21.** Resultado de la simulación de la demanda o carga residencial en Simulink.  
**Fuente:** Propia del Autor.

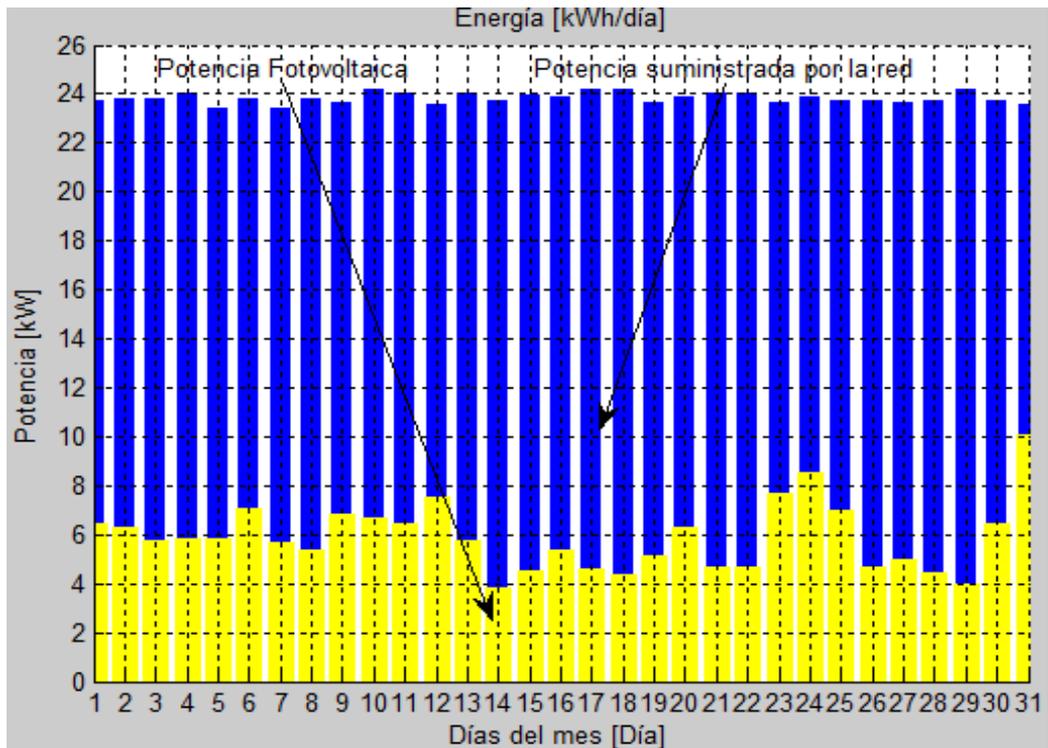
Analizando los valores obtenidos por medio del modelamiento procederemos a realizar la simulación diaria, semanal, mensual y anual de la posible generación fotovoltaica promedio en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.



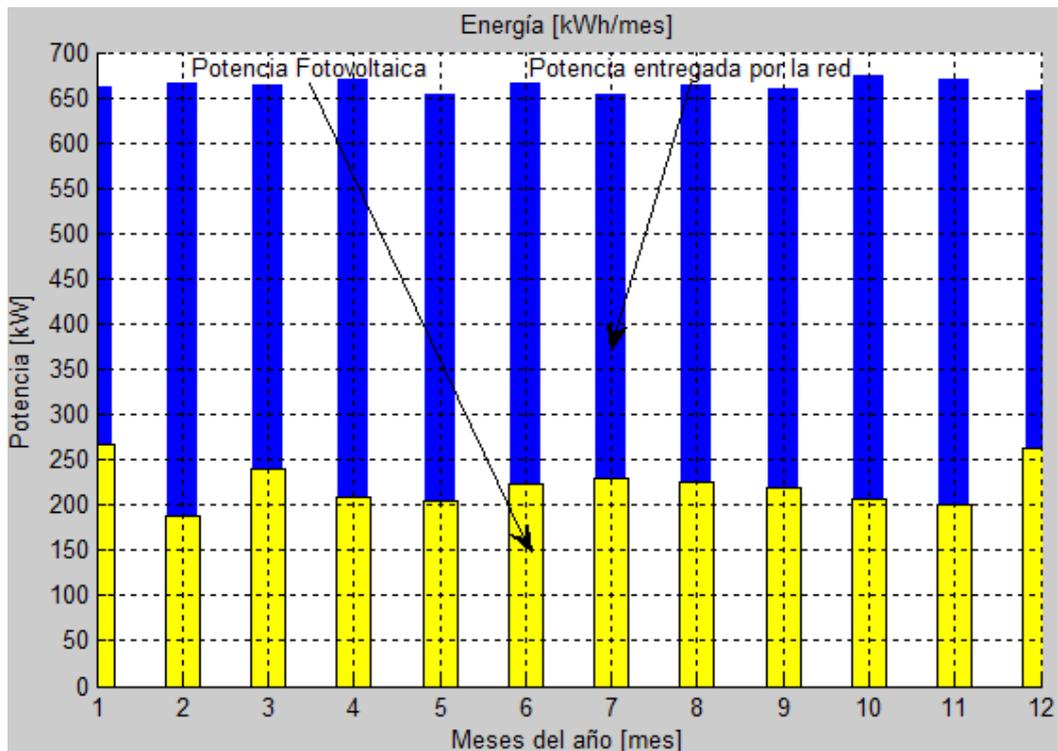
**Figura 3.22.** Resultado de la simulación diaria de la demanda residencial y la generación fotovoltaica.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 3.23.** Resultado de la simulación semanal de la demanda residencial y la generación fotovoltaica.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 3.24.** Resultado de la simulación mensual de la demanda residencial y la generación fotovoltaica.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 3.25.** Resultado de la simulación anual de la demanda residencial y la generación fotovoltaica.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la Figura 3.22, representa la simulación diaria de energía fotovoltaica promedio que tiene un valor de 7,30 [kWh], mientras que la energía consumida o entregada por la red

de distribución sin la aportación de energía fotovoltaica en el día es de 20,45 [kWh]. Teniendo en cuenta la demanda promedio consumida a lo largo del día, se conoce la posible aportación de energía fotovoltaica en la edificación residencial, que tendrá un porcentaje de 35,69% a lo largo del día, mientras que la energía entregada por la red de distribución tendrá un porcentaje de aportación de 64,30% en la misma.

En la Tabla 3.17, presenta el porcentaje de aportación o producción de energía fotovoltaica promedio y la energía entregada por la red de distribución; diaria, semanal, mensual y anual; obteniendo así las simulaciones en las Figuras (3.22, 3.23, 3.24, 3.25), que será beneficiada por la edificación residencial ubicada en Tumbaco, cabe recalcar que estos valores varían dependiendo de la radiación solar y el consumo de energía eléctrica en la vivienda.

**Tabla 3.17.** Porcentaje de producción de energía fotovoltaica respecto a la carga en la edificación residencial ubicada en Tumbaco.

<b>Aportación</b>	<b>Demanda Total [kWh]</b>	<b>Producción Fotovoltaica [kWh]</b>	<b>Energía entregada por la red</b>	<b>%Producción Fotovoltaica</b>	<b>% de Entrega de la red de distribución</b>
Diaria	20,45	7,30	13,15	<b>35,70</b>	64,30
Semanal	143,15	50,87	92,28	<b>35,54</b>	64,46
Mensual	658,95	233,85	425,10	<b>35,49</b>	64,51
Anual	7507,41	2478,43	5028,98	<b>33,01</b>	66,99

## **CAPÍTULO IV**

### **APORTACIÓN DEL SISTEMA CONECTADO A LA RED**

En el presente capítulo se analiza de manera comparativa los diferentes modelos de gestión, dependiendo de la zona de ubicación tanto urbano como rural, donde el usuario de la edificación residencial pueda analizar la conveniencia en su sitio de ubicación, permitiendo comparar; un aporte aislado o conectado a la red, para un futuro emprendimiento en proyectos de generación de micro redes de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos, para obtener este objetivo debemos contar con un sistema preciso tanto técnico como económico para la recuperación de la inversión que pudiera implementarse.

#### **4.1 Aportación en edificaciones residenciales en zonas urbanas**

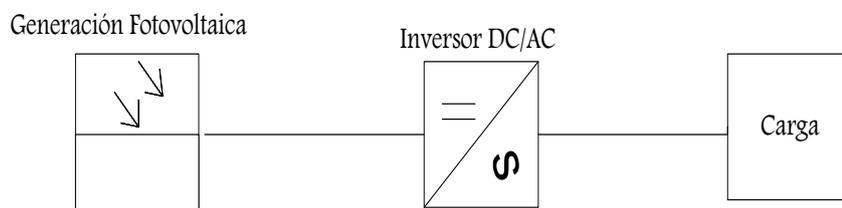
Las edificaciones residenciales ubicadas en zonas urbanas, corresponden a la mayor demanda de energía eléctrica a nivel residencial; esto se debe al dimensionamiento del proyecto y su estética, con mayores índices de equipamientos eléctricos y electrónicos generando una demanda mayor.

Para la aportación de energía eléctrica, analizaremos diferentes criterios técnicos según las necesidades del usuario y el beneficio, que se necesite tanto si el sistema es aislado conectado a la red.

En las edificaciones residenciales en zonas urbanas, presentan alternativas ya que no dependería si el sistema está aislado o conectado a la red, es decir, puede agregar a su sistema un respaldo de baterías según sea su necesidad. A continuación presentaremos diagramas unifilares, analizando las posibles necesidades del usuario y su mejoramiento del sistema eléctrico en las edificaciones residenciales, teniendo en cuenta que pueden ser conectados o no a la red según la conveniencia del usuario, ya que representa el mismo criterio de dimensionamiento y diseño que uno aislado.

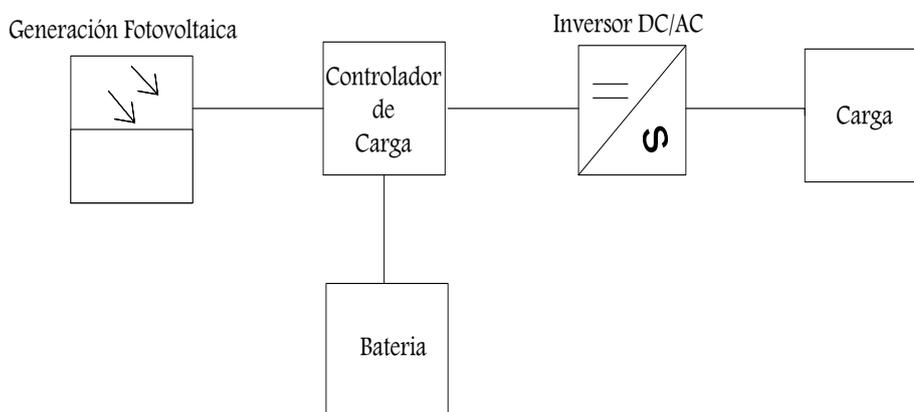
En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de producción fotovoltaico sin la utilización de batería, este modelo cuenta el campo solar que no es nada más que la composición de los paneles fotovoltaicos, inversor y las cargas o la demanda, en las viviendas residenciales urbanas este modelo es muy factible, siempre y cuando las horas de producción de energía eléctrica sean consumidos por las cargas, ya que no existe almacenamiento de energía o a su vez deberán ser contadas por un medidor para

conocer el nivel mensual de producción. Mientras que en la Figura 4.2 se compone de un campo solar, un controlador de carga, baterías, inversor y la demanda de la vivienda residencial, este modelo con respaldo de baterías en zonas urbanas representaría que el sistema se mantiene cargado tanto del arreglo fotovoltaico como de la red, y en caso de falla de la red las baterías actúan como respaldo, lo que permite asegurar una mayor confiabilidad en el servicio y almacenamiento de energía eléctrica, a su vez proporcionará que la energía eléctrica producida por paneles fotovoltaicos sea almacenada, cuando las cargas no sean utilizadas en los horarios de generación, permitiendo consumirlas en distintas horas del día dependiendo de la factibilidad económica para la recuperación de la inversión de la vivienda.



**Figura 4.1.** Diagrama unifilar de producción fotovoltaica AC sin batería.

**Fuente:** Propia del Autor.

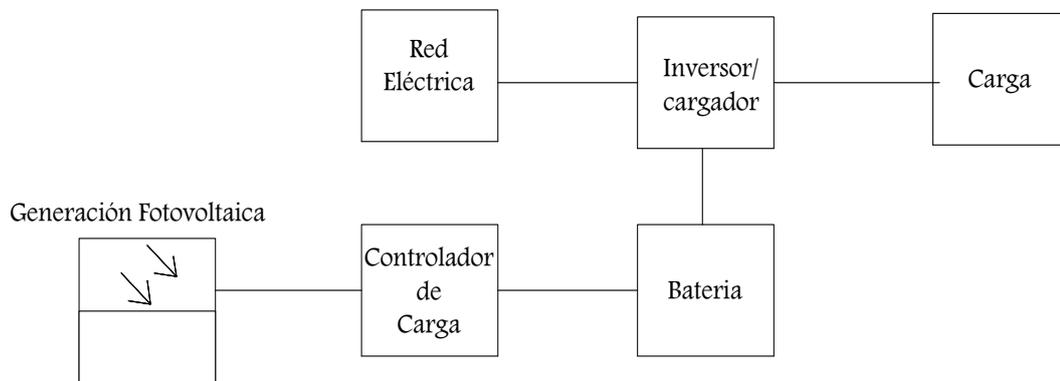


**Figura 4.2.** Diagrama unifilar de producción fotovoltaica AC usando batería.

**Fuente:** Propia del Autor.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red con respaldo en baterías, permitirá obtener variantes como por ejemplo; si el usuario residencial produce la energía fotovoltaica y quiere obtener beneficios tanto personales o económicos; los personales sería, aumento de artefactos eléctricos o electrónicos teniendo cargas centralizadas, y los económicos

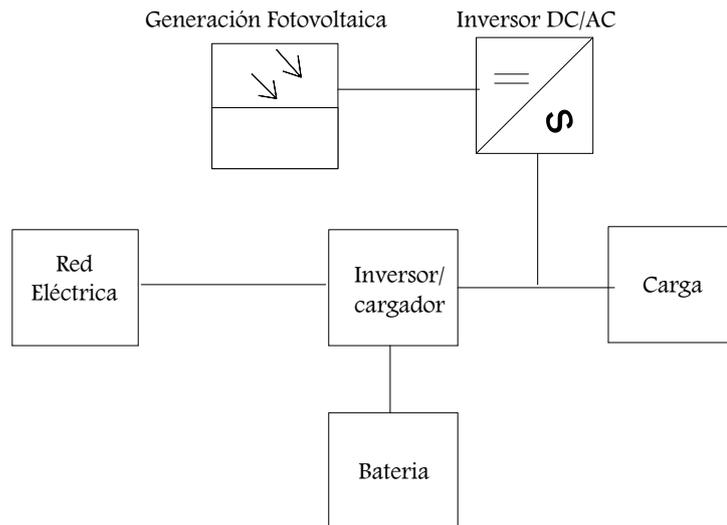
tendría que ver con la venta de excedentes, si hubiese un marco legal para la recuperación de la inversión.



**Figura 4.3.**Diagrama unifilar de producción fotovoltaica con un inversor/cargador usando batería.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En la Figura 4.3 se compone de varios componentes como el campo solar, controlador de carga, batería, inversor/cargador, red eléctrica y la demanda correspondiente a la vivienda residencial, este modelo permite almacenar la energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos en las baterías, para posteriormente suministrar en la demanda de la vivienda, pero con algunas ventajas como por ejemplo; sí la energía producida por los paneles fotovoltaicos, no es suficiente para cargar a las baterías la energía suministrada por la red de distribución sería cargada de cumplir esta función, y a su vez si existirá un corte del suministro eléctrico, el centro de almacenamiento se desconectará de la red y seguirá funcionando como un sistema autónomo. Este modelo tendrá que contemplar algunas normativas, teniendo en cuenta que si se devolviese excedentes de energía a la red, tendría que ser solo de la energía fotovoltaica y no de la energía almacenada en las baterías por parte de la red de distribución, añadiendo al sistema un dispositivo anti-isla y medidores bidireccionales.

En la Figura 4.4 se muestra el diagrama unifilar de producción fotovoltaica, con un inversor/cargador con 2 entradas AC, usando baterías que se compone de varios componentes que es el campo solar, inversor, inversor/cargador, batería, red eléctrica y la demanda correspondiente a la vivienda residencial, este modelo a comparación del anterior modelo presentado en la Figura 4.3, tiene las mismas características pero no será necesario colocar o añadir al sistema un dispositivo anti-isla, ya que la producción de energía fotovoltaica en AC es independiente.



**Figura 4.4.** Diagrama unifilar de producción fotovoltaica con un inversor/cargador con 2 entradas AC usando baterías.

**Fuente:** Propia del Autor.

En las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, se puede observar las distintas formas que pueden ser conectados los sistemas fotovoltaicos, ya que es una manera fácil de aprovechar la energía emitida por el sol sin importar el lugar o emplazamiento que el usuario o consumidor final disponga. Analizando estos aspectos y la conveniencia que se puede aportar en las edificaciones residenciales en zonas urbanas, se elegiría dos tipos de modelos, si el usuario requiere reforzar el suministro eléctrico y no quedarse sin energía eléctrica cuando existan cortes del suministro por diferentes motivos (falla, reparaciones), conviene utilizar el modelo de la Figura 4.3, ya que si la energía fotovoltaica no es suficiente para cargar las baterías se encargará la red de distribución, mientras que si el usuario requiere solo reducir el índice de energía consumida por los diferentes aparatos eléctricos o electrónicos, le conviene utilizar el modelo de la Figura 4.1, ya que la energía producida por los paneles fotovoltaicos pueden ser medidos o consumidos en los instantes de producción.

#### **4.2 Aportación en edificaciones residenciales en zonas rurales**

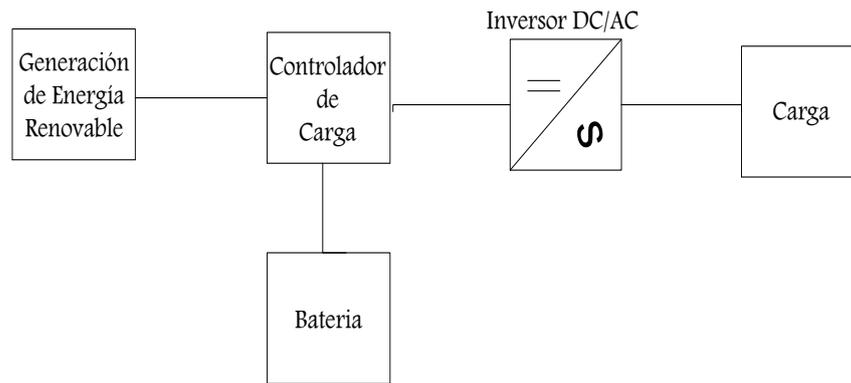
Las edificaciones residenciales ubicadas en zonas rurales, corresponden a la demanda minoritaria de energía eléctrica a nivel residencial, esto se debe al dimensionamiento del de la vivienda y su estética, ya que contienen menor equipamientos eléctricos y electrónicos a comparación de las zonas urbanas. Estas edificaciones residenciales que se encuentran aisladas del suministro de energía eléctrica que proviene de la red de distribución, ya sea por impactos ambientales o económicos, se han visto beneficiados

bajo el esquema del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) del Ecuador, generando energía eléctrica donde el servicio no llegaba, generando una aportación que tiene mayor permanencia, como son las energías renovables que son más limpia e inagotables a comparación de la energía no renovable.

La aportación de energía eléctrica en zonas rurales con la intervención del Estado Ecuatoriano, aportó con la compra inicial y la instalación de los sistemas fotovoltaicos, es así que la Empresa Eléctrica Quito (E.E.Q), dotó con energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos a la parroquia Lloa, ubicado a 37,5 kilómetros de la ciudad, mediante el proyecto Cero Viviendas sin Luz [41]. Gracias a estos proyectos reducirá el índice de viviendas sin suministro eléctrico, permitiendo tener una mejor cobertura nacional de energía eléctrica.

En estas zonas rurales es indispensable la utilización de energía renovable con un respaldo de baterías, para la utilización en horas indispensables cuando no se encuentra la luz del día. Para la utilización de energía fotovoltaica lo habitual es la utilización de un conjunto de baterías sean estas conectadas en serio o paralelo. El uso de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en estas edificaciones, tendrá la utilización de baterías que debe garantizar el respaldo de energía cuando no haya radiación solar y un diseño de tiempo de autonomía del sistema.

Las baterías deben cumplir dos aspectos; como la capacidad en amperios hora y la profundidad de descarga. La capacidad es la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener por medio de la descarga total de la batería, inicialmente cargada al máximo o cuánto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación solar que recargue las baterías, los amperios hora de la batería es el número de amperios, que proporciona multiplicado por el número de horas durante la circulación de esa corriente, y la profundidad de descarga es la energía que se ha desgastado de la batería, cuando está plenamente cargada estas descargas pueden ser superficiales (menores de 20%) o profundas (hasta 80%), las descargas profundas en ciclos carga/descarga entre menos utilizados sean mayor duración tendrán y reducirán los daños o perder la capacidad cuando quedan totalmente descargados.



**Figura 4.5.** Diagrama unifilar de producción de energía renovable usando batería.  
**Fuente:** Propia del Autor.

El modelo de la Figura 4.2 y Figura 4.5 es la que mayor se acopla en edificaciones residenciales en zonas rurales, a comparación de las Figuras 4.1, 4.3, 4.4, ya que la energía fotovoltaica deberá ser almacenada en baterías para la utilización de cargas especificadas según sea el dimensionamiento y la capacidad requerida. Si se encuentra la energía eléctrica suministrada por cualquier distribuidora se podrá acoplar los modelos analizados en las viviendas residenciales en zonas urbanas.

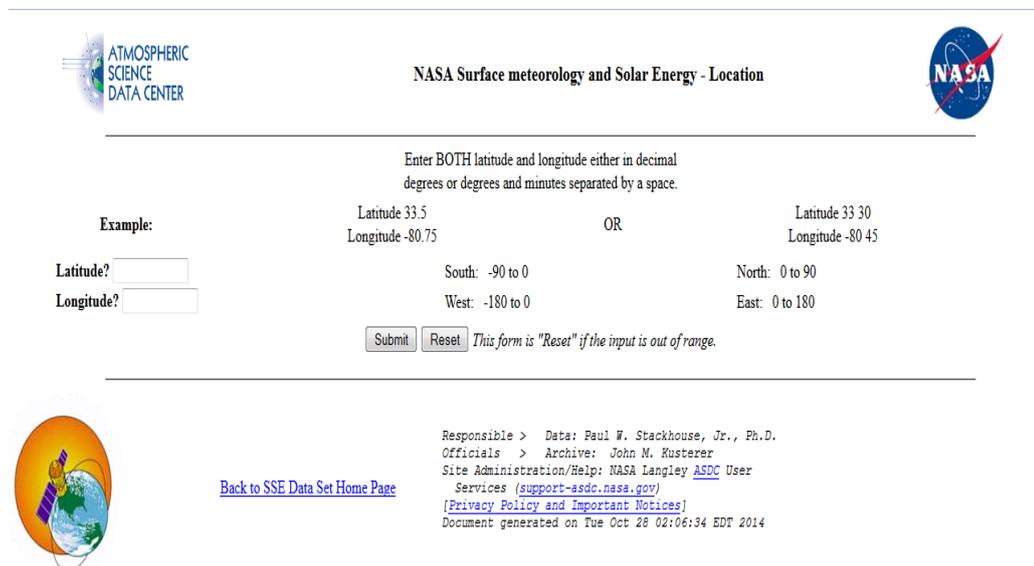
### 4.3 Aportación de la red con la micro red fotovoltaica.

La aportación de la micro red fotovoltaica en las edificaciones residenciales se analizará mediante el programa PVSyst, este software es utilizado para obtener detalles de proyectos fotovoltaicos permitiendo obteniendo resultados completos; con tablas y gráficas, a su vez el programa permite dimensionar el tamaño de la instalación, teniendo en cuenta la radiación percibida mediante la ubicación, esto se debe gracias a que posee una base meteorológica en diferentes lugares del planeta, y si no se encuentra el lugar requerido los datos se puede importar de NASSA-SSE, también permite calcular la inclinación, orientación optima y un diseño en 3D como CAO que permite dibujar la geometría del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del sol durante un día determinado o en distintos tiempos del día.

También el programa cuenta con un sistema de análisis económico, usando costes reales de los diferentes componentes a utilizarse, costes adicionales y condiciones de inversión en cualquier modo monetario, no se debe olvidar que este software PVSyst es una herramienta de pago para ser utilizada con su respectiva licencia, pero se puede obtener

gratis durante un periodo de un mes (30 días), para poder probarla después de estos días funcionará en modo demostración.

El parámetro principal para dimensionar una instalación fotovoltaica es la radiación, como se habló en capítulos anteriores, por lo que se debe tener la irradiancia existente en la zona en estudio, mediante la utilización del software PVsyst, para este caso se ingresó toda la base de datos proporcionados por la NASA-SSE, también se puede conocer estos datos mediante el portal de la NASA Atmospheric Science Data Center [42], donde se obtiene información de meteorología de superficie y energía solar en cualquier sitio con solo colocar los datos de la latitud y longitud como se muestra en la Figura 4.6.



The screenshot shows the NASA Atmospheric Science Data Center website. At the top left is the logo for the Atmospheric Science Data Center, and at the top right is the NASA logo. The main heading is "NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location". Below this, there is a form for entering location data. The instructions state: "Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space." The form includes an "Example:" section with two options: "Latitude 33.5 Longitude -80.75" and "Latitude 33 30 Longitude -80 45" separated by "OR". There are input fields for "Latitude?" and "Longitude?". Below these are labels for "South: -90 to 0", "North: 0 to 90", "West: -180 to 0", and "East: 0 to 180". At the bottom of the form are "Submit" and "Reset" buttons, with a note: "This form is 'Reset' if the input is out of range." At the bottom left of the page is a small globe icon with a satellite. At the bottom right, there is a list of links: "Responsible > Data: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.", "Officials > Archive: John M. Kusterer", "Site Administration/Help: NASA Langley ASDC User Services (support-asdc.nasa.gov)", and "[Privacy Policy and Important Notices]". A footer note says "Document generated on Tue Oct 28 02:06:34 EDT 2014".

**Figura 4.6.** Información de meteorología de superficie y energía solar.  
**Fuente:** NASA, Ubicación de meteorología de superficie y energía solar.

En el capítulo II se analizó la ubicación de la estación Tumbaco, la cual tiene una latitud de -0.21, longitud de -78.4 y una altitud de 2231, estos datos se colocarán en el software PVsyst y permitirá conocer la ubicación meteorología de superficie y energía solar de la fuente de NASA, para conocer su radiación global como se muestra en las Figuras 4.7 y 4.8 respectivamente.

**Coordenadas Geográficas**

Trayectorias del sol

	Decimal		Deg. min.	
Latitud	-0.21 [°]	0	13	(+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
Longitud	-78.40 [°]	-78	24	(+ = Este, - = Oeste Greenwich)
Altitud	2231	Metros sobre el nivel del mar		

**Figura 4.7.** Coordenadas geográficas de la estación Tumbaco  
**Fuente:** Propia del Autor.

La base de datos del satélite NASA-SSE corresponde a datos medidos 22 años, desde 1983 hasta el 2005, que tomaremos de referencia para realizar el proyecto fotovoltaico para luego proceder a tener una idea con los datos obtenidos en el capítulo III.

**Lugar** Tumbaco (Ecuador)

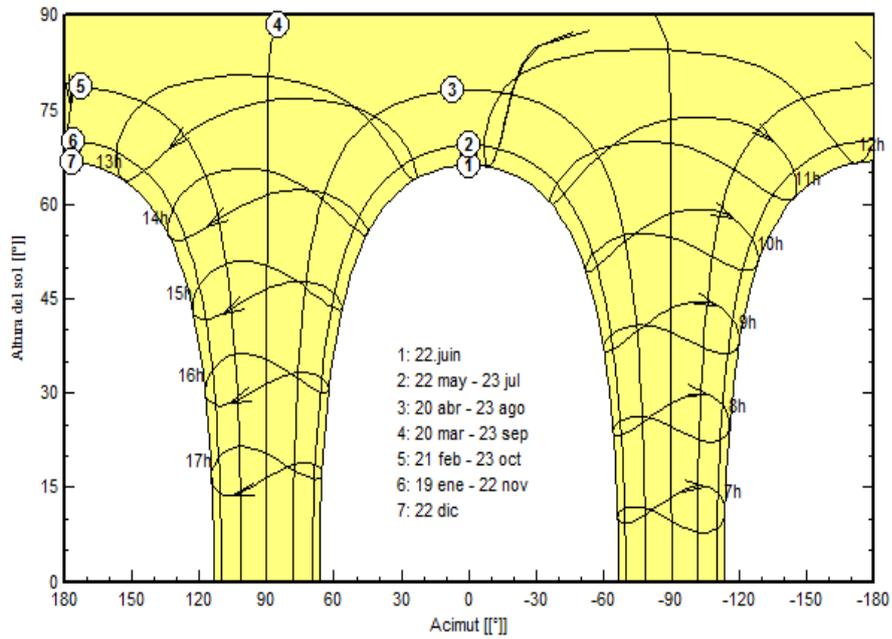
**Origen de datos** Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005

	<b>Irrad. Global</b> kWh/m <sup>2</sup> .día	<b>Difuso</b> kWh/m <sup>2</sup> .día	<b>Temp.</b> °C
Enero	4.14	2.16	17.5
Febrero	4.35	2.27	17.6
Marzo	4.55	2.34	18.0
Abril	4.33	2.22	17.9
Mayo	4.12	2.05	17.8
Junio	4.02	1.94	17.3
Julio	4.27	1.98	17.5
Agosto	4.46	2.12	18.5
Septiembre	4.27	2.28	19.3
Octubre	4.24	2.26	19.3
Noviembre	4.30	2.18	18.3
Diciembre	3.98	2.11	17.6
<b>Año</b>	<b>4.25</b>	<b>2.16</b>	<b>18.0</b>

**Figura 4.8.** Datos de meteorología de superficie y energía solar NASA de la estación Tumbaco.  
**Fuente:** Propia del Autor.

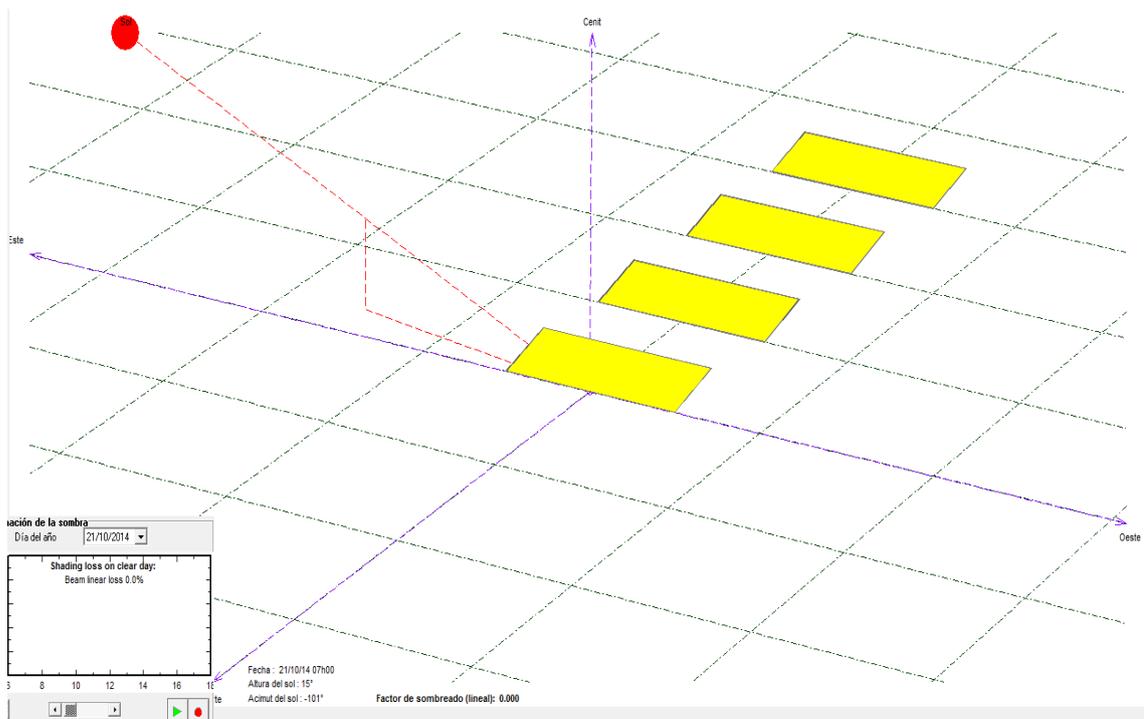
Mediante el software PVsyst que se muestra en la Figura 4.9, la trayectoria solar en la estación Tumbaco, donde se representa toda la franja amarilla la radiación solar desde las 06H00 hasta las 18H00 siendo la zona superior donde exista la mayor altura solar y la zona inferior la menor altura solar, también se representa las diferentes trayectorias del sol según las estaciones del año, lo que hace que sean diferentes las sombras que se genera en los distintos meses del año y en las horas que recorre el sol conociendo que en los meses de invierno la trayectoria del sol cae sobre el hemisferio Sur y en los meses de verano cae en el hemisferio Norte de la tierra.

Trayectoria solar en Quito, (Lat. 0.2°S, long. 78.4°W, alt. 2344 m)

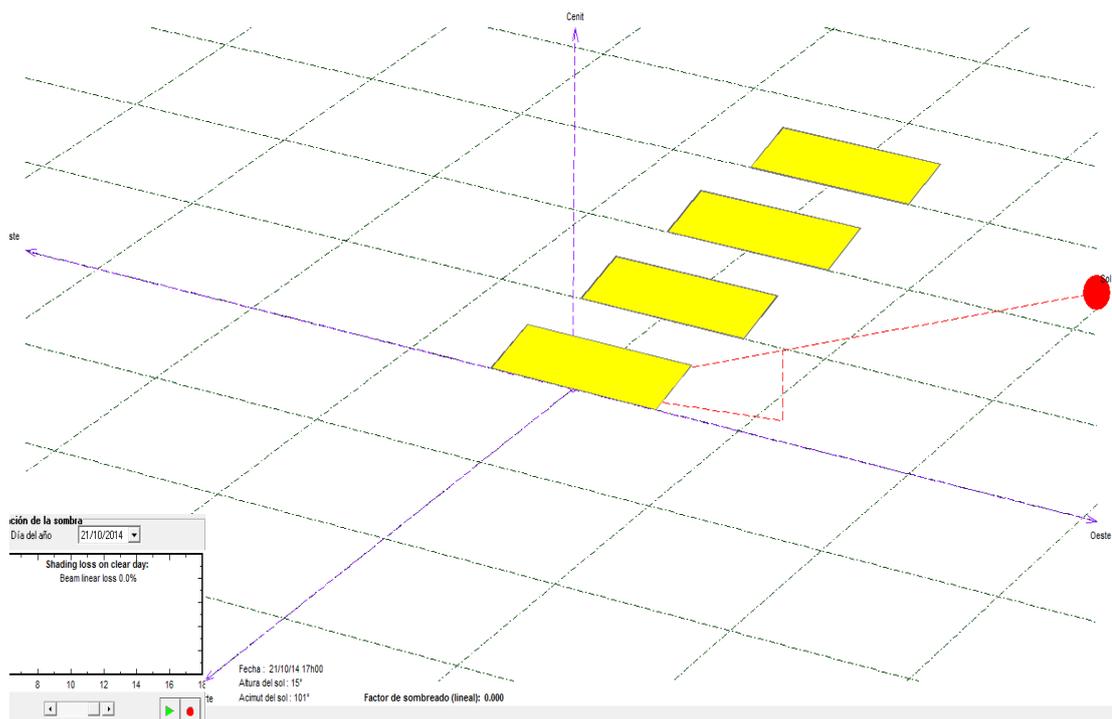


**Figura 4.9.** Trayectoria solar de la estación Tumbaco mediante el software PVsyst.  
**Fuente:** Propia del Autor.

El software PVsyst como se dijo anteriormente permite graficar la instalación fotovoltaica y simular la trayectoria del sol a la hora de 07H00 y 17H00 como se muestra en las Figuras 4.10 y 4.11 respectivamente.



**Figura 4.10.** Trayectoria solar 07H00 en la estación Tumbaco mediante el software PVsyst.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 4.11.** Trayectoria solar 17H00 en la estación Tumbaco mediante el software PVsyst.  
**Fuente:** Propia del Autor.

El programa también permite ingresar o seleccionar los datos del panel, batería e inversor que se va a utilizar según sea el diseño del proyecto que en este caso no se tomará en cuenta la batería ya que se analizará en un sistema de conexión a la red por el menor costo que representa a comparación de un sistema aislado.

Los datos a ingresarse para el sistema fotovoltaico se presenta en la Figura 4.12, donde la Potencia nominal del sistema fue analizado en el capítulo III, por el dimensionamiento existe en la vivienda que solo puede colocarse 10 paneles fotovoltaicos, que será nuestra entrada de potencia nominal deseada, la selección del módulo fotovoltaico se presenta en la Figura 4.13, donde se procedió a crearse ya que el panel escogido con sus especificaciones de fabricación existente en el Ecuador no se encuentran, en la Figura 4.14 se muestra los datos del inversor escogido anteriormente por la necesidad del sistema fotovoltaico en las vivienda residencial ubicada en Tumbaco.

Colocado estos datos el programa nos genera el diseño del generador fotovoltaico así como el número de paneles e inversores a utilizarse en mismo.

### Configuración global sistema

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

### Resumen sistema global

N° de módulos	10	Potencia nominal FV	2.3 kWp
Superficie módulos	16 m²	Potencia máxima FV	2.3 kWdc
N° de inversores	1	Potencia nominal CA	2.0 kWac

---

Generador FV

#### Sub-array name and Orientation

Name:

Orient.: **Plano Inclinado Fijo**

Tilt: 10°  
Azimuth: 0°

#### Ayuda al Dimensionado

No Sizing    Entrar Pnom deseada:  kWp

... o superficie disponible:  m²

#### Selección del módulo FV

Todos los módulos | Lista módulos por:  Potencia  Tecnología | Módulos aprox. necesarios: **10**

Simax | 230 Wp 25V Si-mono SM 660-230W Until 2013 Abrir

Tensiones de dimensionado: V: **25.2 V**  
Voc (-10°C): **41.1 V**

Use Optimizer

#### Selección del inversor

Disponibles actualmente | Lista inversores por:  Potencia  Tensión (máx)

SMA | 2.0 kW 175 - 560 V HF Tr 50/60 Hz Sunny Boy SB 2000HF-30 Since 2010 Abrir

N° de inversores:  | Tensión Funciona.: **175-560 V** | Pglobal inversor: **2.0 kWac**  
Tensión máx de entrada: **700 V**

#### Diseño del generador FV

##### N° de módulos y cadenas

Mód. en serie:  entre 7 y 17

N° de cadenas:   única posibilidad 1

Perdida sobrecarg: **0.4 %**

Relación Pnom: **1.15**

**N° módulos: 10 Superficie: 16 m²**

##### Cond. de funcionamiento

Vmpp (60°C): 252 V  
Vmpp (20°C): 302 V  
Voc (-10°C): 411 V

Irradiancia plano: **1000 W/m²**

Imp (STC): 7.7 A  
Isc (STC): 8.4 A  
Isc (en STC): 8.3 A

Máx. en bases     STC

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C: **2.0 kW**

**Potencia nom gener. (STC): 2.3 kWp**

La potencia máxima del Generador es más grande que la potencia máxima especificada del inversor. (Info, not significant)

Figura 4.12. Ingreso de datos del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.  
Fuente: Propia del Autor.

Datos básicos | Datos adicionales | Parámetros modelo | Dimensiones y Tecnología | Comercial | Gráficos

Modelo:     Fabricante:

N. archivo:     Origen datos:

Original PVsyst database    Prod. desde 2010 a 2013

Potencia nom:  Wp    Tol. +/-:   %    Tecnología:

#### Especificaciones del fabricante o otras medidas

Cond. de referencia:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Corriente de cortocircuito	Isc	<input type="text" value="8.300"/> A	Circuito abierto Voc	<input type="text" value="36.80"/> V
Punto Potencia Máximo:	Imp	<input type="text" value="7.690"/> A	Vmpp	<input type="text" value="29.70"/> V
Coefficiente de temperatura	milsc	<input type="text" value="3.1"/> mA/°C	<b>N° células: 60 en serie</b>	
	o milsc	<input type="text" value="0.036"/> %/°C		

#### Resumen del modelo

##### Parámetro principal

**R par.:**  ohm

**Rp (G=0):**  ohm

##### R serie modelo

**R serie máx.:**  ohm

**R serie aparente:**  ohm

##### Parámetros modelo

**Gamma:**

**Io Ref:**  nA

**muVoc:**  mV/°C

**miPmáx fijado:**  /°C

#### Resultado del modelo interno

Cond. de funcionamiento	GOper	<input type="text" value="1000"/> W/m²	TOper	<input type="text" value="25"/> °C
Punto Potencia Máximo:	Pmpp	<input type="text" value="228.4"/> W	Coef. temperatura	<input type="text" value="-0.43"/> %/°C
	Corriente Imp	<input type="text" value="7.72"/> A	Tensión Vmpp	<input type="text" value="29.6"/> V
	Corriente de cortocircuito Isc	<input type="text" value="8.30"/> A	Circuito abierto Voc	<input type="text" value="36.8"/> V
Eficiencia	/ Sup. células	<input type="text" value="15.64"/> %	/ Sup. módulo	<input type="text" value="14.04"/> %

Figura 4.13. Ingreso de datos del panel fotovoltaico en el software PVsyst.  
Fuente: Propia del Autor.

Parámetro principal	Curva de eficiencia	Parámetros adicionales	Output parameters	Dimensiones	Comercial
Modelo	Sunny Boy SB 2000HF-30	Fabricante	SMA		
N. archivo	SMA_SunnyBoy2000HF.OND	Origen de datos	Manufacturer 2011		
	Original PVsyst database		Prod. desde 2010		
<b>Lado entrada (Campo FV CC)</b>			<b>Lado salida (Red CA)</b>		
<b>Tensión MPP Mínima</b>	175 V		<b>Tipo</b>	<b>Frecuencia</b>	
Tensión Mínima para Pnom	175 V		<input checked="" type="radio"/> Monofásico	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz	
Tensión MPP Nominal	530 V		<input type="radio"/> Trifásico	<input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz	
<b>Tensión MPP Máxima</b>	560 V		<input type="radio"/> Bifásico		
<b>Tensión FV máx Absoluta</b>	700 V		<b>Tensión de Red</b>	230 V	
<b>Umbral Potencia</b>	50.0 W		<b>Potencia nominal CA</b>	2.00 kW	
Especificación contractual, sin significado físico verdadero.	Obligatorio		Potencia máxima CA	2.00 kW	
Potencia nominal FV	2.10 kW		Corriente CA nominal	8.70 A <input checked="" type="checkbox"/>	
Potencia máxima FV	2.10 kW <input type="checkbox"/>		Corriente CA máxima	11.40 A <input type="checkbox"/>	
Corriente máxima FV	12.00 A <input type="checkbox"/>		<b>Eficiencia</b>		
			<b>Eficiencia máxima</b>	96.3 %	
			<b>Eficiencia EURO</b>	95.0 %	
			<input checked="" type="checkbox"/> Eficiencia definida para 3 tensiones		

Figura 4.14. Ingreso de datos del inversor en el software PVsyst.  
Fuente: Propia del Autor.

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación					
<b>Proyecto :</b> Proyecto Conectado a la Red at Tumbaco					
<b>Lugar geográfico</b>	Tumbaco		<b>País</b>	Ecuador	
<b>Ubicación</b>	Latitud	0.2°S	Longitud	78.4°W	
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT-4	Altitud	2231 m	
<b>Datos climatológicos:</b>	Tumbaco	Síntesis - Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005			
<b>Variante de simulación :</b> Nueva variante de simulación					
	Fecha de simulación	06/11/14 00h01			
<b>Parámetros de la simulación</b>					
<b>Orientación Plano Receptor</b>	Inclinación	10°	Acimut	0°	
<b>Modelos empleados</b>	Transposición	Perez	Difuso	Erbs, Meteonom	
<b>Perfil obstáculos</b>	Sin perfil de obstáculos				
<b>Sombras cercanas</b>	Sin sombreado				
<b>Características generador FV</b>					
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo	SM 660-230W		
		Fabricante	Simax		
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	1 cadenas
Nº total de módulos FV		Nº módulos	10	Pnom unitaria	230 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	2300 Wp	En cond. funciona.	2038 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	285 V	I mpp	7.7 A
Superficie total		Superficie módulos	16.3 m²	Superf. célula	14.6 m²
<b>Inversor</b>					
		Modelo	Sunny Boy SB 2000HF-30		
		Fabricante	SMA		
Características		Tensión Funciona.	175-560 V	Pnom unitaria	2.00 kW AC
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>					
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	575 mOhm	Fración de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo			Fración de Pérdidas	1.5 %	
Pérdidas Mismatch Módulos			Fración de Pérdidas	1.0 % en MPP	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05	
<b>Necesidades de los usuarios :</b> Carga ilimitada (red)					

Figura 4.15. Informe final 1 de la simulación del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.  
Fuente: Propia del Autor.

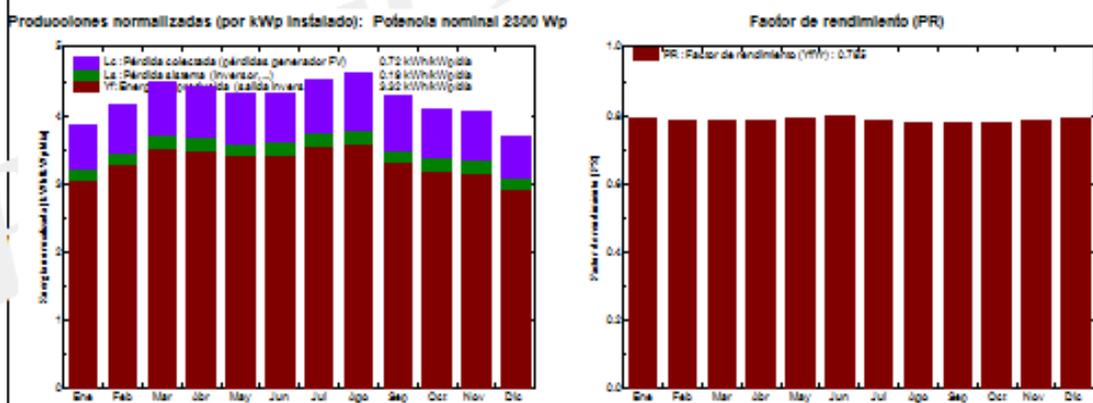
### Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

**Proyecto :** Proyecto Conectado a la Red at Tumbaco

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

<b>Parámetros principales del sistema</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>Conectado a la red</b>		
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	SM 680-230W	Pnom	230 Wp
Generador FV	N° de módulos	10	Pnom total	2300 Wp
Inversor	Modelo	Sunny Boy SB 2000HF-30	Pnom	2000 W ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

<b>Resultados principales de la simulación</b>			
Producción del Sistema	<b>Energía producida</b>	2788 kWh/año Producc. específico	1212 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	78.5 %	



#### Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	128.3	17.46	119.9	114.9	229.9	217.3	11.79	11.14
Febrero	121.8	17.62	116.6	112.2	222.6	210.8	11.73	11.11
Marzo	141.0	17.98	139.5	134.6	264.7	250.4	11.67	11.03
Abril	129.9	17.93	132.9	128.4	254.1	240.6	11.75	11.12
Mayo	127.7	17.81	134.1	129.5	256.7	242.9	11.76	11.13
Junio	120.6	17.26	129.1	124.7	249.9	236.8	11.90	11.28
Julio	132.4	17.46	140.1	135.6	268.0	253.5	11.76	11.12
Agosto	138.3	18.55	142.9	138.3	270.1	255.5	11.62	10.99
Septiembre	128.1	19.26	128.0	123.4	241.5	228.3	11.59	10.96
Octubre	131.4	19.28	127.0	122.2	240.7	227.3	11.64	11.00
Noviembre	129.0	18.33	121.1	116.1	230.6	217.6	11.70	11.04
Diciembre	123.4	17.61	114.1	109.1	219.9	207.5	11.84	11.18
<b>Año</b>	<b>1552.0</b>	<b>18.05</b>	<b>1545.4</b>	<b>1489.0</b>	<b>2948.7</b>	<b>2788.5</b>	<b>11.73</b>	<b>11.09</b>

Leyendas:	GlobHor    Irradiación global horizontal	EArray    Energía efectiva en la salida del generador	E_Grid    Energía reinyectada en la red
	T Amb    Temperatura Ambiente	EffArrR    Eficiencia Esal campo/superficie bruta	EffSysR    Eficiencia Esal sistema/superficie bruta
	GlobInc    Global Incidente plano receptor		
	GlobEff    Global efectivo, corr. para IAM y sombreados		

**Figura 4.16.** Informe final 2 de la simulación del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En las Figuras 4.15 y 4.16 se muestra la información generada por la simulación del software PVsyst, representado así una documentación detallada como la ubicación del proyecto fotovoltaico (latitud, longitud, altura), datos climatológicos, su orientación al plano receptor, características del generador fotovoltaico como el modulo utilizado y su inversor, factores de pérdida del generador y la necesidad del usuario dependiendo de su necesidad; sea esto aislado o conectado a la red, también se detalla la producción del sistema de energía producida en kWh/año, factor de rendimiento y los balances y resultados principales de irradiación, temperatura, energía reinyectada a la red, la eficiencia del sistema como se muestra en la Figura 4.16 con más detalle. La aportación de la red de distribución en viviendas residenciales se necesitará ya que no es suficiente para cubrir la demanda de la edificación residencial por su dimensionamiento de aportación fotovoltaica.

#### **4.4 Costo al implementar la micro red fotovoltaica**

Para la implementación de un determinado proyecto se debe conocer su factibilidad o viabilidad es decir que se debe de tomar puntos como el estudio de pre factibilidad legal, comercial y financiera para conocer si es proyecto puede o no realizarse.

La pre factibilidad legal es lo que se va a necesitar en nuestro campo jurídico o permisos a cumplirse, para que nuestro proyecto no tenga o represente ningún inconveniente para su futura operación con las respectivas entidades de control. Este estudio permite tomar la decisión de cómo vamos a constituir el proyecto, ajustado a la necesidad que se tenga en ese momento para poder dar legalidad al futuro proyecto, así mismo deben tener certificaciones para saber que avalen su legalidad. En el Ecuador en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, se compromete a fomentar el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales cumpliendo ciertas normas como se encuentra en su Capítulo XI, Artículo 67, se incluyen ciertas ventajas arancelarias, así como exoneraciones del impuesto a la renta, para incentivar la producción energética basada en energía renovable como solar, eólica, geotérmica, biomasa.

La pre factibilidad comercial es el estudio que nos permite ver la viabilidad en las parte de las ventas de productos o servicios que planteamos en nuestro proyecto, en el Ecuador no existe la venta de energía eléctrica bilateral por parte del usuario al Estado y viceversa ya que el Estado mismo se encarga de generar el recurso para los distintos usuarios sean estos industriales, comerciales y residenciales.

Mientras que la pre factibilidad financiera es la que busca determinar con la mayor precisión posible, la cuantía de las inversiones como es el costos y beneficios de un proyecto para posteriormente compararlos (inversión o capital vs retorno de capital) y determinar la conveniencia de emprenderlo si es factible realizar el proyecto o no. La forma de financiamiento se puede realizar con la utilización de diferentes medio como préstamos por entidades bancarias, por capital propio que en nuestro utilizaremos el mismo.

La inversión que se va a realizar se debe conocer el presupuesto de cada elemento a utilizarse, ya que muestra los valores reales de precios en cuanto a cantidad de material que fueron previamente analizados y mano de obra. En la Tabla 4.1 se detalla la inversión que se necesitará; como son paneles fotovoltaicos, inversor, las estructuras o soportes, cable calculando previamente su distancia o acomidas tomadas en el sitio a instalar y guardando una reserva de las mismas, diodos, fusible, interruptor general, cajas de conexión, también se calculó el costo de mano de obra que fue calculado de acuerdo a las horas / hombre posibles realizadas, tanto para supervisor eléctrico, asesoría, entrega de planos, transporte sin olvidar que se tomó en cuenta con las pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del sistema fotovoltaico.

**Tabla 4.1.** Costos de inversión para el sistema fotovoltaico.

<b>PANELES FOTOVOLTAICOS</b>	Cantidad	PU (USD)	TOTAL
Panel solar fotovoltaico de silicio monocristalino de 230 Wp. Marca: Simax	10	\$ 370,00	\$ 3.700,00
<b>INVERSORES</b>			
Inversor DC/ AC, modelo Sunny Boy 2000HF. Marca: SMA	1	\$ 1.830,00	\$ 1.830,00
<b>ESTRUCTURAS PARA SOPORTE</b>			
Estructuras de acero galvanizado con sujeción empernada, con capacidad para paneles monocristalinos en piso	14	\$ 20,00	\$ 280,00
<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>			
- Interconexión eléctrica: cable entre módulos, entre cajas de derivación	1	\$ 300,00	\$ 300,00
- Protecciones: diodos, fusibles, interruptor general, seccionador.	1	\$ 160,00	\$ 160,00
- Armarios de conexionado o caja derivación	2	\$ 50,00	\$ 100,00
<b>INSTALACIÓN Y MANO DE OBRA</b>			
Personal y equipo para instalación de sistema fotovoltaico en sitio: Asesoría Ingeniero Eléctrico, ayudante técnico, planos , transporte		\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 8.870,00</b>

Este proyecto de una micro red fotovoltaica en edificaciones residenciales es un proyecto de emprendimiento que nacen desde cero y su objetivo final es obtener un rendimiento de generación de su propia energía eléctrica con un plazo determinado que será de 25 años que puede funcionar la instalación para obtener resultados económicos deberemos representar indicadores que se utiliza para evaluarlos estos proyectos que son el TIR, VAN, Beneficio/Costo y punto de equilibrio para conocer si el proyecto es viable o no.

El TIR es la tasa de descuento requerida para que el valor actual neto (VAN) sea cero, es decir, es la tasa de descuento que permite al flujo de caja sea igual a la inversión y representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder su dinero.

El VAN es el valor actual neto de una serie de flujos futuros que fueron originados por la inversión y tendrán que proporcionar un valor actual de ingresos restando la inversión inicial, si el VAN es mayor a cero el proyecto será factible y si es menor no será factible.

El Beneficio / Costo es conocido como índice neto de rentabilidad que permite dividir el valor actual de los ingresos netos o benéficos entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales dando como resultado la rentabilidad del proyecto.

El punto de equilibrio es la suma de los costos fijos más los costos variables para recuperar la inversión es decir donde el proyecto no genera dinero pero tampoco pierde dinero.

El proyecto también busca dos puntos importantes, la disminución de consumo de energía eléctrica y una aportación al medio ambiente generando o aportando energía eléctrica fotovoltaica disminuyendo el índice de gases de efecto invernadero (GEI) o  $CO_2$ , emitidos por las diferentes fuentes de energía no renovable, para la disminución de GEI existen certificados de reducción de emisiones (CRE'S), estos certificados son estímulos para los países que reducen la cantidad de emisiones de  $CO_2$  que equivale a una tonelada de  $CO_2$ , que deja de emitir a la atmósfera y pueden ser vendidos en el

mercado internacional de carbono, de aquí la importancia para la generación de energía renovable para obtener benéficos con estos certificados.

Para el cálculo de reducción de emisiones de  $CO_2$  asociados a la generación eléctrica, se aplica la ecuación 4.1 y la ecuación 4.2 calcula el costo total anual por la reducción de  $CO_2$  que actualmente está a 30,20 USD cada tonelada de  $CO_2$  [43].

$$CO_2 = Ed \text{ anual } \frac{kWh}{año} * 0,267 \text{ kgr de } \frac{CO_2}{kWh} \quad (4.1)$$

$$\text{Costo } CO_2 = CO_2 * \$/\text{ton de } CO_2 \quad (4.2)$$

A continuación se realiza los cálculos respectivos de la reducción y el costo de  $CO_2$  con los valores de energía eléctrica fotovoltaica real de 2478,43 [kWh/año], obteniendo como resultado:

$$CO_2 = 0,6617 \text{ ton de } CO_2$$

$$\text{Costo } CO_2 = 19,98 \$/\text{año}$$

Este valor representa el valor de pago por la reducción de  $CO_2$  en el mercado internacional de carbono que al ser a mayor escala este costo subiría dependiendo de los proyectos.

Para realizar la valoración financiera se considerará dos formas de financiamiento, la primera que se dispone de los fondos suficientes para ejecutar el proyecto y la segunda con la un préstamo bancario y la inversión del usuario. Esta segunda opción es más rentable ya que el usuario o inversionista cuenta con fondos externos para generación del proyecto y tomaremos en cuenta que el usuario solo aporta con un 30% a 40% de la inversión inicial, y el resto será financiado por la entidad bancaria a un plazo de 36 meses y tendrá una tasa de interés de 10,72% , a una tasa efectiva máxima de 11,33% que va hacer un crédito a la vivienda estipulada por el Banco Central del Ecuador (BCE) [44].

A continuación se muestra la tabla de amortización del préstamo bancario de 6000 USD, por un plazo de 3 años, generada por la Cooperativa Nacional de Fomento (CNF) [45].

**Tabla 4.2.** Tabla de amortización.

<b>TABLA DE AMORTIZACIÓN</b>					
	<b>BENEFICIARIO</b>				
	<b>INSTIT. FINANCIERA</b>	CNF			
	<b>MONTO</b>	6.000,00			
	<b>TASA</b>	10,72%		T. EFECTIVA 11,2627%	
	<b>PLAZO</b>	3 años			
	<b>GRACIA</b>	0 años			
	<b>FECHA DE INICIO</b>	01/01/2015			
	<b>MONEDA</b>	DOLARES			
	<b>AMORTIZACION CADA</b>	30 días			
	<b>Número de periodos</b>	36 para amortizar capital			
<b>No.</b>	<b>VENCIMIENTO</b>	<b>SALDO</b>	<b>INTERES</b>	<b>PRINCIPAL</b>	<b>DIVIDENDO</b>
0		6.000,00			
1	31-ene-2015	5.833,33	53,60	166,67	220,27
2	02-mar-2015	5.666,67	52,11	166,67	218,78
3	01-abr-2015	5.500,00	50,62	166,67	217,29
4	01-may-2015	5.333,33	49,13	166,67	215,80
5	31-may-2015	5.166,67	47,64	166,67	214,31
6	30-jun-2015	5.000,00	46,16	166,67	212,82
7	30-jul-2015	4.833,33	44,67	166,67	211,33
8	29-ago-2015	4.666,67	43,18	166,67	209,84
9	28-sep-2015	4.500,00	41,69	166,67	208,36
10	28-oct-2015	4.333,33	40,20	166,67	206,87
11	27-nov-2015	4.166,67	38,71	166,67	205,38
12	27-dic-2015	4.000,00	37,22	166,67	203,89
13	26-ene-2016	3.833,33	35,73	166,67	202,40
14	25-feb-2016	3.666,67	34,24	166,67	200,91
15	26-mar-2016	3.500,00	32,76	166,67	199,42
16	25-abr-2016	3.333,33	31,27	166,67	197,93
17	25-may-2016	3.166,67	29,78	166,67	196,44
18	24-jun-2016	3.000,00	28,29	166,67	194,96
19	24-jul-2016	2.833,33	26,80	166,67	193,47
20	23-ago-2016	2.666,67	25,31	166,67	191,98
21	22-sep-2016	2.500,00	23,82	166,67	190,49
22	22-oct-2016	2.333,33	22,33	166,67	189,00
23	21-nov-2016	2.166,67	20,84	166,67	187,51
24	21-dic-2016	2.000,00	19,36	166,67	186,02
25	20-ene-2017	1.833,33	17,87	166,67	184,53
26	19-feb-2017	1.666,67	16,38	166,67	183,04
27	21-mar-2017	1.500,00	14,89	166,67	181,56
28	20-abr-2017	1.333,33	13,40	166,67	180,07
29	20-may-2017	1.166,67	11,91	166,67	178,58
30	19-jun-2017	1.000,00	10,42	166,67	177,09
31	19-jul-2017	833,33	8,93	166,67	175,60
32	18-ago-2017	666,67	7,44	166,67	174,11
33	17-sep-2017	500,00	5,96	166,67	172,62
34	17-oct-2017	333,33	4,47	166,67	171,13
35	16-nov-2017	166,67	2,98	166,67	169,64
36	16-dic-2017	(0,00)	1,49	166,67	168,16
			991,60	6.000,00	6.991,60

La energía entregada por la red de distribución está valorada solo para usuarios residenciales en 8 c\$/kWh, sin contar los servicios de comercialización, alumbrado, IVA que genera un pago adicional más, cabe recalcar que este precio no es idóneo para la generación de energía eléctrica fotovoltaica, por esta razón se analizará los precios de tarifa factible, mediante precios aleatorios reales calculados por medio de las siguientes ecuaciones exponenciales (4.1) sin realización de préstamo y (4.2) con aportación de un préstamo y con fondos del inversionista.

$$TIR_{sp} = 8,8439 * \ln x - 23,543 \quad (4.1)$$

$$TIR_{cp} = 8,4882 * \ln x - 23,243 \quad (4.2)$$

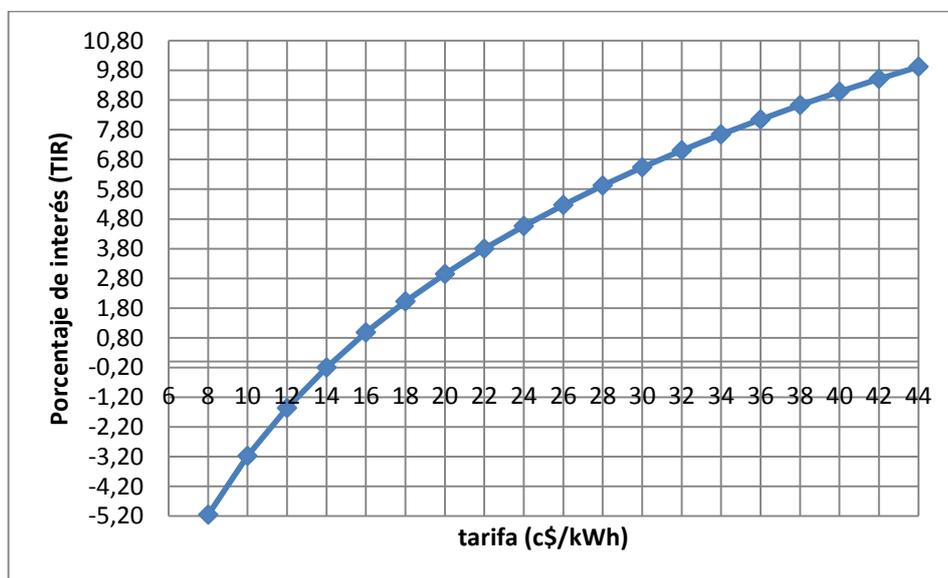
Dónde:

$TIR_{sp}$  = Porcentaje de interés sin realización de préstamo.

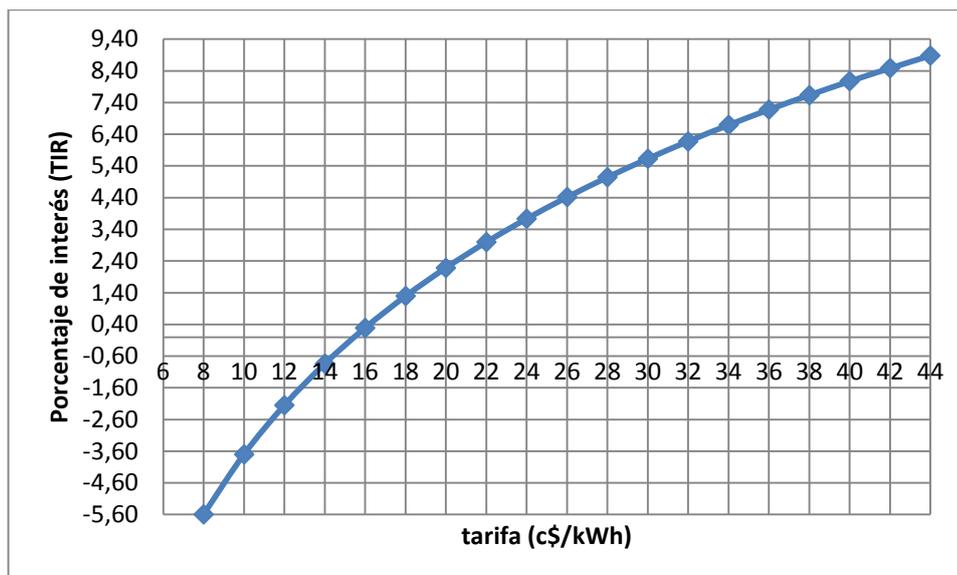
$TIR_{cp}$  = Porcentaje de interés con realización de préstamo.

$x$  = Precio de tarifa.

Utilizando las ecuaciones (4.1) y (4.2) se procede a realizar su respectiva gráfica como se muestra en las Figuras 4.17 y 4.18



**Figura 4.17.** Análisis del porcentaje de interés (TIR) respecto a precios en tarifa por kWh sin préstamos.  
**Fuente:** Propia del Autor.



**Figura 4.18.** Análisis del porcentaje de interés (TIR) respecto a precios en tarifa por kWh con préstamos.  
**Fuente:** Propia del Autor.

En las Tablas 4.5 y 4.6, sin préstamos bancarios y con préstamos bancarios respectivamente se observa de mejor manera el análisis de porcentaje de interés respecto a precios de tarifas por kWh, realizando así su Beneficio / Costo del proyecto de una micro red eléctrica para edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos proporcionando, el precio de la tarifa de compra o venta y a su vez permitiendo conocer si la inversión es rentable.

**Tabla 4.3.** El Costo/Beneficio y el TIR sin préstamos bancarios.

Precio en c\$/kWh	Total de Ingresos	Total de Egresos	Beneficio / Costo	TIR
8	\$ 5.403,68	\$ 9.438,22	0,57	-4,27%
12	\$ 7.847,62	\$ 9.438,22	0,83	-1,48%
16	\$ 10.290,45	\$ 9.438,22	1,09	0,73%
20	\$ 12.755,05	\$ 9.438,22	1,35	2,62%
24	\$ 15.213,63	\$ 9.438,22	1,61	4,33%
28	\$ 17.657,63	\$ 9.438,22	1,87	5,87%
32	\$ 20.100,76	\$ 9.438,22	2,13	7,35%
36	\$ 22.576,94	\$ 9.438,22	2,39	8,74%
40	\$ 25.005,73	\$ 9.438,22	2,65	10,08%

**Tabla 4.4.** El Costo/Beneficio y el TIR con préstamos bancarios.

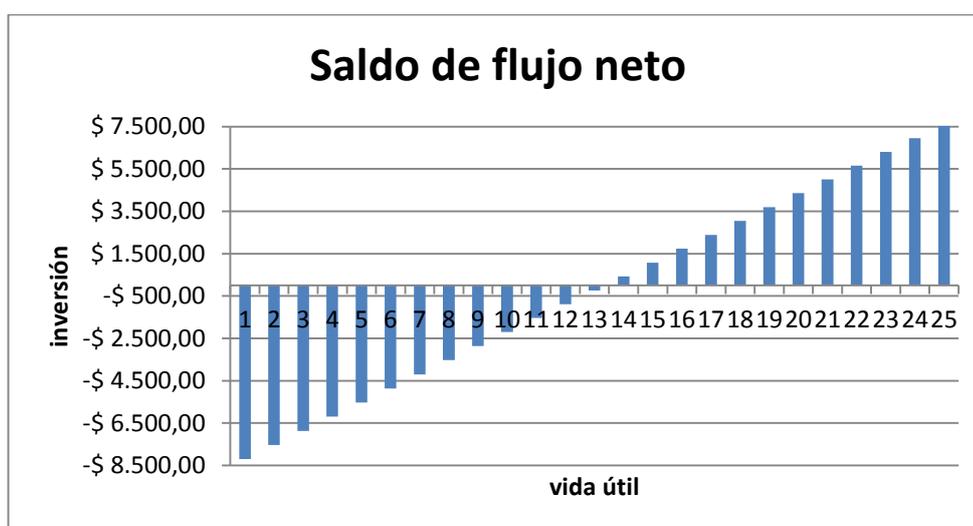
<b>Precio en c\$/kWh</b>	<b>Total de Ingresos</b>	<b>Total de Egresos</b>	<b>Beneficio/Costo</b>	<b>TIR</b>
8	\$ 5.391,57	\$ 10.429,81	0,52	-4,93%
12	\$ 7.844,57	\$ 10.429,81	0,75	-2,23%
16	\$ 1.029,08	\$ 10.429,81	0,10	-0,11%
20	\$ 12.751,91	\$ 10.429,81	1,22	1,71%
24	\$ 15.202,92	\$ 10.429,81	1,46	3,31%
28	\$ 17.646,63	\$ 10.429,81	1,69	4,80%
32	\$ 20.094,99	\$ 10.429,81	1,93	6,17%
36	\$ 22.540,55	\$ 10.429,81	2,16	7,48%
40	\$ 24.997,78	\$ 10.429,81	2,40	8,73%

Algunas tarifas que puede facilitar para la aportación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos, conociendo su Beneficio / Costo que conviene sin préstamos bancarios debe ser superior a 24 c\$/kWh, ya que supera la unidad (1) y se obtiene un TIR superior a la tasa de interés establecida, mientras que con un préstamo bancario su tarifa deberá ser superior o igual a 28 c\$/kWh.

Para la elaboración de las siguientes Tablas 4.5 y 4.6 con el distinto resultado económico factible en las mismas, se considera los siguientes datos como por ejemplo el bono por la reducción del  $CO_2$ , si se lo consideraría ya que este tipo de instalación no es participe en el mercado de carbono, pero si existe la posibilidad de integrar un grupo de auto consumidores de energía fotovoltaica puede participar en la misma, su periodo de duración del proyecto fotovoltaico que corresponde a un periodo de vida útil estimado de 25 años, con una tasa de interés representativa para depósitos de ahorro de 4,53%, también se considerara los costos de operación y mantenimiento incrementando cada año de 0,2% y una pérdida de eficiencia de cada panel de 10% a los 10 años y de 20% al restante tiempo de vida del panel estos datos son tomados de los datos de fabricación del panel fotovoltaico.

**Tabla 4.5.** Resultados económicos TIR y VAN del sistema fotovoltaico a un precio de 25 c\$/kWh.

Flujo	Producción Fotovoltaica [kWh]	Costo de Producción FV [USD]	Bono por la reducción del CO2	Costos O&M [USD]	Flujo de Caja [USD]	Saldo [USD]
Año 0					\$ (8.870,00)	
Año 1	2478,43	\$ 619,61	\$ 19,98	\$ 17,74	\$ 621,85	-8248,15
Año 2	2467,08	\$ 616,77	\$ 19,89	\$ 18,09	\$ 618,57	-7629,58
Año 3	2475,52	\$ 618,88	\$ 19,96	\$ 18,46	\$ 620,38	-7009,20
Año 4	2455,20	\$ 613,80	\$ 19,80	\$ 18,83	\$ 614,77	-6394,43
Año 5	2474,38	\$ 618,59	\$ 19,95	\$ 19,20	\$ 619,34	-5775,08
Año 6	2463,95	\$ 615,99	\$ 19,87	\$ 19,59	\$ 616,27	-5158,81
Año 7	2461,67	\$ 615,42	\$ 19,85	\$ 19,98	\$ 615,29	-4543,53
Año 8	2467,61	\$ 616,90	\$ 19,90	\$ 20,38	\$ 616,42	-3927,10
Año 9	2466,56	\$ 616,64	\$ 19,89	\$ 20,79	\$ 615,74	-3311,36
<b>Año 10</b>	<b>2459,74</b>	<b>\$ 614,93</b>	<b>\$ 19,83</b>	<b>\$ 21,20</b>	<b>\$ 613,57</b>	<b>-2697,79</b>
Año 11	2438,05	\$ 609,51	\$ 19,66	\$ 21,62	\$ 607,55	-2090,24
Año 12	2429,65	\$ 607,41	\$ 19,59	\$ 22,06	\$ 604,95	-1485,30
Año 13	2431,68	\$ 607,92	\$ 19,61	\$ 22,50	\$ 605,03	-880,27
Año 14	2452,82	\$ 613,20	\$ 19,78	\$ 22,95	\$ 610,03	-270,23
Año 15	2435,75	\$ 608,94	\$ 19,64	\$ 23,41	\$ 605,17	334,94
Año 16	2433,18	\$ 608,29	\$ 19,62	\$ 23,88	\$ 604,04	938,97
Año 17	2432,39	\$ 608,10	\$ 19,61	\$ 24,35	\$ 603,36	1542,33
Año 18	2439,06	\$ 609,76	\$ 19,67	\$ 24,84	\$ 604,59	2146,92
Año 19	2450,58	\$ 612,64	\$ 19,76	\$ 25,34	\$ 607,07	2753,99
Año 20	2444,73	\$ 611,18	\$ 19,71	\$ 25,84	\$ 605,05	3359,04
Año 21	2429,53	\$ 607,38	\$ 19,59	\$ 26,36	\$ 600,61	3959,65
Año 22	2441,96	\$ 610,49	\$ 19,69	\$ 26,89	\$ 603,29	3941,09
Año 23	2453,26	\$ 613,32	\$ 19,78	\$ 27,43	\$ 605,67	5168,61
Año 24	2450,55	\$ 612,64	\$ 19,76	\$ 27,97	\$ 604,42	5773,04
Año 25	2433,33	\$ 608,33	\$ 19,62	\$ 28,53	\$ 599,42	6372,46
Tasa Interna de Retorno					4,72%	
Valor Actual Neto					\$ 171,67	

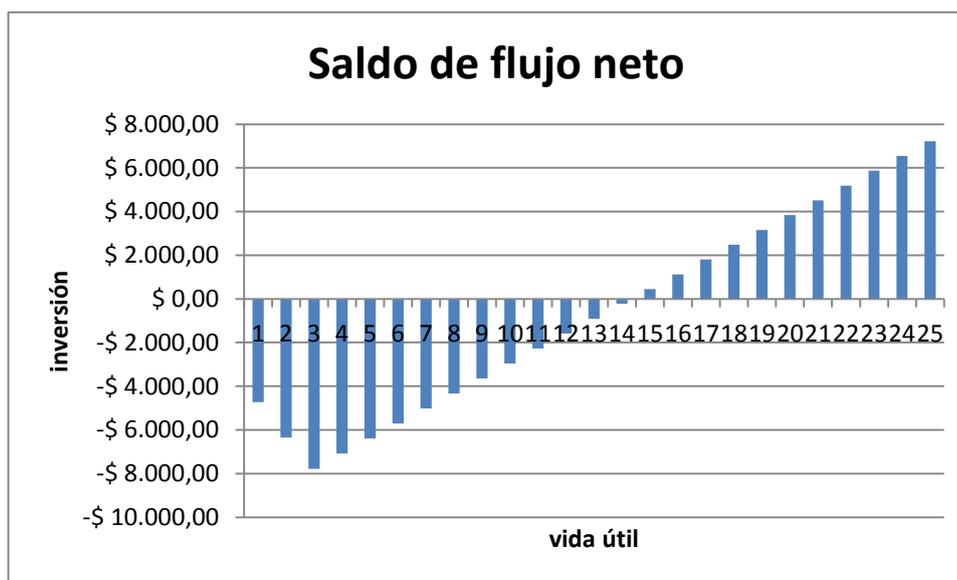


**Figura 4.19.** Saldo de flujo neto con la vida útil de proyecto fotovoltaico a un precio de 25 c\$/kWh.

Fuente: Propia del Autor.

**Tabla 4.6.** Resultados económicos TIR y VAN del sistema fotovoltaico a un precio de 28 c\$/kWh.

Flujo	Producción Fotovoltaica [kWh]	Costo de Producción FV [USD]	Bono por la reducción del CO2	Costos O&M [USD]	Flujo de Caja [USD]	Pago del Préstamo [USD]	Saldo [USD]
Año 0					-\$ 9.861,59		
Año 1	2453,80	\$ 687,06	\$ 19,79	\$ 17,74	\$ 689,11	-\$ 2.544,93	-\$ 4.725,82
Año 2	2466,90	\$ 690,73	\$ 19,89	\$ 18,09	\$ 692,53	-\$ 2.330,53	-\$ 6.363,82
Año 3	2456,24	\$ 687,75	\$ 19,81	\$ 18,46	\$ 689,10	-\$ 2.116,13	-\$ 7.790,86
Año 4	2462,25	\$ 689,43	\$ 19,85	\$ 18,83	\$ 690,46		-\$ 7.100,40
Año 5	2459,98	\$ 688,80	\$ 19,84	\$ 19,20	\$ 689,43		-\$ 6.410,97
Año 6	2467,80	\$ 690,98	\$ 19,90	\$ 19,59	\$ 691,30		-\$ 5.719,67
Año 7	2460,24	\$ 688,87	\$ 19,84	\$ 19,98	\$ 688,73		-\$ 5.030,95
Año 8	2475,94	\$ 693,26	\$ 19,96	\$ 20,38	\$ 692,85		-\$ 4.338,10
Año 9	2455,44	\$ 687,52	\$ 19,80	\$ 20,79	\$ 686,54		-\$ 3.651,56
Año 10	2473,51	\$ 692,58	\$ 19,94	\$ 21,20	\$ 691,33		-\$ 2.960,23
Año 11	2451,16	\$ 686,33	\$ 19,76	\$ 21,62	\$ 684,47		-\$ 2.275,77
Año 12	2441,19	\$ 683,53	\$ 19,68	\$ 22,06	\$ 681,16		-\$ 1.594,61
Año 13	2442,66	\$ 683,95	\$ 19,70	\$ 22,50	\$ 681,14		-\$ 913,46
Año 14	2441,57	\$ 683,64	\$ 19,69	\$ 22,95	\$ 680,38		-\$ 233,08
Año 15	2440,53	\$ 683,35	\$ 19,68	\$ 23,41	\$ 679,62		\$ 446,54
Año 16	2448,08	\$ 685,46	\$ 19,74	\$ 23,88	\$ 681,33		\$ 1.127,86
Año 17	2431,02	\$ 680,69	\$ 19,60	\$ 24,35	\$ 675,93		\$ 1.803,80
Año 18	2443,69	\$ 684,23	\$ 19,70	\$ 24,84	\$ 679,10		\$ 2.482,89
Año 19	2440,68	\$ 683,39	\$ 19,68	\$ 25,34	\$ 677,73		\$ 3.160,63
Año 20	2452,82	\$ 686,79	\$ 19,78	\$ 25,84	\$ 680,72		\$ 3.841,35
Año 21	2441,22	\$ 683,54	\$ 19,68	\$ 26,36	\$ 676,87		\$ 4.518,22
Año 22	2432,44	\$ 681,08	\$ 19,61	\$ 26,89	\$ 673,81		\$ 5.192,03
Año 23	2429,26	\$ 680,19	\$ 19,59	\$ 27,43	\$ 672,36		\$ 5.864,38
Año 24	2431,60	\$ 680,85	\$ 19,61	\$ 27,97	\$ 672,48		\$ 6.536,87
Año 25	2436,44	\$ 682,20	\$ 19,65	\$ 28,53	\$ 673,31		\$ 7.210,18
					Tasa Interna de Retorno	4,79%	
					Valor Actual Neto	\$ 261,32	



**Figura 4.20.** Saldo de flujo neto con la vida útil de proyecto fotovoltaico a un precio de 28 c\$/kWh.

**Fuente:** Propia del Autor.

Como se representó en las Figuras 4.17 y 4.18 el proyecto fotovoltaico en las edificaciones residenciales, su precio de compra o venta debe de ser superior al de las empresas distribuidoras ya que a una tarifa de 8 c\$/kWh, no se puede recuperar la inversión realizada, mientras que a una tarifa de 28 c\$/kWh, si se puede recuperar la inversión y es factible realizarlo.

En la Tabla 4.5 se muestra el resultado económico realizando con los fondos propios del inversionista, a una tarifa de 25 c\$/kWh la venta de energía eléctrica producida por paneles fotovoltaicos, mientras que en la Tabla 4.6 se muestra el resultado económico por medio de un préstamo bancario y con fondos del inversionista, a una tarifa de 28 c\$/kWh, concluyendo que la tarifa o el precio de compra o venta de la producción de energía fotovoltaica mientras más alto sea el valor mejor factibilidad tendrá el proyecto.

## CONCLUSIONES

El cambio de matriz energética en nuestro País genera un ambiente favorable a la incorporación de nuevas tecnologías alternativas o renovables como por ejemplo la energía eólica, solar, geotérmica, biomasa y biogás, dejando de lado el uso indiscriminado de combustibles fósiles que por varios años fue la fuente de generación de energía eléctrica produciendo varios efectos por su generación como por ejemplo daños geológicos y gases de efecto invernadero que producen el calentamiento global que afectan a nuestro planeta.

La creciente proyección de la demanda y el crecimiento desordenado en asentamientos humanos debe garantizar el abastecimiento energético o la cobertura de electrificación de parte de las distintas empresas gubernamentales encargadas al desarrollo de energía eléctrica de calidad, eficiente, responsable y amigable al medio ambiental para posteriormente garantizar el desarrollo y la satisfacción de sus necesidades al consumidor final o usuario brindándole un plan sustentable con el uso eficiente y de ahorro de energía eléctrica.

El uso eficiente de energía eléctrica deberá tener la participación esencial por parte del consumidor, especialmente al usuario residencial ya que comprende la mayor demanda del País, impulsando una cultura que estimule el ahorro y desarrollo de energía eléctrica o generación distribuida por fuentes renovables como por ejemplo la energía fotovoltaica por parte del mismo.

La energía emitida por el sol con la utilización de paneles fotovoltaicos ayudará a la cogeneración de energía eléctrica, con una fuente de energía renovable de fácil instalación y poco mantenimiento, admitiendo una mejor gestión energética para el País.

El desarrollo de este proyecto brinda al usuario de la edificación residencial, en cualquier emplazamiento que este se encuentre, pueda ser cogenerador de su propia energía o demanda eléctrica por medio de una micro red eléctrica usando paneles fotovoltaicos sin la necesidad de cuanta energía pueda producir, es por esta razón que se analizó como punto de referencia edificaciones residenciales ubicadas en el sector de Tumbaco, la edificación residencial consta de dimensiones estándar pero con una diferencia que el bien (terraza) a utilizarse no es accesible permitiendo tener una

operación y mantenimiento por parte de personas capacitadas.

A su vez analizó y realizó un modelamiento de la energía producida y consumida diaria, semanal, mensual y anual promedio por medio del programa Matlab mediante el entorno de Simulink, utilizando la potencia generada por el panel fotovoltaico con datos reales de radiación y temperatura emitidos por la Secretaría de Ambiente, utilizando el modelo de Stefan – Boltzmann con su constante de emisividad realizada en el proyecto “Modelamiento y Análisis de la Distribución Espacial y Temporal del Recurso Solar en el DMQ para Generación de Energía”. Además se realizó la simulación en el programa PVSyst con los distintos equipos escogidos para el proyecto fotovoltaico, utilizando la base meteorológica de la NASA.

En el Ecuador no existen tarifas y una normativa legal para la producción de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos por parte de los usuarios residenciales, debido al que no han identificado la necesidad o no existen incentivos para el mismo porque su costo de generación a comparación a otras energías renovables es alto. Esta fuente energética no debe considerarse principalmente como un negocio, pero si como una forma sustentable en la aportación de energía y eliminación de gases de efecto invernadero, pero si hubiese una oferta para la producción y venta debería tener un costo superior o igual a 28 c\$/kWh o su tarifa deberán ser revisadas y realizadas cada año.

La creación de generación distribuida usando paneles fotovoltaicos fomenta y contribuye a la cobertura nacional de electrificación, a generación de empleo, a reducción y alivio a equipos de distribución por parte de la inclusión de las cocinas de inducción en horas pico.

## **RECOMENDACIONES**

Para realizar una micro red eléctrica usando paneles fotovoltaicos se deberá analizar el dimensionamiento disponible, el índice de energía que se necesita para bajas cargas, así como las pérdidas por el autoconsumo de los equipamientos y si su instalación es aislada o conectada a la red.

Para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico, la mejor opción de integrar esta fuente de energía renovable deberá ser mediante un asesoramiento de instituciones encargadas de la misma, permitiendo tener una idea de la aportación que generan estas fuentes renovables no convencionales y en especial la energía fotovoltaica que indiscutiblemente es gratuita.

Las especificaciones de los distintos equipos que permiten generar la producción de energía fotovoltaica deberán cumplir características eléctricas y técnicas, a su vez para su buen funcionamiento deberá mantenerse en operación y mantenimiento.

Cabe recalcar que la micro red eléctrica o generación distribuida en edificaciones residenciales, representa una solución viable a las exigencias de la creciente proyección de la demanda o carga en las mismas; es por este motivo, que debe promover al usuario a la cogeneración de energías renovables brindando alternativas para su financiamiento y asesoramiento.

La existencia de una normativa y de un plan de incentivos para la producción de energía renovable deberá ir de la mano, pero con el rol principal y protagónico del Estado Ecuatoriano brindando alternativas como créditos, tarifas preferenciales, reducción de subsidios que permitirá atraer a los usuarios y brindará una mejor cobertura nacional de electrificación.

La viabilidad técnica y económica para la creación de una micro red en edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos, deberá contemplar con un plan sustentable a la eficiencia y ahorro al consumo de energía de modo que el usuario venga hacer partícipe y no solo consumidor.

## Bibliografía

- [1] “Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC.” [Online]. Available: [http://www.conelec.gob.ec/Regulación No.CONELEC-004/11-001/13](http://www.conelec.gob.ec/Regulación%20No.CONELEC-004/11-001/13). [ Accessed: 01 - Mayo - 2014]
- [2] “El Comercio Proyectos Fotovoltaicos” [Online]. Available: [http://www.elcomercio.com.ec/negocios/Ecuador-electricidad-Consejo\\_Nacional-Electricidad-proyectos-fotovoltaicos\\_0\\_1081691837.html](http://www.elcomercio.com.ec/negocios/Ecuador-electricidad-Consejo_Nacional-Electricidad-proyectos-fotovoltaicos_0_1081691837.html)[ Accessed: 01 - Abril - 2014]
- [3] “doc\_10167\_Proyectos ERNC con Títulos Habilitantes y Registros.xls” [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10167> [ Accessed: 01 - Mayo - 2014]
- [4] Méndez Muñiz, Javier María, Energía Solar Térmica, 2010, p.25-40.
- [5] R. Bachiller. El sol: Nuestra estrella, nuestra energía. Observatorio Astronómico Nacional. Instituto Geográfico Nacional-Ministerio de Fomento, pages 381 382, 2009.
- [6] M. Á. S. Maza, Energía solar fotovoltaica. Limusa, 2011, p. 314.
- [7] Á. A. B. Rújula, Sistemas fotovoltaicos. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009, p. 336.
- [8] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley, 2006, p. 908.
- [9] U. D. E. E. L. Salvador, A. Antonio, and R. Lue, “Propuesta de un sistema solar térmico para la obtención de agua caliente sanitaria en un complejo deportivo,” pp. 1–198, 2010.
- [10] S. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Elsevier/Academic Press, 2009, p. 760.
- [11] F. Vanek, L. Albright, and L. Angenent, Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation, Second Edition. McGraw Hill Professional, 2012, p. 671.
- [12] C. A. I. Roldán, Instituto de Energía y Termodinámica. Universidad Pontificia Bolivariana. CONTENIDO, El recurso solar, 2009.
- [13] D. Y. Goswami and J. F. Kreider, Principles of Solar Engineering. Taylor & Francis, 2000, p. 702.
- [14] F. Daniels, Direct Use of the Sun’s Energy. Ishi Press International, 2010, p. 406.
- [15] J. I. D. García, M. P. Blanco, S. S. Hernando, and J. M. B. Perez, “Tratamiento de datos meteorológicos para instalaciones de energía solar.”
- [16] Enríquez, Gilberto, El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos.Limusa,2011, p.114
- [17] Palomar L., Adriana. Análisis y estudio del rendimiento de inversores integrados en los sistemas fotovoltaicos de conexión a red, ( Tesis). – Madrid:España : Universidad Carlos III de Madrid,2009, p.21
- [18] Jiménez R., Sergio . Generación solar fotovoltaica. Integración en los sistemas eléctricos ( Tesis). – Madrid:España : Universidad Carlos III de Madrid,2009, p.7-10

- [19] Comprender el cambio climático, Organización Panamericana De Salud, 2011.
- [20] National Rural Electric Cooperative Association. “White Paper on Distributed Generation”. August 2007.
- [21] Balance nacional de energía eléctrica, “Información estadística abril 2014”. [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/>. [ Accessed: 20 - Julio - 2014]
- [22] A. Orejuela and V. Orejuela, “Aspectos favorables y factores adversos de la interconexión eléctrica Ecuador–Colombia,” Quito Cenace, 2005.
- [23] Cambio de Matriz Energética, Información General. [Online]. Available: <http://www.celec.gob.ec/>. [Accessed: 20 - Julio - 2014]
- [24] Las represas aún están lejos de ser ecológicas. [Online]. Available: <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/julio-6-de-2014/las-represas-aun-estan-lejos-de-ser-ecologicas>. [Accessed: 20 - Julio - 2014].
- [25] L.A. Patria, E. En, and E.L. Mar, “Capítulo I: Información General de la República del Ecuador INOCAR 2012 1.1,” pp.13-14, 2012. “Atlas\_Cap1\_Contextos\_Historicos\_y\_Politicos\_Generales .pdf”
- [26] Terra Andina Ecuador, Geografía. [Online]. Available: <http://www.ecuadorviaje.com/ecuador/geografia.html> . [Accessed: 20 - Julio - 2014].
- [27] Peralta, A. Barriga, Á. López, I. Sosa, and E. Delgado, “Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador”.
- [28] C. Nacional, “Fascículo nacional,” 2010. . [Online]. Available: [http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo\\_nacional\\_final.pdf](http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo_nacional_final.pdf). [Accessed: 20 - Julio - 2014].
- [29] “Layout 1 - Atlas.pdf.” [Online]. Available: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf). [Accessed: 21-Julio-2014].
- [30] C. Segura, J. Remigio et al., “Modelamiento y análisis de la distribución espacial y temporal del recurso solar en el DMQ para generación de energía”. 2013.
- [31] La instalación Fotovoltaica (I), ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO, Madrid, RED ALMAR ediciones, 1999, pág. 81.
- [32] “CMP 3 second class pyranometer - Kipp & Zonen.” [Online]. Available: [http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer#.Un\\_lgz9C7AN](http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer#.Un_lgz9C7AN). [Accessed: 22-Julio-2014].
- [33] “Secretaria de Ambiente.” [Online]. Available: <http://www.quitoambiente.gob.ec/>. [Accessed: 22-Julio-2014].
- [34] R. M. Eisberg, Fundamentos de Física Moderna. Editorial Limusa S.A. De C.V., 1983, p. 710.
- [35] LILLO BRAVO, I.; HASELHUHN, R.; HEMMERLE, C. Instalaciones fotovoltaicas.
- [36] ProViento, “Energía Renovable”. [Online]. Available: [http://www.proviento.com.ec/index\\_panelessolares.html](http://www.proviento.com.ec/index_panelessolares.html). [Accessed: 22-Agosto- 2014].
- [37] S. Fotovoltaica, “Energía Solar Fotovoltaica Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red,” 2011.

- [38] J.C. Herrera, Sistema Híbrido Solar-Eólico para el Abastecimiento Eléctrico del Centro de Control de Energía CENACE, Quito, 2013.
- [39] Censo de Población y Vivienda 2010. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/> [Accessed: 22-Septiembre- 2014].
- [40] F.A. Mohamad and H.N. Koivo, "Online management of microgrid with battery storage using multiobjective optimization," in Prof. 2007 IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives Conf., pp.231-236
- [41] "La luz llegó a Chiriboga a través del panel solar" [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com.ec/actualidad/ecuador/luz-llego-a-chiriboga-a.html>. [ Accessed: 01 - Septiembre - 2014]
- [42] Portal de la NASA Atmospheric Science Data Center . [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>[Accessed: 22-Septiembre- 2014].
- [43] Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases con efecto invernadero, 2012.
- [44] BCE, Banco Central del Ecuador, "Tasas de interés efectivas vigentes ", noviembre 2014.
- [45] CNF, Cooperativa Nacional de Fomento, "Índices y tablas de amortización para préstamos bancarios".