



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES  
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA SUBESTACIÓN SANTA  
ANA UBICADA EN GUAYAQUIL”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

JOSÉ XAVIER OLVERA MIRANDA

LUIS CARLOS MONTALVO YAGUAL

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Jorge Montealegre**

PROFESOR EVALUADOR

---

**Douglas Aguirre**

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....  
José Xavier Olvera Miranda

.....  
Luis Carlos Montalvo Yagual

## RESUMEN

Este proyecto está orientado directamente a citar la teoría necesaria para comprender el funcionamiento de un sistema de generación eléctrica conectada a la red de distribución implementando paneles solares fotovoltaicos. Además de los tipos de radiación que son aprovechados para captar la energía. Así como los dispositivos que se precisan para que este sistema sea conectado a la red.

En este proyecto cita regulaciones de organismos gubernamentales encargados de establecer los precios de la energía con el objetivo de estudiar la viabilidad del proyecto; además de determinar el tiempo de recuperación de la inversión inicial pronosticando el precio de la energía sin subsidios en los próximos años.

Se realiza el diseño y dimensionamiento para instalar 1MWP y conectarlos a la red de distribución de media tensión; además de determinar la radiación incidente de la zona para suplir un porcentaje de demanda de la alimentadora a 13,8KV de la subestación Santa Ana.

En el apartado del diseño se utiliza las bases de datos del software climatológico PVsyst para obtener irradiación e irradiancia de la zona.

Se realizarán diversos análisis económicos sobre la rentabilidad de la planta según el precio de energía estableciendo rangos desde los 18 centavos de dólar hasta los 40 centavos.

A parte de este análisis, también se realiza el estudio del PayBack de la planta si esta actualiza el valor de la energía anualmente según los pronósticos establecidos (basándose en los últimos 13 años) haciéndolo menos rentable para el inversor privado, pero más atractivo para el estado debido a que los tiempos de recuperación son similares a los tiempos de operación permitidos por el mismo.

## ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 <b>Objetivo general</b> .....	1
1.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	1
1.3 <b>Antecedentes</b> .....	1
1.4 <b>La energía solar fotovoltaica en Ecuador</b> .....	6
1.5 <b>Justificación</b> .....	10
1.6 <b>Metodología</b> .....	11
CAPÍTULO 2.....	12
2. MARCO TEORICO .....	12
2.1 <b>Energía Solar</b> .....	12
2.2 <b>Radiación Solar</b> .....	13
2.2.1 <b>Radiación Directa</b> .....	14
2.2.2 <b>Radiación Difusa</b> .....	14
2.2.3 <b>Radiación albedo</b> .....	14
2.3 <b>Declinación solar y coordenadas</b> .....	15
2.4 <b>Irradiancia e Irradiación en paneles solares</b> .....	16
2.5 <b>Paneles solares fotovoltaicos</b> .....	18
2.5.1 <b>Efecto Fotovoltaico</b> .....	18
2.5.2 <b>Clasificación de celdas solares fotovoltaicas y fabricación</b> 19	
2.5.3 <b>Separación entre paneles solares y estructura de soporta</b> 24	
2.6 <b>Sistema Fotovoltaico conectado a una red eléctrica</b> .....	25

CAPÍTULO 3.....	28
3. DESARROLLO DEL DISEÑO.....	28
<b>3.1 Ubicación del proyecto y funcionalidad</b> .....	28
<b>3.2 Irradiación del predio</b> .....	29
<b>3.3 Panel solar fotovoltaico</b> .....	31
<b>3.4 Selección del inversor</b> .....	34
<b>3.5 Estación compacta de Media Tensión</b> .....	36
<b>3.6 Supervisor de paneles en serie</b> .....	37
<b>3.7.1 Paneles en serie</b> .....	39
<b>3.7.2 Número aproximado de paneles</b> .....	39
<b>3.7.3 Producción anual de energía</b> .....	40
<b>3.8 Simulación de la planta fotovoltaica en el programa PVsyst</b> ..	41
<b>3.9 Viabilidad del proyecto</b> .....	47
CAPÍTULO 4.....	50
4. ANALISIS ECONOMICO .....	50
<b>4.1 Inversión de equipos y terreno de la planta</b> .....	50
<b>4.2 Inversión en dirección de obra</b> .....	52
<b>4.3 Inversión inicial del proyecto</b> .....	53
<b>4.4 Gastos generales mensuales</b> .....	54
<b>4.5 Ingresos del proyecto</b> .....	54
<b>4.5.1 Precio de energía</b> .....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA .....	63

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objetivo general

Realizar el diseño de una central de generación de energía eléctrica a base de paneles solares fotovoltaicos de 1 MWp conectada a la red de distribución de la Subestación "Santa Ana".

### 1.2 Objetivos específicos

- Encontrar las ventajas económicas y energéticas del ingreso de generación fotovoltaica de 1 MWp en los sistemas de distribución de Guayaquil.
- Establecer las ventajas y desventajas técnicas de la incorporación de generación fotovoltaica a nivel de distribución de la ciudad de Guayaquil.
- Aumentar la capacidad de las líneas de distribución de la Subestación "Santa Ana".
- Abastecer el incremento de demanda y energía por parte del sector residencial debido a la implementación de las cocinas de inducción.

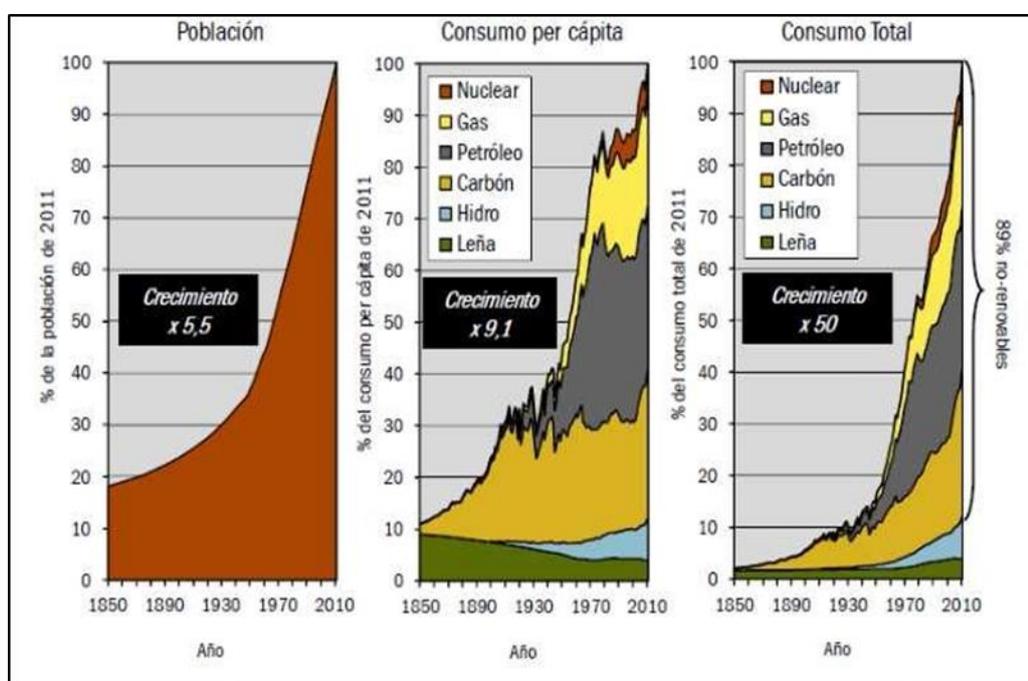
### 1.3 Antecedentes

El uso de las energías renovables va de la mano con el avance de la tecnología y su aplicación es amplia. Con el paso del tiempo, el recurso renovable ha dejado de ser la primera opción para obtener energía. Se dejó a un lado este recurso debido a la revolución industrial, puesto que los combustibles fósiles han aportado un buen rendimiento energético en los últimos dos siglos, contribuyendo casi al 80% del total de energía. [1] Esto va de la mano con el incremento de la población que desde 1860 hasta la actualidad esta se quintuplicado, además que un ser humano en la actualidad consume aproximadamente nueve veces más energía de un ser humano de 1860. Después de lo anteriormente mencionado existe la incertidumbre acerca de que tan efectivo seguirá siendo la

implementación de estas fuentes que son agotables y además perjudican al medio ambiente.

El crecimiento en el PIB desde mediados de 1940 ha desencadenado una necesidad energética que solo lo ha podido suplir el petróleo y el gas. Dos factores que están estrechamente relacionados con el consumo energético total durante los últimos 150 años son el crecimiento de la población humana y el consumo per cápita de energía. Como se mencionaba anteriormente dicho consumo los combustibles fósiles son, y por mucho la mayor fuente de energía hasta ahora. En la figura 1.1 se puede observar que el 89% del consumo energético total es de origen de fuentes no renovables y este valor es obtenido del producto de la siguiente manera:

$$\text{consumo energético total} = \text{población} \times \text{rend. energético por cabeza}$$



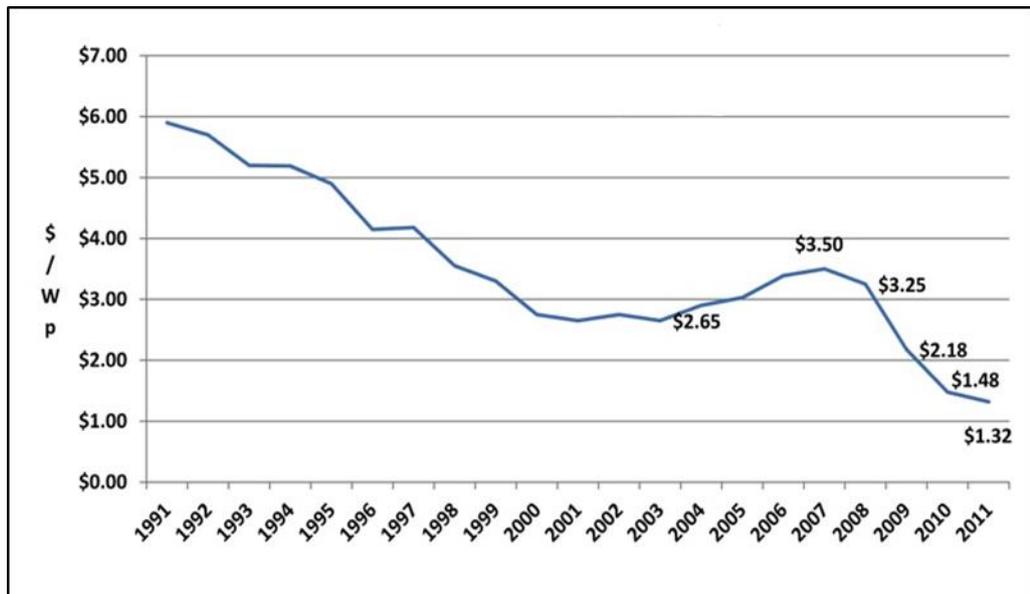
**Figura 1.1 Población Mundial, Consumo energético per cápita y consumo energético total [1]**

Es notable que la principal fuente de energía eléctrica no colabora con el medio ambiente y es por eso que desde el siglo XIX científicos han buscado obtener como fuente recursos virtualmente inagotables.

Desde 1849 científicos como Edmond Becquerel, Horace de Saussure o Auguste Mouchout colaboraron en el desarrollo de los primeros colectores solares, siendo los precursores de esta nueva forma de obtener energía eléctrica de manera limpia. No fue hasta 1880 que se desarrollaron las primeras celdas fotovoltaicas, y estas estaban constituidas de selenio y aportaban con una eficiencia del 2% en el mejor de los casos. [2]

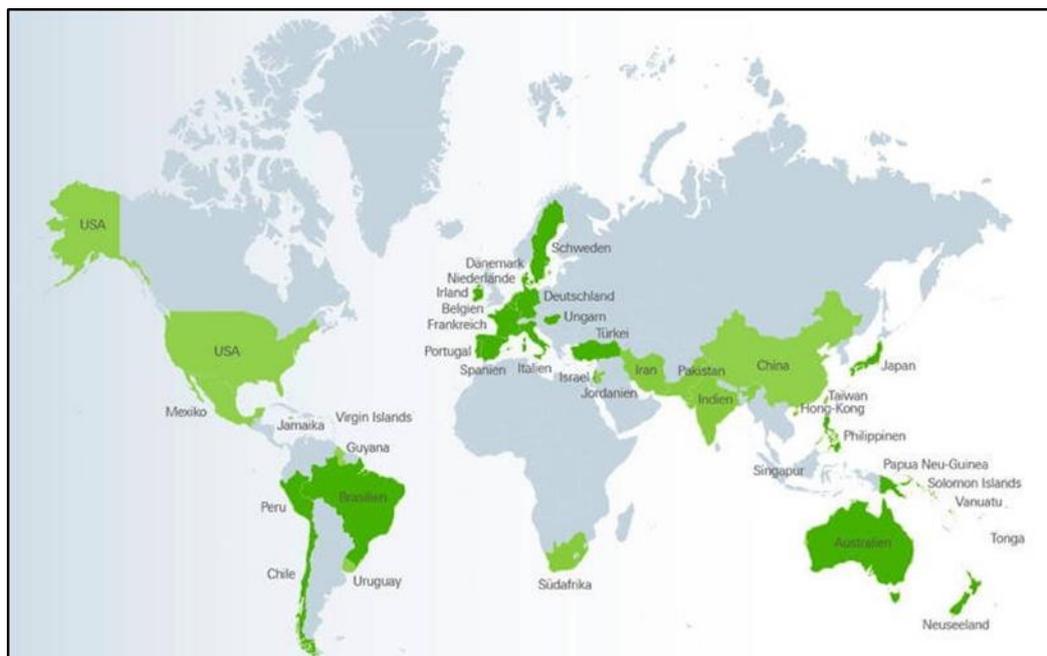
A principios del siglo XX, la baja eficiencia y los altos costos en comparación a la generación de energía eléctrica usando combustibles fósiles frenaron el desarrollo de la Energía solar fotovoltaica. Tardo más de 50 años en encontrar un uso competente en el mercado eléctrico cuando el inventor Russel Ohl, patentó celdas solares de silicio y estas fueron usadas en satélites espaciales o calculadoras. Desde entonces la energía solar ha sido una alternativa viable en comparación del uso del petróleo.

El sol es una fuente de energía humanamente inagotable, puesto que es garantizada para unos 6000 millones de años y su expansión en la última década ha sido exponencial debido a la reducción del costo de producción, en la figura 1.2 se muestra como el precio del vatio pico ha disminuido en los últimos 7 años y la tendencia es que continúe así.



**Figura 1.2 Curva de precios por vatio pico 1991 - 2011 [2]**

La reducción del precio por vatio pico a un promedio del 6% anualmente es solo la consecuencia del interés gubernamental por impulsar estos proyectos que son amigables para el medio ambiente, la incursión del mercado chino a la producción de paneles solares ha contribuido a reducir los precios. Actualmente hay países donde los costos de la energía de plantas solares fotovoltaicas son inferiores a los que ofrece las empresas distribuidoras lo que convierte una alternativa viable implementar esta nueva forma de generar energía eléctrica, como por ejemplo: EEUU, México, Perú, Uruguay, Chile y Brasil en América. [3]

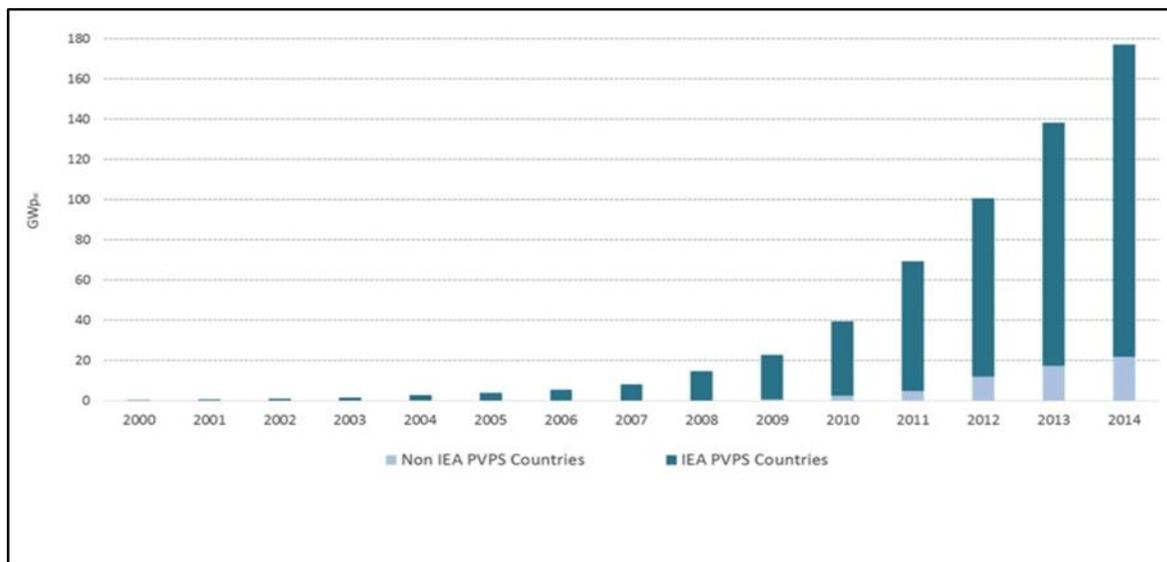


**Figura 1.3 Países con viabilidad a la implementación de plantas de generación eléctrica a base de paneles solares [3]**

La implementación de estas plantas da como resultados cifras de capacidad fotovoltaica sorprendentes, en el último año se añadieron 38.6 GWp instalados.

Países como Japón, Alemania y actualmente EEUU han colaborado con el crecimiento de la potencia solar fotovoltaica instalados. [3] La gran mayoría de estos países pertenecen a la Agencia Internacional de Energia en los Programas de sistemas fotovoltaicos.

En la figura 1.4 se muestra el impresionante crecimiento en los últimos 7 años.



**Figura 1.4 Potencia fotovoltaica instalada en el mundo [4]**

#### 1.4 La energía solar fotovoltaica en Ecuador

La energía solar en nuestro país cuenta con el apoyo del gobierno hasta 300 MWp como límite desde el mes de diciembre del 2012, en la cual consiste que dicha planta se conectara desde una subestación directamente a la red general de distribución o subtransmisión. Estas plantas no poseerán baterías ni reguladores, estas solo deberán llevar los respectivos módulos y el inversor. El inversor debe poseer las siguientes características:

- Deber tener un sistema de medición del total de energía consumida y el total de energía entregada.
- Poder interrumpir o reanudar el suministro de energía a la red en función del estado del campo de los paneles implementados.
- Adaptar la corriente alterna producida en el inversor a la fase o distintas fases de la energía de la red.

En el 2012 el CONELEC aprobó 15 proyectos de generación eléctrica con paneles solares para la instalación y operación de las mismas en provincias como: Pichincha, Manabí, Santa Elena, Imbabura entre otras con un equivalente total a 280 MWp de potencia instalada con un equivalente al 7% de la potencia

del sistema. [5] Los datos de los proyectos de generación de energía eléctrica mayores o equivalentes a 1 MWp se detallan en la tabla 1.1, no se encuentra información acerca de las plantas que se encuentran en operación.

Actualmente, la capacidad de generación solar fotovoltaica equivale al 0,48% de la generación total del sistema. [5]

**Tabla 1.1 Proyectos de unidades generadoras mayores o iguales a 1MWp [5]**

Además, existen 76 proyectos de unidades generadoras implementando paneles

No.	Proyecto	Capacidad MW	Ubicación
1	SHIRI I	50,0	Cantón Quito, provincia de Pichincha
2	SALINAS	2,0	Cantón Urcuquí, provincia de Imbabura
3	IMBABURA-PIMÁN	25,0	Cantón Ibarra, provincia de Imbabura
4	SANTA ELENA I	25,0	Cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena
5	CENTRO DEL MUNDO	10,0	Cantón Cayambe, provincia de Pichincha
6	RANCHO CAYAMBE	16,0	Cantón Cayambe, provincia de Pichincha
7	VAIANA	20,0	Cantón Guayas, provincia del Guayas
8	CHOTA-PIMÁN	8,0	Cantón Ibarra, provincia de Imbabura
9	MANABÍ	30,0	Cantón Montecristi, provincia de Manabí
10	MONTECRISTI	12,0	Cantón Montecristi, provincia de Manabí
11	SAN ALFONSO	6,0	Cantón Ibarra, provincia de Imbabura
12	ZAPOTILLO	8,0	Cantón Zapotillo, provincia de Loja
13	LAGARTO	20,0	Cantón Río Verde, provincia de Esmeraldas
14	CONDORSOLAR	30,0	Cantones Cayambe y Tabacundo, provincia de Pichincha
15	SOLARCONNECTION	20,0	Cantones Cayambe y Tabacundo, provincia de Pichincha
<b>TOTAL CAPACIDAD PROYECTOS MAYORES O IGUALES A 1 MW</b>		<b>282,0</b>	

solares fotovoltaicos menores a 1 MWp.

Actualmente, tan solo 22 de ellos se encuentran en operación, los cuales contribuyen con el 0,05% de la energía producida en el Ecuador. [5]

A continuación se presenta el listado de las plantas de menos de 1 MWp que están en operación.

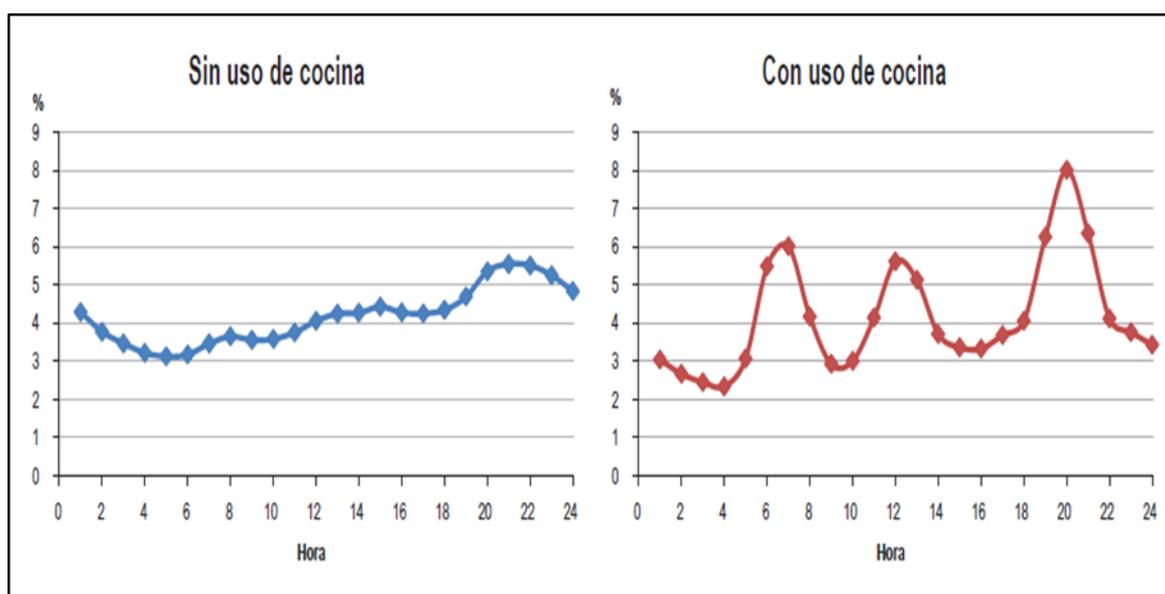
ALTGENOTEC
GENRENOTEC
ELECTRISOL
VALSOLAR
SANSAU
WILDTECSA
BRINEFORCORP
EP FOTOVOLTAICA (2 proyectos de 1 MW)
GONZAENERGY
LOJAENERGY
RENOVALOJA
SABIANGO SOLAR
ENERSOL (500 kW).
GRANSOLAR (1 proyecto de 2 MW y uno de 1 MW).
SANERSOL
SARACAYSOL
SOLCHACRAS
SOLSANTONIO
SOLSANTROS
SURENERGY
SAN PEDRO SOLAR
SOLHUAQUILLAS

**Tabla 1.2 Unidades de generación menores de 1 Mwp [6]**

## 1.5 Justificación

El Ecuador está siendo sujeto a cambios en la matriz energética por lo tanto el sistema de distribución como el de transmisión están siendo repotenciados o en actual fase de expansión.

Si bien es cierto el área comercial e industrial están sujetos a voltajes de alimentación equivalentes o superiores a 69kV y es ahí donde el cambio de la demanda será significativo, el área residencial también lo será de igual manera debido a la implementación de las cocinas de inducción que cambiara drásticamente el perfil de carga residencial de la ciudad de Guayaquil. En la figura 1.5 se puede apreciar el cambio que experimentara las redes de distribución que alimentan el sector residencial.



**Figura 1.5 Cambio del perfil de carga residencial [7]**

Así como la demanda de potencia se incrementara, por consiguiente la energía de un hogar promedio se incrementara un 50% siendo la actual igual a 200 kWh/mes y su incremento es equivalente a 100 kWh/mes debido al uso de las cocinas de inducción, se anticipa que esta cifra se haga realidad a mediados del 2017, según el CONELEC. [7]

Es por eso que la implementación de unidades generadoras distribuidas usando paneles solares fotovoltaicos será de gran ayuda para alivianar las líneas de distribución en las horas pico pasadas del medio día.

Este proyecto pretende ser implementado en una alimentadora con carga residencial con usuarios de poder adquisitivo mediado como por ejemplo: alborada, samanes, sauces, Kennedy y con disponibilidades de áreas que demanda una planta de un 1MWp.

Uno de las principales razones para justificar nuestro proyecto es el hecho de no depender al 100% de unidades generadoras centralizadas, ya que estas acarrearán pérdidas de en los sistemas de transmisión y distribución que a largo plazo representarían un alto costo en comparación a una planta de generación distribuida la cual será conectada en cercanías de la carga con mayor consumo si el caso lo amerita.

## **1.6 Metodología**

El diseño de una planta de generación eléctrica usando como fuente primaria el sol requiere de ciertos estudios preliminares como con los siguientes:

- Analizar una alimentadora que este al límite de su capacidad de distribución en las horas del día.
- Que cuente con un predio con un área equivalente o superior a 7000 m<sup>2</sup>.
- Que la carga proyectada al futuro pueda ser auto consumida por la planta generadora.

Luego de realizar los estudios mencionados anteriormente se procederá a investigar los niveles de radiación solar de la zona, seguido de los cálculos de cantidades de paneles en serie o en paralelo, así como también la cantidad de inversores y sus especificaciones.

Al final se pretende realizar un análisis económico suponiendo la implementación del proyecto, en ella se analizará la paridad de la red y el pliego tarifario y se determinará la rentabilidad de la misma.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 Energía Solar

La energía solar es una fuente virtualmente inagotable y con esta podemos producir por miles toda la energía que la humanidad actualmente consume. El problema que radica es que el flujo de energía no es tan alto por eso la obtención de la misma la hace relativamente costosa y eso frena a el impulso por parte del ser humano de explotarla. Sin embargo hay un efecto que hace que esta energía se propague y es que es de tipo des-centralizado o distribuido de manera que, esto permite que a pesar de que el costo de la energía solar es aproximadamente 4 veces el costo de la energía convencional, las empresas privadas o públicas decidan invertir puesto que, las pérdidas son considerablemente menores a la de un sistema centralizado.

El hombre fortaleció el aprovechamiento de la energía solar, que podríamos clasificarla de tipo pasivo para poder diferenciarlo del activo que se obtiene a través de la moderna tecnología.

De la energía procedente del sol que alcanza la atmosfera terrestre, aproximadamente la mitad llega a la superficie del planeta. Ya que en los niveles superiores de la atmosfera se absorbe la mayor parte de la energía ultravioleta, otra parte vuelve al espacio por difusión, reflexión y refracción; el restante es absorbida por el vapor de agua y otros componentes de la atmosfera teniendo en total de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  en la superficie terrestre (a nivel del mar) y un mucho menos de eso llega al suelo, en la figura 2.1 tal como se indica en la figura 2.1.

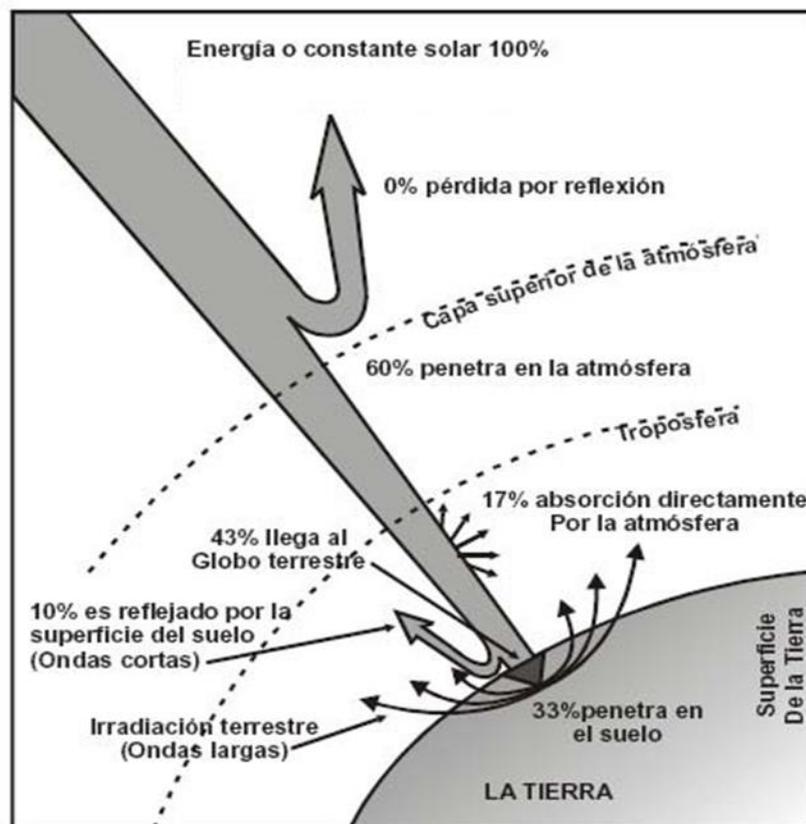


Figura 2.1 Energía solar [8]

## 2.2 Radiación Solar

El sol que está compuesto de un 99% entre Hidrogeno y Helio y funciona como un reactor termonuclear (donde los átomos de hidrógeno chocan entre sí) pero en este caso, en el interior del mismo, hay una temperatura tan grande que el resultado será la producción de Helio y la pérdida de masa que esta se transformara en energía y esta energía se va a irradiar (despedir o emitir radiaciones luminosas) en formas de ondas electromagnéticas a su alrededor. La tierra esta distanciada del sol aproximadamente 150 millones de kilómetros, y la irradiancia de 1m<sup>2</sup> de la fotosfera es de 63,1 MW/m<sup>2</sup> y toda esa energía que despide tarda en promedio 8 minutos para llegar a la tierra y para determinar que irradiancia vamos a tener se usa el principio de "La ley inversa del cuadrado" y obtenemos un total de 1370W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre y es denominada la constante solar que varía en un  $\pm 3\%$  debido el afelio y el perihelio que

determinaran la distancia del sol a la tierra, comúnmente conocido como geometría solar. [9]

Un 99% de la energía que llega desde el sol a la atmosfera terrestre en forma de ondas electromagnéticas está repartida en tres tipos: infrarroja, la visible y la ultravioleta, siendo la visible la que nos proporcionara más energía.

Debido a las condiciones terrestres, atmosféricas y la geometría de los paneles solares fotovoltaicos, la energía que llegara al mismo se dividirá en tres partes:

### **2.2.1 Radiación Directa**

La energía llega en forma de onda y son paralelos entre si y aquellos que llegan directamente a el panel solar se los denomina radiación directa y tienen la misma propiedad de las ondas electromagnéticas en el espacio y al ser paralelos, estos generaran una sombra muy definida. Esta radiación es la más grande en proporción y la más importante debido a que 2/3 de la energía total absorbida por el panel debe ser por radiación directa. [9]

### **2.2.2 Radiación Difusa**

Es la segunda energía más importante que deberá ser captada por los paneles solares; puede ser captada tanto en días soleados (en un 10% a 30%) como en días completamente nublados, es ahí donde se aprecia la radiación difusa “del cielo” en su máxima expresión. Las ondas electromagnéticas entran a la atmosfera terrestre en forma paralela entre sí, pero al atravesar el ozono, oxígeno, el dióxido de carbono, vapor de agua, polen, argón y demás partículas contaminantes estas ondas se empiezan a dispersar y llegan a la superficie terrestre en distintas direcciones a esta energía se la llama radiación difusa. [9]

### **2.2.3 Radiación albedo**

Es el tipo de radiación que menos aporta en un panel solar fotovoltaico y es la onda que llega el panel de rebote, teniendo en cuenta lo siguiente la energía que contribuye este tipo de radiación es despreciable.

Actualmente existen equipos de medición de radiación como el piranometro que es capaz de medir los 3 tipos de radiación y el pirheliómetro que solo mide la radiación directa y debe ser acoplado a un dispositivo de captación o seguimiento solar para aprovecharlo al máximo. Estos dispositivos son usados en los estudios previos al diseño e implementación de plantas generadoras de energía eléctrica usando paneles solares.



**Figura 2.2 Piranometro [10]**



**Figura 2.3 Pirheliometro [10]**

### **2.3 Declinación solar y coordenadas**

El plano de la eclíptica que dicta el movimiento de translación difiere con el eje de rotación de la tierra en  $23.5^\circ$  debido a que este está inclinado, este ángulo permanece constante y como consecuencia provoca algunos fenómenos como por ejemplo: en verano el hemisferio sur está más inclinado hacia el sol que en el hemisferio norte y es por eso que hace más calor y hay algunas fechas que dictan fenómenos similares u opuestos para los dos hemisferios.

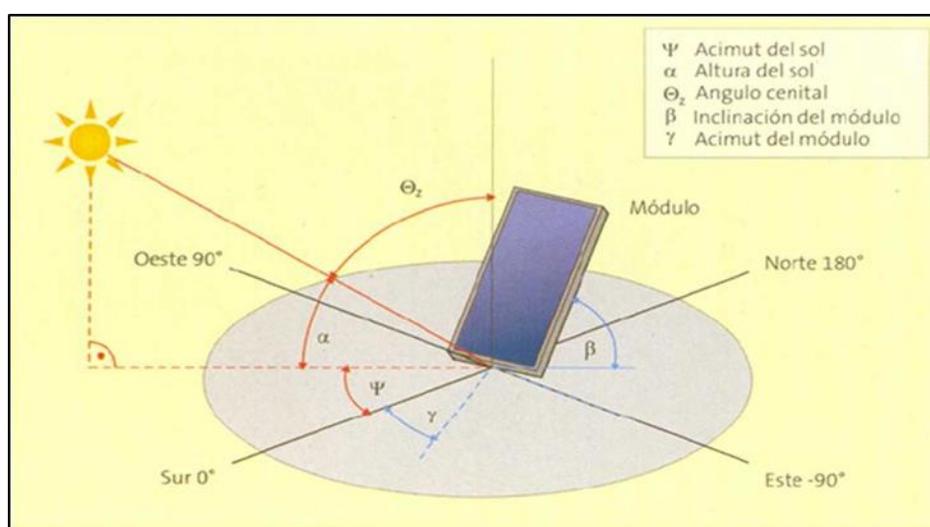
El objetivo de esta sección es realizar una instalación que permita una producción energética óptima y para aquello es necesario determinar la ubicación e inclinación de los paneles solares, además de realizar una previa inspección de los resultados del STC de los paneles para poder comparar y por ultimo nominar los paneles solares. Es necesario tener en cuenta lo siguientes conceptos:

Cenit: es el punto más alto que alcanza el sol de su elevación sobre el horizonte, solo sucede cuatro días al año en Ecuador.

Angulo Cenital Solar: es le diferencia entre cenit y el ángulo del sol. El valor del ángulo varía entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ .

Altura Solar: es el ángulo complementario al ángulo cenital solar. (La suma de ambos es equivalente a  $90^\circ$ ).

En la figura 2.4 se especifica cada uno de los ángulos que deben conocerse para poder realizar la instalación de los paneles que estarán en posición inclinada con respecto a la horizontal y este ángulo de inclinación variara con el propósito de ser colocado en el grado de inclinación que permita coleccionar la mayor energía posible.



**Figura 2.4 Ángulos y ubicación del panel solar [10]**

## 2.4 Irradiancia e Irradiación en paneles solares

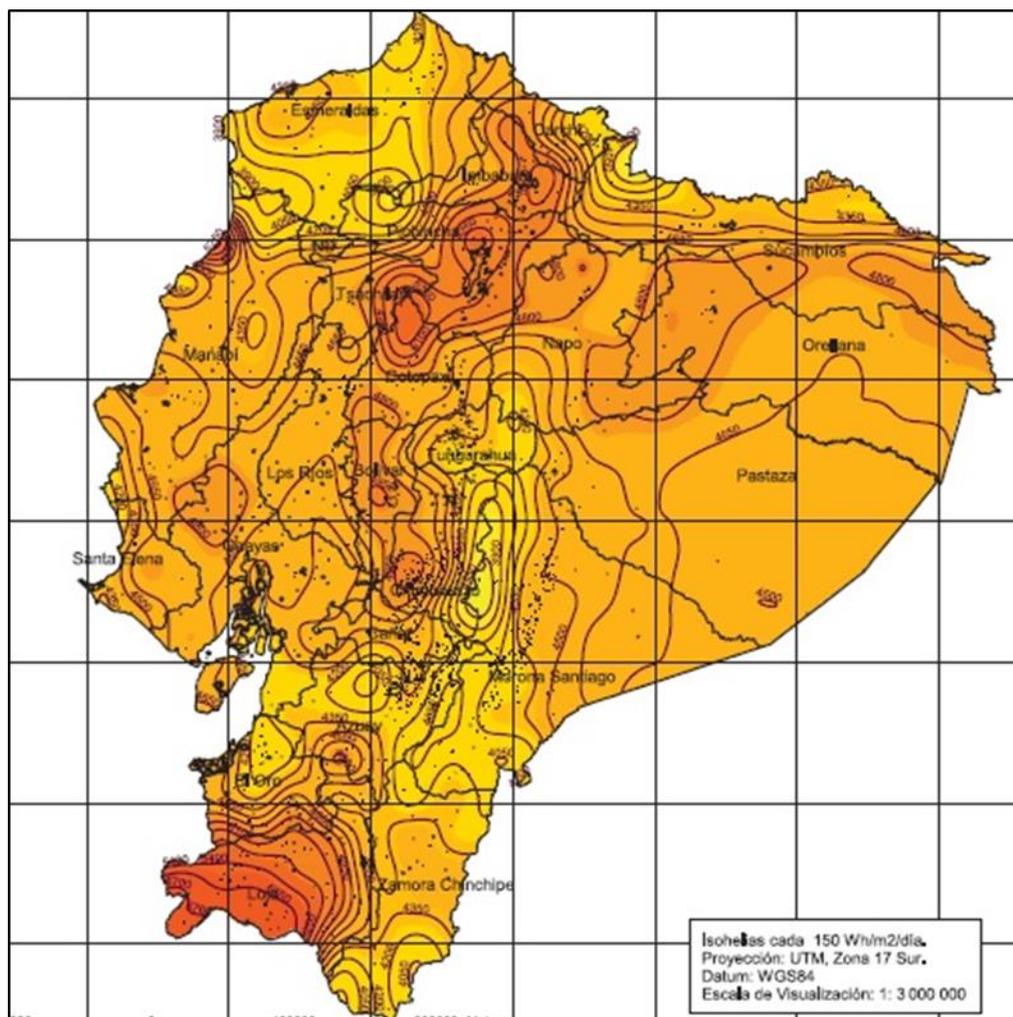
La irradiancia es una medida de densidad de potencia la cual es expresada en  $W/m^2$ , esta medida aumentara conforme pasen las horas del día hasta las 12:00 PM y empezar a decaer o disminuir a 0 al llegar la noche. La curva de irradiancia diaria dependerá de las condiciones climáticas de la zona y del dia.

La irradiación es la integración de la irradiancia en el tiempo y sus unidades están expresadas en  $Wh/m^2$  y es una medida de densidad de energía, existen dos maneras de poder obtener la irradiación y es a través de la insolación y las horas solares pico.

Las horas solares pico se obtiene del producto de la cantidad de horas con una hipotética irradiancia constante equivalente a 1000W/m<sup>2</sup> por el mismo.

La insolación determina la cantidad de kWh/m<sup>2</sup> en un día.

En la figura 2.6 se puede observar la radiación total anual de Ecuador, según el CONELEC:



**Figura 2.5 Insolación total anual de Ecuador [11]**

Para determinar la cantidad de energía que almacena un panel se utiliza la siguiente fórmula:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{I_{STC}} \quad (2.1)$$

Donde:

$E_p$  = Energía del panel (Wph/día).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  = Valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, el parámetro  $\alpha$  representa el azimut y el  $\beta$  la inclinación del panel. (kWh/m<sup>2</sup> día)

$P_{mp}$  = Potencia pico del panel (Wp)

$PR$  = Performance ratio, es un valor de la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo donde se tienen en cuenta:

- La dependencia de la eficiencia con la temperatura
- La eficiencia del cableado
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto máximo de potencia
- La eficiencia energética del inversor

$I_{stc}$  = 1 kW/m<sup>2</sup>, Irradiancia en condiciones estándares.

## 2.5 Paneles solares fotovoltaicos

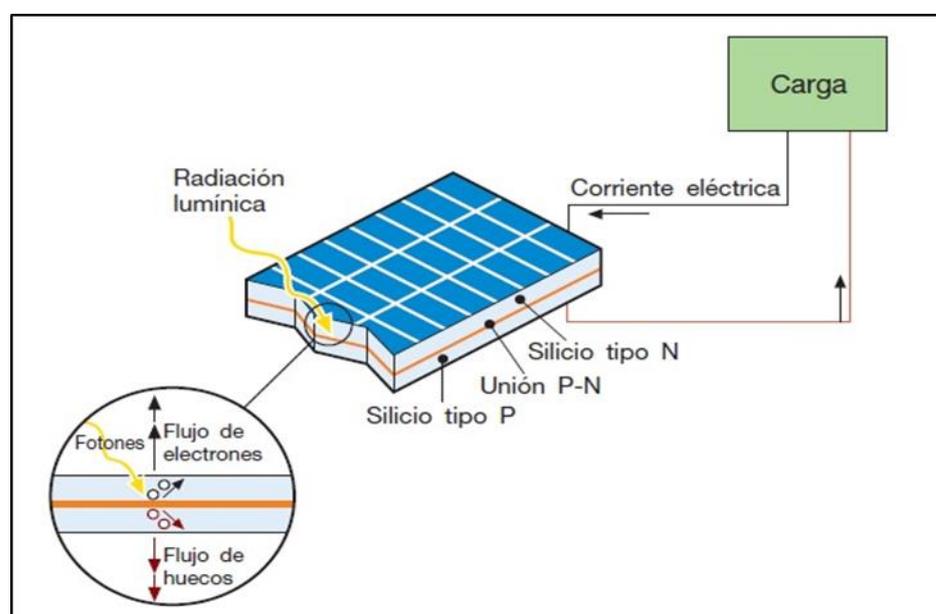
La energía eléctrica generada a partir de la luz del sol o energía solar fotovoltaica ahora representa el pilar de una nueva industria respetuosa con el medio ambiente y de carácter universal. Están hechos de silicio, que es un elemento abundante en el planeta tierra, después del oxígeno. Para poder entender la producción de energía eléctrica a través de estos paneles, es necesario entender el efecto fotovoltaico.

### 2.5.1 Efecto Fotovoltaico

El funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos se apoya primeramente del material del cual está hecho; el silicio, que puede ser encontrado en la arena. El silicio tiene una propiedad indispensable para este efecto, es el semi-conductor comúnmente más usado. Pero para usarlo emplearlo adecuadamente es necesario “dopar” el silicio en dos

capas separadas por una unión de NP; esta operación que tiene como objetivo final tener un exceso de electrones por un lado (la capa expuesta a la luz y agregada de fosforo) y un déficit de electrones por el otro (es agregado de boro).

Cuando la luz del sol en formas de partículas de luz o también llamados fotones incide sobre el lado negativo (exceso de electrones) golpeando sus átomos y liberando electrones a los paneles se los conectan con equipos que se encarguen de consumir o almacenar esa energía dependiendo del tipo de sistema que se ha empleado. [12] En la figura 2.7 se muestra las capas de una celda solar fotovoltaica:



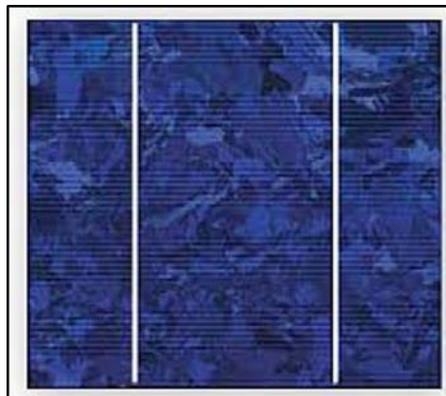
**Figura 2.6 Funcionamiento de una célula fotovoltaica [12]**

### 2.5.2 Clasificación de celdas solares fotovoltaicas y fabricación

Hoy en día existe una amplia variedad de tecnologías para la generación de energía eléctrica fotovoltaica, la más representativa es la cristalina con sus dos tipologías: mono y poli cristalina que solo difieren en el proceso de fabricación, además la amorfa.

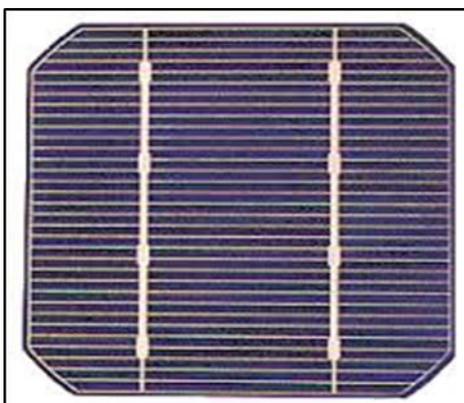
**Silicio Policristalino.-** esta difiere en el proceso de cristalización de los lingotes, las direcciones de alineación de los cristales de silicio van

cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición del silicio sobre el sustrato.



**Figura 2.7 Célula Policristalino [12]**

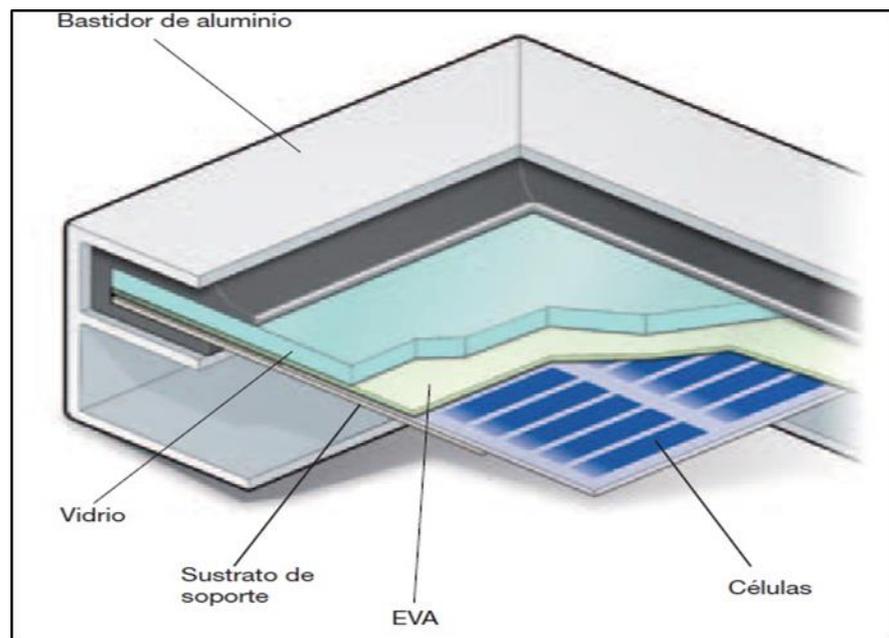
**Silicio Monocristalino.-** es caracterizado por una disposición ordenada y periódica de átomos de forma, que solo tiene una única orientación cristalina; es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente.



**Figura 2.8 Célula Monocristalino [12]**

**Elaboración.-** Para su fabricación de un panel solar cristalino, se conectan varios de los módulos o celdas con un fundente para soldaduras, el alambre soldado se calienta con un soldador. Seguido de una limpieza por ultrasonido sumergidos en agua a 60°C; una vez secos y perfectamente limpios, las células están listas para ser modificadas y soldarse células entre si según el arreglo deseado. Luego se verifica el voltaje en cada sección, a continuación se coloca una lámina de cristal

estratificado y esa será la base rígida y transparente que sujetara los módulos, la rigidez de la base se la refuerza con una plancha laminada y finalmente se coloca una película de sellado como protección. Todo esto se coloca en un horno sellado herméticamente, durante 15 minutos a 85°C para adherir todos los componentes. [12] Tal como se muestra en la siguiente figura 2.9:



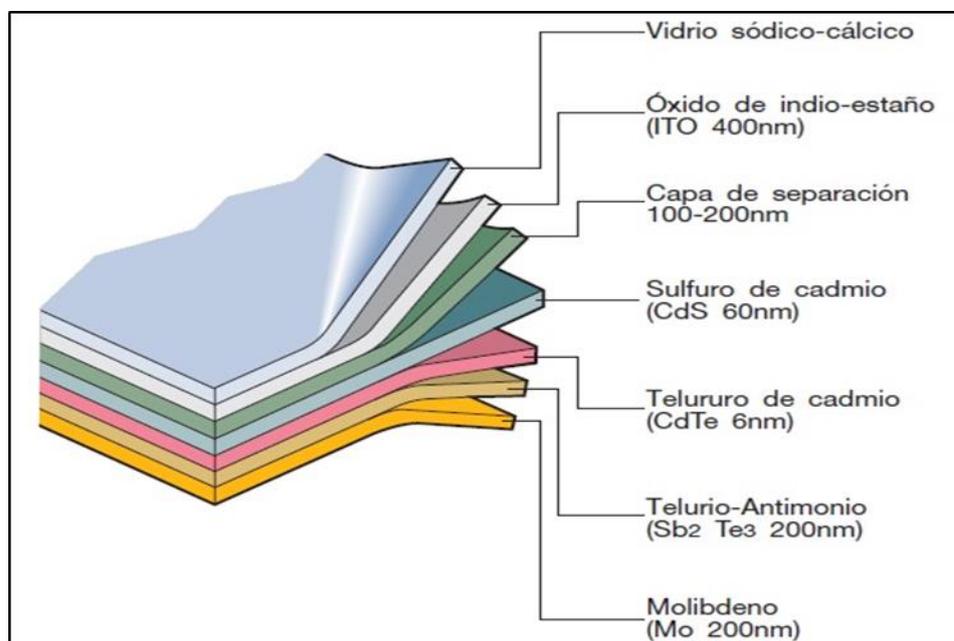
**Figura 2.9 Fabricación de celular cristalinas [12]**

**Silicio Amorfo.-** es un tipo de tecnología de capa fina y son los más económicos, puesto que en su fabricación se utilizan sustratos de bajo costo y contienen menos del 1% de la materia prima, el silicio.



**Figura 2.10 Célula silicio amorfo [12]**

**Fabricación.-** Durante la fabricación de células de silicio amorfo, una composición de gases incluyendo silano se calienta en vacío a 310°C, una vez alcanzado el estado de plasma se crea un campo electromagnético y los iones se depositan sobre un sustrato formando una lámina muy delgada. Tienen el mejor comportamiento considerando condiciones meteorológicas adversas y con la radiación difusa, responden mejor frente a temperaturas altas.



**Figura 2.11 Fabricación de panel de silicio amorfo [12]**

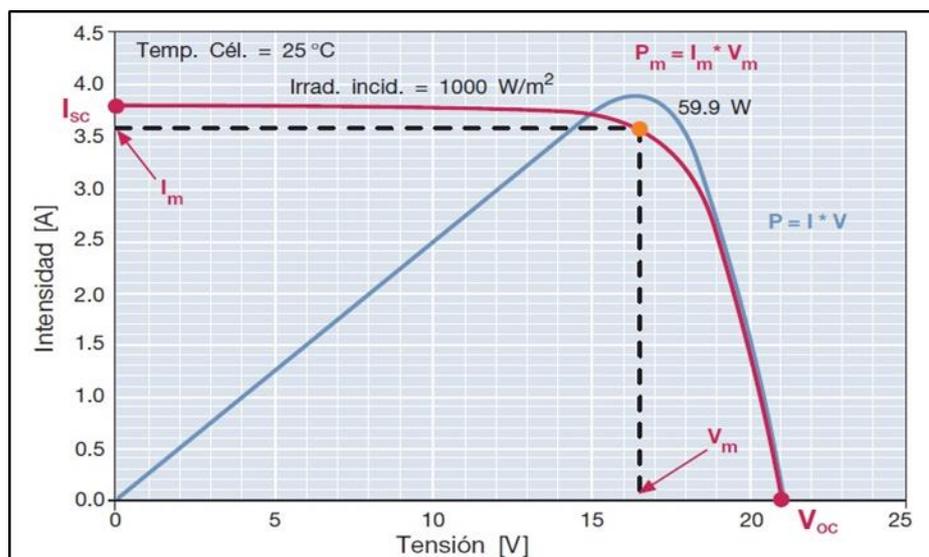
Existen diversos tipos de fabricantes para los diferentes tipos de celulares solares fotovoltaicas, para poder determinar el más óptimo es necesario compararlos bajo condiciones estándares de pruebas, comúnmente llamados STC, los cuales son las siguientes:

- Irradiación equivalente a  $1000\text{W}/\text{m}^2$ .
- Masa de aire equivalente a 1.5 AM.
- Temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

El objetivo de realizar este test es para obtener datos del panel, los más relevantes son los siguientes:

- $I_{sc}$ = Corriente de cortocircuito.
- $V_{\infty}$ =Voltaje sin carga.
- $P_m$ =Potencia máxima producida en la prueba STC.
- $I_m$ = Corriente producida para la potencia máxima.
- $V_m$ = Voltaje para la máxima potencia.
- FF=Factor de llenado, parámetro que determina la forma de la curva característica V-I del panel e indica la relación entre la potencia máxima y el producto del voltaje y corriente del mismo.

La curva característica del panel luego de realizar el test se bosqueja en la figura 2.12:



**Figura 2.12 Curva característica del panel solar [12]**

Solo de esa manera se podrá diferir entre un panel y otro, siempre y cuando tengan la misma potencia. Las especificaciones del panel se encuentran en el mismo y si bien es cierto son casi similares, ningún panel es exactamente igual a otro.

### 2.5.3 Separación entre paneles solares y estructura de soporta

La separación de los paneles solares tiene como función optimizar el espacio en donde serán ubicados para que al mediodía solar del día más desfavorable, la sombra de la arista superior de una fila ha de proyectarse, como máximo, sobre la cresta inferior siguiente.

Se debe tener en cuenta de los siguientes datos tanto del lugar como de las características geométricas del panel a instalarse:

$$H_{\min} = 90^\circ - (\text{Latitud del lugar}) - 23.5^\circ$$

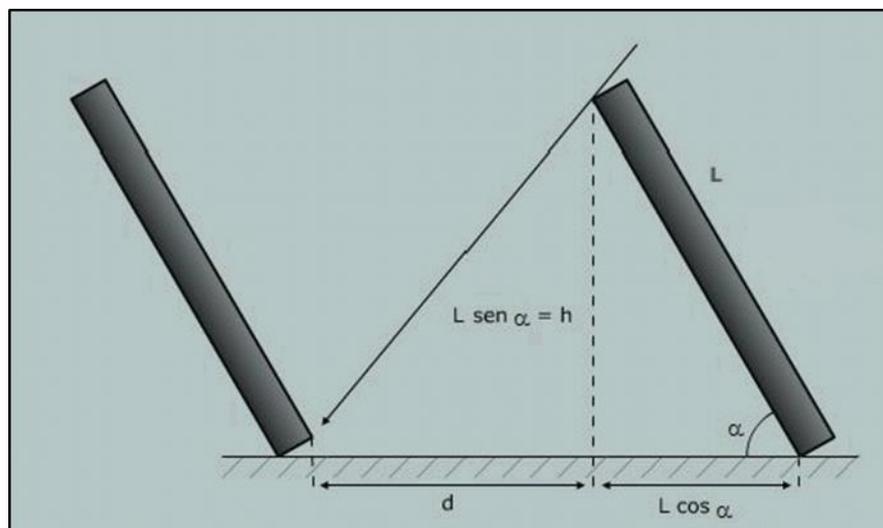
$L$  = Longitud del módulo.

$\alpha$  = Angulo de inclinación del panel.

Para determinar la mínima distancia requerida para optimizar el espacio aplicaremos la siguiente formula:

$$d = L \left( \frac{\text{Sen}\alpha}{\text{TanHmin}} + \text{Cos}\alpha \right) \quad (2.2)$$

Tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2.13 Distancia de separación de módulos**

En cuanto al apartado de las estructuras que se encargaran de soportar los módulos se debe tener en cuenta que estos deberán soportar condiciones climáticas adversas como: fuertes lluvias, vientos intensos, etc.

El soporte tanto delantero como trasero que montara en la celda es un conjunto de estructuras de metal llamadas “patas”, perfiles, bisagras, bases, abrazaderas, tornillos, arandelas, tuercas.

## 2.6 Sistema Fotovoltaico conectado a una red eléctrica

Este sistema consiste en suministrar energía eléctrica a la red centralizada convencional con el fin de venderla. Un sistema fotovoltaico conectado a la red es un tipo de instalación en la que intervienen tres elementos indispensables: paneles fotovoltaicos, el inversor y una cercana línea eléctrica de la red.

El generador eléctrico fotovoltaico (conformado por los paneles solares) está conectado a la red eléctrica convencional a través del inversor, inyectando la energía producida en esta.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red funcionan en paralelo a la misma red y su producción de energía limpia cumple con todas las características que de voltaje y frecuencia que demanda la empresa distribuidora convencional, aquello se debe al inversor.

Una instalación fotovoltaica de venta de energía a la red se puede amortizar en un periodo que comprende los 5 a 10 años, eso dependerá de las financiaciones, de las ayudas económicas, del precio de la energía y sobre todo de la ubicación del sistema.

Actualmente el precio de la instalación de potencia está costando entre 6400 a 7500 dólares por kWp y su producción de energía para esta misma unidad de potencia esta entre 1000 a 1300 kWh según este situada el sistema.

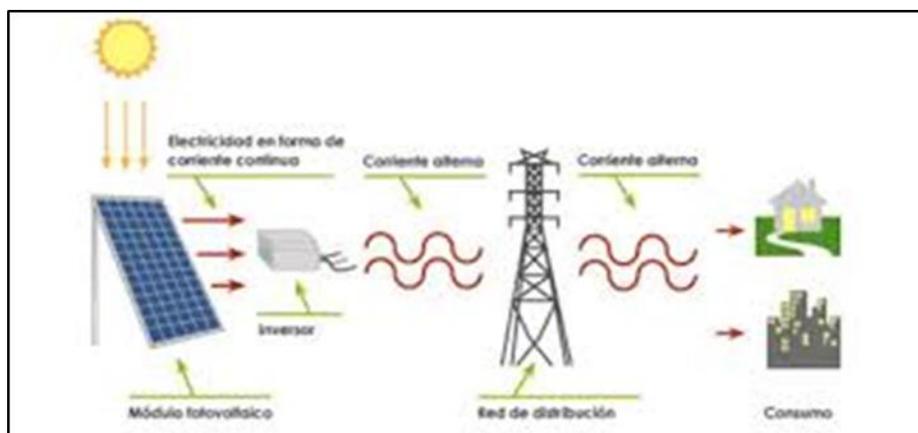
La diferencia del sistema fotovoltaico autónomo con respecto al conectado a la red es que este no cuenta con un subsistema de acumulación de energía que está conformado por la batería y el regulador de carga. Además que en las grandes plantas fotovoltaicas están ubicadas sobre predios que solo son usados con el propósito de generar energía en orden de los MWp, mas no pueden integrarse en la cubierta de un edificio, tejado u otro soporte artificial.

En un sistema fotovoltaico siempre se cumple que un 45% de la inversión se precisara para la adquisición de módulos, 40% de instalación y balance del sistema y un 15% por el costo del inversor. La distribución de fallas de un sistema fotovoltaico conectado a la red se reparte de la siguiente manera: un 67% falta el inversor, un 29% condiciones climáticas de instalación y demás, y un 4% por fallas de los paneles. [4]

Para realizar la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red se debe tener en cuenta las siguientes implicaciones técnicas:

- Distorsión Armónica.
- Factor de Potencia.
- Fluctuación de voltaje.
- Respuesta a situaciones de falla o mantenimiento.

En la siguiente figura se puede observar los componentes más importantes de un sistema fotovoltaico conectado a una red de distribución.



**Figura 2.14 Sistema Fotovoltaico conectado a la red eléctrica**

## CAPÍTULO 3

### 3. DESARROLLO DEL DISEÑO

#### 3.1 Ubicación del proyecto y funcionalidad

Este proyecto pretende suplir las necesidades energéticas a futuro de una alimentadora de distribución a 13,8 kV la cual está situada en la ciudad de Guayaquil, previo al diseño del sistema fotovoltaico se realizó un estudio de proyección de carga de la alimentadora “SANTA ANA 1” de la subestación SANTA ANA.

El predio escogido se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas junto a la subestación de distribución SANTA ANA, la misma que abastece una zona comercial y residencial en plenas vías de desarrollo.



**Figura 3.1 Ubicación del predio**

Más detalles de la ubicación del predio se pueden denotar en la tabla 3.1:

<b>Datos de Ubicación del proyecto</b>	
Dirección	Vía salida del Túnel este del Cerro Santa Ana
Ciudad	Guayaquil
Provincia	Guayas
País	Ecuador
Coordenadas UTM	17M( huso) 624795,48 m E 9759211,62 m S
Grados decimales	Latitud -2,17° Longitud -79,87°
Grados, minutos y segundos	2°10'40,97" S 79°52'40,01" O
Hemisferio	Sur
Altura sobre el nivel del mar	10 m

**Tabla 3.1 Ubicación del predio**

### 3.2 Irradiación del predio

Para determinar la irradiancia e irradiación directa, difusa y global que indican en el predio donde se encuentra el sistema fotovoltaico se elegirá un promedio de 3 bases de datos distintas que son los resultados de software meteorológicos mencionados a continuación:

- NASA-SSE
- Meteonorm 7.1

El objetivo es determinar la energía solar disponible, para ingresar al software (PVsyst en su versión V3.6.9) que simulara las condiciones de sitio para obtener la energía útil; es decir, la producción energética anual de los paneles solares fotovoltaicos.

**Datos Meteorológicos de la NASA-** según los datos de la NASA, la irradiación estimada mensual se la presenta en la tabla 3.2:

	Irrad. Global [ $kWh/m^2 \times mes$ ]	Irrad. Difusa [ $kWh/m^2 \times mes$ ]
<b>Enero</b>	139,2	68,2
<b>Febrero</b>	128,5	64,7
<b>Marzo</b>	156,2	72,2
<b>Abril</b>	147,3	64,2
<b>Mayo</b>	139,8	60,8
<b>Junio</b>	125,4	56,1
<b>Julio</b>	124,3	59,8
<b>Agosto</b>	139,5	64,2
<b>Septiembre</b>	142,2	67,5
<b>Octubre</b>	139,8	71,3
<b>Noviembre</b>	141,6	66,0
<b>Diciembre</b>	146,0	66,7
<b>Total</b>	1669,9	781,6

**Tabla 3.2 Radiación estimada por la NASA-SEE**

**Datos meteorológicos de la Meteonorm 7.1.-** según los datos de la Meteonorm 7.1, la irradiación estimada mensual se la presenta en la tabla 3.3:

	Irrad. Global [ $kWh/m^2 \times mes$ ]	Irrad. Difusa [ $kWh/m^2 \times mes$ ]
<b>Enero</b>	138,6	79,0
<b>Febrero</b>	141,7	85,5
<b>Marzo</b>	167,4	90,6
<b>Abril</b>	149,9	80,7
<b>Mayo</b>	148,8	77,3
<b>Junio</b>	132,1	71,3
<b>Julio</b>	121,7	65,5
<b>Agosto</b>	127,7	75,8
<b>Septiembre</b>	156,5	79,1
<b>Octubre</b>	155,5	80,9
<b>Noviembre</b>	136,1	77,6
<b>Diciembre</b>	142,7	82,0
<b>Total</b>	1718,7	945,3

**Tabla 3.3 Radiación estimada por la Meteonorm 7.1**

### 3.3 Panel solar fotovoltaico

Para el diseño de la planta se utilizara paneles policristalinos de marca Yingli Solar, modelo YL240-29b, en la siguiente figura se muestran en cuadros las especificaciones técnicas del fabricante luego de realizar las pruebas STC.

Parámetros eléctricos para STC							
Tipo de Módulo	YLxxxP-29b (xxx=P <sub>max</sub> )						
Potencia de salida	P <sub>max</sub>	W	260	255	250	245	240
Tolerancia	ΔP <sub>max</sub>	W	0 / +5				
Eficiencia del módulo	η <sub>m</sub>	%	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7
Tensión en P <sub>max</sub>	V <sub>mpp</sub>	V	30,3	30,0	29,8	29,6	29,3
Intensidad en P <sub>max</sub>	I <sub>mpp</sub>	A	8,59	8,49	8,39	8,28	8,18
Tensión en circuito abierto	V <sub>oc</sub>	V	37,7	37,7	37,6	37,5	37,5
Intesidad en cortocircuito	I <sub>sc</sub>	A	9,09	9,01	8,92	8,83	8,75

STC: 1000 W/m<sup>2</sup> Irradiancia, 25°C Tmódulo, AM1,5 distribución espectral según EN 60904-3  
Reducción media de la eficiencia relativa de 5% a 200 W/m<sup>2</sup> según EN 60904-1

**Figura 3.2 Parámetros eléctricos en condiciones STC [13]**

Las características térmicas, de los paneles son necesarias para obtener la cantidad de paneles en serie y paralelo (strings). A continuación en la figura 3.3 se detallan los diferentes coeficientes que el fabricante ha obtenido para condiciones de operación nominales de la zona.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS			
Temperatura de Operación Nominal de la Célula	TONC	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P <sub>max</sub>	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V <sub>oc</sub>	β <sub>Voc</sub>	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I <sub>sc</sub>	α <sub>Isc</sub>	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para v <sub>mpp</sub>	β <sub>Vmpp</sub>	%/°C	-0,42

**Figura 3.3 Características terminas en condiciones de TONC [13]**

Además, se precisa de conocer las condiciones de operación del panel para establecer límites que serán indispensables a la hora de calcular perdidas, cálculos de máxima carga estática o impacto por granizo. En la figura 3.4 se muestra a continuación:

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Máxima tensión del sistema	1000V <sub>DC</sub>
Valor máximo del fusible en serie	15A
Limitación de corriente inversa	15A
Rango de temperaturas de funcionamiento	-40°C hasta 85°C
Máxima carga estática frontal (nieve)	5400Pa
Máxima carga estática posterior (viento)	2400Pa
Max. impacto por granizo (diámetro / velocidad)	25mm / 23m/s

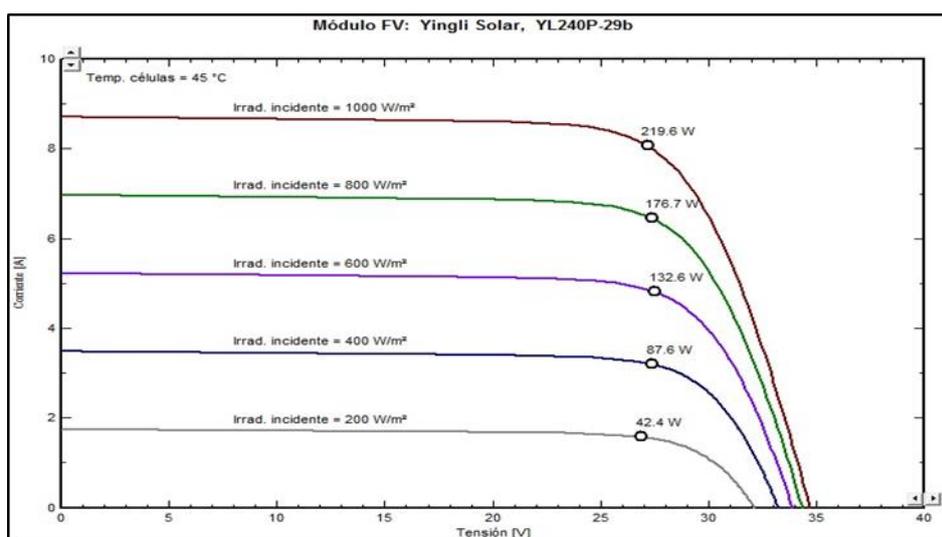
**Figura 3.4 Condiciones de operación del panel solar [13]**

Las dimensiones del panel solar fotovoltaico son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Dimensiones (longitud / anchura / profundidad)	1650mm / 990mm / 40mm
Peso	18,5kg

**Figura 3.5 Características generales del panel [13]**

Según el software PVsyst las características, el comportamiento del módulo según la irradiancia incidente para este modelo es el siguiente:



**Figura 3.6 Curva I-V del panel implementado según su irradiancia**

### 3.4 Selección del inversor

Se ha seleccionado un inversor Outdoor de 5 módulos de 200 KVA de Power Electronics de tipo HEC, este inversor es refrigerado por aire forzado y es ideal para cubrir instalaciones fotovoltaicas de mediana escala. En edificio técnico está integrado de las protecciones DC y AC.



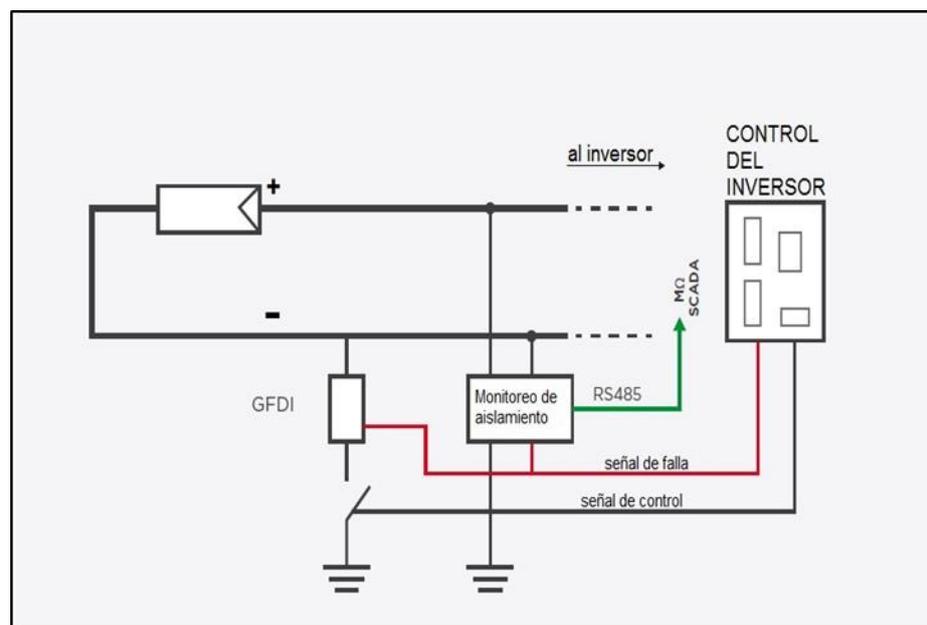
**Figura 3.7 Modulo de Inversores [14]**

Los 5 módulos tienen una equivalente potencia de 1 MVA, contando con 5 inversores de 200 KVA que garantizaran más confiabilidad en la operación de la planta si uno o varios paneles comprometieran sus funciones objetivos. De esta manera aseguramos una producción más versátil y viable de la planta. El conjunto de módulos trabajan simultáneamente sin importar que uno de ellos deje de operar debido a un mantenimiento o falla, tienen las siguientes características mostradas en la tabla 3.4:

<b>CARACTERISTICAS DEL INVERSOR</b>	
<b>Potencia Nominal</b>	1000 KVA
<b>Voltaje de salida Nominal</b>	400 V
<b>Módulos</b>	5 de 200 KVA
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Voltaje de máximo de entrada</b>	1000 VDC
<b>Seccionador AC</b>	2500 A
<b>Dimensiones</b>	3900X1050X2400
<b>Voltaje de MPPT</b>	566-900 VDC
<b>Protección</b>	IP54
<b>Peso</b>	3540 Kg
<b>Protección para fallas a tierra</b>	Para cada modulo
<b>Máximo Consumo de Energía</b>	2300 W
<b>Distorsión Armónica de Corriente</b>	3%
<b>Polo Negativo</b>	Conectado a tierra

**Tabla 3.4 Característica del Inversor [14]**

En condiciones normales, el inversor ejecuta su polo negativo conectado a la tierra, y este está conectado al interruptor detector a fallas a tierra de los paneles solares garantizando la seguridad del operador dentro de las actividades de servicios de operación y mantenimiento. Todo esto es debido al dispositivo encargado del monitoreo del aislamiento, un esquema acerca como va integrado este conjunto de protección al sistema fotovoltaico se puede apreciar en la figura 3.8:



**Figura 3.8 Esquema de protección de paneles [14]**

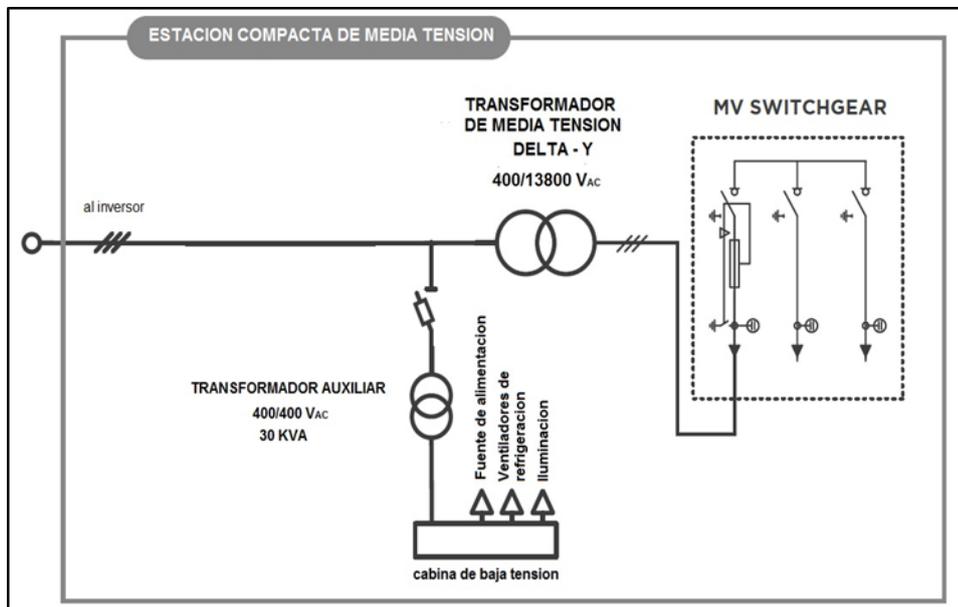
### 3.5 Estación compacta de Media Tensión

Fabricada de Hormigón, es ideal para plantas fotovoltaicas de mediana a gran escala. Está preparada para conectar a la red de media tensión 1 o 2 inversores HEC, está equipado con un transformador de aceite y celdas de media tensión compactas de SF6. Las características de la estación se detallan en la tabla 3.5;

<b>Características de la Estación compacta de Media Tensión</b>	
<b>Voltaje de Entrada</b>	400 VAC
<b>Numero de inversores conectados</b>	2
<b>Voltaje de Salida</b>	13,2 – 13,8 kV
<b>Transformador de potencia</b>	1100 KVA
<b>Configuración del Transformador</b>	Delta – Y
<b>Dimensiones</b>	4589X3200X2500
<b>Peso</b>	22 Toneladas

**Tabla 3.5 Característica del Estación [14]**

Además, la estación viene equipada con un transformador de 30 KVA. El Diagrama de conexiones se muestra a continuación;



**Figura 3.9 Diagrama de conexión de la Estación compacta [14]**

### 3.6 Supervisor de paneles en serie

El supervisor de paneles en serie o string box tiene como objetivo principal notificar las corrientes de cada sección de paneles en serie para determinar que cadena de paneles solares esta averiada o presento un fallo en caso de que esto ocurra. El string box que se usara en el diseño permite monitorear 24 secciones de paneles el cual esta comunicado con un puerto de comunicación RS485 mencionado en la figura 3.8. También permite proteger la línea de cualquier falla, tanto en el polo positivo como en el negativo, este equipo integra una tarjeta de control, un switch disyuntor, entradas de los dos polos y sus respectivos fusibles, todo esto con un breaker para la tarjeta del circuito de potencia.

A continuación se presenta una figura del equipo antes mencionado:



**Figura 3.10 String box del diseño [14]**

### **3.7 Calculo de paneles en serie y paralelo**

Para determinar la configuración de nuestro arreglo según los equipos escogidos anteriormente, es necesario tener en cuenta los valores (tensión, temperatura, corriente) en condiciones estándares y en condiciones de operación normal.

#### **Datos de los paneles:**

VMP=29,8 V (Voltaje en el punto de máxima potencia)

AMP=8,39 A (Corriente en el punto de máxima potencia)

TSTC=25° C (Temperatura en condiciones estándar)

TTONC=46° C (Temperatura en condiciones de operación)

BMP=-0.45 %/°C (Coeficiente de temperatura para máxima potencia)

VCA =37.6 V (Voltaje en circuito abierto)

BCA=-0.3 %/°C (Coeficiente de temperatura para circuito abierto)

**Datos del inversor:**

VDC= 1000 V (Voltaje máximo de entrada)

Numero de inversores=5

Rango de MPPT= 566 – 900 V

Coefficiente de temperatura = 0.06 %/°C

**3.7.1 Paneles en serie**

$$\frac{V_{max,mpv,inv}}{V_{mpv,panel}} = \frac{900V}{29.8V} = 30 \text{ paneles en serie} \quad (3.1)$$

**Verificación tensión máxima**

Caso más desfavorable: salida del sol, temperaturas mínimas y baja radiación

$$G = \text{Irradiancia} = 200 \text{ W/m}^2$$

Paneles en serie = 28

NOCT = 45°C

$T^A$  STC = 25°C

$T_{min} = 17,7^\circ\text{C}$

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - T_a^{STC}}{800} \times G \quad (3.2)$$

$$T_c = 17,7^\circ\text{C} + \frac{45^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{800 \text{ W/m}^2} \times 200 \text{ W/m}^2$$

$$T_c = 22,7^\circ\text{C}$$

**3.7.2 Número aproximado de paneles**

Potencia máxima de – 1000 kWp - Dato de potencia de la planta

Potencia nominal (Pmax)[W] – 240W – características modulo.

$$\frac{1000000 \text{ W}}{240 \text{ W}} = 4167 \text{ paneles} \quad (3.3)$$

**Caída de tensión por grado:**

$$V_{OC}(T_c) = V_{OC}(STC) + \frac{\beta \%}{100^\circ C} \times V_{OC}(STC) \times (T_c - T_{STC}) \quad (3.4)$$

Tensión de Circuito abierto ( $V_{OC}$ ) = 37,6V

Coeficiente de  $V_{OC}(\beta)$  = -0,3 %

$$V_{OC} = 37,6^\circ C + \frac{0,3 \%}{100^\circ C} \times 37,6^\circ C \times (22,7^\circ C - 25^\circ C) = 37,78 V$$

**Máximo paneles serie**

$$\frac{1000V}{37,78V} = 26 \quad (3.5)$$

$$N^\circ \text{ strings paralelo} = \frac{N \text{ paneles total}}{N \text{ paneles serie}} = \frac{4167}{26} = 160 \text{ Strings}$$

$$26 \text{ serie} \times 160 \text{ strings} = 4160 \text{ paneles}$$

$$4160 \times 240 \text{ Wp} = 998400 \text{ Wp} - \text{Potencia Pico Generador PGFV}$$

**3.7.3 Producción anual de energía**

Antes de comenzar con los cálculos de los paneles fotovoltaicos tenemos que tener los datos de radiación mensual en la ciudad de Guayaquil con un grado de inclinación de 10 grados.

Lat -2,156108 long -79,8997850	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación kWh/m <sup>2</sup> día (0°)	4,38	4,46	4,63	4,45	4,26	4,23	4,32	4,63	4,62	4,61	4,7	4,45
días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Radiación kWh/m <sup>2</sup> mes (0°)	135,78	124,88	143,53	133,5	132,06	126,9	133,92	143,53	138,6	142,91	141	137,95
k (10)	0,93	0,96	0,99	1,03	1,05	1,05	1,04	1,02	0,99	0,96	0,94	0,93
Radiación kWh/m <sup>2</sup> mes (10°)	126,28	119,88	142,09	137,51	138,66	133,25	139,28	146,40	137,21	137,19	132,54	128,29
Temperatura mínima	19,9	21,2	21,7	21,1	20	18,7	18,1	17,8	17,7	17,9	17,9	18,5
Radiación kWh/m <sup>2</sup> año (10°)	1618,59											

**Figura 3.11 Irradiación mensual durante el 2014 [11]**

$$E = P_{GFV} \times \frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} \times S \times PR \quad (3.6)$$

$$G_{dm}(\beta) = \sum_{n=1}^{12} kWh/m^2 \text{ Anual} \quad (3.7)$$

$$G_{dm}(\beta) = 1584,47 \text{ kWh}/m^2$$

$$I_{STC} = 1kWh/m^2$$

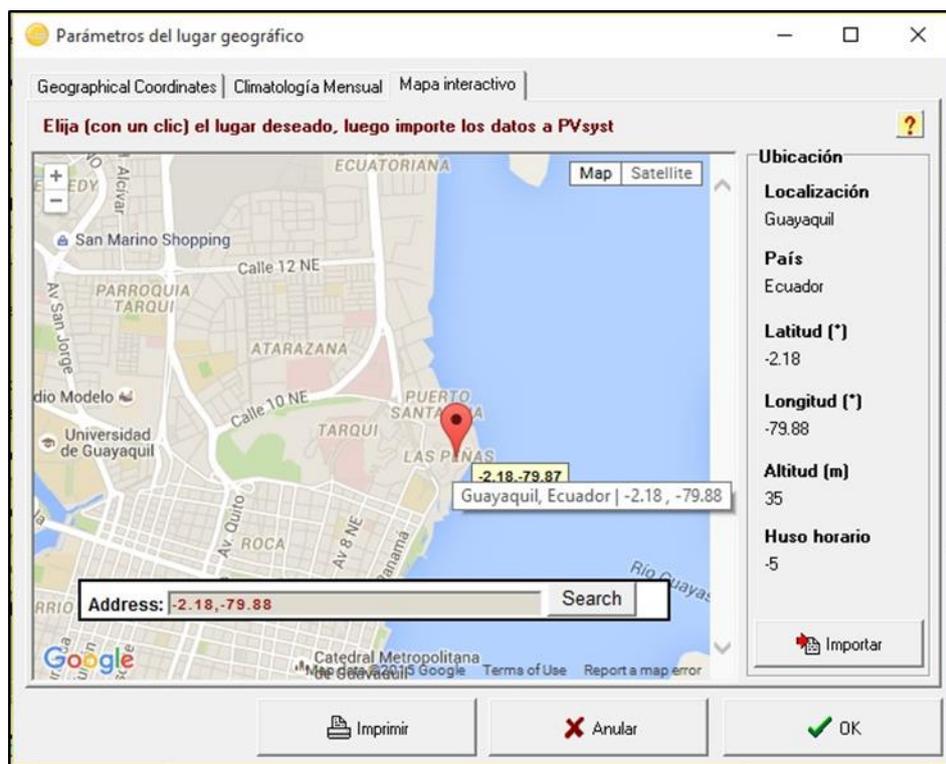
$$E = 998.4 \text{ kWp} \times \frac{1584,47 \text{ kWh}/m^2}{1 \text{ kWh}/m^2} \times 0,75$$

$$E = 1213.94 \text{ MWh Anual}$$

La producción energética será de 1214 MWh anual lo cual será aprovechado principalmente por las cargas ubicadas en Puerto Santa Ana.

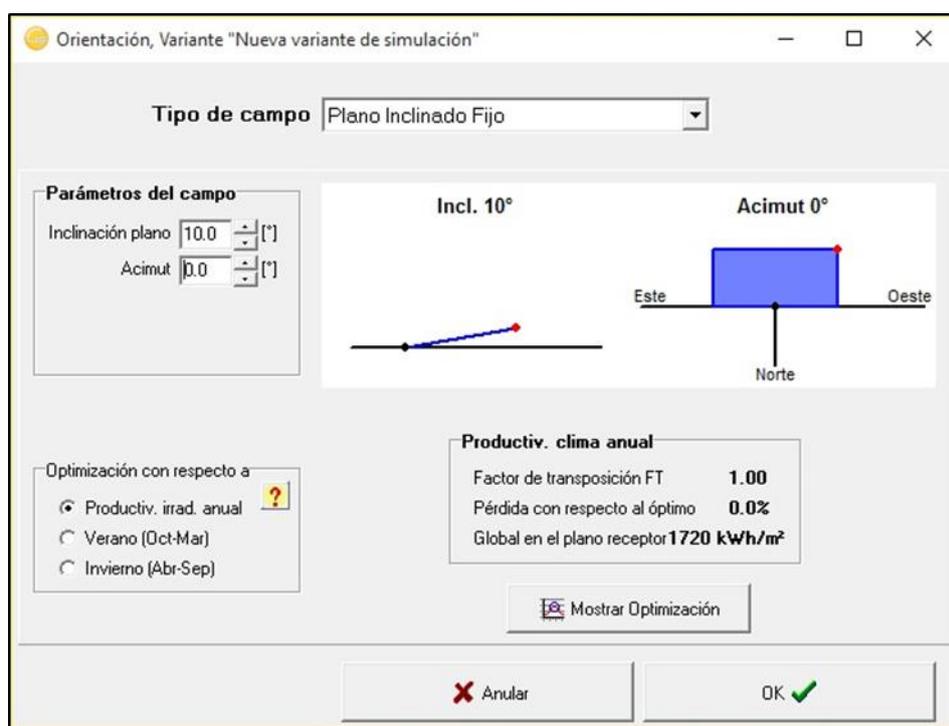
### 3.8 Simulación de la planta fotovoltaica en el programa PVsyst

En esta sección emplearemos la herramienta virtual de simulación PVsyst en su versión 3.6.9, en la siguiente figura se puede apreciar la configuración de los parámetros del lugar geográfico en un mapa interactivo con el fin de obtener la irradiación global, difusa, temperatura y velocidad del viento de una base de datos de la NASA.



**Figura 3.12 Configuración del lugar geográfico de la planta**

Luego de configurar la ubicación y meteorología de la planta, se debe configurar la orientación y el acimut de los paneles los cuales tendrán una inclinación de  $10^{\circ}$  y serán colocados en sentido de dirección al norte, tal cual se indica en la figura 3.13:



**Figura 3.13 Configuración de orientación e inclinación de los paneles**

En el siguiente paso, se muestra las configuraciones del sistema principal; es decir, las características de los paneles y de los inversores. PVsyst tiene una base de datos actualizada de paneles e inversores más comunes en el mercado, tal como se muestra en la figura 3.14. Aunque la configuración del arreglo difiere en 23 paneles en serie ubicados 174 veces en paralelo las dimensiones de números de inversores no es distinta a la de los cálculos teóricos.

Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"

**Configuración global sistema**

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

**Resumen sistema global**

N° de módulos	4002	Potencia nominal FV	1001 kWp
Superficie módulos	6498 m <sup>2</sup>	Potencia máxima FV	946 kWdc
N° de inversores	5	Potencia nominal CA	1000 kWac

---

Generador FV

**Sub-array name and Orientation**

Name: Generador FV

Orient: **Plano Inclinado Fijo**

Tilt: 10°  
Azimuth: 0°

**Ayuda al Dimensionado**

No Sizing Entrar Pnom deseada: 1000.0 kWp

... o superficie disponible: 6494 m<sup>2</sup>

---

**Selección del módulo FV**

Disponible actualmente: Lista módulos por  Potencia  Tecnología Módulos aprox. necesarios: 4000

Yingli Solar 250 Wp 25V Si-poly YL250P-29b Since 2015 Manufacturer 2C Abrir

Tensiones de dimensionado: 25.7 V  
Voc (-10°C): 42.1 V

Use Optimizer

---

**Selección del inversor**

Disponible actualmente: Lista inversores por  Potencia  Tensión (máx)

Power Electronics 200 kW 566 - 920 V 50/60Hz FreeSun FS0200 HE/HEC 400V Since 2010 Abrir

N° de inversores: 5 Tensión Funciona.: 566-920 V Pglobal inversor: 1000 kWac

Tensión máx de entrada: 1000 V

---

**Diseño del generador FV**

**N° de módulos y cadenas**

Mód. en serie: 23  única posibilidad 23

N° de cadenas: 174  única posibilidad 174

Perdida sobrecarg: 0.0 % Pérd. sobrecarg: ?

Relación Pnom: 1.00

**N° módulos: 4002 Superficie: 6498 m<sup>2</sup>**

**Cond. de funcionamiento**

Vmpp (60°C): 590 V  
Vmpp (20°C): 710 V  
Voc (-10°C): 969 V

Irradiancia plano: 1000 W/m<sup>2</sup>

Imp (STC): 1441 A  
Isc (STC): 1554 A  
Isc (en STC): 1538 A

Máx. en bases  STC

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m<sup>2</sup> y 50°C: 894 kW

**Potencia nom gener. (STC) 1001 kWp**

System summary Anular OK

**Figura 3.14 Configuración del sistema**

Debido a que el predio se encuentra en un lugar apartado de edificios que podrían reducir su eficiencia debido a las pérdidas por sombra, no se ha contemplado configurar la presencia de obstáculos en el programa.

Luego se procede a simular y los resultados se pueden observar y están divididos en características del sistema, resultados de energía producida y por último el diagrama de pérdidas que en las figuras 3.15, 3.16 y 3.17 respectivamente.

<b>Perfil obstáculos</b>	Sin perfil de obstáculos		
<b>Sombras cercanas</b>	Sin sombreado		
<b>Características generador FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>YL250P-29b</b>
<small>Original PVsyst database</small>		Fabricante	Yingli Solar
Número de módulos FV	En serie	23 módulos	En paralelo 174 cadenas
Nº total de módulos FV	Nº módulos	4002	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	<b>1001 kWp</b>	En cond. funciona. 894 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	621 V	I mpp 1441 A
Superficie total	Superficie módulos	<b>6498 m²</b>	Superf. célula 5842 m²
<b>Inversor</b>			
		Modelo	<b>FreeSun FS0200 HE/HEC 400V</b>
		Fabricante	Power Electronics
Características	Tensión Funciona.	566-920 V	Pnom unitaria 200 kWac
Banco de inversores	Nº de inversores	5 unidades	Potencia total 1000 kWac
<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	7.2 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC

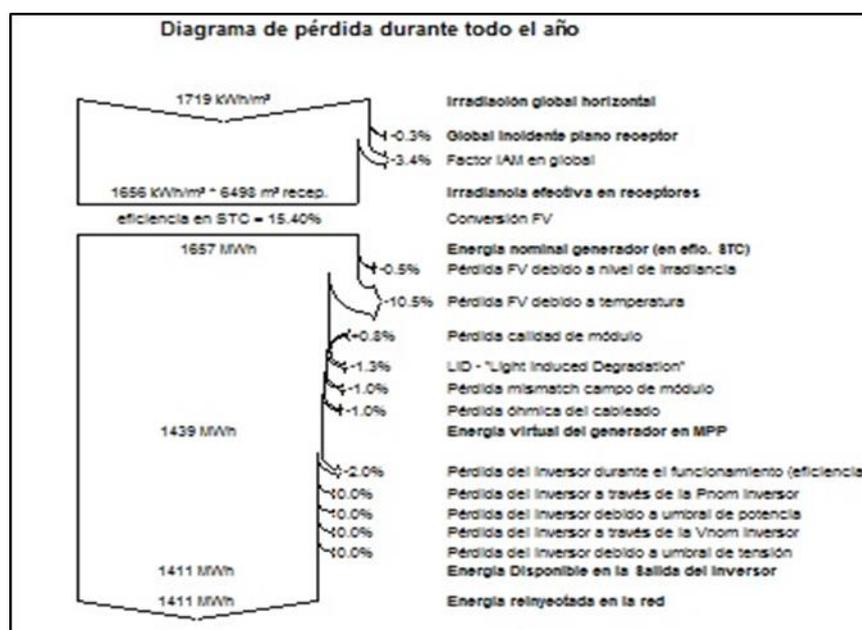
**Figura 3.15 Características del sistema simulado**

En este apartado, se puede apreciar que las características que fueron previamente seleccionadas en el programa. Con un total de 5 módulos inversores de 200 KVA de potencia nominal, en número total de strings y su configuración en serie.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales			
<b>Proyecto :</b>	<b>Proyecto Conectado a la Red at Guayaquil</b>		
<b>Variante de simulación :</b>	<b>Nueva variante de simulación</b>		
<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Conectado a la red</b>	
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	YL250P-29b	Pnom 250 Wp
Generador FV	Nº de módulos	4002	Pnom total <b>1001 kWp</b>
Inversor	Modelo	FreeSun FS0200 HE/HEC 400V	200 kW ac
Banco de inversores	Nº de unidades	5.0	Pnom total <b>1000 kW ac</b>
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		
<b>Resultados principales de la simulación</b>			
Producción del Sistema	Energía producida	<b>1411 MWh/año</b>	Produc. específico 1410 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	82.3 %	

**Figura 3.16 Resultado de energía producida y factor de rendimiento**

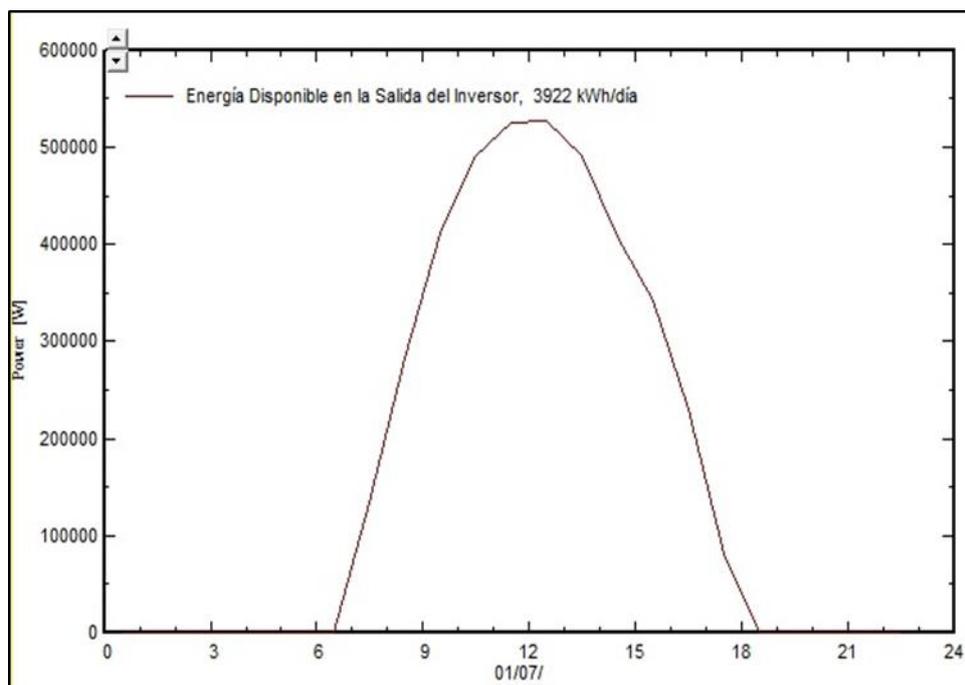
Los resultados son los esperados acorde al análisis teórico, con un porcentaje de rendimiento equivalente al 82,3% la planta de generación promete cumplir las expectativas, al menos en los primeros 10 años de vida útil.



**Figura 3.17 Pérdidas durante todo el año**

Se puede apreciar en la figura 2.17 el diagrama de pérdidas durante todo el año, en necesario recalcar que esto se cumplirá en los primeros años de la planta en operación, los porcentajes tienden a incrementarse debido a que los componentes disminuyen el rendimiento. Se puede controlar las pérdidas siempre y cuando se le realiza un adecuado mantenimiento predictivo.

Si bien es cierto, no todos los días la planta fotovoltaica entregara una constante energía porque eso depende de la irradiación de la zona según la fecha del año y el clima. Sin embargo, en promedio la planta genera 3900kWh/día, se ha escogido un día promedio (El 1 de Junio) tal como se muestra en la figura 3.18:



**Figura 3.18 Curva Potencia-Hora diaria promedio de la planta**

### 3.9 Viabilidad del proyecto

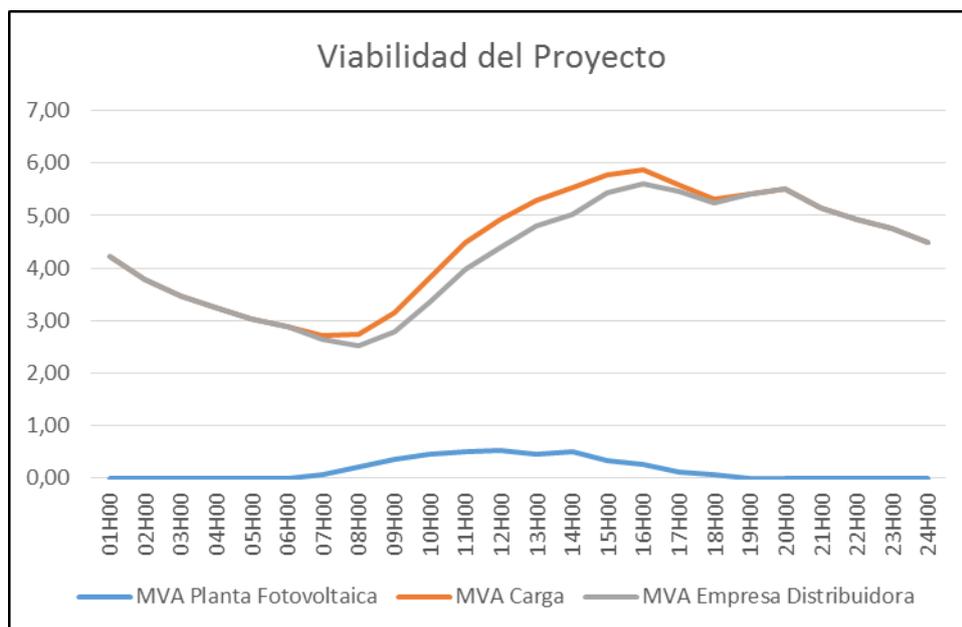
Este proyecto tiene como objetivo puntual satisfacer la demanda de la alimentadora de media tensión “Santa Ana 1” de la subestación de distribución “Subestación Santa Ana”. Por lo tanto se ha hecho un estudio de la demanda promedio de la zona que abastece la alimentadora en cuestión. A continuación en la tabla 3.6 se muestra la potencia suministrada cada hora por la planta fotovoltaica, la empresa distribuidora considerando la operación de la planta y la demanda de la carga.

<b>HORAS</b>	<b>MVA Planta</b>	<b>MVA Carga</b>	<b>MVA Empresa Distribuidora</b>
<b>01H00</b>	0,00	4,22	4,22
<b>02H00</b>	0,00	3,79	3,79
<b>03H00</b>	0,00	3,48	3,48
<b>04H00</b>	0,00	3,25	3,25
<b>05H00</b>	0,00	3,04	3,04
<b>06H00</b>	0,00	2,88	2,88
<b>07H00</b>	0,06	2,71	2,65
<b>08H00</b>	0,22	2,75	2,53
<b>09H00</b>	0,37	3,15	2,78
<b>10H00</b>	0,45	3,80	3,35
<b>11H00</b>	0,51	4,49	3,98
<b>12H00</b>	0,53	4,92	4,39
<b>13H00</b>	0,47	5,29	4,82
<b>14H00</b>	0,51	5,54	5,03
<b>15H00</b>	0,33	5,78	5,45
<b>16H00</b>	0,26	5,87	5,61
<b>17H00</b>	0,13	5,59	5,46
<b>18H00</b>	0,06	5,31	5,25
<b>19H00</b>	0,00	5,42	5,42
<b>20H00</b>	0,00	5,52	5,52
<b>21H00</b>	0,00	5,15	5,15
<b>22H00</b>	0,00	4,92	4,92
<b>23H00</b>	0,00	4,77	4,77
<b>24H00</b>	0,00	4,49	4,49
<b>Total</b>	<b>3,90</b>	<b>106,12</b>	<b>102,22</b>

**Tabla 3.5 Demanda promedio diaria**

La demanda de energía diaria de la carga es en promedio de 106 MWh/día, sin embargo la demanda promedio suministrada por la planta es de 3.9 MWh/día, por lo tanto la planta suplirá el 4% diariamente de la carga en promedio.

Es decir, el proyecto es viable debido a que el 100% de la energía producida por la planta será consumida. En el grafico 3.19 se bosqueja la representación de la planta en el sistema de media tensión.



**Figura 3.19 Curva diaria promedio de la planta en operación**

En la figura 3.19 se puede apreciar el comportamiento promedio de la planta de generación en la alimentadora de la subestación Santa Ana.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. ANALISIS ECONOMICO**

#### **4.1 Inversión de equipos y terreno de la planta**

No existen parámetros definidos al momento de determinar el monto que se debe cancelar por un terreno. El valor a pagar por un solar es muy variable dentro de la urbe y no se cuenta con un ente regulador que sugiera un rubro luego de un estudio técnico o al menos de una inspección del lugar.

Ante tal carencia las ofertas van en relación con las necesidades del comprador. Sus exigencias en cuanto a ubicación, tamaño y entorno serán al final lo que fije el valor del terreno, en este caso Puerto Santa Ana.

En la estimación del costo de inversión se contempla el envío, los costos administrativos y de alquiler de maquinaria que demandan el traslado de los equipos y materiales al predio.

Dentro de los costos de inversión se tiene la mano de obra que se precisara para realizar los trabajos de ingeniería civil, eléctrica y electro mecánica.

Dentro de la mano de obra para realizar los trabajos de ingeniería en electricidad se debe estimar el costo del cableado del arreglo de los paneles, las acometidas de corriente continua y alterna, así como empalmes si fueren necesarios.

Además, los valores que hemos estimado en equipos y estructuras han sido proporcionados por empresas que han realizado proyectos similares como EnergyFutur y ElectroEcuatoriana los cuales se detallan a continuación:

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>Predio</b>	Ubicada cerca de la SE Santa Ana	m <sup>2</sup>	7450	\$200	\$1490000
<b>Módulos</b>	Paneles solares Fotovoltaicos 250 W	WP	998400	\$0,74	\$738816
<b>Inversor</b>	Módulos de 200KWp HEC	uni	5	\$3500	\$17500
<b>Transformador</b>	Estación Compacta de Media tensión de 1100 KVA	uni	1	\$2300	\$2300
<b>Supervisor de Paneles</b>	monitoreo de 24 secciones de paneles	uni	7	\$1800	\$12600
<b>Estructura de soporte</b>	Costo de la estructura de soporte para paneles	WP	998400	\$0,2	\$199680
<b>Protecciones DC</b>	Cuadro de protecciones DC	UNI	1	\$8351	\$8351
<b>Puesta a tierra</b>	Varillas, material de mejoramiento, conductores y pararrayos	uni	1	\$6000	\$6000
<b>Transporte</b>	Costo de envío de equipos, herramientas y materiales al predio	uni	1	\$49505	\$49504,94
<b>TOTAL DE INVERSION</b>					<b>2'598.751</b>

**Tabla 4.1 Costo de inversión de equipos, predio y traslados de materiales [6]**

En la primera tabla del capítulo 4, se pueden apreciar los precios de los materiales de construcción para realizar las obras de ingenierías tradicionales.

Es importante realizar los estudios de suelo previo a la cotización de los materiales, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>Instalación de estructuras y paneles</b>	mano de obra del personal que montara los paneles en el predio	WP	998 400	\$0,0 2	19968
<b>Obras de Ingeniería Civil</b>	Adecuación al sitio para realizar los trabajos de mano de obra	m <sup>2</sup>	745 0	\$3	\$22350
	Propuestas y ejecución de cimentación directa, pilotes o pilas para soportar las estructuras metálicas	uni	165 0	\$18	\$29700
	Excavación de zanjas para realizar malla de puesta a tierra y colocación de varilla	m	180 0	\$12	\$21600
<b>Obras de Ingeniería Eléctrica</b>	Patio de reconectores	uni	1	\$50 00	\$5000
	Línea de acometida Corriente Continua de arreglos en paneles	m	900 0	\$1,8 5	\$16650
	Línea de acometida Corriente Continua a zona de monitoreo	m	180	\$3	\$540
	Línea de acometida Corriente Continua a inversores	m	600	\$7	\$4200
	línea de acometida Corriente Alterna	m	200	\$16 0	\$32000
	Labores de instalación de interconexión	uni	1	\$65 000	\$65000
	Iluminación	uni	1	\$45 00	\$4500
	Equipos de medición y montaje	uni	1	\$50 00	\$5000
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 226.508</b>

**Tabla 4.2 Costo de inversión de mano de obras de Ingeniería [6]**

#### 4.2 Inversión en dirección de obra

En este apartado se revisan los rubros de inversión que serán destinados a estudios que se requieren previo a la implementación de un proyecto de generación de energía eléctrica, según lo establecido en el artículo 15 del reglamento ambiental para actividades eléctricas del CONELEC [5].

En la siguiente tabla se detallan los costos de inversión en dirección de obra y gastos administrativos:

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Estudio de impacto ambiental Medio ambiental	Ingeniería Ambiental y topografía	uni	1	\$12000	\$12000
Fiscalización	Ingeniería Ambiental, Topografía, Eléctrica y Civil	uni	1	\$13000	\$13000
Dirección de obra	Ingeniería en Electricidad, Civil, Topografía	uni	1	\$15000	\$15000
Licencias	Permisos y otros requerimientos técnicos y ambientales	uni	1	\$10000	\$8000
<b>TOTAL</b>					\$50000

**Tabla 4.3 Costo de inversión de dirección de obra [6]**

### 4.3 Inversión inicial del proyecto

Para desarrollar el proyecto se ha elaborado un presupuesto detallado de adquisición de equipos y transporte al sitio de obra, mano de obra calificada y no calificada, compra del predio y adecuación del mismo, gastos administrativos y los respectivos permisos. En la tabla se detallan 4.4 se detalla a continuación de la ejecución de la obra exclusivamente para el terreno mencionado anteriormente en el capítulo 3:

<b>Inversión Inicial del Proyecto</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>
Costo de inversión de equipos, predio y traslados de materiales	\$ 2'598.751
Costo de inversión de mano de obras de Ingeniería	\$ 226.508
Costo de inversión de dirección de obra	\$ 50.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$2'875.259</b>
<b>Precio \$/WP</b>	<b>\$2,88</b>

**Tabla 4.4 Costo de inversión inicial [6]**

#### 4.4 Gastos generales mensuales

En el apartado de gastos que se precisan para poder mantener operativa la planta se estima gastos varios, administrativos y técnicos.

Dentro de los gastos administrativos se deben contemplar gastos de ingeniera y trabajadores, así como los beneficios que un trabajador cuenta. Para mantener operativa la planta será indispensable contar con un gerente y al menos 2 técnicos que se encarguen de las labores de mantenimiento preventivo y correctivo si fuere necesario.

Además, es necesario estimar costos en servicios básicos como Agua, electricidad y comunicación. Así como seguridad, limpieza, mantenimiento de equipos, asistencia médica.

En la tabla 4.5 se detallan los gastos mencionados anteriormente:

<b>Tipo</b>	<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>
<b>Agua</b>	\$ 35,00	\$ 420,00
<b>Electricidad</b>	\$ 20,00	\$ 240,00
<b>Comunicación</b>	\$ 40,00	\$ 480,00
<b>Seguridad</b>	\$ 750,00	\$ 9.000,00
<b>Asistencia Medica</b>	\$ 20,00	\$ 240,00
<b>Limpieza</b>	\$ 25,00	\$ 300,00
<b>Suministros de oficina</b>	\$ 50,00	\$ 600,00
<b>Sueldo de Gerencia + Beneficios</b>	\$2.000,00	\$24.000,00
<b>Sueldo de Técnicos + Beneficios</b>	\$1.600,00	\$19.200,00
<b>TOTAL</b>	\$4.540,00	\$54.480,00

**Tabla 4.5 Gastos administrativos y de ingeniería [6]**

#### 4.5 Ingresos del proyecto

Con la ayuda de la herramienta virtual PVsyst se determinó:

- La irradiación diaria promedio
- La energía diaria promedio
- La energía total mensual entregada a la red, considerando las pérdidas.
- El porcentaje de rendimiento

Estos datos son de gran ayuda a calcular la cantidad de energía que va a ser facturada anualmente y así pronosticar las ganancias dependiendo del precio del kWh.

En la tabla 4.6 se detalla la información mencionada anteriormente:

<b>Mes</b>	<b>Días</b>	<b>Irradiación promedio diaria (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Energía promedio Diaria (MWh/día)</b>	<b>PR (%)</b>	<b>Energía total mensual (MWh/mes)</b>
<b>Enero</b>	31	4,22	3,46	81,9%	107,16
<b>Febrero</b>	28	4,89	4	81,8%	111,924
<b>Marzo</b>	31	5,36	4,36	81,3%	135,198
<b>Abril</b>	30	5,1	4,16	81,5%	124,754
<b>Mayo</b>	31	5,05	4,14	82,1%	128,478
<b>Junio</b>	30	4,69	3,89	82,9%	116,845
<b>Julio</b>	31	4,09	3,42	83,5%	106,038
<b>Agosto</b>	31	4,23	3,52	83,1%	109,029
<b>Septiembre</b>	30	5,25	4,32	82,3%	129,669
<b>Octubre</b>	31	4,88	4,01	82,1%	124,308
<b>Noviembre</b>	30	4,31	3,59	83,1%	107,605
<b>Diciembre</b>	31	4,32	3,54	82,1%	109,903
<b>Total de energía producida anualmente (MWh)</b>					<b>1410,91</b>

**Tabla 4.6 Energía total producida**

#### **4.5.1 Precio de energía**

No desde hace mucho el CONELEC estableció una tarifa rentable con un margen de ganancia atractivo para inversionistas del mercado privado. Todo esto se dio debido a un fuerte impulso por parte del gobierno para implementar sistemas de generación distribuida usando recursos renovables no convencionales.

El precio de la energía estaba alrededor de los 0,40\$/kWh para proyectos puestos en operación hasta en diciembre del 2014 con una previa aprobación de construcción de la planta por el CONELEC, pero según la nueva regulación codificada No.CONELEC 001/13 aprobada el 13 de marzo del 2014. [16]

Según lo establecido en el Plan Nacional del Buen Vivir se determina un nueva tabla de valores para distintos tipos de generación detallados en la tabla 4.7:

<b>Centrales</b>	<b>Territorio Continental</b>	<b>Territorio Insular de Galápagos</b>
Eólicas	2,39	2,62
Fotovoltaicas	11,80	12,99
Solar Termoeléctrica	8,74	9,61
Corrientes Marinas	12,77	14,05
Biomasa y Biogás < 5 MW	2,86	3,5
Biomasa y Biogás > 5 MW	2,50	2,75
Geotérmicas	3,36	3,69

**Tabla 4.7 Pliego tarifario para fuentes de energía renovables [16]**

En el capítulo 1, se mostró un total de 72 proyectos de generación fotovoltaica equivalentes o menores a 1MWp, debido a esta regulación muchos proyectos, que estaban en trámite de obtener el certificación de calificación del CONELEC tuvieron que retirar la oferta de ejecución de obra, por este motivo tan solo 22 proyectos están operativos en la actualidad.

Debido a la dinámica modificación de precios es necesario realizar un estudio para pronosticar el valor del precio de la energía de la red y de generación de energía fotovoltaica según los datos obtenidos de los últimos 12 años.

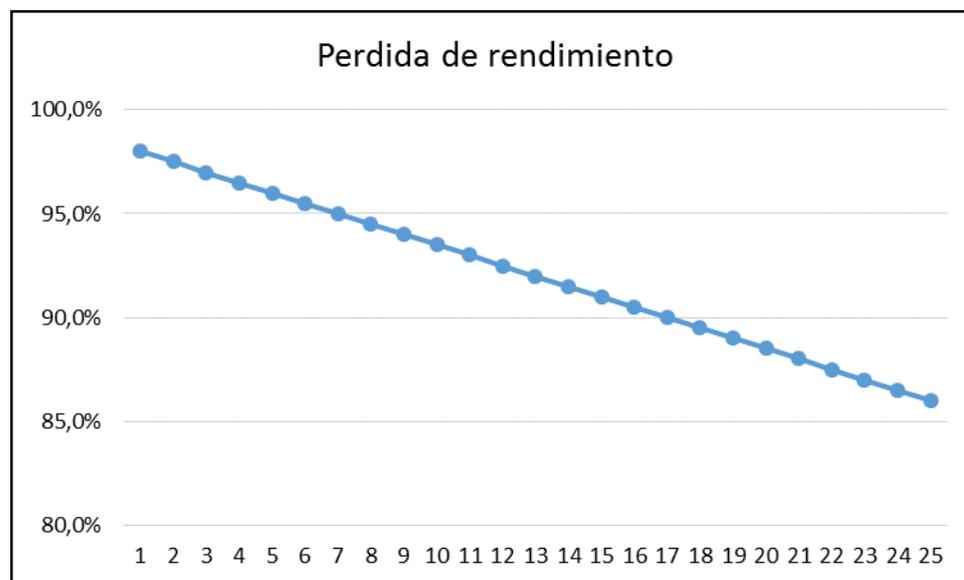
<b>Año</b>	<b>Valor de la energía de la red (\$/kWh)</b>	<b>Valor de la SFV (\$/kWh)</b>
<b>2002</b>	\$ 0,096	\$ -
<b>2003</b>	\$ 0,096	\$ -
<b>2004</b>	\$ 0,098	\$ -
<b>2005</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2006</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2007</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2008</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2009</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2010</b>	\$ 0,093	\$ -
<b>2011</b>	\$ 0,119	\$ 0,40
<b>2012</b>	\$ 0,135	\$ 0,40
<b>2013</b>	\$ 0,161	\$ 0,40
<b>2014</b>	\$ 0,171	\$ 0,12
<b>2015</b>	\$ 0,171	\$ 0,12
<b>2016</b>	\$ 0,165	\$ 0,12
<b>2017</b>	\$ 0,176	\$ 0,29
<b>2018</b>	\$ 0,188	\$ 0,30
<b>2019</b>	\$ 0,200	\$ 0,29

**Tabla 4.8 Precios de energía de red y SFV**

De acuerdo a la tabla 4.8, se puede pronosticar que el precio de la energía de SFV tiende a subir en los próximos años. Por lo tanto, hay la posibilidad que proyectos de generación de energía SFV aumente con el paso de los años.

El proyecto se realiza con el fin de recuperar la inversión inicial lo más pronto posible, pero debido a los inestables precios se han realizado análisis dependiendo del precio por kWh.

Se deben considerar las pérdidas de rendimiento en los paneles e inversor por el paso de los años, en la siguiente figura de muestra que porcentaje de potencia se va a perder cada año a partir de la colocación de paneles de a 25 años a pesar de que solo pueden permanecer en operación 15 años según las normas establecidas por el CONELEC.



**Figura 4.1 Perdidas de rendimiento [14]**

En la figura 4.1 se observa el porcentaje de decrecimiento de la potencia del generador solar fotovoltaico, esta curva característica es proporcionada por el fabricante y en ella también se añaden las pérdidas de potencia de los módulos inversores y del transformador distribuidor de energía.

Considerando el costo anual por mantener la planta en operación, gastos administrativos y de ingeniería; se tiene la siguiente tabla para distintos valores de energía:

Año	Energía (MWh)	\$ 0,12	\$ 0,14	\$ 0,16	\$ 0,18	\$ 0,20	\$ 0,22	\$ 0,24	\$ 0,26	\$ 0,28	\$ 0,30	\$ 0,32	\$ 0,34	\$ 0,36	\$ 0,38	\$ 0,40
1	1410,91	\$ 114.469	\$ 142.688	\$ 170.906	\$ 199.124	\$ 227.342	\$ 255.560	\$ 283.779	\$ 311.997	\$ 340.215	\$ 368.433	\$ 396.652	\$ 424.870	\$ 453.088	\$ 481.306	\$ 509.524
2	1408,03	\$ 114.124	\$ 142.284	\$ 170.445	\$ 198.606	\$ 226.766	\$ 254.927	\$ 283.088	\$ 311.248	\$ 339.409	\$ 367.569	\$ 395.730	\$ 423.891	\$ 452.051	\$ 480.212	\$ 508.373
3	1405,15	\$ 113.778	\$ 141.881	\$ 169.984	\$ 198.087	\$ 226.190	\$ 254.293	\$ 282.397	\$ 310.500	\$ 338.603	\$ 366.706	\$ 394.809	\$ 422.912	\$ 451.015	\$ 479.118	\$ 507.221
4	1402,27	\$ 113.433	\$ 141.478	\$ 169.524	\$ 197.569	\$ 225.615	\$ 253.660	\$ 281.705	\$ 309.751	\$ 337.796	\$ 365.842	\$ 393.887	\$ 421.933	\$ 449.978	\$ 478.024	\$ 506.069
5	1399,39	\$ 113.087	\$ 141.075	\$ 169.063	\$ 197.051	\$ 225.039	\$ 253.027	\$ 281.014	\$ 309.002	\$ 336.990	\$ 364.978	\$ 392.966	\$ 420.954	\$ 448.942	\$ 476.929	\$ 504.917
6	1396,51	\$ 112.742	\$ 140.672	\$ 168.602	\$ 196.533	\$ 224.463	\$ 252.393	\$ 280.323	\$ 308.254	\$ 336.184	\$ 364.114	\$ 392.044	\$ 419.975	\$ 447.905	\$ 475.835	\$ 503.766
10	1385,00	\$ 111.360	\$ 139.059	\$ 166.759	\$ 194.459	\$ 222.159	\$ 249.859	\$ 277.559	\$ 305.259	\$ 332.959	\$ 360.659	\$ 388.359	\$ 416.059	\$ 443.759	\$ 471.459	\$ 499.159
15	1370,60	\$ 109.632	\$ 137.044	\$ 164.456	\$ 191.868	\$ 219.280	\$ 246.692	\$ 274.104	\$ 301.516	\$ 328.928	\$ 356.340	\$ 383.752	\$ 411.164	\$ 438.576	\$ 465.988	\$ 493.400
20	1356,20	\$ 107.904	\$ 135.028	\$ 162.152	\$ 189.276	\$ 216.400	\$ 243.524	\$ 270.649	\$ 297.773	\$ 324.897	\$ 352.021	\$ 379.145	\$ 406.269	\$ 433.393	\$ 460.517	\$ 487.641
25	1341,81	\$ 106.177	\$ 133.013	\$ 159.849	\$ 186.685	\$ 213.521	\$ 240.357	\$ 267.193	\$ 294.029	\$ 320.865	\$ 347.702	\$ 374.538	\$ 401.374	\$ 428.210	\$ 455.046	\$ 481.882
<b>TOTAL</b>		\$ 2.758.074	\$ 3.446.253	\$ 4.134.432	\$ 4.822.611	\$ 5.510.790	\$ 6.198.969	\$ 6.887.148	\$ 7.575.327	\$ 8.263.507	\$ 8.951.686	\$ 9.639.865	\$ 10.328.044	\$ 11.016.223	\$ 11.704.402	\$ 12.392.581

**Tabla 4.9 Ingresos anual dependiendo del costo de la anergia**

La tabla 4.10 pretende mostrar al posible inversionista el año en el cual este conseguirá ganancias según el precio de la energía:

<b>Precio [\$/kWh]</b>	<b>AÑO - RECUPERACION</b>
<b>0,4</b>	6
<b>0,38</b>	6
<b>0,36</b>	7
<b>0,34</b>	7
<b>0,32</b>	8
<b>0,3</b>	8
<b>0,28</b>	9
<b>0,26</b>	10
<b>0,24</b>	11
<b>0,22</b>	12
<b>0,2</b>	13
<b>0,18</b>	15
<b>0,16</b>	18
<b>0,14</b>	21
<b>0,12</b>	26

**Tabla 4.10 Año de recuperación de inversión según el precio del kWh.**

También se realizó un análisis para determinar las ganancias de la planta si llegasen a facturar anualmente el precio de la energía convencional sin subsidio, según varié la misma.

Esta opción resultaría más factible si el gobierno llegase a ser el dueño de la planta, mas no un inversor privado puesto que le tomaría 10 años en empezar a obtener ganancias, lo que no resulta atractivo para cualquier inversor.

Suponiendo que esta entre en operación a partir del año 2017 el cuadro de ganancias anuales es el siguiente:

<b>ANO</b>	<b>Precio energia (\$/kWh)</b>	<b>ANTIGUEDAD DE LA PLANTA</b>	<b>Energia Anual (GWh)</b>	<b>Ganancia Anual</b>
<b>2017</b>	\$ 0,176	1	1410,91	\$192.970,24
<b>2018</b>	\$ 0,188	2	1408,03	\$209.710,60
<b>2019</b>	\$ 0,200	3	1405,15	\$226.129,04
<b>2020</b>	\$ 0,212	4	1402,27	\$242.567,98
<b>2021</b>	\$ 0,206	5	1399,39	\$232.782,31
<b>2022</b>	\$ 0,216	6	1396,51	\$246.733,38
<b>2023</b>	\$ 0,227	7	1393,63	\$261.016,43
<b>2024</b>	\$ 0,238	8	1390,76	\$275.784,24
<b>2025</b>	\$ 0,248	9	1387,88	\$289.743,41
<b>2026</b>	\$ 0,259	10	1385,00	\$303.201,62
<b>2027</b>	\$ 0,268	11	1382,12	\$315.813,30
<b>2028</b>	\$ 0,277	12	1379,24	\$327.170,30
<b>2029</b>	\$ 0,285	13	1376,36	\$336.794,88
<b>2030</b>	\$ 0,290	14	1373,48	\$344.132,37
<b>2031</b>	\$ 0,297	15	1370,60	\$352.835,63

**Tabla 4.11 Ganancia anual según el precio de la energía de la red**

Se puede apreciar que si el principal inversor resultara el gobierno, quien actualmente busca expandir su matriz energética, sería de más factible puesto que la recuperación no es tan atractiva.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. El diseño de la planta de generación de energía eléctrica a base de paneles solares fotovoltaicos ubicada en las cercanías de la Subestación Santa Ana tiene un valor de inversión inicial de \$2'875.259.
2. Las fuentes de energías renovables no convencionales es una alternativa viable económicamente para inversores con un alto poder adquisitivo y amigable con el medio ambiente.
3. Un sistema de generación distribuido resulta más eficiente debido a las bajas pérdidas por transmisión en sistemas centralizados
4. La planta generadora suplirá la demanda promedio de la alimentadora "Santa Ana 1" en un 4%.
5. De acuerdo al análisis de factibilidad del proyecto para distintos precios del kWh, el precio óptimo para recuperar la inversión inicial en 6 años es de 0,38\$/kWh.

### Recomendaciones

1. Seleccionar los paneles por las potencias similares, para evitar pérdidas en la generación.
2. Inclinan los paneles 10 grados en sentido norte-sur.
3. Realizar el mantenimiento preventivo a los equipos.
4. Realizar propuestas de adecuación del terreno si es necesario.
5. Realizar una actualización de la propuesta si el tiempo de la implementación difiere en más de 2 años con el estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arnolf Grubler, "Technology y Global Change: Data Apeendix" 1998.
- [2] Navigant Consulting, "PV services program" 2010.
- [3] Deustsche Bank, Notas de Prensa, 2015.
- [4] IEA PVPS, 2015.
- [5] CONELEC, Proyectos ERNC, 2012.
- [6] Salvador Alonso, EnergyFutur, 2015.
- [7] CONELEC, Plan maestro de Electrificación, 2013 – 2022.
- [8] Construcciones de obras civiles (Agosto, 2015). Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org/>.
- [9] Paneles solares (Agosto, 2015). Disponible en: <http://www.solarenergy.org/>.
- [10] Módulos inversores (Agosto, 2015). Disponible en: <http://www.deltaohm.mx/>, 2015.
- [11] CONELEC, Atlas Solar del Ecuador, 2008.
- [12] ABB, Cuaderno de Aplicaciones Tecnicas #10.
- [13] Paneles solares disponibles(Agosto, 2015). Disponible en: <http://www.yinglisolar.com/>, 2015.
- [14] Strings box, Estacion de media tensión (Agosto, 2015). Disponible en: <http://power-electronics.com/>, 2015.
- [15] Empresa Eléctrica Publica de Guayaquil, 2015.
- [16] CONELEC, regulación Codificada No. CONELEC 001/13.