



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA MENOR A 1MW
CONECTADA A LA S/E DE DISTRIBUCIÓN KENNEDY NORTE
EN GUAYAQUIL”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentado por:

VICENTE LEONEL VARAS AGUILERA

FRANCO XAVIER PINEDA DELGADO

**GUAYAQUIL – ECUADOR
AÑO 2015**

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la vida y estar con nosotros en los buenos y en los malos momentos.

A nuestros padres por sus enseñanzas y apoyo que nos han guiado a este punto de nuestras vidas.

Al Ing. Jorge Montealegre profesor de la materia integradora por brindarnos su tiempo y conocimiento para poder llevar a cabo este trabajo con éxito.

A nuestros amigos y compañeros, que compartieron día a día con nosotros penas, inquietudes y alegrías.

DEDICATORIA

A mis padres, Vicente Varas Maenza y Daysi Aguilera La Rosa, por enseñarme buenos valores humanos, a salir adelante y no rendirme fácilmente, por su continuo apoyo a lo largo de mi vida y estudios, por estar junto a mí en los buenos y malos momentos a pesar de las dificultades.

A mis profesores y en especial al Ing. Otto Alvarado Moreno, por ser un excelente profesor y muy buen amigo, por enseñarme a no ver los problemas como una dificultad, sino más bien como una oportunidad para poder aprender.

A la Srta. Silvia De La Cruz Zavala, por estar presente en mi vida, por ser el motor para poder alcanzar lo inalcanzable, por brindarme su amor cariño y afecto, por hacerme parte de su vida.

Vicente Leonel Varas Aguilera

DEDICATORIA

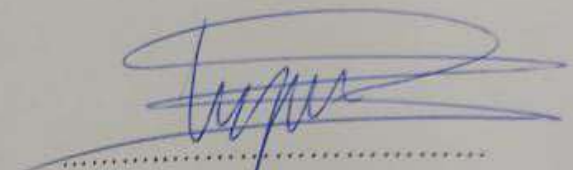
A Dios pues es fiel testigo de lo que fue mi vida universitaria al cursar esta carrera y con su bendición culminarla con éxito.

A mis padres, Franco Eddy Pineda Ochoa y Sandra Elizabeth Delgado Vallejo, por brindarme su apoyo incondicional, pues tener a quien seguir sus pasos es inspirador, pero sin dejar de lado la constante motivación de mi madre la cual me dio fuerza y decisión y siempre me recordó que el éxito llega con esfuerzo y la confianza en Dios.


A mis profesores por su entrega a la cátedra y a quienes en su momento supieron brindar un empujón para seguir adelante.

Franco Xavier Pineda Delgado

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



.....
Ing. Jorge Montealegre García
PROFESOR EVALUADOR



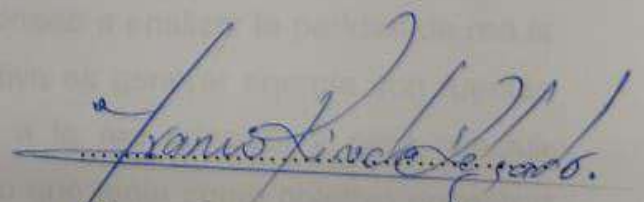
.....
Ing. Ángel Recalde Lino
PROFESOR EVALUADOR

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"



Vicente Leonel Varas Aguilera



Franco Xavier Pineda Delgado

RESUMEN

El presente proyecto está enfocado en el diseño de una planta fotovoltaica de 1MW conectada a la red de distribución de la zona de Kennedy Norte de la ciudad de Guayaquil para poder suplir parte de la demanda comercial de un determinado alimentador de la zona y de esta manera contribuir con el cambio de la matriz energética y la generación limpia ya que estas características son políticas de gobierno en el presente periodo.

Con respecto a la parte de diseño y dimensionamiento de la planta de 1MW una de las partes fundamentales de este proyecto es realizar el análisis de radiación y condiciones climáticas de la zona donde va a estar ubicado la planta solar, con la ayuda de software como: Meteonorm7 y datos estadísticos obtenidos de la NASA y Atlas Solar del Ecuador.

Luego del análisis de radiación solar en la zona se procede aplicar los criterios de diseño y selección de equipos que se emplearan en el proyecto para proseguir con el cálculo del número de paneles fotovoltaicos que se instalaran en serie y paralelo en la planta para obtener la potencia deseada.

Se aplicó estudios: ambientales, enfocados al análisis de reducción de emisiones de CO₂; económicos, direccionado a analizar la paridad de red la cual busca determinar qué tan competitivo es generar energía con fuentes renovables versus comprar la energía a la red principal y para concluir también se realizó un análisis energético que tenía como objetivo encontrar el ahorro de energía al generar cerca de los puntos de carga.

Finalmente se determinó el costo del kWh generado por la planta fotovoltaica que es alrededor de 0,19 c\$/kWh lo cual no permite paridad de red con el precio actual de la energía en la red principal la cual está alrededor de los 0,17 c\$/kWh sin subsidios por parte del gobierno.

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento público que el Ecuador está modificando su matriz energética, implementando nuevas tecnologías, realizando estudios e investigación; invirtiendo en sectores estratégicos para el avance económico y social del país. Dentro de este plan para la mejora del sector energético los recursos naturales desempeñan un papel fundamental.

Con el fin de aprovechar al máximo los recursos naturales de nuestro país, el gobierno mediante el plan del Buen Vivir 2013 – 2017 establece como objetivo incrementar la producción nacional de energía limpia, por lo que se está aplicando el uso de energías renovables no convencionales, considerando la generación de energía fotovoltaica como una buena opción, por ser una fuente de energía amigable con el medio ambiente.

La aplicación de esta fuente renovable como alternativa de transformación directa de la energía solar en energía eléctrica ha constituido una solución para satisfacer la demanda en zonas donde los sistemas tradicionales no pueden llegar; sin embargo al existir una creciente demanda de energía por diversos factores en el área residencial y comercial urbana; se empleara este tipo de generación cerca de los centros de carga conectando directamente a la S/E de distribución o la red de distribución según sea la necesidad.

Es importante conocer las plantas fotovoltaicas de generación directa y su incidencia, motivo por el cual el presente proyecto de diseño analizara la tecnología fotovoltaica considerando la iniciativa del Gobierno a emplear energía limpia sin descartar que promueve a los inversionistas apostar por este recurso renovable y que puedan hacer de éste un sistema innovador y viable de inversión.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	v
DECLARACIÓN EXPRESA.....	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
CAPÍTULO # 1.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Metodología.....	4
CAPÍTULO # 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Tipos de Energía producidas en el Ecuador.....	6
2.2 Energía Solar y la Producción de energía eléctrica.....	9
2.2.1 Radiación Solar.....	9
2.2.2 Tipos De Radiación Solar.....	11
2.2.3 Geometría Solar.....	12
2.2.4 Recorrido Óptico De La Radiación Solar.....	14
2.2.5 Irradiación en superficies inclinadas.....	15
2.2.6 Horas del sol pico (H.S.P).....	16
2.3 Celdas Fotovoltaicas.....	16
2.3.1 Efecto Fotovoltaico.....	17
2.3.2 Tipos De Celda Fotovoltaicas.....	19
2.4 Módulos Fotovoltaicos.....	22

2.4.1	Parámetros de los módulos	24
2.4.2	Curvas características del Módulo Fotovoltaico	25
2.4.3	Separación entre módulos	27
2.4.4	Degradación Inducida por Potencial (PID)	29
2.4.5	Estructura soporte.....	30
2.5	Sistema Fotovoltaico De Conexión A Red.....	31
CAPÍTULO # 3.....		34
3. DISEÑO DE LA INSTALACION		34
3.1	Descripción de la zona	34
3.2	Descripción del alimentador	36
3.3	Ubicación del proyecto	38
3.4	Radiación de la zona.....	39
3.5	Selección de equipos	40
3.5.1	Selección de paneles fotovoltaicos	40
3.5.2	Selección de edificio preemsamblado.....	41
3.6	Simulación en PVSYST5.....	51
3.6.1	Configuración de zona y equipos de la planta fotovoltaica	51
3.6.2	Configuración de los paneles e inversor para la planta fotovoltaica	54
3.6.3	Selección de números de paneles (serie y paralelo) e inversores (maestro-esclavo) y ubicación de paneles para la planta fotovoltaica	57
CAPÍTULO # 4.....		66
4. ANÁLISIS ENERGÉTICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA GENERACIÓN FOTVOLTAICA.....		66
4.1	Análisis energético	66
4.1.1	Ahorro y Reducción en la transmisión de potencia hacia la ciudad de Guayaquil.	66
4.2	Análisis ambiental	67
4.3	Análisis Económico	74
4.3.1	Ahorro Económico para el Estado.....	74
4.3.2	Paridad de Red.....	75
4.3.3	Análisis de Paridad de Red.....	76
CONCLUSIONES.....		79

RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.2.1 Irradiación Solar del Ecuador [13]	10
Figura.2.2 Geometría Solar [14]	13
Figura.2.3 Efecto Fotovoltaico	18
Figura.2.4 Unión P-N	19
Figura.2.5 Célula Monocristalina	20
Figura.2.6 Célula Policristalina	21
Figura.2.7 Célula Amorfa	21
Figura.2.8 Sección del Módulo Fotovoltaico	23
Figura.2.9 Vista General del Proceso de Fabricación de un Módulo	23
Figura.2.10 Curva característica de una célula fotovoltaica	26
Figura.2.11 Distancia Mínima Entre Módulos	28
Figura.2.12 Soporte de Paneles	31
Figura.2.13 Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red	32
Figura.3.1 Gráfico de porcentajes de bloques de carga de la alimentadora centrum	38
Figura.3.2 Ubicación del terreno en donde se va a instalar la planta fotovoltaica	39
Figura.3.3 Parámetros eléctricos en condiciones STC para los paneles fotovoltaicos	40
Figura.3.4 Parámetros eléctricos en temperatura de operación nominal de la célula (TONC)	40
Figura.3.5 Características eléctricas y condiciones de operación para los paneles fotovoltaicos	41
Figura.3.6 Características generales para los paneles fotovoltaicos	41
Figura.3.7 Edificio técnico, marca power electronic	42
Figura.3.8 Inversor Freesun FS1001	43
Figura.3.9 Inversor Freesun FS1001, vista lateral	43
Figura.3.10 Diagrama funcional del inversor	45
Figura.3.11 Diagrama funcional de estaciones	46
Figura.3.12 Celdas de media tensión	47

Figura.3.13 Curva de carga diaria del alimentador centrum	50
Figura.3.14 Curva de carga diaria de una planta fotovoltaica [18]	51
Figura.3.15 Parámetros geográficos de la zona	52
Figura.3.16 Valores de irradiación y temperatura de la zona	53
Figura.3.17 Gráfica de irradiación global y difusa de la zona	53
Figura.3.18 Parámetros de paneles fotovoltaicos a emplearse	54
Figura.3.19 Datos técnicos del inversor marca Freesun	55
Figura.3.20 Orientación de los paneles a 10° con graficas optimizadas	55
Figura.3.21 Orientación de los paneles a 10°	56
Figura.3.22 Configuración de la planta fotovoltaica	57
Figura.3.23 Disposición física de paneles 1	58
Figura.3.24 Disposición física de paneles 2	58
Figura.3.25 Energía mensual y anual inyectada a la red	59
Figura.3.26 Energía anual entregada a la red	60
Figura.3.27 Energía diaria del sistema	60
Figura.3.28 Diagrama de pérdidas de la planta fotovoltaica	61
Figura.3.29 Diagrama normalizado de energía de la planta	62
Figura.3.30 Diagrama en porcentaje de energía de la planta	63
Figura.3.31 Curva de potencia entregada a la red en un día normal en la planta	63
Figura.3.32 Curva diaria de potencia del alimentador centrum, de la S/E Kennedy	64
Figura.3.33 Resumen de parámetros de la planta fotovoltaica	65
Figura.4.1 Cauce del Estero Salado Guayaquil-Ecuador [20]	69
Figura.4.2 Cuadro comparativo de emisiones de CO2 por cada combustible [23]	72
Figura.4.3 Modelo de paridad de red [25]	75

INDICE DE TABLAS

Tabla # 1: Información Estadística a Mayo 2015 [10] _____	6
Tabla # 2: Sectores a los que abastecen con energía el patio de la subestación Kennedy norte I _____	35
Tabla # 3: Sectores a los que abastecen con energía el patio de la subestación Kennedy norte II _____	36
Tabla # 4: Bloques de carga de la alimentadora centrum _____	37
Tabla # 5: Cálculos de paneles _____	48
Tabla # 6: Voltaje corregido por descenso de temperatura _____	48
Tabla # 7: Nuevos valores calculados _____	49
Tabla # 8: Energía anual de la planta _____	49
Tabla # 9: Energía disponible anual [19] _____	66
Tabla # 10: Ahorro en dólares por pérdidas en transmisión _____	67
Tabla # 11: Ahorros económicos generados al emplear generación fotovoltaica _____	74

CAPÍTULO # 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

En la actualidad son muchas las formas de obtener energía eléctrica. En Ecuador la capacidad total efectiva es de 5383.07 MW de los cuales el 42.85% corresponde a la energía hidráulica, el 0.49% a la energía solar, el 0.39% a la energía eólica y el 53.73% a las no renovables. [1]

La producción anual de la energía solar fotovoltaica según el ARCONEL al 2015 fue de 14.87 GWh que representó el 0.14 % de la producción total de energía, siendo este indicador aún bajo en nuestro país. [2]

El Ecuador posee una irradiación solar homogénea todo el año, por lo que el recurso a la energía fotovoltaica presenta enormes posibilidades para poder desarrollarse. [3]

Así mismo estudios realizados acerca de la paridad de red (parity grid) se tiene para alcanzar dicho concepto el precio del kWh generado por fotovoltaica debe de ser menor o igual al valor del kWh generado por la red nacional, así mismo para sistemas pequeños de generación en otros países se usa el concepto de net metering, el cual consiste en que existe una medición adicional la cual le dice al sistema eléctrico cuanta energía eléctrica ha entregado el usuario a la red y dicho exceso entregado a la red se transforma en créditos y beneficios para el usuario al momento de

usar energía de la red por las noches (período de tiempo en el cual los paneles fotovoltaicos no generan electricidad).

En cuanto a un análisis económico acerca de la paridad de red se considera que toda la energía eléctrica generada por los paneles es entregada al sistema eléctrico y que el precio que pagaría la empresa eléctrica es de 8 ctv/kWh, con un costo total de inversión de \$ 5383, estimando una inflación del 2% y una vida útil de 30 años de los paneles. Así mismo el valor de venta de energía anual utilizando el net metering será de \$180. Finalmente se tiene que la inversión se pagaría a los 23 años, de acuerdo a [4]

1.2 Justificación

El consumo energético en el país anualmente crece de forma considerable a medida que crece la población, según los datos del INEC el consumo de energía eléctrica por habitante en el Ecuador ha tenido aproximadamente un incremento anual de alrededor del 5.6%. [5]; Por lo que ha sido necesario modificar la matriz energética, para que el sistema energético abastezca la demanda per cápita actual.

El consumo de energía aumenta con la población, en forma directamente proporcional, no obstante la demanda o consumo de energía depende mucho del tipo de abonado al cual se dé el servicio, para el presente proyecto el enfoque será a los abonados residenciales de una alimentadora específica.

Cabe destacar que el abonado residencial en el Ecuador por el “Programa de Eficiencia Energética para cocción por inducción y calentamiento de agua con electricidad”, donde se pretende suspender el uso de cocina a gas, generara un aumento drástico en la demanda energética a nivel residencial ocasionando demandas bruscas de energía en determinados horarios por este tipo de abonados ocasionando sobrecarga del sistema eléctrico actual.

Para esto se ofrece como una opción el desarrollo de la energía fotovoltaica a nivel de las redes de distribución siendo ésta una alternativa limpia de generación y ayuda al medio ambiente para atender esta demanda agregada de energía.

Otro punto a tomar en cuenta es el factor ambiental ya que la implementación de plantas fotovoltaicas nos permite generar energía limpia reduciendo el efecto invernadero y aprovechando de manera más óptima los recursos renovables disponibles y generar ahorros por conceptos de reducción de pérdidas y transmisión de energía a los puntos de carga.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar una planta fotovoltaica para suplir parte de la carga en las alimentadoras de la Subestación (S/E) Kennedy Norte.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las ventajas económicas y energéticas del ingreso de generación fotovoltaica menor a 1MW en los sistemas de distribución de Guayaquil.
- Establecer los requerimientos mínimos para la implementación de los sistemas fotovoltaicos a nivel de distribución en Guayaquil.
- Evaluar las ventajas y desventajas técnicas de la incorporación de generación fotovoltaica a nivel de distribución en Guayaquil.
- Analizar factibilidad de invertir en generación fotovoltaica a nivel de redes de distribución.

1.4 Metodología

Para llevar a cabo el estudio de la instalación de 1MW de generación fotovoltaica es necesario conocer el sistema de distribución del Ecuador, en especial de la zona de Guayaquil, del sector en donde se encuentre la subestación y de la alimentadora que se va a seleccionar para instalar 1MW de generación.

Luego de esto, se ubicará un lugar en donde se instalarán los paneles fotovoltaicos, valiéndose de la radiación solar que llegue a la zona seleccionada.

Para poder tener un estimado de la radiación solar que llega en la zona, se utilizarán datos de la NASA y atlas solar del CONELEC,

para así poder tener un valor promedio de radiación solar en la zona que se ha seleccionado para la instalación de la planta.

Así mismo, se realizará un estudio económico de la generación fotovoltaica comparada con el precio real por la generación tanto hidroeléctrica y térmica (sin valores de subsidios) para así poder comparar de manera justa y equitativa lo que cuesta generar 1MW tanto en hidroeléctrica, térmica y fotovoltaica. También se realizará un estudio, comparando lo que se ahorraría en costos de generación, transmisión, pérdidas de transmisión y costos de distribución, para así de esta manera ver la rentabilidad efectiva de la planta fotovoltaica a ser instalada. De la misma manera se realizará el estudio de diseño de la planta para maximizar la producción anual.

Adicional a esto, realizando investigación en paper's, se tiene un valor de costo real del kWh de 17.77 ctvs/kWh en horas picos, el cual basándose en [6] y contrastando con datos del Cenace se tiene un costo de 16.2 ctvs/kWh [7], con dichos valores como referencia se podrá realizar una comparación entre los costos de energía generados por hidroeléctrica-térmica y fotovoltaica, ya que no se podría hacer una comparación justa con valores de energía que son subsidiados, por qué no son costos reales para poder compararlos.

Así mismo se desea reducir las emisiones de anhídrido carbónico CO₂ que se envían a la atmosfera con generación fotovoltaica y que de acuerdo a [8], por cada kW que se genera con paneles fotovoltaicos se evitan la emisión de 0.9 kg de CO₂ al año.

CAPÍTULO # 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Tipos de Energía producidas en el Ecuador

El Ecuador posee recursos: renovables, tales como: (hidráulicos, eólicos, solares, geotérmicos, biomasa, etc.); y, no renovables, tales como: (petróleo, gas natural, carbón, uranio, etc.). Los recursos renovables generan un mínimo impacto ambiental, no producen contaminación (a excepción de la biomasa) como resultado de su uso; en cambio, los recursos no renovables generan un alto y riesgoso impacto ambiental ya que producen gran contaminación y emisiones de gases tóxicos y dañinos por su uso. [9]

En el Ecuador los tipos de energía que se están implementando son: Energías Renovables y no Renovables según datos del CONELEC [10].

2. Producción Total de Energía e Importaciones		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	12,389.22	48.71%
	Eólica	83.74	0.33%
	Fotovoltaica	25.88	0.10%
	Térmica Turbovapor (1)	415.11	1.63%
Total Energía Renovable		12,913.95	50.77%
No Renovable	Térmica MCI	6,128.97	24.10%
	Térmica Turbogas	2,908.73	11.44%
	Térmica Turbovapor	2,647.42	10.41%
Total Energía No Renovable		11,685.12	45.94%
Total Producción Nacional		24,599.07	96.72%
Interconexión	Colombia	819.58	3.22%
	Perú	15.78	0.06%
	Importación	835.36	3.28%
Total Producción Nacional + Importación		25,434.43	100.00%

Tabla # 1: Información Estadística a Mayo 2015 [10]

Dentro de las energías renovables están:

a) HIDRÁULICA

Es la energía generada en grandes represas hidroeléctricas, las cuales tienen como objetivo transformar la energía potencial del agua captada de los ríos en una represa, en energía mecánica mediante turbinas y estas a su vez transforman la energía mecánica en eléctrica mediante generadores.

Entre sus principales ventajas es la utilización de un recurso renovable que en este caso es el agua proveniente de ríos, su operación y producción de energía no requiere del uso de carburantes y no genera calor ni emisiones contaminantes.

Las desventajas que presentan este tipo de generación se centran en el impacto ambiental generado a los ecosistemas acuáticos de los ríos debido a que se varía el caudal al pasar el agua por las turbinas; a su vez las centrales de embalse tienen problema con la evaporación de agua, ya que en la zona donde se construyen aumenta la humedad del ambiente, haciendo que en los casos de regiones tropicales generen focos infecciosos de bacteria y enfermedades como consecuencia del estancamiento de las aguas. Otra desventaja y la más importante desde el punto de vista energético es que este sistema tiene dependencia de la estacionalidad del recurso hídrico, es decir que si se producen épocas de sequías la producción de estas plantas bajaría.

En la actualidad hay más de 50 centrales hidroeléctricas en el país, las cuales están divididas de acuerdo a su potencia efectiva, entre 0.07-70 MW, entre 70.01-213,00 MW y entre 213.01 – 1100,00 MW [11].

Según el plan de expansión para la generación, hasta el año 2025 se estima una reducción de 20 millones de barriles de combustibles por año, con un ahorro estimado en USD 2.000 millones por reemplazo de 12.000 GWh de hidroelectricidad.

Según dato del CONELEC (actualmente Arconel) a Abril del 2015, la generación de energía hidráulica es de 12389.22 GWh la cual corresponde al 48.71% del total de energía producida en el Ecuador [10].

b) SOLAR

Es la energía que se capta por medio de paneles solares fotovoltaicos al recibir la radiación proveniente del Sol.

Realizando configuraciones serie y paralelo de los paneles solares se pueden obtener voltajes y corrientes en DC, esta energía es transportada hacia inversores para convertir dicha energía en AC, luego de ello el transformador es el encargado de elevar los niveles de tensión para inyectarlos a la red eléctrica.

Este tipo de energía se está buscando implementar dentro del Ecuador gracias a las reformas de la matriz energética del país y cambio de la matriz productiva, la cual promueve el uso de energías renovables.

Según dato del ARCONEL a Abril del 2015, la generación de energía solar es de 25.886 GWh la cual corresponde al 0.10% del total de energía producida en el Ecuador. [10]

2.2 Energía Solar y la Producción de energía eléctrica

La energía solar es la radiación electromagnética procedente del sol que llega a la superficie de la tierra en forma de radiación y se transforma en electricidad mediante el uso de paneles fotovoltaicos.

Los tipos de tecnologías para la producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar actualmente son:

- Fotovoltaica (transforma los radiación solar en electricidad mediante el uso de paneles solares)
- Termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta mediante el uso de centrales a vapor).

2.2.1 Radiación Solar

La radiación solar, es la energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas, que van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta; que se propagan en todas las direcciones a través del espacio.

Aproximadamente la potencia radiante que llega a la tierra es de 1353 W/m^2 , sin embargo no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos como: reflexión en las nubes y absorción gases de la atmosfera. La energía solar que recoge la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a $178000 \text{ TW} - \text{año}$. El 30% de esta energía es irradiada en el espacio, 50% es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50%, 49000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética

y 40000 TW año como energía calórica propiamente dicha. [12]

La irradiancia que incide en un plano horizontal de la superficie terrestre un día claro al medio día alcanza un valor máximo de 1000 W/m² aproximadamente. Este valor depende del lugar y la nubosidad.

Para obtener la radiación global que incide sobre un lugar determinado en un periodo de tiempo definido se obtiene la energía en kWh/m² o en MJ/m², valores que varían dependiendo de la región que se haga referencia. Para poder desarrollar el diseño de una instalación solar fotovoltaica es necesario saber la radiación del lugar tomando como referencia el atlas de radiación del país.

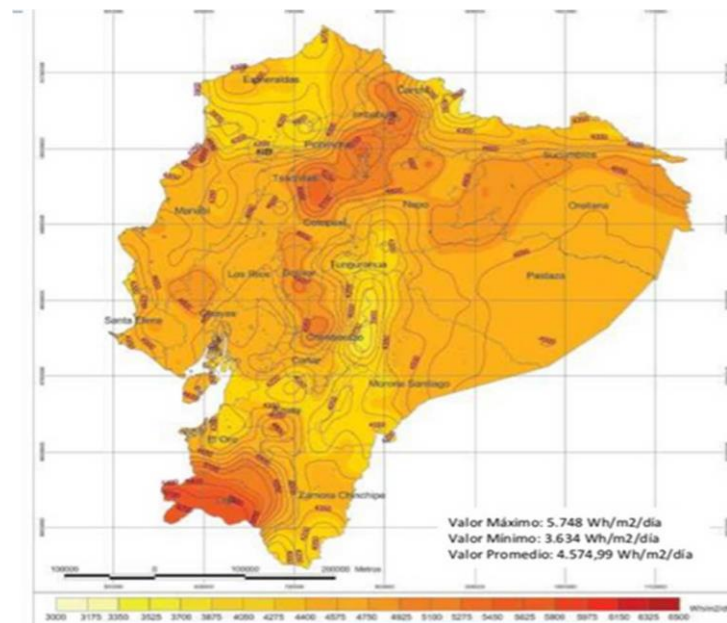


Figura.2.1 Irradiación Solar del Ecuador [13]

El potencial anual promedio para el territorio ecuatoriano es de 4,4 a 4,7 KWh/m² x día. El Ecuador presenta una gran estabilidad en cuanto a la radiación anual percibida ya que está permanente casi constante en todo el año. [13]

2.2.2 Tipos De Radiación Solar

La radiación solar se puede manifestar de tres formas dependiendo de cómo reciben los objetos situados en la superficie terrestres:

a) Radiación Directa

Es aquella que llega a la superficie de la tierra e incide sobre ella sin haber sufrido cambio alguno en su dirección, excepto la debida a la refracción atmosférica. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos sólidos que la interceptan.

b) Radiación Difusa

Es la parte de la radiación solar que al atravesar la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, proviene de toda la bóveda de cielo visible, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosféricos.

Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben.

c) Radiación Global o total:

Es suma de la radiación directa y difusa.

2.2.3 Geometría Solar

Hace referencia al recorrido del sol en el cielo y de su localización según la fecha y hora, buscando como objetivo determinar su interacción con planos y volúmenes en el espacio, en función a su ubicación relativa. Para el cálculo de la producción energética de una generadora fotovoltaica es indispensable conocer la irradiación solar en el plano correspondiente a la instalación y la trayectoria solar del lugar.

El movimiento del sol será determinado por un sistema de coordenadas con dos ángulos, que permite saber cada movimiento donde se encuentra.

- Altura solar: es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar.
- Azimut solar: es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur.

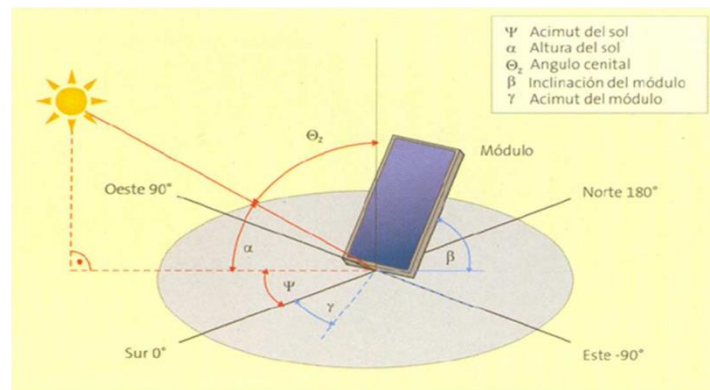


Figura.2.2 Geometría Solar [14]

Se define la orientación mediante acimut del sol, el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol, hacia el norte por el noreste o por el noroeste, considerando la orientación sur con $\psi = 0^\circ$, y considerando los ángulos entre el sur y el noreste negativos y entre el sur y el noroeste positivos. [15]

El ángulo de incidencia no demuestra la cantidad de radiación incidente sobre la superficie vertical y está relacionado con la altitud solar

$$\theta = 90^\circ - \phi \quad (2.1)$$

Los dos ángulos proporcionan información útil sobre la luz solar entrante en un objeto o estructura. Mediante la incorporación de un sistema que se adapte al ángulo de incidencia del sol, se puede controlar mejor el ángulo de incidencia en una superficie.

2.2.4 Recorrido Óptico De La Radiación Solar

El camino que recorre la radiación solar a través de la atmosfera depende de la perpendicularidad que se encuentre el sol con respecto a la superficie terrestre. Por el contrario para ángulos cenitales mayores (menor altura solar) el camino a recorrer por la radiación solar en la atmosfera es mayor, lo que implica que la intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre sea menor.

La inclinación constante del eje norte y sur de la tierra durante la traslación que esta hace alrededor del sol provoca que los rayos solares incidan con diferentes ángulos sobre un punto determinado de la superficie terrestre a lo largo del año. En los ciclos diarios durante el amanecer y el atardecer, en un punto determinado de la superficie terrestre los rayos solares inciden con ángulos muy bajos y atraviesan una porción mayor de la atmosfera, provocando una disminución importante de la intensidad de la radiación solar, mientras que al mediodía el sol se encuentra en su posición más elevada, de acuerdo a la latitud del sitio y la fecha del año atravesando una porción menor de la atmosfera terrestre antes de incidir sobre ella logrando que la radiación solar se intensifique de manera importante.

Este fenómeno se relaciona estrechamente con las oscilaciones diarias de temperatura, debido a la acumulación de calor de la superficie terrestre. Logrando que las temperaturas mínimas suelen darse justo antes de la salida del sol entre las 5:00 – 7:00 AM, mientras que las máximas se dan desde las 2:00 – 4:00 pm. [13]

Para cualquier sitio sobre el Ecuador a las 12:00 del día, el sol estará exactamente en el cenit los días 21 de marzo (inicio de primavera) y 21 de septiembre (inicio de otoño), mientras que los días 21 de junio (inicio de verano) y 21 de diciembre (inicio de invierno), el sol estará en el cenit (al inicio del periodo cálido). [12]

Los índices de nubosidad también juegan un papel importante en la cantidad de radiación solar que llega a la tierra. Debido que un cielo nublado reduce significativamente la radiación solar directa y puede incrementar ligeramente la radiación difusa, el balance final es una reducción de la radiación global que llega a la superficie.

2.2.5 Irradiación en superficies inclinadas

La radiación solar en una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar es siempre mayor que en la misma superficie colocada en cualquier posición. Al variar el azimut y la altura solar a lo largo del día y año, el ángulo de incidencia de radiación óptimo en una superficie dada no es constante.

Para considerar si una determinada superficie ya existente es apta para su uso solar es necesario conocer la radiación solar incidente sobre la misma. La condición óptima se daría en un plano que posea una inclinación y orientación que varíe constantemente.

2.2.6 Horas del sol pico (H.S.P)

Se define como las horas de luz solar por día equivalente en función de la irradiancia constante e igual a 1 kW/m²; Dado que la irradiación H, es igual al producto de la irradiancia de referencia por las horas pico solar, entonces los valores numéricos de la irradiación y horas pico solar son iguales.

$$H \left(\frac{Kwh}{m^2} \right) = I \left(\frac{Kw}{m^2} \right) * HPS(h) \quad (2. 2)$$

Entonces para una irradiación H de 4.2 kWh/m², las horas de sol equivalentes serán 4,2 horas de pico solar. Se procederá a estimar la producción de energía anual del sistema propuesto.

La potencia de los paneles está asociada a un radiación de 1.000 W/m² por lo que si conocemos la hora de sol pico, la producción energética se calculara multiplicando la potencia del panel por las horas de sol pico y por un factor de pérdidas.

La Irradiancia que es la potencia radiante incidente por unidad de superficie es máxima en el Ecuador y disminuye hacia los polos. [13]

2.3 Celdas Fotovoltaicas

Una célula fotovoltaica, es un dispositivo electrónico formado por materiales semiconductores que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía eléctrica fotovoltaica.

Las células fotovoltaicas se fabrican esencialmente de Silicio, el segundo elemento más cuantioso de la corteza terrestre después del oxígeno; cabe recalcar que tiene que ser de un alto grado de pureza para lograr el efecto fotovoltaico.

2.3.1 Efecto Fotovoltaico

Descrito en 1839, por el físico francés Edmond Becquerel. El efecto fotovoltaico consiste en la creación de un voltaje o corriente eléctrica cuando un material es expuesto o incide en él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta), este efecto se encuentra relacionado directamente con el efecto fotoeléctrico.

Existen tipos de materiales que al estar expuestos a radiación electromagnética, generan un par de cargas positivas y negativas.

Considerando que la radiación electromagnética sea la solar y el material semiconductor sea el silicio (Si), los pares de carga que se forman son electrones (e-) y protones (p+), los cuales una vez producidos se mueve de forma aleatoria en el interior. Si no hay alguna excitación interna o externa, estos electrones se neutralizaran.

Por el contrario si se logra de alguna manera separar las cargas positivas y negativas, se formara un campo eléctrico permanente. Esto quiere decir que aparecerá una diferencia de potencial, dando origen a una corriente eléctrica la que posteriormente podrá ser utilizada para generar electricidad.

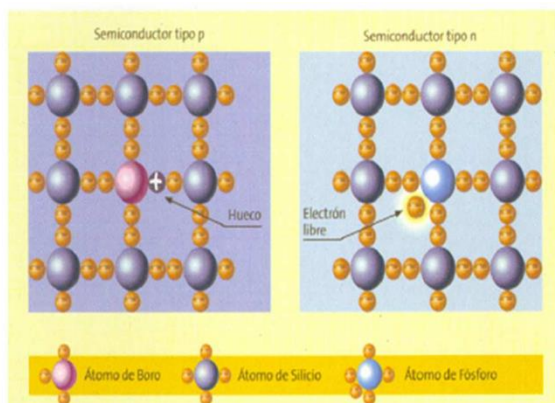


Figura.2.3 Efecto Fotovoltaico

La característica más importante de los semiconductores es su poca oposición al flujo de corriente.

Entre las propiedades de los semiconductores se resaltan: que en un semiconductor su resistencia disminuye cuando hay aumento de temperatura, es decir aumenta su conductividad, sin embargo cuando un semiconductor es expuesto a una radiación con una energía mayor a la de su banda de valencia, su conductividad aumenta.

Semiconductores tipo p y tipo n

Esta diferenciación es debido a que se ingresan impurezas en la red cristalina de un semiconductor. Este tipo de impurezas pueden ser de dos tipos:

- Donadoras: Se llaman así debido a que en la última capa de valencia ha recibido un electrón más.
- Aceptoras: si por el contrario carecen de un electrón.

Si en el semiconductor se ingresan impurezas de tipo donadora, este puede perder su electrón fácilmente. Si se

introducen un número de impurezas adecuadas al semiconductor (tipo n), es posible obtener que el número de electrones venga dado por el número de impurezas añadidas.

De igual forma si en el semiconductor se introduce impurezas del tipo aceptadoras, estas captan con facilidad un electrón lo que origina la aparición de un hueco en la composición de la red.

Así mismo si introducimos un número de impurezas adecuado en el semiconductor, puede originarse que el número de huecos (tipo p) venga dado por el número de impurezas insertadas.

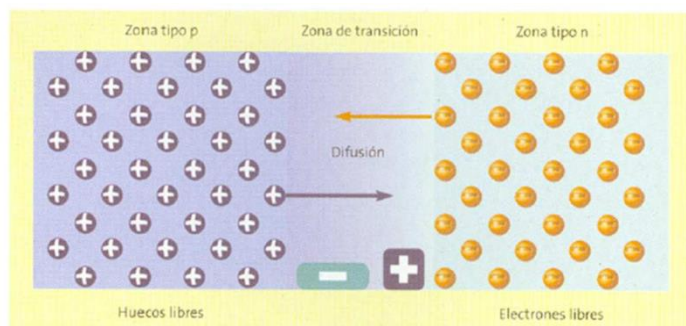


Figura.2.4 Unión P-N

2.3.2 Tipos De Celda Fotovoltaicas

En la actualidad el material utilizado en la fabricación de las células que conforman los módulos fotovoltaicos son: Silicio monocristalino, Silicio policristalino, Silicio amorfo.

Silicio Monocristalino.-

Las células de los módulos de silicio monocristalino están formadas por un único cristal de silicio. En estado natural, los átomos de silicio se encuentran alineados perfectamente, esto favorece debido a que la conductividad es mejor. Al ser más puro el material, el rendimiento del módulo será mayor. Tienen un color azul oscuro uniforme y por lo general tienen forma octogonal.



Figura.2.5 Célula Monocristalina

Silicio Policristalino

Las células de los módulos policristalinos, están formadas por un conjunto de cristal de silicio, los cuales tienen menor pureza que el monocristalino. Por lo tanto su rendimiento será un poco menor. Se caracterizan por su color azul no uniforme. Son los más utilizados en proyectos a gran escala.

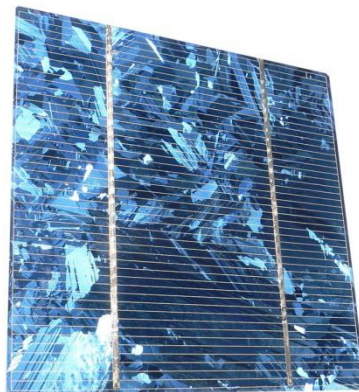


Figura.2.6 Célula Policristalina

Silicio Amorfo.

En el no hay red cristalina, por lo que su rendimiento es menor al de los cristalinos. Una de su principal ventaja, además de su bajo costo es que es un material que capta fácilmente la luz solar.



Figura.2.7 Célula Amorfa

2.4 Módulos Fotovoltaicos

El modulo fotovoltaico consiste en la conexión eléctrica de un conjunto de paneles solares, conectados en serie y paralelo, previamente diseñados para obtener valores de corrientes y voltajes requeridos para algún tipo de aplicación. Los paneles solares están compuestos por la conexión en serie de células fotovoltaicas, a las que se protege físicamente de la intemperie y se las aíslan del exterior. El valor medio de una célula fotovoltaica es de 0.5 voltios en sus terminales. Es decir que si un panel es de 30 V, estará compuesto por 60 células solares.

Un módulo fotovoltaico está fabricado de manera compacto, en el cual van a ir encapsuladas las células fotovoltaicas entre dos capas de EVA (etileno, vinilo y acetato) un vidrio en la parte superior y por un material aislante llamado tedlar (polímetro termoplástico) en la parte posterior, para luego enmarcarlo con un marco de aluminio, a la que se le agrega en la parte posterior la caja de conexiones del panel fotovoltaico.

El proceso de producción de un panel fotovoltaico se muestra en Figura.2.8 y Figura.2.9.

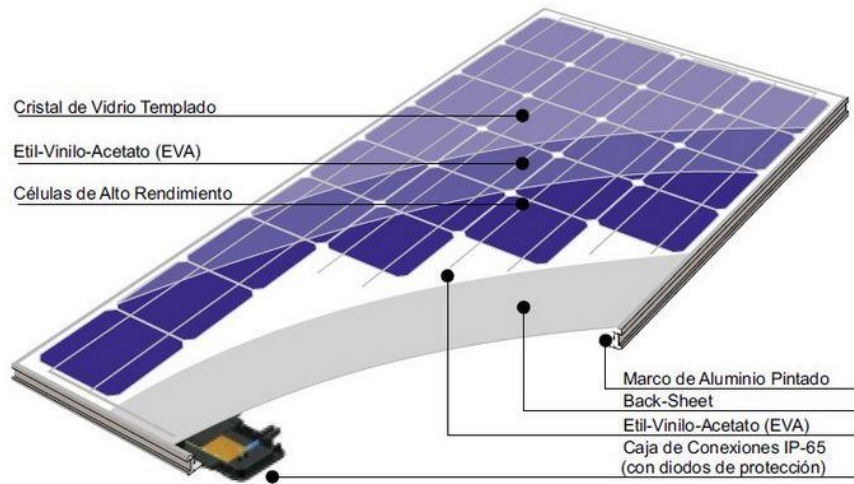


Figura.2.8 Sección del Módulo Fotovoltaico

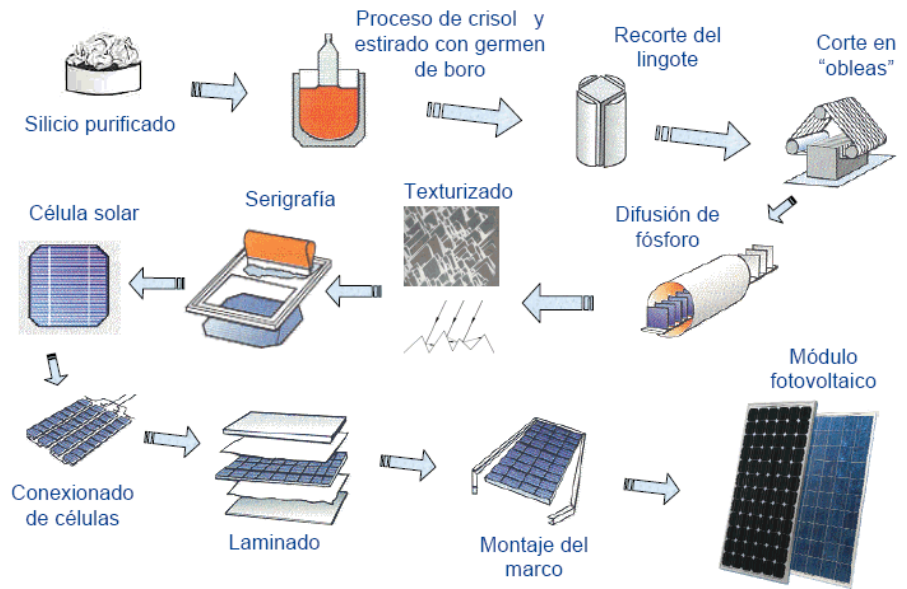


Figura.2.9 Vista General del Proceso de Fabricación de un Módulo

2.4.1 Parámetros de los módulos

Es necesario establecer una relación entre los parámetros eléctricos del panel solar con las condiciones climáticas a las que están expuestos, ya que estos parámetros varían dependiendo de la zona en donde se encuentren ubicados.

Es por esto que los fabricantes de paneles solares, para referenciar la potencia que entregan sus equipos, establecen condiciones estándares llamadas STC que son las siguientes:

Temperatura de célula: 25 °C
Radiación Solar: 1000 W/m²
Masa de aire: 1.5 AM

Por ejemplo si un fabricante indica que la potencia pico de sus paneles es de 250 Wp, se refieren a que sus módulos alcanzarán esa potencia con las condiciones STC.

Es decir que en días con temperatura ambiente baja y con gran nivel de radiación solar, se alcanzarían las condiciones STC, por lo tanto, la potencia generada por el módulo se aproximará a la potencia ofrecida por el fabricante.

Los parámetros eléctricos más representativos que proporcionan los fabricantes son los siguientes:

Potencia pico:

Es la potencia más alta que puede generar un módulo fotovoltaico. Corresponde al punto de la curva característica en la que el producto $V \cdot I$ es máximo.

Tensión de Máxima Potencia (VPMP):

Es la tensión correspondiente al punto de máxima potencia de la curva característica del módulo fotovoltaico.

Intensidad de Máxima Potencia (IPMP):

Es la corriente correspondiente al punto de máxima potencia de la curva característica del módulo fotovoltaico.

Tensión de Circuito Abierto (VOC):

Es la máxima tensión que puede generar del módulo fotovoltaico con sus terminales en circuito abierto.

Intensidad de Cortocircuito (Isc):

Es la máxima corriente que puede generar el módulo fotovoltaico con sus terminales cortocircuitados.

Factor de forma (FF):

Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto $I_{sc} \cdot V_{oc}$. Este valor viene dado en tanto por ciento. Siendo el 100% el valor ideal, es decir en el mejor de los casos con las condiciones climáticas ideales. Este factor nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico. Si el FF es más cercano al 100% es mejor el dispositivo fotovoltaico.

2.4.2 Curvas características del Módulo Fotovoltaico

La curva en particular del módulo fotovoltaico viene determinado por la corriente vs el voltaje. Dicha curva muestra las posibles variaciones de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo condiciones ambientales

determinadas. El punto en el que trabajará un dispositivo fotovoltaico viene dado por la carga a la que tenga conectada.

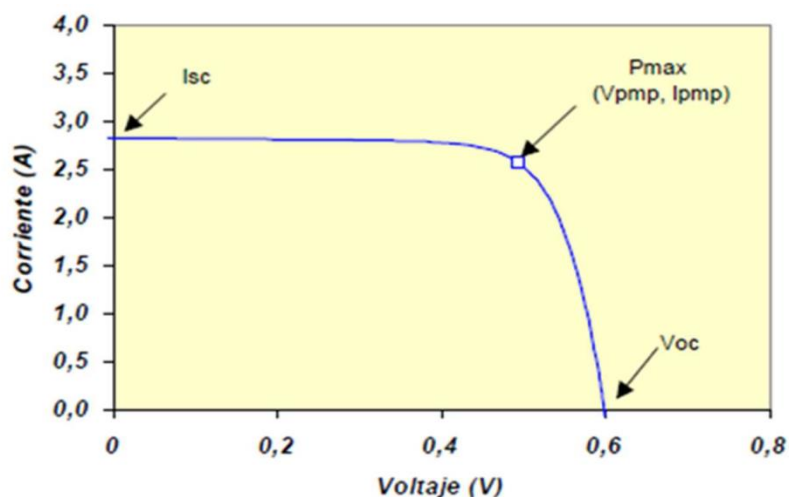


Figura.2.10 Curva característica de una célula fotovoltaica

La ecuación para representar la curva característica corriente vs tensión de una célula fotovoltaica viene dada por:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{mV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (2.3)$$

Dónde:

I_L : Es la corriente fotogeneradora.

I_0 : Es la corriente inversa de saturación del diodo.

V_t : Es el voltaje térmico ($V_t = KT/e$, siendo K la constante de Boltzman, T la temperatura en grados Kelvin y e la carga del electrón), m es el factor de idealidad del diodo, R_s es la resistencia serie y R_p la resistencia paralelo.

La característica eléctrica del módulo fotovoltaico va a depender del número de células en serie y en paralelo que posea. Si suponemos que todas las células que conforman el módulo son idénticas, la corriente generada por el módulo sería igual al voltaje de la célula multiplicado por el número de células en serie:

$$I_{mod} = I_c * N_p \quad (2. 4)$$

$$V_{mod} = V_c * N_s \quad (2. 5)$$

Donde N_p . y N_s ; son equitativamente el número de células en paralelo y en serie que contiene el módulo.

Si combinamos las ecuaciones (2. 3), (2. 4) y (2. 5) se obtendrá la ecuación característica $V \cdot I$ de un módulo fotovoltaico formado por células idénticas [16].

2.4.3 Separación entre módulos

La separación entre líneas de captadores se establece de tal forma que, al mediodía solar del día más desfavorable del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila ha de proyectarse, como máximo, sobre la cresta inferior de la siguiente.

El día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre en equipos de utilización todo el año o en invierno, la altura solar mínima al mediodía solar tiene el valor de $H_{min} = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23^\circ$.

Para los equipos que se usan en verano, los días más desfavorable pueden ser el 21 de marzo o septiembre. La altura solar mínima al mediodía solar será: $H_{min} = (90^\circ - \text{latitud del lugar})$

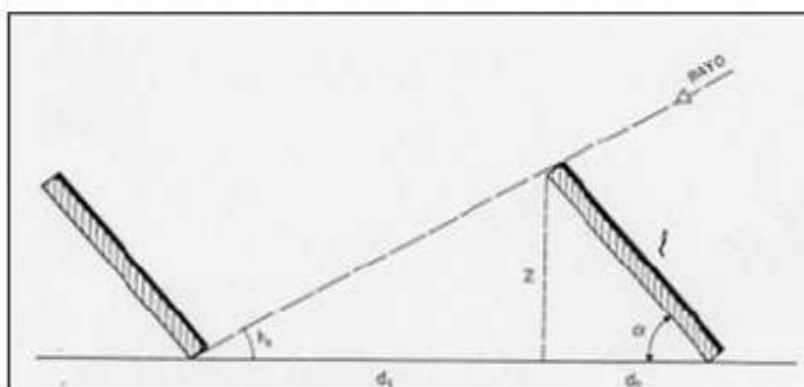


Figura.2.11 Distancia Mínima Entre Módulos

La distancia mínima entre líneas de captadores para que la fila anterior no proyecte sombras en la posterior, se determina mediante la fórmula:

$$d = l \times \left(\frac{\text{sen } \alpha}{\text{tanh } \alpha} + \cos \alpha \right) \quad (2.6)$$

Dónde:

d: La separación entre fila.

l : La longitud del módulo.

h: La altura que forma el modulo con la horizontal.

α : Ángulo de inclinación del panel

2.4.4 Degradación Inducida por Potencial (PID)

Estudios recientes están buscando explicación al fenómeno que sufren los módulos fotovoltaicos acerca de la caída del rendimiento que sufren en los primeros años de uso, causado por la degradación inducida por potencial; ya que esto afecta negativamente a plantas fotovoltaicas, lo cual produce pérdidas a los dueños de los proyectos y a los instaladores que siempre buscan optimizar una instalación fotovoltaica.

El efecto de Degradación Inducida por Potencial, más conocido como “Potencial Induced Degradación (PID)” es un problema que presentan los módulos fotovoltaicos, reduciendo de manera considerable la potencia, llegando a una reducción del 30% de su potencia nominal [17].

El efecto PID es ocasionado básicamente por las condiciones climáticas de la instalación y la calidad del panel fotovoltaico. Se produce debido a la diferencia de potencial que existe entre el marco del módulo fotovoltaico y las células fotovoltaicos. Al haber humedad en el ambiente, la conducción se hace más fácil y aparecen corrientes de fuga que circulan desde la capa del silicio hasta el exterior pasando por la capa de EVA (etileno vinil acetato) del panel hasta llegar al marco. Mientras mayor sea la humedad relativa del terreno, mayor

serán estas corrientes de fuga, las cuales causan la degradación de la potencia del módulo fotovoltaico. [17]

Como solución a este fenómeno, los fabricantes de paneles solares han establecido medidas con certificaciones de resistencia al PID, por lo que es también una de las características a tomar en cuenta a la hora de seleccionar el panel fotovoltaico.

2.4.5 Estructura soporte

El anclaje y la propia estructura deberán ser suficientes para garantizar su comportamiento estable frente a los vientos de máxima intensidad que cabe esperar en la zona y, como mínimo, deben resistir velocidades del viento de la zona.

Las estructuras de hierro galvanizado ofrecen una buena protección frente a los agentes corrosivos externos con la ventaja de que el zinc es compatible químicamente con el mortero de cal y de cemento, una vez que estos están secos. Las estructuras galvanizadas suelen montarse mediante tornillos.

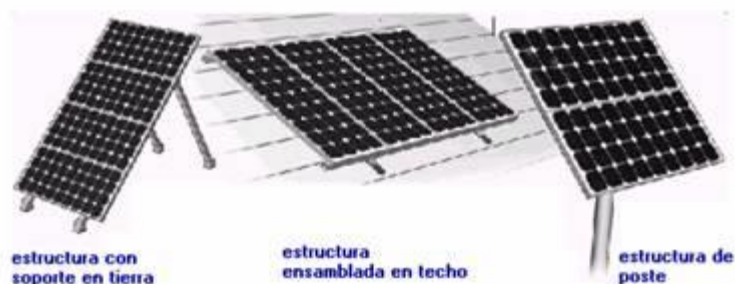


Figura.2.12 Soporte de Paneles

También se usan estructuras de aluminio y piezas de aluminio. Es importante conocer la norma ISO 9223 para conocer el tipo de galvanizado que se vaya a utilizar según las zonas de corrosión.

2.5 Sistema Fotovoltaico De Conexión A Red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste de un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El generador fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica para entregarla a la red eléctrica de distribución.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red se caracterizan por ser sistemas no contaminantes que contribuyen a reducir las emisiones de gases nocivos, y además aporta el uso de recursos naturales locales para la generación de energía y evitar la dependencia del mercado exterior del petróleo.

Estos sistemas en ocasiones son más económicos ya que no necesitan de un banco de baterías, que en ocasiones son los dispositivos más costosos del sistema aislado y los que mayor mantenimiento requieren.

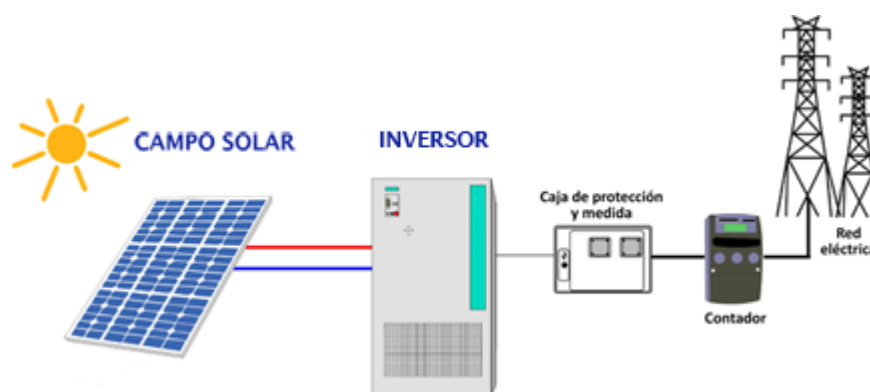


Figura.2.13 Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red

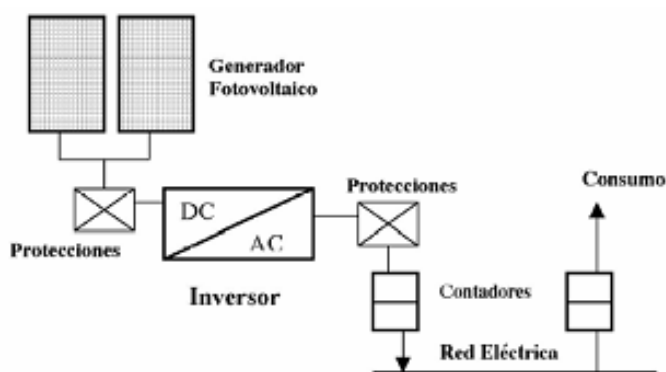


Figura.2.14 Subsistemas en Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red

Una planta fotovoltaica de conexión a la red presenta diversos subsistemas perfectamente diferenciados:

- Generador fotovoltaico: Está formado por la interconexión en serie y paralelo de una cantidad determinada de módulos

fotovoltaicos. Los módulos fotovoltaicos son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica, formando una corriente continua proporcional a la irradiancia solar recibida.

- La interconexión de paneles fotovoltaicos permite producir mayor voltaje o mayor corriente dependiendo del caso, aumentando la potencia independientemente de si están conectados en serie o paralelo. Los paneles fotovoltaicos conectados en serie permiten al generador fotovoltaico funcionar con tensiones superiores a la de un panel fotovoltaico individual.
- Interfaz de conexión a la red: Para poder conectar la instalación fotovoltaica a la red en condiciones adecuadas de seguridad es necesario que posea protecciones y elementos de facturación y medidas necesarias.
- Sistema de acondicionamiento de potencia: Para inyectar a la red de distribución eléctrica, la corriente continua generada por los módulos se requiere transformar la generación en corriente alterna de idénticas condiciones a la red. Esta función es realizada por inversores, donde transforman la tensión continua procedente de los módulos en tensión alterna trifásica; permitiendo operar la instalación fotovoltaica en paralelo con la red.
- Evaluación de la energía generada a la red: En baja tensión, se realiza a través de las infraestructuras comunes de interconexión de la planta solar al punto de conexión, en media tensión, definido por compañía la distribuidora de red.

CAPÍTULO # 3

3. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

El diseño de la planta fotovoltaica se hará de acuerdo a la ubicación, el espacio disponible y los posibles elementos de sombra en la ubicación, así mismo contrastando con la curva de consumo de energía del alimentador seleccionado y la curva generada por la planta fotovoltaica (dicha producción dependerá de la radiación de la zona).

Del mismo modo el ángulo de inclinación de los paneles es un factor importante a la hora del diseño, también se procederá a realizar una simulación en un programa computacional para corroborar los cálculos que se realicen a la hora de dimensionar la planta también con dicho programa se hará una curva diaria de la planta fotovoltaica y se la comparará con la curva diaria del alimentador seleccionado (alimentador del tipo comercial), para así de este modo ver los beneficios que se tendría al instalar la planta fotovoltaica en dicho alimentador seleccionado.

3.1 Descripción de la zona

El desarrollo masivo de la zona en el ámbito de la construcción, tienen una demanda superior a 1000KVA, la cual requirió instalar su propia subestación a 69KV, causando una modificación a la zona y para no dañar su estética se optó por crear una única subestación de distribución tipo encapsulada desde donde se alimentan de manera subterránea a todos los grandes proyectos, a través de 8 alimentadoras de 13.8 KV.

Para la distribución de la energía de la subestación Kennedy Norte cuenta con dos patios de transformación los cual son:

- Kennedy Norte I, está conformada de cuatro alimentadoras, de las cuales solo tres están operando actualmente y la cuarta esta de reserva para expansiones futuras. Las salidas de todas las alimentadoras son subterráneas hasta llegar a un poste donde se convierten en aéreas.

ALIMENTADORA	SECTORES A LOS QUE ABASTECEN CON ENERGÍA
Plaza Del Sol	Cooperativa de Vivienda Guayaquil
	Ciudadela Adace
	Avenida Juan Tanca Marengo
	Avenida de las Américas
URDENOR	Urdenor 1
	Urdenor 2
José Castillo	Urbanor
	Urbanización Principado de las Lomas

Tabla # 2: Sectores a los que abastecen con energía el patio de la subestación Kennedy norte I

- Kennedy Norte II, está conformada de cuatro alimentadoras, tres de ellas netamente subterráneas, los cuales son: San Marino, Word Trade Center y Centrum, la cuarta correspondiente a Las Cámaras, tiene una salida subterránea hasta el edificio de igual nombre, donde existe un switch de tres vías donde se convierten en aérea.

ALIMENTADORAS	SECTORES A LOS QUE ABASTECEN CON ENERGÍA
Las Cámaras	Cámara De Comercio
	Hotel Hilton Colon
Word Trade Center	Word Trade Center
	Edificio Toyota Atlas
Centrum	Edificio Centrum
	Gobierno Del Litoral
	Edificio Centro Norte
	Club Aviación Civil
San Marino	Centro Comercial San Marino

Tabla # 3: Sectores a los que abastecen con energía el patio de la subestación Kennedy norte II

3.2 Descripción del alimentador

El patio II de la Subestación Kennedy Norte está conformado por cuatro alimentadoras, tres de ellas son subterráneas y una mixta. Las alimentadoras son:

- Centrum;
- Word Trade Center;
- Las Cámaras;
- San Marino;

Las alimentadoras en su mayoría presentan cargas comerciales, exceptuando Las Cámaras, a la cual hemos llamado de tipo de mixta ya que su topología desde la subestación hasta llegar al

edificio Las Cámaras permanece subterránea, posterior a esto alimenta a las cargas residenciales de una parte de la ciudadela Kennedy Norte, de manera aérea.

Alimentadora Centrum

La Alimentadora Centrum es netamente comercial y está conformada por cuatro grandes bloques de carga. En la Figura.3.1 y la Tabla # 4 se detallan las cargas que posee la alimentadora.

BLOQUES DE CARGA	PORCENTAJE	CARGA (KVA PROMEDIO)
EDIFICIO CENTRUM	30,00%	410,18
CLUB DE AVIACION CIVIL	5,00%	68,36
EDIFICIO CENTRO DEL NORTE	10,00%	136,73
FIZZ	3,00%	41,02
GOBIERNO DEL LITORAL	52,00%	710,97

Tabla # 4: Bloques de carga de la alimentadora centrum

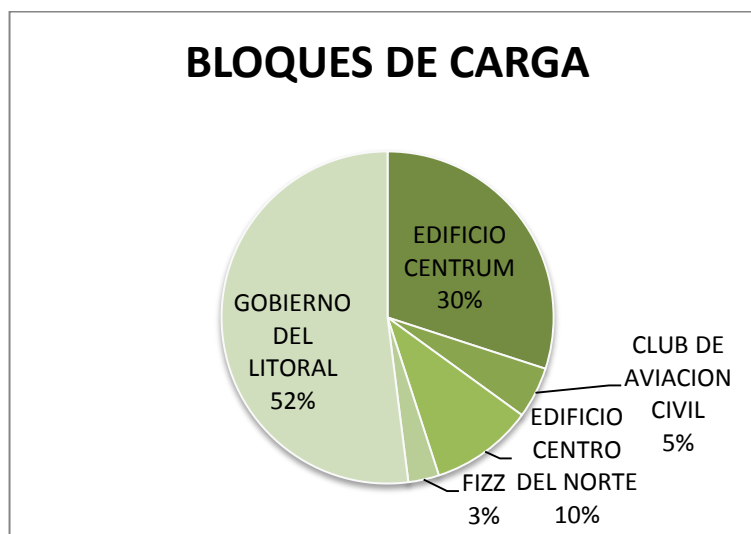


Figura.3.1 Gráfico de porcentajes de bloques de carga de la alimentadora centrum

3.3 Ubicación del proyecto

El lugar que ha sido seleccionado para instalar 1 MW de generación fotovoltaica, es en la provincia del Guayas, en la ciudad de Guayaquil, en un terreno que se encuentra al lado de la S/E Kennedy, con un área aproximado de 13.12 Ha que se sitúa a 6 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas decimales corresponde a: latitud -2.156108 y longitud -79.899750.

En dicho lugar no existe construcciones con alturas considerables que le hagan sombra a la planta fotovoltaica, además en dicha subestación se tienen alimentadores que son del tipo comercial lo cual es análisis del proyecto.

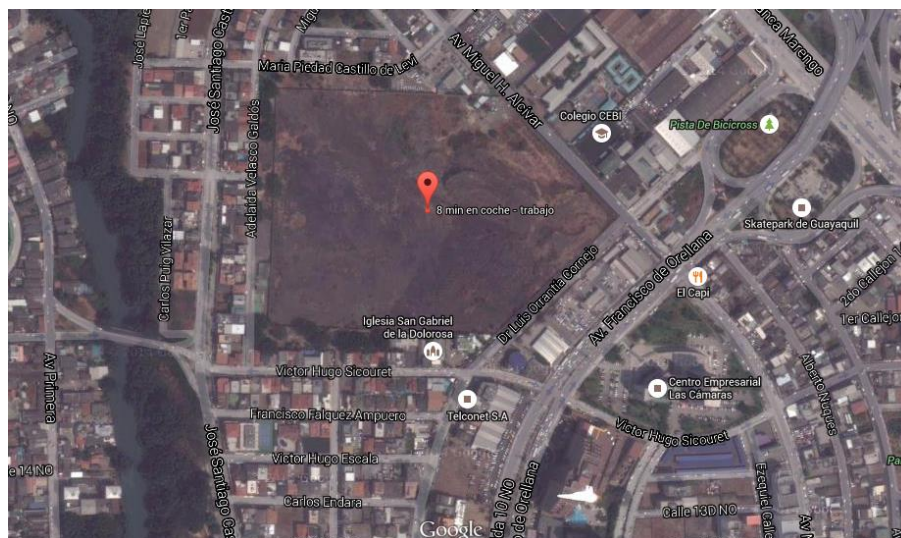


Figura.3.2 Ubicación del terreno en donde se va a instalar la planta fotovoltaica

3.4 Radiación de la zona

Para determinar la radiación de la zona, se tomará los datos proporcionados de la NASA, dichos datos se encuentran sobre el plano horizontal, para lo cual se utiliza como apoyo se consultará en las tablas de NEC para poder realizar la conversión sobre el plano inclinado en función del grado de inclinación seleccionado para esto se toma un ángulo de inclinación de los paneles a 10° , con una orientación hacia el norte debido a que la zona de Guayaquil ya se encuentra por debajo de la línea ecuatorial es decir ya en zona sur del planeta, dicho valor de inclinación se le da a los paneles debido a que con dicho valor de ángulo el polvo o algún objeto externo al entrar en contacto con los paneles no obstruirá o generará sombras en dichos paneles, ya que con este valor de ángulo seleccionado el objeto por acción de gravedad tenderá a irse a un costado inferior del panel.

3.5 Selección de equipos

3.5.1 Selección de paneles fotovoltaicos

Para el diseño de la instalación fotovoltaica se trabajará con paneles policristalinos de la marca Yingli Solar, modelo YL240-29b cuyas especificaciones técnicas se muestran a continuación:

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

STC: 1000 W/m² Irradiancia, 25°C Tmódulo, AM1,5 distribución espectral según EN 60904-3
Reducción media de la eficiencia relativa de 5% a 200 W/m² según EN 60904-1

Figura.3.3 Parámetros eléctricos en condiciones STC para los paneles fotovoltaicos

Parámetros Eléctricos en Temperatura de Operación Nominal de la Célula(TONC)							
Potencia de salida	P _{max}	W	189,7	186,0	182,4	178,7	175,1
Tensión en P _{max}	V _{mpp}	V	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8
Intensidad en P _{max}	I _{mpp}	A	6,87	6,79	6,71	6,62	6,54
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	34,8	34,8	34,7	34,6	34,6
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	7,35	7,28	7,21	7,14	7,07

TONC: Temperatura en circuito abierto del módulo a 800W/m² de Irradiancia, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento

Figura.3.4 Parámetros eléctricos en temperatura de operación nominal de la célula (TONC)

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura de Operación Nominal de la Célula	TONC	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P_{max}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V_{oc}	$\beta_{V_{oc}}$	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I_{sc}	$\alpha_{I_{sc}}$	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para v_{mpp}	$\beta_{v_{mpp}}$	%/°C	-0,42

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máxima tensión del sistema	1000V _{DC}
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.3.5 Características eléctricas y condiciones de operación para los paneles fotovoltaicos

CARACTERÍSTICAS GENERALES

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

Figura.3.6 Características generales para los paneles fotovoltaicos

3.5.2 Selección de edificio preensamblado

Edificio Técnico

Este edificio corresponde a la marca Power Electronics que ofrece un edificio técnico prefabricado de hormigón para soportar las diferentes condiciones ambientales, en el cual vienen incluidas las protecciones DC y AC, los ocho módulos de inversores. El transformador de potencia, transformadores

de auxiliares y las celdas de media tensión como se muestra a continuación.



Figura.3.7 Edificio técnico, marca power electronic

Sus características principales son las siguientes:

- Sus dimensiones son [LxAxH] (mm): 8900x2400x2400
- Cuentan con protección IP54
- Puertas de acceso galvanizada
- Incluyen puentes AC: 8 cables por fase
- Cuentan con integración del puente DC
- Anillo de tierras



Figura.3.8 Inversor Freesun FS1001



Figura.3.9 Inversor Freesun FS1001, vista lateral

El inversor que se presenta viene en equipos modulares, con capacidad de 1MW de potencia instalada, haciendo que la parte de la instalación sea de forma más segura y confiable. Dicho equipo trae consigo 8 módulos de inversores de 125 kWp. Esto es una ventaja ya que no habría problemas de parar toda la planta si se llegase a averiar algún módulo inversor, más bien todo lo contrario, los restantes pueden seguir generando sin problema alguno. Esta característica

hace que el mantenimiento y producción de la planta sea más viable.

Los módulos inversores de Power-Electronics tienen la característica de funcionar como master-slave (maestro-esclavo) en sistema rotatorio, es decir uno de ellos toma la función de maestro y manda a funcionar a los inversores que se requieran dependiendo de la energía que este siendo producida en un determinado día, al día siguiente funcionara como maestro, el inversor que menos haya operado el día anterior, con este sistema se garantiza que todos los inversores trabajen de forma similar.

A continuación se muestran las especificaciones técnicas del inversor:

- Potencia Nominal: 1000 KVA
- Rango de MPPT: 520-820 Vdc
- Tensión de salida: 330 V
- Numero de módulos: 8
- Frecuencia: 60Hz
- Polo negativo a tierra
- Tensión máxima de sistema: 1000Vdc
- Consumo máximo aproximado: 4600W

Seccionador AC: 2500 A

- Marca Seccionador: Telergón
- Fusibles AC: 6 x 1250 A (2 por fase)
- Marca de los fusibles: Siba
- Sin corte de neutro
- Con protección de neutro: fusible 6A
- Protección IP 21
- Sus dimensiones son: 5260x2150x1020

- Peso: 4500Kg
- Protección contra rayos AC/DC
- Kit para conexión de 8 cables de 240 mm² con M12

A continuación se muestra el diagrama funcional del inversor:

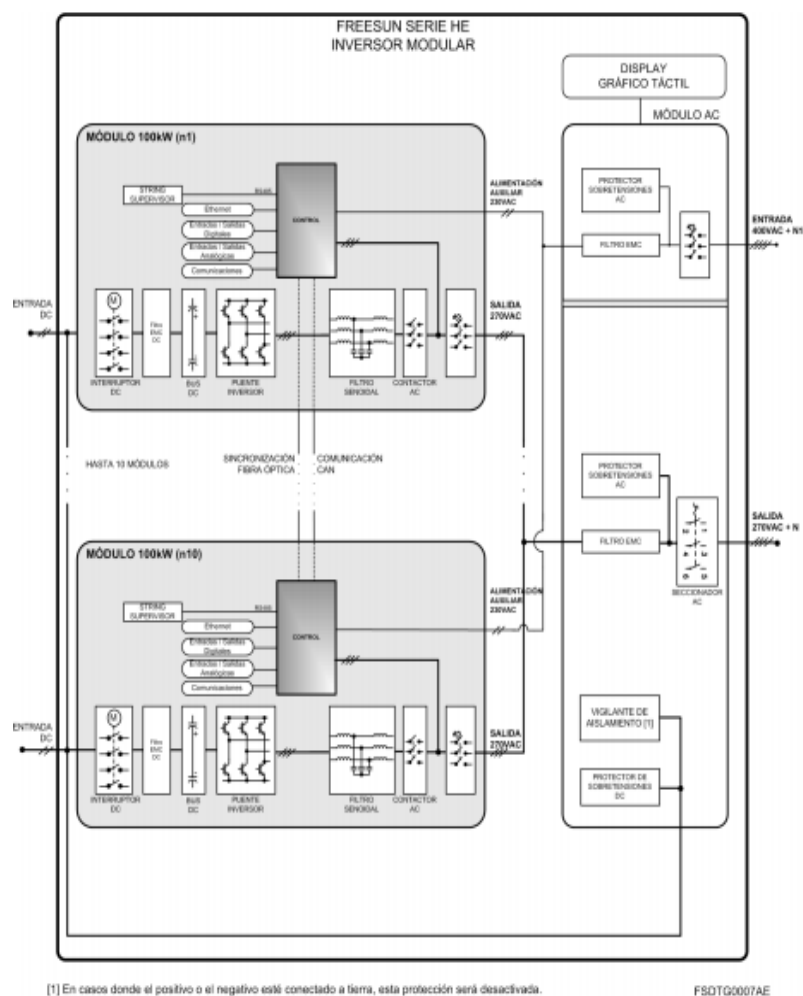


Figura.3.10 Diagrama funcional del inversor

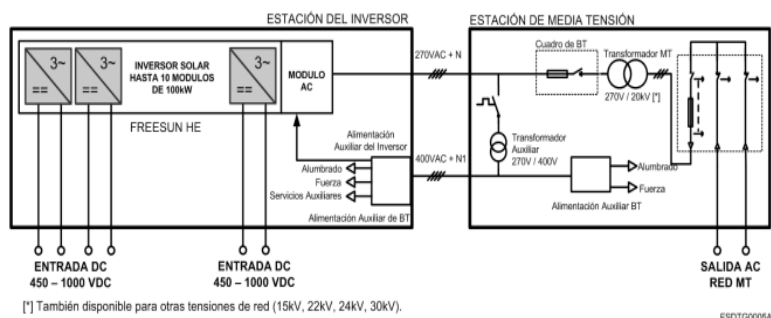


Figura.3.11 Diagrama funcional de estaciones

Transformador De Potencia

El transformador debe de estar provisto de las envolventes adecuadas para la instalación y con el relé de protección DGPT2

Las características técnicas del transformador de potencia son las siguientes:

- Potencia nominal: 1100 kVA
- Tensión 13.8kV /330V
- 60Hz
- Tipo de conexión Ynyn0
- Pantalla electroestática
- Relé DGPT2
- Sistema de refrigeración: ONAN
- Material conductor (AT/BT): AI / AI
- Marca del transformador: Jara

En este caso se selecciona un transformador grupo 0 debido a que el sincronismo se realiza en la parte de B.T. ya que los inversores se encargan de sincronizar los fasores de onda con

la señal de la red en baja, es por esto que no es relevante el grupo del transformador.

Celdas De Media Tensión

Estas celdas se instalarán dentro del edificio técnico, en el lugar predestinado para ello. Las celdas de media tensión tienen las siguientes características:

- Celdas 2L+P
- Es de tipo modular Normafix
- Su configuración: 2 celdas de Línea y 1 de protección.
- Posee interruptor seccionador 630A / Cortocircuito 20KA
- Tensión nominal: 24Kv
- Fusibles: 125 A
- Cortes y asilamiento SF6
- Cerradura enclavamiento en el seccionador de puesta a tierra con puerta acceso transformador.



Figura.3.12 Celdas de media tensión

Teniendo como bases los valores de la tabla del anexo, llamada Cálculo de radiación anual de la zona, se procederá a calcular el número de paneles totales tanto en serie como en paralelo, así también como la corrección de voltaje por descenso de temperatura de lo cual se tiene:

NUMERO DE PANELES	4167
PANELES EN SERIE	28

Tabla # 5: Cálculos de paneles

TEMPERATURA DE CORRECCION	22,7
VOLTAJE EN CICUITO ABIERTO CORREGIDO	37,78
VOLTAJE CORREGIDO	1057,45 SUPERA EL LIMITE MAX DE TENSION

Tabla # 6: Voltaje corregido por descenso de temperatura

Se tiene que el valor de voltaje corregido por descenso de temperatura supera el valor de voltaje máximo que soportaría en inversor (1000V), por lo cual al tener ese valor de tensión dañará el inversor a futuro, lo recomendable sería bajar el número de paneles en serie para así disminuir el valor de tensión máxima que se tiene, lo cual quedaría de la siguiente manera:

CORRECCION DE PANELES EN SERIE	26
VOLTAJE CORREGIDO	982,40
NUMERO DE PANELES EN PARALELO	160
NUMERO TOTAL DE PANELES	4160
POTENCIA TOTAL DE LA INSTALACION (W)	1000000

Tabla # 7: Nuevos valores calculados

Ya aquí se observa que el valor de tensión máxima que alcanzaría los paneles, está por debajo del valor de voltaje máximo que soporta el inversor. También se aprecia el número de paneles en paralelo que corresponde para tener los 4167 paneles que conformarán la planta fotovoltaica de 1 MW instalado.

Calculando la energía que producirá la planta fotovoltaica en un año se tiene:

PRODUCCION DE ENERGIA AL AÑO	1213939800	1213,94	MWh al año
-------------------------------------	-------------------	----------------	-------------------

Tabla # 8: Energía anual de la planta

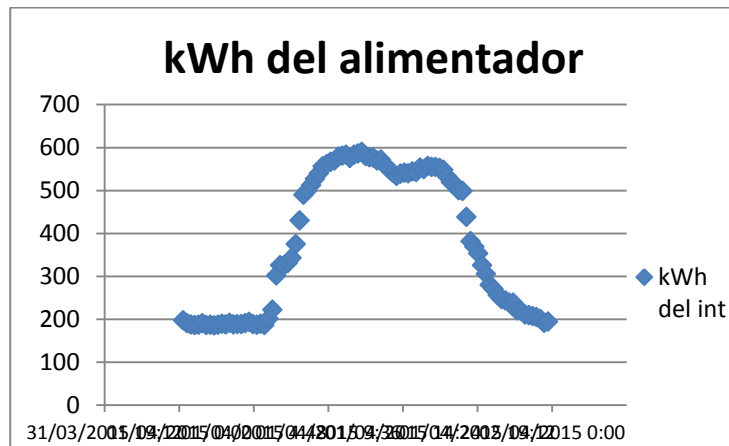


Figura.3.13 Curva de carga diaria del alimentador centrum

De acuerdo a la Figura.3.13, se observa que la forma de la curva es muy parecida a la curva característica de una planta fotovoltaica de acuerdo a la Figura.3.14, por lo cual resultaría muy conveniente el instalar una planta fotovoltaica de 1MW en dicha alimentadora por sus parecidos en sus curvas diarias de carga y así de este modo ya no se estaría comprando energía térmica que contamina, de esto se estará hablando en el siguiente capítulo.

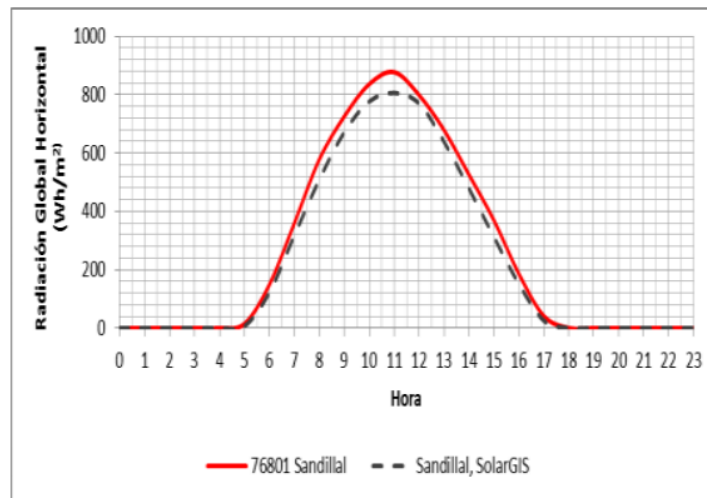


Figura.3.14 Curva de carga diaria de una planta fotovoltaica [18]

3.6 Simulación en PVSYST5

Para corroborar los cálculos realizados, se procederá a realizar las respectivas simulaciones en el programa PVSYST5 en el cual se obtendrá informes, gráficas y valores a ser interpretados y contrastados con los cálculos teóricos previamente realizados.

3.6.1 Configuración de zona y equipos de la planta fotovoltaica

Se procede a realizar la configuración de la zona en la cual se va a instalar 1 MW de paneles fotovoltaicos, en la Figura.3.15

Decimal Deg. min.

Latitude: -3.11 -3 7 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: -79.21 -79 13 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: 4 M above sea level

Time zone: -5 Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 17m

Sun paths

Print

Cancel OK

Figura.3.15 Parámetros geográficos de la zona

Ahora se procede a colocar los valores de irradiación de acuerdo a la zona en cuestión, así mismo los valores de temperatura mínima para tener en cuenta el aumento de voltaje en los paneles de acuerdo al valor de temperatura mínima, tal como lo muestra la Figura.3.16.

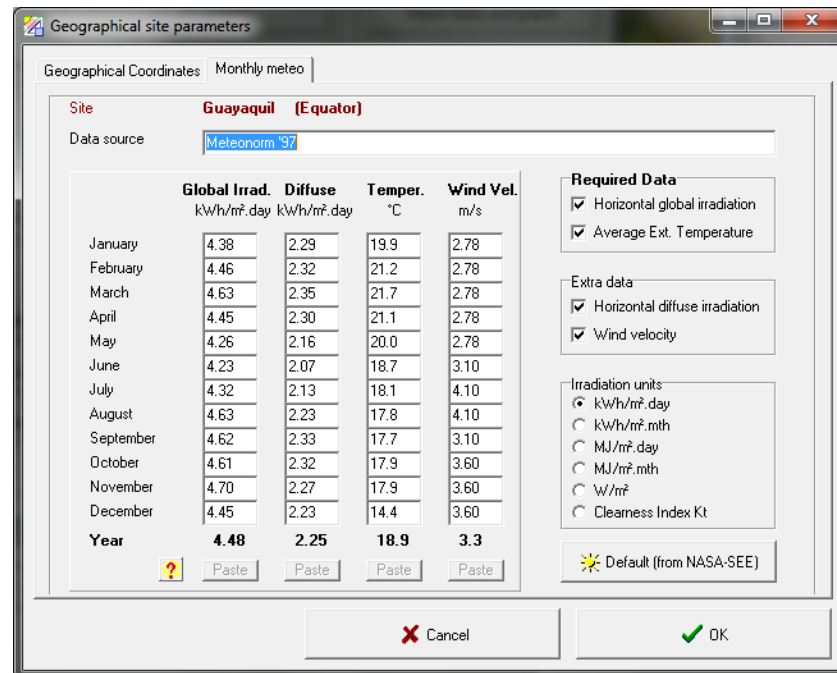


Figura.3.16 Valores de irradiación y temperatura de la zona

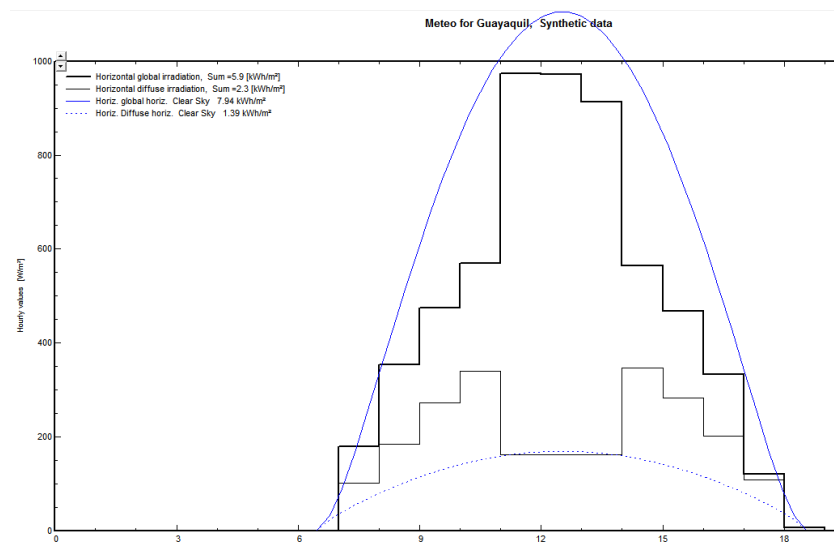


Figura.3.17 Gráfica de irradiación global y difusa de la zona

3.6.2 Configuración de los paneles e inversor para la planta fotovoltaica

The screenshot shows the 'Definition of a PV module' window with the following configuration details:

Section	Parameter	Value	Unit	
Basic data	Model	YL240P-29b		
	Manufacturer	Yingli Solar		
	File name	Yingli_YL240P_32b.PAN		
	Data source	Manufacturer 2009		
Nom. Power (at STC)	Wp	240		
	Tol. %	3.0		
Manufacturer specifications or other Measurements	GRef	1000	W/m²	
	TRef	25	°C	
	Isc	8.75	A	
	Open circuit Voc	37.50	V	
	Imp	8.18	A	
	Vmpp	29.30	V	
Temperature coefficient	mulsc	4.4	mA/°C	
	or mulsc	0.05	%/°C	
Nb cells	66 in series			
Model summary	R shunt	250	ohm	
	Rsh(G=0)	1000	ohm	
	R serie model	0.18	ohm	
	R serie max.	0.51	ohm	
R serie apparent 0.44 ohm				
Model parameters	Gamma	1.35		
	IoRef	658	nA	
	muVoc	-130	mV/°C	
	muPMmax fixed	-0.45	/°C	
Internal model result tool	GOper	1000	W/m²	
	TOper	25	°C	
	Max Power Point:	Pmpp	240.7	W
	Current Impp	8.02	A	
	Voltage Vmpp	30.0	V	
	Temper. coeff.	-0.45	%/°C	
Efficiency / Cells area	Short-circuit current Isc	8.75	A	
	Open circuit Voc	37.5	V	
	Efficiency	14.99	%	
	/ Module area	13.43	%	

Figura.3.18 Parámetros de paneles fotovoltaicos a emplearse

Como se puede apreciar en la Figura.3.18 se ha configurado los parámetros de las características técnicas de los paneles a usarse marca Yingli solar.

Del mismo modo, de acuerdo a las características técnicas del inversor se procede a configurar los valores para realizar la simulación.

Figura.3.19 Datos técnicos del inversor marca Freesun

El ángulo al cual se instalarán los paneles será de 10° , ya que a éste ángulo se evitan que suciedades y polvo se acumulen en los paneles y las variaciones con respecto a la inclinación en el plano horizontal no varían mucho.

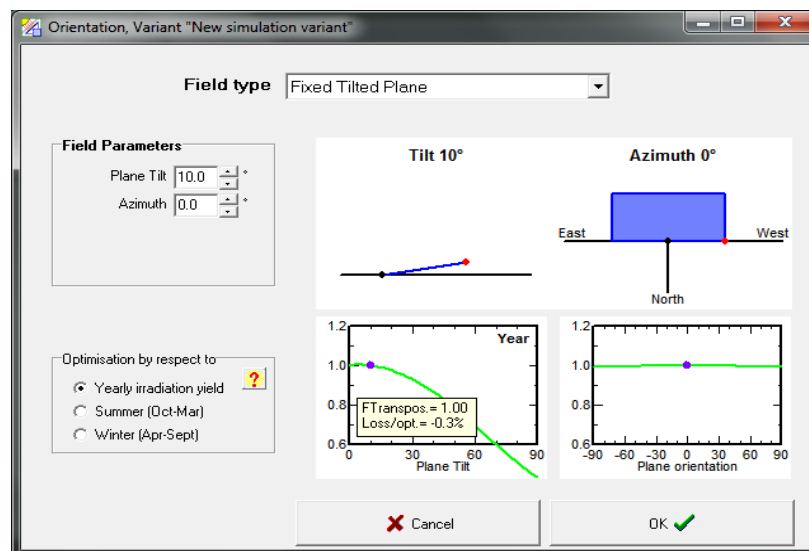


Figura.3.20 Orientación de los paneles a 10° con graficas optimizadas

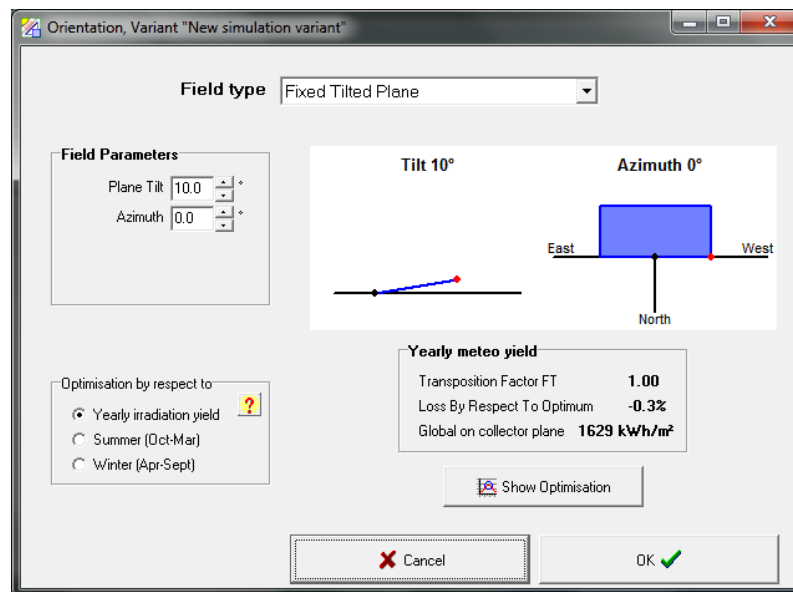


Figura.3.21 Orientación de los paneles a 10°

3.6.3 Selección de números de paneles (serie y paralelo) e inversores (maestro-esclavo) y ubicación de paneles para la planta fotovoltaica

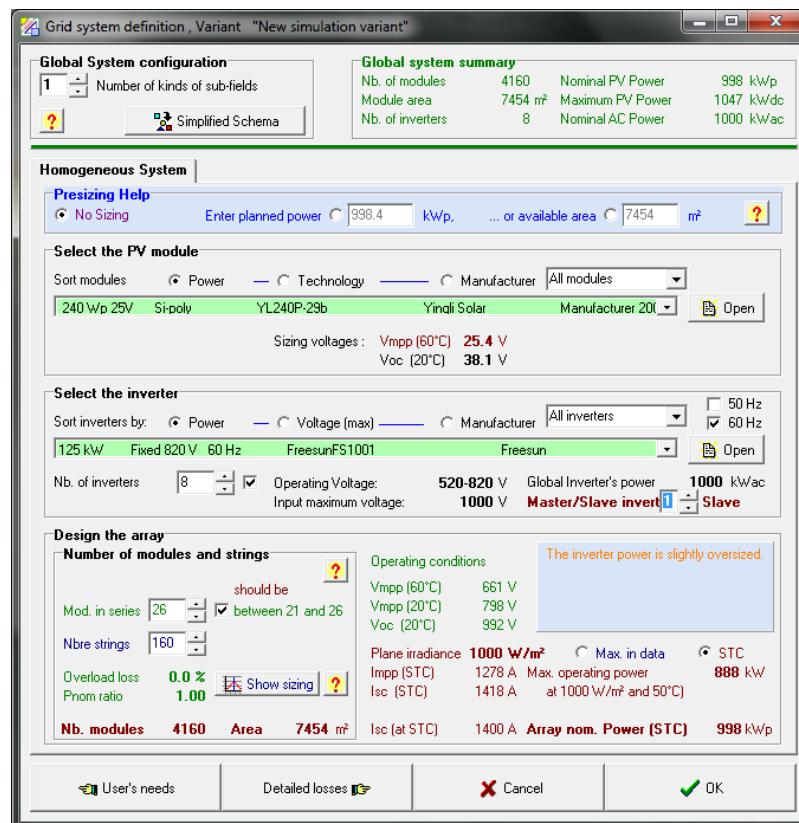


Figura.3.22 Configuración de la planta fotovoltaica

De acuerdo a la Figura.3.22, se tiene que los paneles fotovoltaicos proveerán una potencia de 998 kWp para un total de 4160 módulos con 26 paneles en serie y 160 paneles en paralelo, tal como se había definido previamente en los cálculos teóricos antes realizados.

Sub Field Layout

Mechanical | Electrical

Available area
Main Rectangle: W x H **300.00** x **94.54** m²

Secondary Rectangles
Rectangle #1, Inactive
Secondary Rect: W **0.00** H **0.00** m²
Custom position: X **32.73** Y **94.45** m
Contribution: Inactive Active
Corner Positions:
 Triangle shape

Module arrangement
Set Modules Show modules
Module spacing: in X **1.50** in Y **1.00** m
Filling Mode: From left Centered From right
 From top Centered From bottom
Mod. layout: Vertical Horizontal

Summary for this sub-field
Total on this sub-field **4230 modules** **7579.7m²**

Figura.3.23 Disposición física de paneles 1

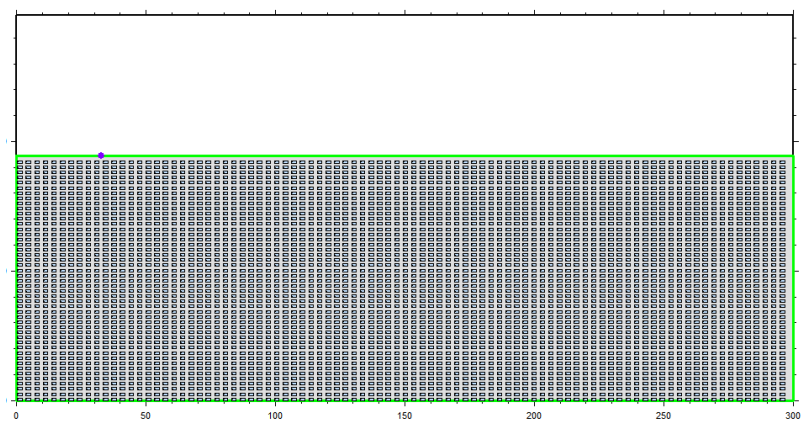


Figura.3.24 Disposición física de paneles 2

Se tiene de acuerdo a las dimensiones de los paneles y al número de éstos que se ocuparía un área de 7454 m² por lo cual se dispondrá de 300x94.54 metros en los cuales habría un pequeño excedente de 70 módulos, es decir dentro de esta área caben 4230 paneles. Con esta disposición definida se mantendrá tanto el numero en serie como en paralelo de los paneles.

New simulation variant Energy use and User's needs				
	E Avail kWh	E User kWh	E Gridl kWh	SolFrac
January	95555	95555	0.000	1.000
February	89125	89125	0.000	1.000
March	105873	105873	0.000	1.000
April	102157	102157	0.000	1.000
May	104192	104192	0.000	1.000
June	102557	102557	0.000	1.000
July	108577	108577	0.000	1.000
August	113319	113319	0.000	1.000
September	105511	105511	0.000	1.000
October	106229	106229	0.000	1.000
November	99986	99986	0.000	1.000
December	96456	96456	0.000	1.000
Year	1229535	1229535	0.000	1.000

Figura.3.25 Energía mensual y anual inyectada a la red

De acuerdo a la simulación y los valores que se muestran en la Figura.3.25 se tiene una energía anual disponible de 1229,535 MWh y contrastando con los cálculos teóricos de acuerdo a la Tabla # 8 se tiene un valor anual de 1213,94 MWh, lo cual es muy cercano a los resultados de la simulación lo cual corrobora el estudio realizado, en la siguiente figura se muestra una gráfica en la cual se observa la curva de energía anual entregada por la planta a la red.

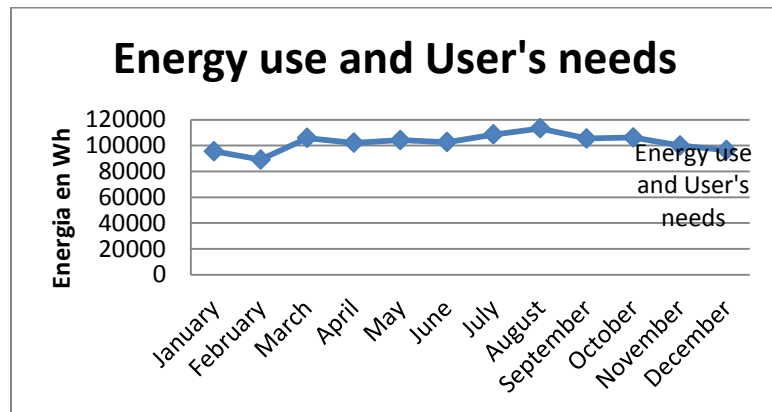


Figura.3.26 Energía anual entregada a la red

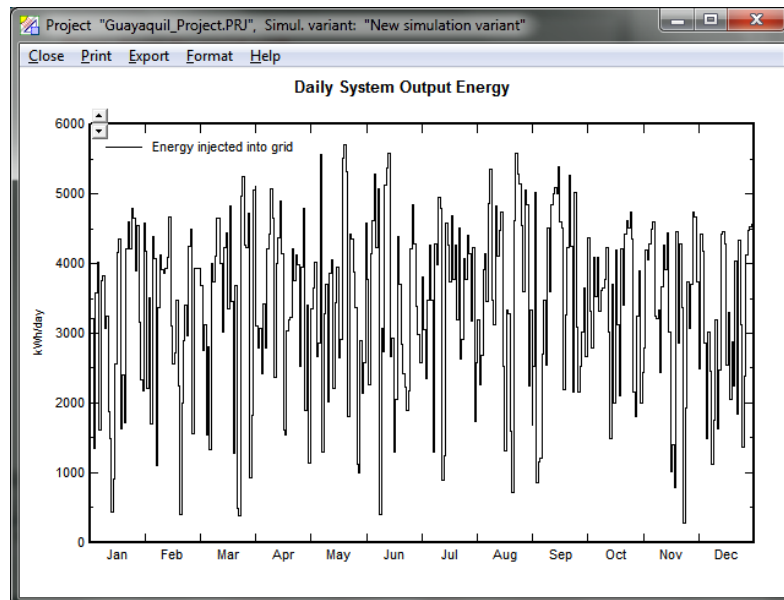


Figura.3.27 Energía diaria del sistema

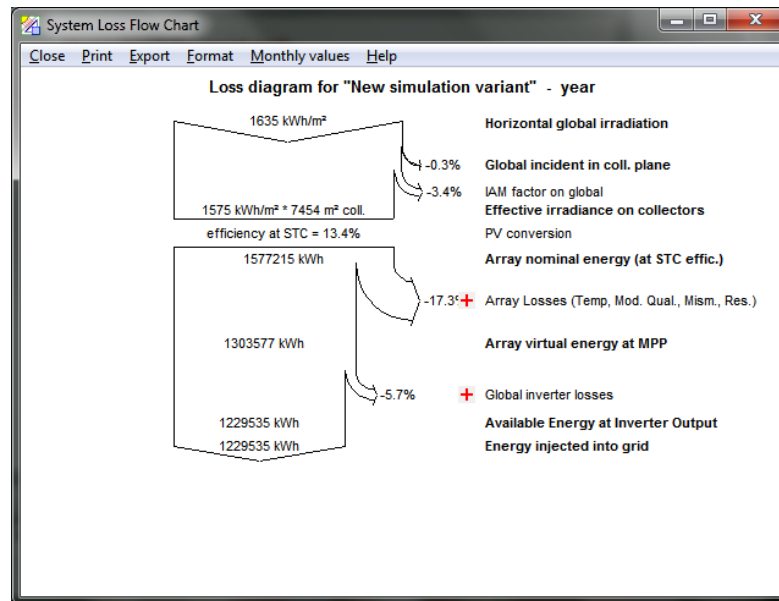


Figura.3.28 Diagrama de pérdidas de la planta fotovoltaica

En la Figura.3.28, se puede apreciar todos los tipos de pérdidas así como su respectivo porcentaje entre la energía que le llegan a los paneles y la que éste entrega al sistema en un año.

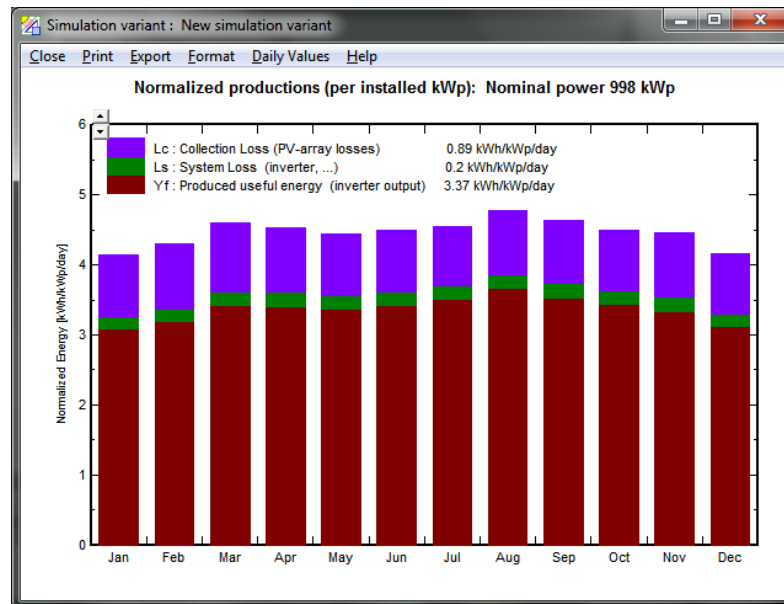


Figura.3.29 Diagrama normalizado de energía de la planta

Se puede apreciar del gráfico anterior la energía total normalizada de la planta, en la cual muestra la relación con respecto a las pérdidas de los paneles, pérdidas del inversor y la energía entregada en número de veces de acuerdo a cada kWp instalado en la planta fotovoltaica, esto da una idea de la relación que existe entre cada una de estas variables, a continuación se presenta el mismo gráfico pero mostrando ya no el número de veces, sino más bien el porcentaje de éstos.

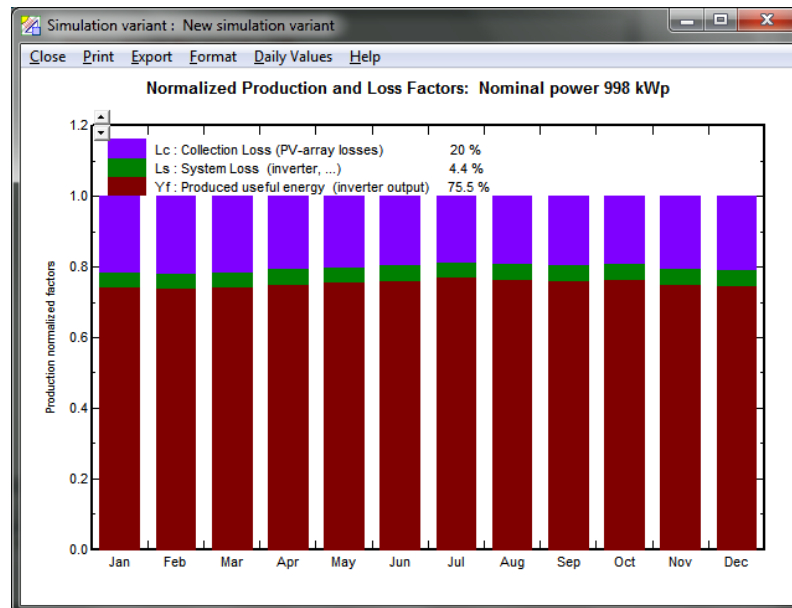


Figura.3.30 Diagrama en porcentaje de energía de la planta

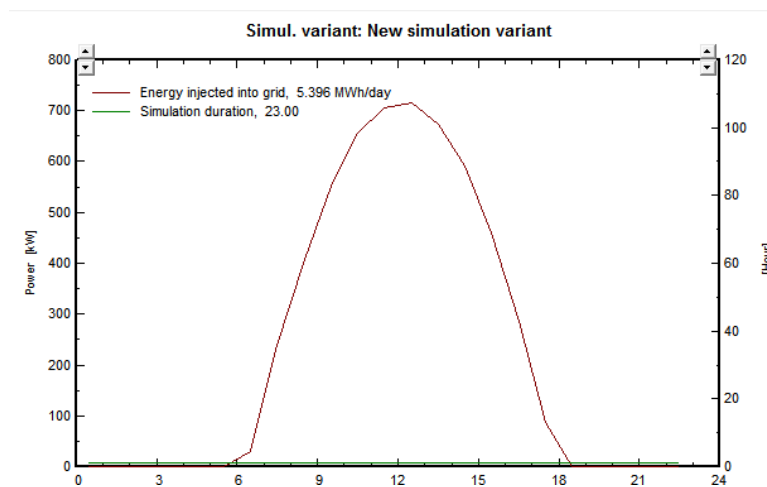


Figura.3.31 Curva de potencia entregada a la red en un día normal en la planta

Se observa la curva de potencia que entrega la planta fotovoltaica en la red de distribución, para ser más específicos en el alimentador Centrum de la S/E Kennedy, la está por

debajo de la curva de potencia del alimentador el cual se observa en la siguiente figura.

En la cual se aprecia que la curva de potencia de la planta fotovoltaica está por debajo de la curva de potencia del alimentador, lo cual indica que toda la potencia que se genere de los paneles será consumida instantáneamente por las cargas que se encuentren conectadas en el alimentador y el resto de potencia faltante lo suministrará el transformador de la misma S/E, es decir nunca la potencia que se genere de los paneles se irá al resto de alimentadores de la S/E Kennedy

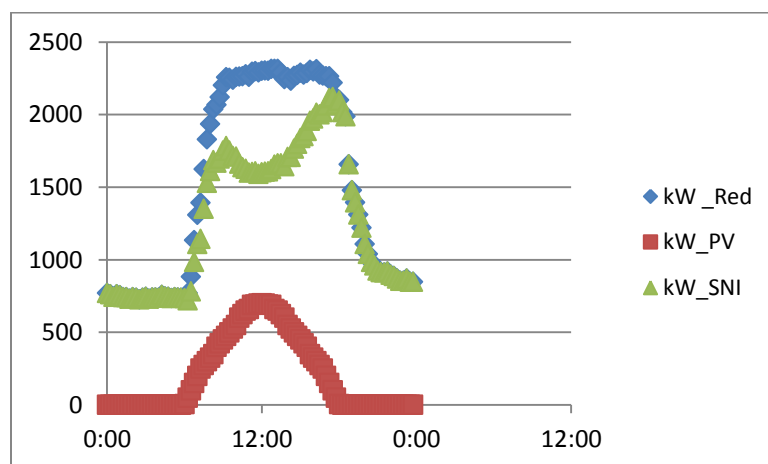


Figura.3.32 Curva diaria de potencia del alimentador centrum, de la S/E Kennedy

New simulation variant
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	135.8	19.90	128.7	123.9	101211	95555	10.55	9.96
February	124.9	21.20	120.6	116.5	94324	89125	10.49	9.92
March	143.5	21.70	142.5	138.1	111960	105873	10.54	9.96
April	133.5	21.10	136.0	131.7	108085	102157	10.66	10.08
May	132.1	20.00	137.9	133.4	110335	104192	10.73	10.14
June	126.9	18.70	134.6	130.1	108521	102557	10.81	10.22
July	133.9	18.10	141.0	136.5	114778	108577	10.92	10.33
August	143.5	17.80	148.1	143.4	119728	113319	10.85	10.27
September	138.6	17.70	138.9	134.4	111723	105511	10.79	10.19
October	142.9	17.90	139.2	134.6	112564	106229	10.85	10.24
November	141.0	17.90	133.5	128.6	106102	99986	10.66	10.05
December	137.9	18.50	129.1	124.1	102281	96456	10.63	10.02
Year	1634.6	19.20	1630.1	1575.3	1301612	1229535	10.71	10.12

Figura.3.33 Resumen de parámetros de la planta fotovoltaica

Y finalmente en la Figura.3.33, se presenta un resumen total de mes a mes y anual de la irradiación global, temperatura mínima, irradiación efectiva, energía total de los paneles, energía de los paneles entregada a la red, porcentaje de efectividad de los paneles y porcentaje de efectividad de la energía entregada a la red.

En dichos valores se tiene que la energía total producida por los paneles será de 1301,612 MWh al año y así mismo que la energía entregada a la red será de 1229,535 MWh al año lo cual dice que existen un valor en pérdidas totales de 72,077 MWh al año, dando así un porcentaje total de pérdidas de 5.53%.

CAPÍTULO # 4

4. ANÁLISIS ENERGÉTICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

4.1 Análisis energético

4.1.1 Ahorro y Reducción en la transmisión de potencia hacia la ciudad de Guayaquil.

5. Energía Disponible para Servicio Público	GWh	%
Pérdidas en Transmisión	458,92	2,50%
Total Energía Disponible para Servicio Público	17.897,27	97,50%
Energía Exportada Perú	6,17	0,03%
Energía Exportada Colombia	8,22	0,04%
Total Energía Disponible en los Sistemas de Distribución	17.882,88	97,42%

Tabla # 9: Energía disponible anual [19]

De acuerdo a [19], se tiene que las pérdidas por transmisión total en el sistema corresponden a un 2.50% y que la energía total disponible es de 17.897,27 GWh, así mismo de acuerdo a la Tabla # 10. Se tiene que la energía que proveerá al año la planta fotovoltaica es de 1213,94 MWh. Por lo cual al necesitarse dicha cantidad de energía del sistema (energía de hidroeléctrica y térmicas) ésta la proveerá la planta fotovoltaica, así de este modo se tiene una reducción de \$ 5.392,93. Así mismo si ya no se comprase esa energía al sistema la cantidad de dinero que serviría para la inversión de energía limpia sería de \$ 221.110,03 anualmente.

Energía en KWh generado por la planta	% pérdidas en las líneas de transmisión	Energía perdida en KWh	Generación del S.I.N para proveer dicha energía al alimentador	costo en dólares para dicha energía
1.213.939,80	2,50%	30.348,50	1.244.288,30	\$ 221.110,03
			1.213.939,80	\$ 215.717,10
			Dólares que se ahorraría en pérdidas de transmisión	\$ (5.392,93)

Tabla # 10: Ahorro en dólares por pérdidas en transmisión

Otro aspecto importante y destacado es la facilidad de repotenciación de la planta fotovoltaica para suplir los posibles aumentos de cargas a futuro ya que el incurrir en construcción de nuevas líneas y generación externa a la ciudad y zona es muy costoso y requiere de mayor tiempo de planificación y construcción sin dejar de lado que la opción fotovoltaica presenta beneficios energéticos limpios.

4.2 Análisis ambiental

Tiene como objetivo Realizar el Diagnóstico de Línea Base Ambiental en la zona geográfica donde se ubicará el proyecto.

Teniendo como base para los respectivos estudios:

- Ley del Régimen Municipal;
- Marco legal ambiental local (ordenanzas municipales);
- Ley de Conservación de Patrimonio Histórico y Cultural;
- Ley de Régimen del Sector Eléctrico;

Localización y descripción del Complejo Fotovoltaico

El terreno que contiene el lote de instalación del Complejo Fotovoltaico, se ubica en la ciudadela Kennedy Norte, en la Parroquia Tarquí, perteneciente al cantón Guayaquil, Provincia del Guayas, de acuerdo a su división política.

El terreno, limita al norte la vía María Piedad Castillo de Levi que da acceso a distintos solares de la ciudadela, al sur limita con solares de la ciudadela y edificios representativos como la iglesia san Gabriel de la dolorosa y una sucursal de CNT, al este limita las Av. Luis Orrantia Cornejo y Miguel H. Alcívar, y al oeste limita con un área verde destinada para parque de los habitantes adyacentes al mismo.

Adicionalmente se conoce que el lote es de propiedad de la junta de beneficencia de Guayaquil.

Marco Geológico Regional

El tipo de suelo en este sector es duro apto para constricciones altas, en la inmediata cercanía, existe una montaña de rocas ígneas y sedimentarias.

Clima

El régimen climático de la zona litoral, es alterado frecuentemente por los eventos El Niño-Oscilación Sur (ENOS), que corresponde a la influencia masiva de aguas cálidas hacia el Pacífico Oriental sobre las costas de Ecuador y Perú, cuyos efectos son: la elevación de la temperatura del agua y grandes precipitaciones; y los eventos fríos que corresponden a la influencia de aguas frías transportadas por la corriente del sur o de Humboldt, con efectos de disminución de la temperatura del agua, del aire, y reducción considerable de las precipitaciones.

Hidrología

Según la ubicación del terreno y el mapa hídrico de Guayaquil; teniendo como base la cartografía entregada por el Instituto Geográfico Militar en escala 1:50.000 y con la referencia de la división aprobada en el año 2002 por el Comité Interinstitucional, se delimitó la cercanía del Estero Salado al terreno lo cual generaría un alto nivel de salinidad y humedad en el mismo.

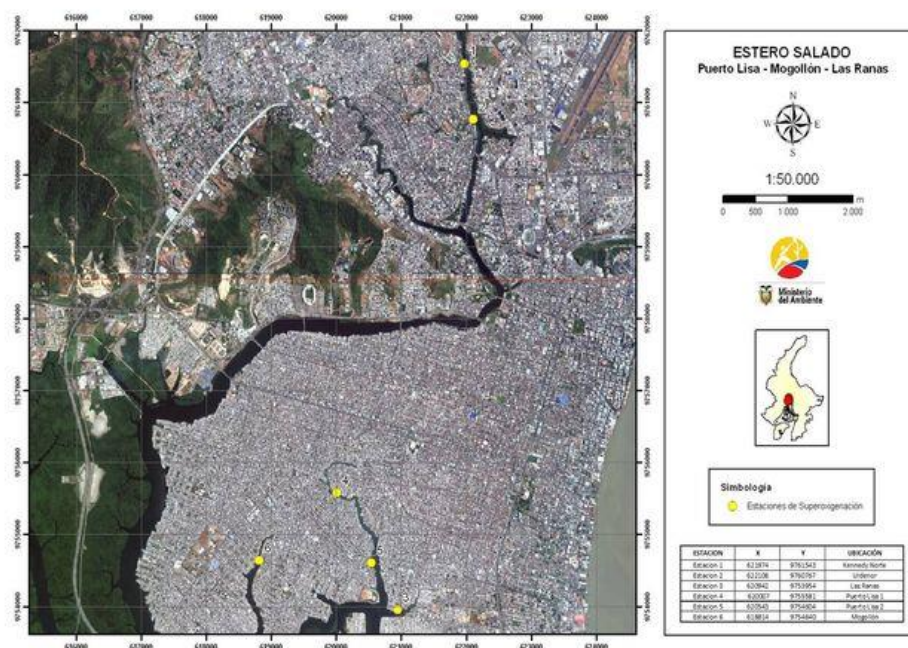


Figura.4.1 Cauce del Estero Salado Guayaquil-Ecuador [20]

Suelos

El uso de suelo del lote destinado para la construcción del complejo fotovoltaica es nulo, no posee ningún tipo uso agrícola, turístico, comercial, industrial o residencial en la actualidad.

Medio Biótico

El área de estudio donde se implantará el complejo fotovoltaico pertenece a la Formación Vegetal Bosque Húmedo de Tierras Bajas, de acuerdo a la clasificación bioclimática y ecológica de Holdridge (1967), en el Piso Zoogeográfico Tropical Suroccidental, que conforman a los ecosistemas representativos de la región litoral ecuatoriana. El sitio de implantación del proyecto y sus alrededores está fuertemente intervenido ya que son áreas dedicadas exclusivamente a la actividad comercial y residencial, las cuales se encuentran rodeando al predio por todos sus límites.

Características Socio-Económicas

El medio urbano, en el cual se realizará la implantación y operación del Complejo de generación fotovoltaica, se caracteriza por la presencia de edificios comerciales y residenciales, complejos hoteleros, iglesia, áreas verdes y casas; la zona Kennedy es predominantemente residencial y comercial.

El asentamiento poblacional es denso y cercano al Complejo de generación fotovoltaica de acuerdo a su división política.

Emisiones de CO2 por parte del Sistema Actual de Generación

La generación de 1kW/h utilizando diésel como combustible produce aproximadamente 900 g de CO2 emanados al ambiente, considerando la capacidad de generación eléctrica del complejo fotovoltaico que es de 1 MW (450 kW/h) se producirían aproximadamente 900 Kg de CO2 por hora que serían emanados a la atmósfera si el proceso de generación de energía eléctrica mencionado se mantuviese. [21]

De este modo, la tasa anual de generación de CO2 debido a la operación de una planta de generación termoeléctrica de una capacidad de generación similar a la fotovoltaica estudiada, sería de 3942 ton CO2/año.

Reducción de CO2 por parte de la Generación Fotovoltaica

La generación de 1 kW/h mediante el uso de la tecnología fotovoltaica produce aproximadamente 25.5 g CO2; considerando la capacidad de 1 MW que tendrá el complejo fotovoltaico a ser implantado, se emanará al ambiente una cantidad aproximada de 25.5 kg CO2 la misma que en comparación a la cantidad generada en la alternativa anterior (900 kg CO2) es significativamente inferior en alrededor del 97.17%. [22]

El complejo fotovoltaico permitiría además reducir la cantidad de combustible fósil que se consume en el país para generación termoeléctrica. Asumiendo que 1 galón de diésel genera 15 kW/h de energía, 1000 kW/h serían generados mediante la combustión de 66.67 galones de diésel por hora lo que a un año correspondería un ahorro de 292,014.6 galones de diésel lo que representa

económicamente 876,043.8 dólares americanos considerando al precio referencial del diésel de \$3 dólares por galón sin subsidio. [21]

En otro enfoque del análisis se tomará en cuenta la generación térmica, a continuación se presenta su análisis de reducción de emisiones al dejar de generar con este tipo de tecnología.

Reducciones en niveles de CO₂ al implementar energía fotovoltaica en lugar de generación térmica:

COMBUSTIBLE	Emisión de CO₂ Kg/KWh
Gas natural ciclo combinado	0'35
Gas natural	0'44
Fuelóleo	0'71
Biomasa (leña,madera)	0'82
Carbón	1'45

Figura.4.2 Cuadro comparativo de emisiones de CO₂ por cada combustible [23]

En la ciudad de Guayaquil, se sabe que la mayoría de energía que se consume proviene de centrales térmicas, tales como; Trinitaria, Gonzalo Zevallos TV2-TV3 y TG4, Enrique García, Álvaro Tinajero 1-2, Aníbal Santos G. 1-2-3-4-5-6 y Aníbal santos V [24]. Por lo cual la energía que consume el alimentador centrum de la S/E Kennedy será en su mayoría de este tipo de energía aproximadamente debido a que la energía que se genera se consume de manera local, entonces calculando la cantidad de emisiones de CO₂ que ya no se estaría enviando a la atmosfera seria de:

- Si la energía fuese netamente térmica a vapor (fuel) sería

$$0.71 \text{kg de } \frac{\text{CO}_2}{\text{kwh}} * 1213940 \text{kwh al año} = 861897.4 \text{ kg de CO}_2 \text{ al año}$$

o 862 toneladas de CO₂ al año

Y tomando en cuenta una vida útil de 25 años de acuerdo a [8], se tiene un total de 21550 toneladas de CO₂ que no se enviarían a la atmosfera.

- Si la energía fuese netamente térmica a térmica (gas natural) sería

$$0.44 \text{kg de } \frac{\text{CO}_2}{\text{kwh}} * 1213940 \text{kwh al año} = 534133.6 \text{ kg de CO}_2 \text{ al año}$$

o 534 toneladas de CO₂ al año

Del mismo, tomando en cuenta una vida útil de 25 años de acuerdo a [8], se tiene un total de 13350 toneladas de CO₂ que no se enviarían a la atmosfera.

Se puede apreciar que la generación fotovoltaica no solo presenta beneficios si se analiza la generación por combustible fósil como es el caso del Diésel; sino también para las térmicas las cuales poseen una gran presencia en la parte de generación eléctrica de la ciudad de Guayaquil.

4.3 Análisis Económico

4.3.1 Ahorro Económico para el Estado

Al optar por generación fotovoltaica en la zona de Kennedy Norte la energía producida será inyectada a la S/E Kennedy Norte, la cual consta de dos Transformadores de 24 MVA cada uno; sin embargo se considera más factible inyectar la energía en el Transformador II el cual presenta cargas comerciales en su mayoría, que para nuestro estudio se optó por seleccionar el alimentador Centrum.

Los ahorros económicos que presenta el estado serán netamente los relacionados a reducción de costos de transmisión, pérdidas y generación de la energía al no tener que comprarla al SIN y en otro concepto el de reducción de importación de Diésel para generación, ya que al emplear la generación fotovoltaica cerca del centro de carga en estudio se genera un ahorro anual económico de \$3.209.052,29 el cual es desglosado en la siguiente tabla:

No.	Ahorro	Costo	Cantidad	\$
1	Energía no comprada al SIN	0,17 \$/kWh	1.248.658,48 kWh	212.271,94
2	Combustible Diésel	3,00 \$/gl	998.926,78 gl	2.996.780,35
Total				3.209.052,29

Tabla # 11: Ahorros económicos generados al emplear generación fotovoltaica

4.3.2 Paridad de Red

La paridad de red nace cuando el costo de energía eléctrica producidos por fuentes renovables es menor o igual al precio de energía a nivel nacional, es decir generar con fuentes renovables resulta ser más rentable por los bajos costos de energía.

Cuando se habla de grid parity o paridad de red ya no se hace con el fin de buscar un flujo financiero, sino más bien la de invertir para tener un ahorro económico debido a la producción local de energía y la minimización de consumo de energía de la red nacional cuya energía proviene de fuentes de energía tradicionales (mayormente energías no renovables). Así mismo a futuro ayudaría a tener un entorno distribuido de generación de energía, reduciendo así las pérdidas de transmisión y distribución en el sistema nacional. [4]

En la siguiente figura se puede apreciar la paridad de red a lograrse.

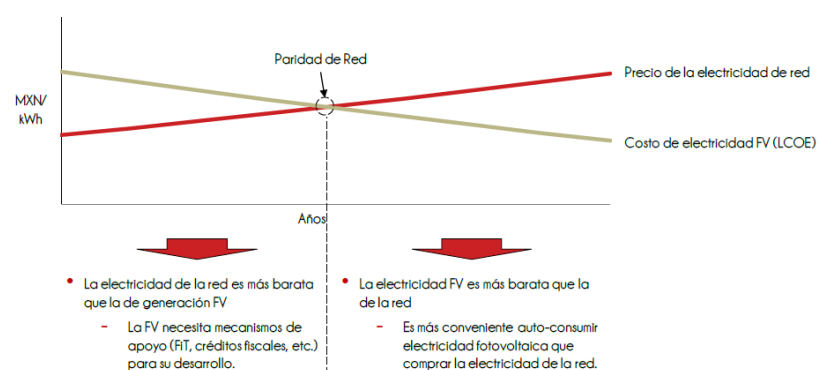


Figura.4.3 Modelo de paridad de red [25]

Con el paso de los años y el aumento del consumo de energía fotovoltaica se podrá generar a un costo mucho menor al costo de electricidad del sistema eléctrico.

Un factor muy importante a la hora de hablar sobre paridad de red en el Ecuador, es el tener un marco regulatorio con normas que definan el uso y la generación de energía fotovoltaica conectados a la red eléctrica, como es el caso en México, en el cual a los sistemas conectados a la red a través de esta modalidad se les permite verter a la red el excedente de energía generada y recibir créditos (en kWh) para compensar la factura eléctrica. Si a final de mes el usuario ha inyectado energía neta en la red, esta se acumula como saldo a su favor para compensar futuras facturas (durante 12 meses como máximo).

4.3.3 Análisis de Paridad de Red

Al realizar el análisis de Paridad de Red debemos recurrir al análisis del LCOE (Levelized Cost Of Energy) o Coste Promedio de la Energía el cual se lo realiza mediante la siguiente formula:

El LCOE* de la tecnología fotovoltaica está basado en la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Siendo:

I_t (€) = Gastos de Inversión en el año t (€)

M_t (€) = Gastos de Operación y Mantenimiento en el año t

F_t (€) = Gastos de Combustible (Fuel) en el año t

E_t (kWh) = Electricidad Generada en el año t

r (%) = tasa de descuento (i.e.: 4%)

t (años) = Vida Útil o Esperada del sistema. 25 años en el caso de la fotovoltaica

(*) LCOE (€/kWh) = Coste Promedio de la Energía (Levelized Cost Of Energy)

Figura 4.1 Fórmula LCOE para energía fotovoltaica [26]

Análisis Fotovoltaico:

COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN	
Rubro	Costo Total
Costo en instalación eléctrica.	\$ 1.726.946,37
Costo en Ingeniería y dirección de obra	\$ 48.000,00
Costo Transportes asociados	\$ 10.000,00
Costo de Instalaciones y obra	\$ 1.784.946,37
FDI (0.5%)	\$ 8.924,73
IVA (12%)	\$ 214.193,56
Subtotal de Costo de Instalaciones e impuestos	\$ 2.008.064,66
Gastos de Constitución	\$ 2.870,45
Activos Fijos	\$ 2.820,00
Activos Circulantes	\$ 3.000,00
Total (\$)	\$ 2.016.755,11
\$/Wp	\$ 1,804

Total Gastos Operativos
\$ 181.759,94

Figura 4.2 Costo Promedio de Instalación de un Sistema Fotovoltaico de 1MW (arriba) y Costo Total Promedio Operativo (abajo) [27]

$$LCOE_1 = \frac{\$ 2.016.755,11 + \$ 181.759,94 + 0}{\frac{1213940 \text{ kWh}}{(1 + 0.06)^{25}}} = 1.81 \text{ $/kWh}$$

$$LCOE_2 = \frac{\frac{0 + \$ 181.759,94 + 0}{(1 + 0.06)^{25}}}{\frac{1213940 \text{ kWh}}{(1 + 0.06)^{25}}} = 0.1497 \text{ \$/kWh}$$

$$LCOE_{25} = \frac{\frac{0 + \$ 181.759,94 + 0}{(1 + 0.06)^{25}}}{\frac{971152 \text{ kWh}}{(1 + 0.06)^{25}}} = 0.187 \text{ \$/kWh}$$

Con el análisis del LCOE el costo promedio del kWh generado mediante generación fotovoltaica es de 0,19 c\$/kWh con lo cual no permite obtener o llegar a una paridad de red ya que la energía actual en la red se la compra a un valor de 0,17 c\$/kWh; sin embargo planteando otro caso de estudio para cuando la energía en el S.N.I. aumenta de precio bianualmente si se logra obtener paridad y hasta competitividad al emplear la generación fotovoltaica. [6]

El costo de 0,19 c\$/kWh es un valor promedio ya que el LCOE es una sumatoria pero sin embargo al aplicar la fórmula del LCOE anualmente el precio de energía oscila entre 0,14c\$/kWh hasta los 0,17 c\$/kWh que se podría decir que existe paridad en el año 19, de acuerdo a la figura en el anexo, llamada análisis de paridas de red.

Al final de su vida útil pierde un poco de competitividad asumiendo una producción total del 80% de la potencia instalada lo cual es el caso más crítico.

CONCLUSIONES

1. La implementación de generación solar presenta una ventaja ambiental muy atractiva para el sector eléctrico ya que su impacto en el ecosistema simplemente se limita a la parte de producción de sus componentes, más no en su operación, teniendo emisión de CO₂ prácticamente nulo durante toda su vida útil.
2. Los valores calculados se contrastan muy bien con los valores simulados ya que de acuerdo a la Tabla # 8 se tiene un valor de 1213,94 MWh y en la simulación da un valor de 1229,53 MWh lo cual se asemeja mucho a los valores calculados, así mismo se tiene de acuerdo a la Figura.3.32 se observa cómo se afecta la curva diaria de potencia que consume el alimentador Centrum al entrar en funcionamiento la planta fotovoltaica.
3. De acuerdo a la simulación realizada se pudo obtener qué porcentaje de la potencia instalada se pierde hasta que la energía llegue a la red. Esto se puede apreciar en la Figura.3.30.
4. La competitividad de este tipo de generación frente a otras será atractiva siempre y cuando la recuperación de la inversión inicial sea en el menor tiempo posible sin que el costo de energía fotovoltaica sea mayor a su competidor directo (energía térmica) el cual está alrededor de los 25 centavos de dólar, no requiere de inversiones muy fuertes y su tiempo de construcción es corto.
5. Con respecto a la parte energética de la planta fotovoltaica se conoce que su rendimiento se reduce a un 80% de su capacidad inicial de instalación al final de su vida útil.

6. La selección del terreno y la alimentadora para el presente estudio fue seleccionado para facilitar el diseño y la implementación de la planta tomando en cuenta los parámetros ambientales y eléctricos exigidos por las autoridades competentes en la zona.
7. La factibilidad del proyecto puede ser considerada idónea ya que los ahorros económicos generados al estado por la implementación de este tipo de generación (\$ 3.209.052,29) son mayores a los gastos de construcción de la planta (\$ 1.804.144,32) sin dejar de un lado que la huella ecológica ocasionada por parte de la generación térmica a combustión se reduce.
8. El costo promedio de la energía generada mediante generación fotovoltaica es de 0.19 \$/kWh cabe destacar que la paridad de red se alcanza si el precio de la energía en el S.N.I. varía pero si se mantiene a su precio actual no se logra la paridad de red.
9. Si se trabajara con el valor establecido por el CONELEC para proyectos fotovoltaicos según la figura en el anexo, titulada análisis de paridad de red, la generación fotovoltaica tiene mejor competitividad frente a la red se observa que a partir del año 4 la generación fotovoltaica está por debajo del costo de energía en el SNI lo cual genera una rentabilidad más alta hasta llegar a la paridad de red la cual se la obtiene en el año 20 lo cual se aprecia en la figura antes mencionada.
10. Con respecto a las ventajas energéticas que presenta el proyecto fotovoltaico en la zona Kennedy Norte, es que hay la posibilidad de expansión de la generación pues el área es amplia y para la generación de 1MW se ocupa un área menor al 50% del terreno disponible; lo cual en caso de un aumento de demanda se debe

realizar un estudio de factibilidad si es más económico aumentar la capacidad de las líneas de transmisión a dicha S/E o aumentar la generación fotovoltaica en la zona.

11. La planta fotovoltaica también podría ser empleada como proyecto piloto para incentivar a la implementación de generación aislada por parte de los consumidores comerciales de la zona, ya que la zona presenta un alto desarrollo en infraestructura de edificios y su horario de funcionamiento pues coinciden con las horas de generación para el caso de generación fotovoltaica las cuales son de 6am a 6pm.

RECOMENDACIONES

1. En la instalación de los módulos fotovoltaicos se debe tener en cuenta una adecuada inclinación de los mismos considerando las recomendaciones del fabricante que en su mayoría por fines de limpieza sea de 10 grados mínimo.
2. No obviar las recomendaciones del fabricante ya hacerlo ocasionaría pérdida de garantía de quipos y módulos, lo cual causaría riesgo y pérdidas económicas en el caso de daños.
3. Tener en cuenta la disposición ordenada de los paneles para reducir las pérdidas por efecto mismatch.
4. Realizar mantenimientos periódicos según niveles de suciedad en los paneles ya que la zona donde se encuentra la planta presenta un alto grado de salinidad por estar cerca de un estero y existe presencia de aves sin descartar que al estar en una zona urbana la polución es más alta.
5. Tener abastecimiento o bombas de agua para realizar la limpieza de los paneles según los cronogramas.
6. El mantenimiento de la planta debe de ser cada 6 meses, este consiste en limpieza de los módulos inversores, revisión de fusibles en los string boxes y los magnetotérmicos en general, por lo que se deberá tener un manual de mantenimiento y operación de la planta.

7. Mantener estadística del funcionamiento, mantenimiento y fallas de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «www.conelec.gob.ec,» Balance Nacional de Energía Eléctrica, 2014. [En línea]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261>. [Último acceso: 31 Mayo 2015].
- [2] R. y. C. d. Electricidad, «www.conelec.gob.ec,» Producción anual de energía, 2014. [En línea]. Available: http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4223. [Último acceso: 31 Mayo 2015].
- [3] «Minga Service S.A,» 16 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.mingaservice.com/web/inicio/1103-ecuador-apuesta-por-las-energias-renovables-eolica-y-energia-solar-fotovoltaica.html>. [Último acceso: 31 Mayo 2015].
- [4] J. Barzola, «¿Es posible la Grid Parity en Ecuador?,» *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, vol. 27, nº 1, pp. 30-39, 2014.
- [5] CENACE, «Consumo de energía per capita,» *ENERGIA*, nº 3, p. 129, 2013.
- [6] L. Bayas, M. Jaramillo, E. Betancourt y J. P. Reinoso, «La tarifa horaria en el Ecuador como incentivo de eficiencia,» *Revista Politecnica*, vol. 30, pp. 53, 57, 2009.
- [7] ARCONEL, «PREGUNTAS FRECUENTES SOBRE LA APLICACIÓN DEL NUEVO PLIEGO TARIFARIO,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/noticias/vigente-el-mecanismo-para-subsidio-electrico>. [Último acceso: 27 06 2015].
- [8] PDV, Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://www.quebakan.com/v15/energia-solar-fotovoltaica-al-servicio-de-los-clientes-de-las-estaciones-de-servicio-pdv/>. [Último acceso: 17 Julio 2015].
- [9] ARCONEL, «Plan De Expansión Para La Generación,» vol. cap 6, p. 190, 2013.
- [10] ARCONEL, «Balance nacional de Energía Eléctrica,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261>. [Último

acceso: 27 Junio 2015].

- [11] ARCONEL, «MAPA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN (SNGTD),» Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10234_MAPA_SISTEMA_NACIONAL_GENERACION_TRANSMISIÓN_DISTRIBUCIÓN.pdf. [Último acceso: 28 Junio 2015].
- [12] ARCONEL, «Atlas Solar,» Agosto 2008. [En línea]. Available: http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf. [Último acceso: 28 Junio 2015].
- [13] ARCONEL, «Atlas solar-Insolación Global promedio,» Agosto 2008. [En línea]. Available: http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf. [Último acceso: 28 Junio 2015].
- [14] «Cambio Climático,» *Panel Intergubernamental Del Cambio Climático - IPCC,*, p. 35.
- [15] «Comision Federal De Electricidad, Costos Y Parametros De Referencia Para,» [En línea]. Available: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=38271058>. [Último acceso: 28 Junio 2015].
- [16] «SmartGreen, Degradación Inducida por Potencial,» [En línea]. Available: <http://www.smartgreenholding.com/imagenes/documentacion/ficheros/007DD>. [Último acceso: 30 Junio 2015].
- [17] ARCONEL, «REGULACIÓN CONELEC 004-11,,» p. 5.
- [18] J. Bonilla Morales y E. Quirós Badilla, «1era EXPOSOLAR DE COSTA RICA,» Variabilidad del Recurso Solar en Costa Rica, 31 Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.acesolar.org/ckfinder/userfiles/files/05b-Variabilidad-Energía%20Solar%20FV-Gran%20Escala.pdf>. [Último acceso: 17 Agosto 2015].
- [19] Conelec, «BOLETÍN ESTADÍSTICO SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO,» QUITO, 2012.
- [20] «Ministerio del Ambiente,» Ministerio del Ambiente, 22 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/plan-de-superoxigenacion-del>

estero-salado-de-guayaquil/. [Último acceso: 15 Septiembre 2015].

- [21] P. y. S. I. P. C. Ltda., «INFORME DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO (EIAD) DEL COMPLEJO FOTOVOLTAICO DE 0.995 MW DE CADA EMPRESA Y SU LÍNEA DE TRANSMISIÓN,» Guayaquil, 2013.
- [22] E.A. Alsema, M.J. de Wild-Scholten y V.M. Fthenakis, «ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PV ELECTRICITY GENERATION - A CRITICAL COMPARISON OF ENERGY SUPPLY OPTIONS,» 2006.
- [23] «Proyecto descartes,» [En línea]. Available: http://proyectodescartes.org/Newton-problemas/materiales_didacticos/energia_termica-JS/problema.pdf. [Último acceso: 13 Agosto 2015].
- [24] Conelec, «Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano,» *Plan maestro de electrificación 2013-2022*, vol. III, nº 2, p. 13, 2012.
- [25] J. I. Briano, M. J. Báez y T. L. Martínez, «PV GRID PARITY,» *C reara, energy experts*, vol. I, nº 1, p. 13, 2015.
- [26] J. A. B. GODINO y R. I. MACHUCA, «Una realidad de fábula: las nuevas oportunidades de negocio de la fotovoltaica en España,» 2014.
- [27] R. A. P. ALARCÓN, «“DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE GENERACIÓN CENTRALIZADA CONECTADA A RED PARA LA VENTA DE ENERGÍA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA”,» Guayaquil, 2015.
- [28] «Universidad Internacional De Andalucía MADRID, Radiacion Solar Incidencia,» [En línea]. Available: <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnológicas/caracterización-y-evaluación-de-la-radiación-solar/materiales-de-estudio/tema-4>. [Último acceso: 28 Junio 2015].

ANEXOS

PANELES FOTOVOLTAICOS		
PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
POTENCIA DE SALIDA	W	240
EFICIENCIA		14,7
VOLTAJE EN P MAX	V	29,3
CORRIENTE EN P MAX	A	8,18
VOLTAJE EN CIRCUITO ABIERTO	V	37,5
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	A	8,75
STC; 1000 W/M2		
25°C		
REDUCCION DE EFICIENCIA DE 5% A 200 W/M2		
B	%	-0,33
INVERSOR		
POTENCIA MAXIMA	W	1000000
VOLTAJE MAXIMO	V	820
VOLTAJE MAXIMO DC	V	1000

Datos de paneles e inversor

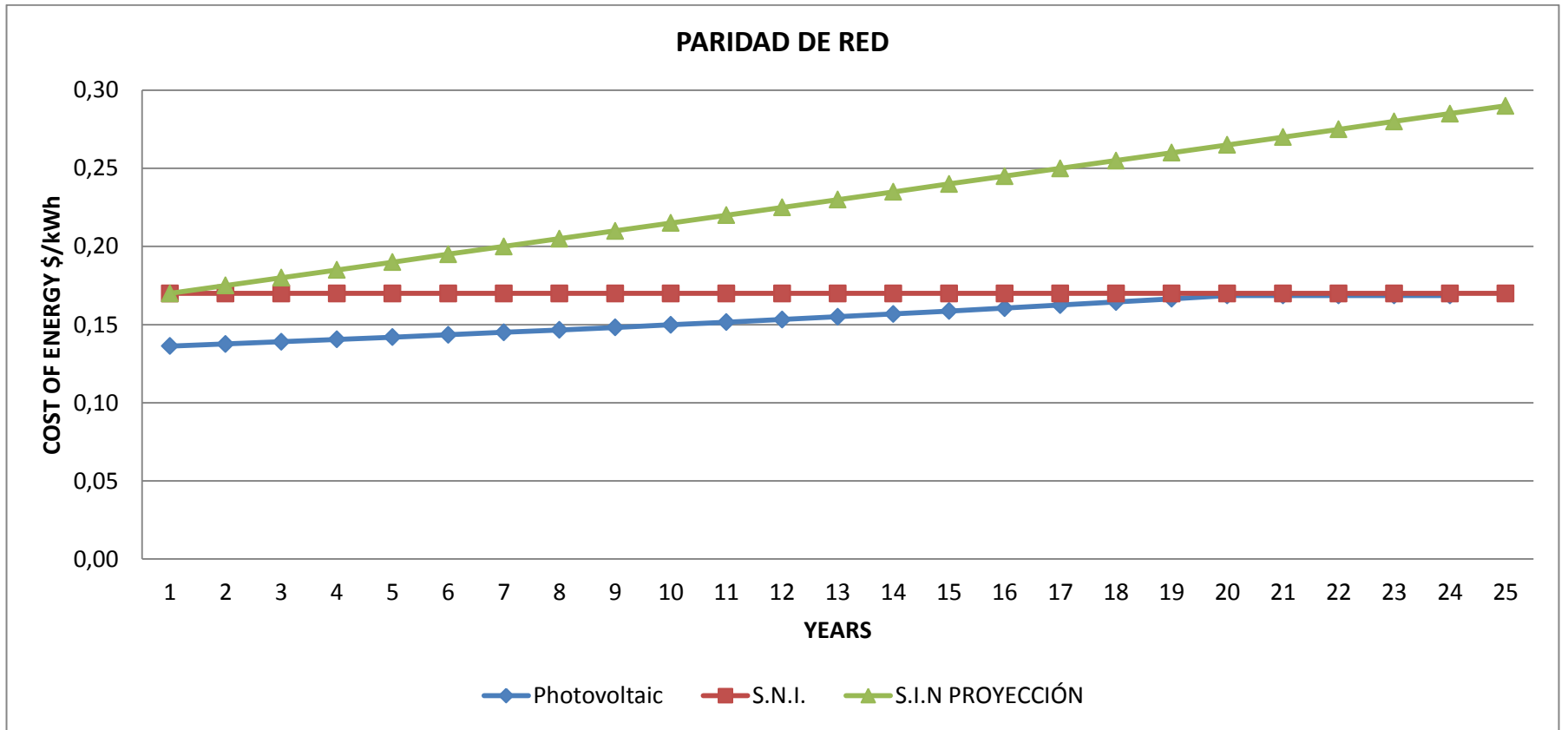
NUMERO DE PANELES	4167	
PANELES EN SERIE	28	
TEMPERATURA DE CORRECCION	22,7	
VOLTAJE EN CIRCUI TO ABIERTO CORREGIDO	37,78	
VOLTAJE CORREGIDO	1057,45	SUPERA EL LIMITE MAX DE TENSION

CORRECCION DE PANELES EN SERIE	26		
VOLTAJE CORREGIDO	982,40		
NUMERO DE PANELES EN PARALELO	160		
NUMERO TOTAL DE PANELES	4167		
POTENCIA TOTAL DE LA INSTALACION	1000000		
PRODUCCION DE ENERGIA AL AÑO	1213939800	1213,94	MWh al año

Datos de paneles e inversor

Lat -2,156108 long -79,8997850	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación kWh/m2 día (0º)	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/m2 mes (0º)	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/m2 mes (10º)	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

Cálculo de radiación anual de la zona



Análisis de Paridad de Red