

3.2%



Fecha: 2020-11-20 09:28 ECT

* Todas las fuentes 13 | Fuentes de internet 10 | Documentos propios 3

- ✓ [0] core.ac.uk/download/pdf/289971257.pdf
2.1% 9 resultados

- ✓ [1] "GUIA DIDACTICA ENERGIAS ALTERNATIVAS_DUAL_DANIEL ANDAGOYA.docx" fechado del 2020-06-12
1.5% 7 resultados

- ✓ [2] energypedia.info/images/archive/2/26/20151028165912!Estudio_de_Pre-Factibilidad_Industria_química_en_Chile.pdf
1.1% 6 resultados

- ✓ [3] alicantenergia.es/energias-renovables/produccion-fotovoltaica/
1.1% 5 resultados

- ✓ [4] docplayer.es/13690853-Proyecto-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-de-una-red-de-abastecimiento-de-agua-potable-alumno-osca
0.6% 3 resultados

- ✓ [5] www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/energia_solar_fotovoltaica.pdf
0.5% 4 resultados

- ✓ [6] www.e-zigurat.com/blog/es/energia-fotovoltaica/
0.5% 3 resultados

- ✓ [7] www.naturgy.es/empresas/blog/instalacion_electrica_fotovoltaica_como_funciona
0.5% 3 resultados

- ✓ [8] bibing.us.es/proyectos/abreproy/70237/fichero/5. CAPITULO 3. DISEÑO DE LA PLANTA.pdf
0.3% 2 resultados

- ✓ [9] "ARTICULO CIENTIFICO CHIMBORAZO KEVIN ANTIPLAGIO 100_ PARA TRIBUNAL (1).docx" fechado del 2020-11-09
0.2% 2 resultados

- ✓ [10] academic-accelerator.com/Self-Citation-Ratio/Revista-Iberoamericana-de-Automática-e-Informática-Industrial
0.2% 1 resultados

- ✓ [11] www.researchgate.net/publication/298575059_RIAI_-_Revista_Iberoamericana_de_Automática_e_Informática_Industrial_Presentatio
0.2% 1 resultados

- ✓ [12] "COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.pdf" fechado del 2020-03-28
0.1% 1 resultados

12 páginas, 5313 palabras

Nivel del plagio: 3.2% seleccionado / 3.2% en total

15 resultados de 13 fuentes, de ellos 10 fuentes son en línea.

Configuración

Directiva de data: Comparar con fuentes de internet, Comparar con documentos propios, Comparar con mis documentos en el repositorio de la organización, Comparar con el repositorio de la organización

Sensibilidad: Media

Bibliografía: Considerar Texto

Detección de citas: Reducir PlagLevel

Lista blanca: 3 - secure.plagscan.com; secure.plagscan.com/2/4959ddaa-0d88-438e-999e-61f27076eb36; www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica

Comparison of photovoltaic energy production between different regions of Ecuador and the incidence in implants of plants of photovoltaic energy production

Comparación de producción de energía fotovoltaica entre diferentes regiones del Ecuador y su incidencia en implantación de plantas de producción de energía fotovoltaica

Omar Fernando Mejía¹ Robert Anthony Toala²

¹ Instituto Superior Tecnológico Central Técnico.
E-mail: omar1914@hotmail.es^[12]

² Instituto Superior Tecnológico Central Técnico.
E-mail: robert_anthony_10a@hotmail.com

RESUMEN

Esta investigación es un estudio exploratorio experimental donde se diferencia la cantidad de una posible producción de energía fotovoltaica en varias regiones del Ecuador y de sus características incidentes, se realiza la emulación de producción en el módulo fotovoltaico profesional de Lucas Nulle para determinar el más ideal. Para analizar la incidencia en una planta fotovoltaica se utiliza el software PVsyst, mediante simulación para un sitio dado en Imbabura donde hay condiciones favorables, para las variantes de invierno y verano, obtenemos una diferencia de potencia de 705 MWh donde tomamos los datos para un posible ajuste estacional, obteniendo una potencia de conexión a red de 15,4 GWh al año y un rendimiento superior al 81,6% para la configuración dada.

Palabras clave—Sistemas fotovoltaicos; energía solar; planta eléctrica; recurso climático; emulación; simulación; PVsyst; diseño; proporción de rendimiento.

ABSTRACT

This research is an experimental exploratory study where it differs the amount of a possible production of photovoltaic energy in several regions of Ecuador and its characteristic incidents, production emulation is performed in the professional photovoltaic module of Lucas Nulle to determine the most ideal. PVsyst software is used to analyze the incidence in a photovoltaic plant, by simulation for a given site in Imbabura where there are favorable conditions, for the Winter and summer variants, we get a power difference of 705 MWh where we take the data for an possible seasonal adjustment, obtaining a network connection power of 15,4 GWh per year and a yield of more than 81,6% to the given configuration.

Key Words—Photovoltaic systems; solar energy; power plant; climate resource; emulation; simulation; PVsyst; design; performance ratio.^[0]

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con gran potencial de energía solar fotovoltaica, siendo una opción viable para la producción de energía eléctrica limpia y acoplada a un futuro sostenible, aun así solo una pequeña parte de la producción de energía eléctrica total del país es a base de energía solar, lo que genera el desafío de una matriz energética que considere aumentar la capacidad de energía eléctrica fotovoltaica en cuanto a plantas o centrales de generación a gran escala considerando las diferentes limitaciones en cuanto a prestaciones y estudios que incentiven la inversión y desarrollo de plantas fotovoltaicas en el país.

Por ello se presenta a continuación una comparación de las principales fuentes de producción de energía solar fotovoltaica a nivel del país y de sus sectores ideales para la construcción de plantas fotovoltaicas y se analiza los efectos de las características en condiciones idóneas de un determinado sector elegido que tendrían en dicha planta y a su vez, por consiguiente una producción fotovoltaica de conexión a red, para su aprovechamiento directo en la red eléctrica del país, con el fin de incentivar y promover el aumento considerable de proyectos de energía solar fotovoltaica en el país.

2. MÉTODOS Y MATERIALES.

En la búsqueda principal de reducir las emisiones de CO₂ y de tener una matriz de energía limpia a nivel mundial, la energía solar es una fuente inagotable para la producción de electricidad libre de contaminación para evitar los impactos ambientales negativos en el planeta. La implantación de una planta de producción de energía fotovoltaica está ligada a muchos factores técnicos que van de la mano con los diferentes factores climáticos y de ubicación, el factor de irradiación solar será la base para poder determinar sitios más idóneos para establecer una

planta fotovoltaica y en base a esto estudiar las características que influirán en dicha planta. En el mundo cada vez se promueve más el optar por la generación de energía fotovoltaica, siendo China y Europa donde más se han instalado este tipo de proyectos, aun siendo estos continentes los que tienen menos potencial de energía solar, y lugares como África o la zona ecuatorial que tienen un alto recurso solar, sigue sin explotarse. Para finales de 2015 se tenía un estimado de que el 1% del total de la producción de energía eléctrica en el mundo era por fuentes solares siendo alrededor de 227 GWe (Urdiales & Espinoza, 2015). El Ecuador, por su ubicación tiene un gran potencial de energía solar el cual aún no se ha aprovechado.

2.1. Producción de energía solar en el país.

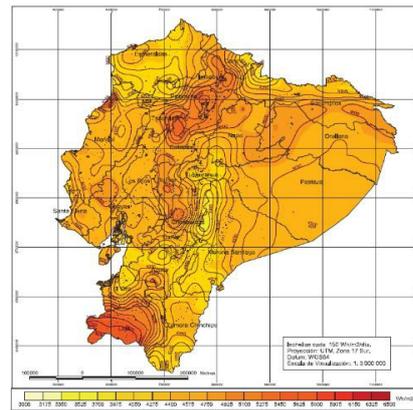


Figura 1: Mapa Solar del Ecuador
Fuente: Conelec, 2008

En el Ecuador según el mapa solar del CONELEC (CONELEC Consejo Nacional de Electricidad, 2008) los sectores con más irradiación solar global durante el año son las provincias de Carchi, Imbabura y Loja (Figura 1). En aproximado en el Ecuador el valor medio de radiación solar global es de $4575 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ lo que otorga un potencial de energía solar de 456 TWh por año, esto en energía eléctrica se traduce en 312 GW, valores que son, en referencia, alrededor de 15 veces el potencial hidroeléctrico del país (Patricio Munoz-Vizhnay et al., 2018). Aún con este gran potencial

se estima que apenas el ^[9]0.36% de la capacidad total del país es por fuentes de energía solar fotovoltaica (La energía solar se abre terreno en Ecuador | Diseño | Tendencias | El Universo, n.d.) lo que hace que sea vital el analizar las grandes posibilidades de generación eléctrica por fuentes alternativas que tiene el país.

Según el Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018 (Ecuatoriano, 2018) indica que en el país existe un total de 8676.89 MW de potencia nominal instalada a nivel nacional, lo que al momento abastece con normalidad la demanda del Ecuador, sin embargo aún casi un 40% de esta energía es por fuentes no renovables, lo que pone a prioridad el aprovechamiento de energías renovables. Existen 27 pequeñas centrales de generación fotovoltaica en todo el país que otorgan una potencia efectiva de 26,74 MW. En Ecuador, Carchi, Imbabura y Loja son las provincias con mayor recurso y potencial solar, con una irradiación global directa anual considerablemente mayor que el resto de provincias.

2.1.1. Irradiación solar, clima y características eléctricas en la provincia de Carchi.

Carchi se considera una potente fuente para establecer una planta de generación fotovoltaica. Ubicada al extremo norte del país tiene una altura que va desde los 120 MSNM a los 4729 MSNM, una temperatura semi húmeda que varía entre 4 y 14 °C en las zonas más frías y de 14 a 24 °C en las más cálidas, dando como resultado una temperatura promedio de 15 °C, cuenta con una radiación solar anual promedio de $4200 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ (CARCHI, 2015). Carchi tiene una potencia nominal instalada de 4.82 MW únicamente por fuentes renovables y una producción general de 24838.17 MWh, su principal generadora es la central hidroeléctrica San Miguel de Car con 2.95 MW.

2.1.2. Irradiación solar, clima y características eléctricas en la provincia de Imbabura.

Ubicada al límite sur de Carchi se encuentra la

provincia de Imbabura, tiene una altura que va desde los 1100 MSNM a 4700 MSNM con una temperatura que varía desde los 9 °C hasta los 25 °C, con un promedio de 14 °C (Situación geográfica, n.d.), tiene una radiación solar anual promedio de $5100 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ (Álvarez et al., 2013). Imbabura cuenta con una potencia nominal instalada de 108.73 MW de los cuales 29.28 son por generación no renovable y tiene una producción de 502772.36 MWh, sus principales generadoras son la central Térmica Selva Alegre con 29.28 MW y la central Hidroeléctrica Ambi de 8 MW, esta provincia cuenta con dos proyectos de generación fotovoltaica, las centrales Salinas y Paragachi, juntas tienen una potencia nominal de 4 MW.

2.1.3 Irradiación solar, clima y características eléctricas en la provincia de Loja.

Loja tiene una altura que va desde los 594 MSNM a 2390 MSNM, una temperatura que varía entre los 9 y los 21 °C, con promedio de 16 °C, (Clima promedio en Loja, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark, n.d.), la radiación solar en esta provincia es anualmente de $4861.67 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ (UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja, 2014). En Loja se tiene una potencia nominal instalada de 42.22 MW de los cuales 19.73 MW son por energías no renovables, Loja produce 83104.64 MWh, su principal generadora es la central térmica Catamayo con 19.74 MW. Actualmente es la provincia con más proyectos de generación alternativa teniendo 4 centrales fotovoltaicas y la principal generadora eólica del país.

2.2. Comparación característica de sitios idóneos.^[9]

Existen factores importantes a tomar en cuenta para la implantación de una planta fotovoltaica. La radiación solar, el análisis del terreno y su posible ubicación en la red eléctrica (Mérida Rodríguez et al., 2010), además de los factores climáticos que influyen en los efectos que puedan causar en los elementos o estructuras y en su rendimiento, ya

sea por temperatura, humedad, etc. Los módulos fotovoltaicos se someten a ensayos bajo ciertas condiciones estandarizadas, con una temperatura ideal que se acerque a los 25 °C y un valor de irradiación de 1000 Wh/m² (Farhat et al., 2015), garantizando de esta manera que se cumpla con un funcionamiento óptimo en parámetros eléctricos. La humedad alta implica un alto deterioro en la instalación, a pesar de que de manera general la humedad en los sitios de estudio es poco variable y se mantiene cómoda, existen épocas en las que hay parcial humedad, por ello según datos de National and Local Weather Radar, Daily Forecast, Hurricane and information from The Weather Channel and weather.com, (n.d.) se toma en cuenta la humedad de cualquier época del año y un periodo de tiempo para analizar la humedad de cada provincia en porcentaje y comparar datos en la figura 2.

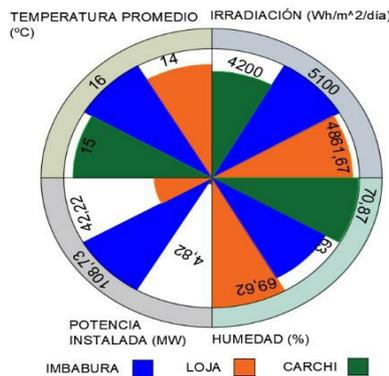


Figura 2: Comparación de sitios idóneos
 Fuente: Propia

Los paneles en hileras es el diseño más común que se puede utilizar y los sitios más ideales para instalarse son en terrenos horizontales o con poco grado de inclinación, en valles estrechos y alejados de puntos de tránsito, al igual que se puede considerar instalarse en cercanías a carreteras rurales donde su terreno contiguo sea amplio, posteriormente se analiza si la planta se va a adaptar a la instalación del relieve preexistente, considerando que en cientos de hectáreas se va a colocar estructura interior que soporte miles de

paneles. Por lo anterior expuesto, dadas las similares características climáticas y considerando los aspectos más importantes, se analiza la figura 2 en relación a las mismas, la provincia de Imbabura se considera con mejores características para la instalación de plantas fotovoltaicas, por su relieve y ubicación geográfica, su irradiación solar superior a las demás provincias, una temperatura ambiente que se acerca a la ideal, su ubicación y expansión en la red eléctrica.

2.3. Comparación de producción de energía eléctrica fotovoltaica.

Al conocer característicamente el nivel de irradiación solar existente en cada zona de estudio, con el objetivo de analizar la producción eléctrica, se define un punto medio en las 3 provincias de estudio, en los cuales, se obtiene los datos V-I y potencia mediante emulación y experimentación utilizando el equipo fotovoltaico profesional de Lucas Nulle que se encuentra en la carrera de electricidad del Instituto Superior Central Técnico. Se utiliza las siguientes características para la toma de datos con la misma irradiación y en las mismas condiciones.

Tabla 1
 Datos de experimentación en equipo fotovoltaico.

Datos por provincia	° h	° inc.	° Sol	Condiciones
Imbabura, Lat: 0.45, Long: -78.11	66°	23.1°	0°	-Panel policristalino de 10w, 26v y 650mA
Carchi, Lat: 0.57, Long: -77.95	67°	23.1°	0°	-Luz alógena de 500w
Loja, Lat: -3.98, Long: -70.36	71°	23.1°	0°	

Fuente: Propia

Los principales efectos de producción en una celda solar están relacionados con la ubicación ideal con la trayectoria solar, para efectos prácticos se ubica el emulador de panel con los datos de la tabla 1 para cada caso, el comportamiento del panel para las mismas condiciones se analiza con el multímetro analógico digital apoyado del asistente

de laboratorio Labsoft, utilizando una carga de 1 kΩ los resultados se muestran en la figura 3.



Figura 3: Comportamiento del panel en experimento.
Fuente: Propia

La trayectoria solar es muy similar, así como la producción en las mismas condiciones se muestran casi iguales, sin embargo, por las características más factibles en Imbabura se opta por ampliar el estudio en esta región.

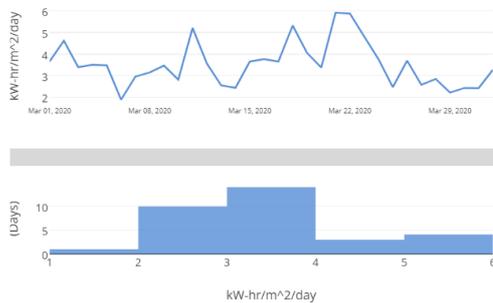


Figura 4: Irradiación horizontal mensual en sitio idóneo
Fuente: Nasa Power SSE, n.d.

Con las características climáticas y de irradiación solar en Imbabura, se plantea un proyecto prospecto, en primera instancia se elabora un estudio del recurso solar del sitio para conocer su potencial de generación, se realiza un estudio óptimo de la planta para seleccionar una configuración adecuada y las mejores características que maximicen su explotación, además de sus costos operativos. Para ello, con el fin de analizar la incidencia del potencial solar de Imbabura en la producción

fotovoltaica, se elige un sitio con características de terreno y horizonte adecuadas el cual está ubicado al norte de Ibarra con latitud: 0.4519 y longitud: -78.1198 a una elevación de 2634 metros. A partir del estudio de datos de la figura 4 se analiza como inciden estas características en una planta prospecto de producción fotovoltaica.

2.4.^[0] Plantas de producción de energía fotovoltaica.

La energía fotovoltaica proviene de la irradiación solar recolectada por las células fotovoltaicas de paneles solares, el principio de funcionamiento de un panel, así como su estructura asegura una eficiencia entre 15 y 20% dependiendo del fabricante y su composición, en una planta fotovoltaica existen gran cantidad de paneles dispuestos de tal manera que ofrezcan un rendimiento adecuado, en principio, una instalación fotovoltaica según Domínguez Barbadillo,(2016) está compuesto de: módulos solares fotovoltaicos, inversores y bloques de poder, cableado y protecciones eléctricas, transformadores y subestaciones, estructura de soporte, sistema de seguimiento solar y sistemas auxiliares. Para considerar el aprovechamiento del recurso solar en base a las características se realiza el diseño a gran escala de una planta fotovoltaica prospecto, se presenta el modelo a analizar utilizando el software PVSYS.

2.5. Planta fotovoltaica prospecto interconectada a la red.

Como parte inicial de un proyecto se considera las características de irradiación del sitio, la ubicación geográfica, módulos e inversores, así como la orientación de los mismos en el sitio en cuestión, en PVSYS se toma en cuenta todos estos factores.

2.5.1. Recurso climático y geográfico del sitio.

El recurso solar mensual está descrito en la figura 5, para obtener los datos de meteo en recurso climáticos se utiliza (Intro - Meteonorm (de), n.d.) y

Nassa SSE (NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources, n.d.).

Tabla 2
 Datos de meteo en sitio idóneo a analizar.

Características		Promedio año
Irradiación [kW/m ² /día]	horizontal global	5.39
Irradiación [kW/m ² /día]	difusa horizontal	2.16
Temperatura [°C]		14.9
Velocidad del viento [m/s]		2.7
Humedad relativa [%]		76.7

Fuente: Meteonorm 7.3, n.d.

El recurso climático del sitio está descrito en la tabla 2, con un promedio anual, estos valores tienen una variabilidad de $\pm 6.8\%$ al año. Para definir la orientación de los módulos se analiza la trayectoria solar en el punto descrito el cual denominaremos "Hacienda la Unión".

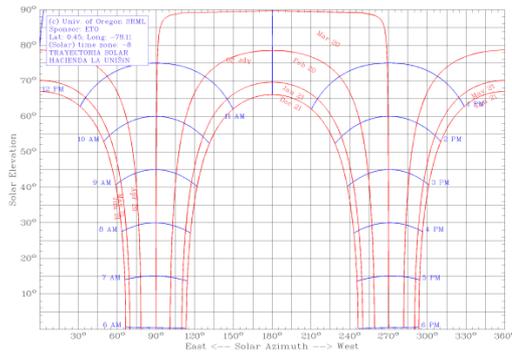


Figura 5: Trayectoria Solar

Fuente: UO SRML: programa de gráficos solares, n.d.

2.5.2. Orientación del sistema

La ubicación, orientación e inclinación de los paneles es vital para el aprovechamiento del recurso solar, la figura 5 muestra la trayectoria que tiene el sol para el solsticio de invierno, su recorrido varía dependiendo la estación del año.

La orientación fija de los paneles para un promedio anual adecuado es con un Azimut de 0° respecto al sur y una inclinación de 15°.

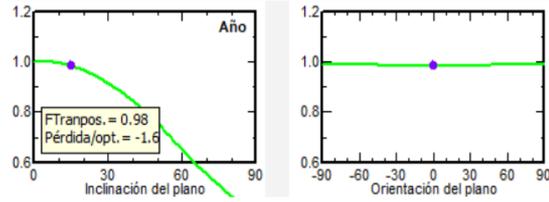


Figura 6: Optimización de orientación con respecto al año.

Fuente: Propia

2.5.3. Características del sistema

Tabla 3
 Características del sistema.

MODULOS FV:	JKM 350PP-72-DV Jinkosolar
Pnom	350 Wp
Núm. de módulos	26208
Ptotal	9173 Kw p
INVERSORES:	SINACON PV1045 Siemens
Pnom	1045 Kw ac
Núm. de unidades	8
Ptotal	8360 Kw ac
Núm. de cadenas serie	26
Núm. de strings	1008

Fuente: Propia

El sistema diseñado en el sitio está enfocado como prospecto para este sitio y otros lugares en la región idónea que puedan cubrir las características de terreno y área disponible. Para un diseño óptimo de la planta se toma los datos de la tabla 3.

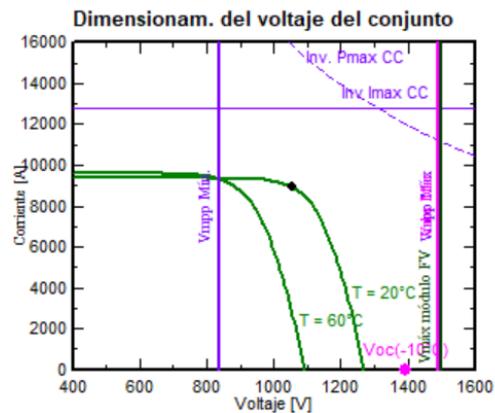


Figura 7: Dimensionamiento V-I del conjunto FV.

Fuente: Propia

El sistema está dividido en 8 subconjuntos de 126 cadenas (strings), cada uno con 26 módulos en serie, un diseño con proporción de la potencia nominal de 1.10 y unas pérdidas por sobrecarga de 0.6%. Con las características descritas en la tabla 3 se tiene el dimensionamiento con una potencia nominal del conjunto FV de 9173 kWp.

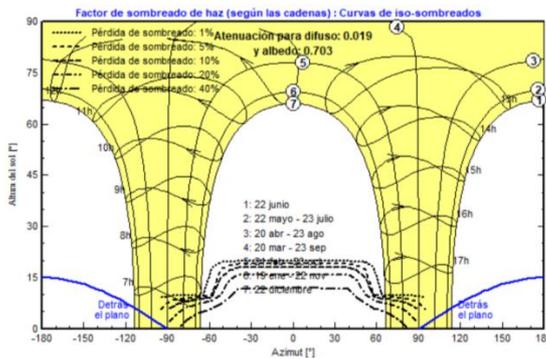


Figura 8: Factor de sombreado en cadenas de módulos
Fuente: Propia

La configuración del arreglo fotovoltaico está dispuesta en cobertizos de un solo conjunto, con 63 cobertizos que se transponen en filas hacia el Azimut, cada conjunto está compuesto por 2 filas y 208 columnas con la orientación tipo retrato, y se tiene un horizonte libre, las sombras en el conjunto son según las cadenas de módulos y el área que cubren es de 51164 m^2 .

2.5.4. Factores de pérdidas en el conjunto FV

La planta fotovoltaica en condiciones de operación constante está sujeta a pérdidas ocasionadas por factores ambientales, eléctricos o mecánicos que establecerán un porcentaje de reducción en la producción de energía, los factores a tomar en cuenta son:

- Pérdidas de suciedad del conjunto.
- Pérdidas por factores térmicos.
- Pérdidas óhmicas del cableado.
- Degradación inducida por luz.
- Pérdidas de calidad en el módulo.
- Pérdidas de desajuste del módulo.
- Pérdidas de desajuste en las cadenas.
- Degradación gradual del módulo. [2]

- Desajuste debido a la degradación.
- Efecto de incidencia ASHRAE
- Pérdida por cableado CA desde inversor
- Pérdidas por transformadores elevadores y de subestación
- Pérdidas auxiliares (equipos adicionales, monitorización, ventilación, etc.)

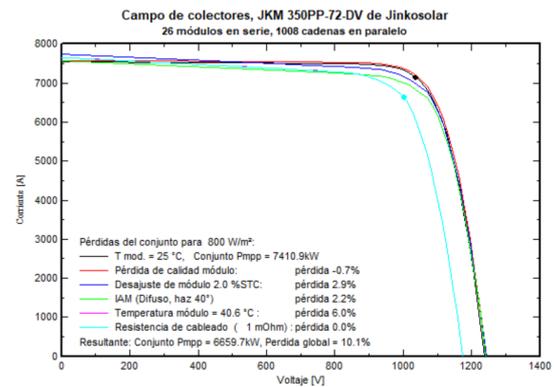


Figura 9: Factores de pérdidas en conjunto FV.
Fuente: Propia

Se toma en cuenta la afectación de las pérdidas en todo el sistema a lo largo de su funcionamiento.

3. RESULTADOS

El incidente de las características para una producción fotovoltaica se analiza en base a la trayectoria solar en el sitio de estudio, los resultados de experimentación para el panel de prueba con las características dadas se muestran en la figura 10.

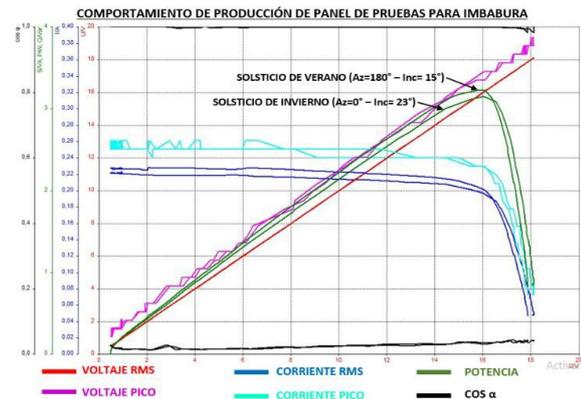


Figura 10: Comportamiento de la celda de prueba en producción para las 2 épocas del año.
Fuente: Propia

Usando PVsyst realizamos un estudio comparativo de los 2 posibles casos que se puede presentar en la instalación fotovoltaica en el sitio más idóneo, el uno en el solsticio de invierno con un azimut a 0° y una inclinación de 23° y el segundo en el solsticio de verano con un azimut a 180° y una inclinación de 15° en las mismas condiciones, los gráficos muestran la energía que produce cada instalación. La tabla 4 muestra la comparativa de datos anuales y sus resultados principales para los 2 casos.

Tabla 4:
 Comparación de resultados

Característica	Invierno	Verano
Irradiación horizontal global [kW/m ²]	1970	1970
Irradiación difusa horizontal [kW/m ²]	812.10	812.10
Temperatura ambiente [°C]	15.14	15.14
Irradiación global incidente [kW/m ²]	1861.5	1935.7
Global efectivo [kW/m ²]	1718.1	1809.2
Energía en la salida del conjunto [MWh]	14455	15214
Energía inyectada a la red [MWh]	13782	14487
Rendimiento [%]	0.807	0.816

Fuente: Propia

Se observa que una configuración fija de verano entrega a la red 705 MWh más que una configuración de invierno, considerando que en verano según la trayectoria solar ingresan los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre y para invierno los 6 meses restantes. Las figuras 12 y 13 muestran el comportamiento del sistema, identificando sus pérdidas en el conjunto FV y pérdidas del sistema.

La potencia nominal del sistema es de 9MWp, se puede identificar en la producción de invierno en los meses de octubre a marzo que es considerablemente mayor al resto de meses, en esta configuración para un promedio anual se obtiene una producción normalizada de 4.11 kWh/kWp/día y las pérdidas del sistema se observan más atenuadas en estos meses.

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 9173 kWp

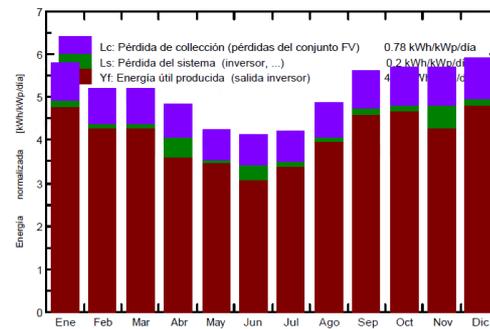


Figura 11: Producción normalizada y pérdidas para configuración de invierno.

Fuente: Propia

Por otro lado, en verano se tiene mayor producción en los meses de mayo a septiembre, en esta configuración para un promedio anual se obtiene una producción normalizada de 4.33 kWh/kWp/día y de igual manera las pérdidas en estos meses se atenúan mucho más respecto al otro semestre.

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 9173 kWp

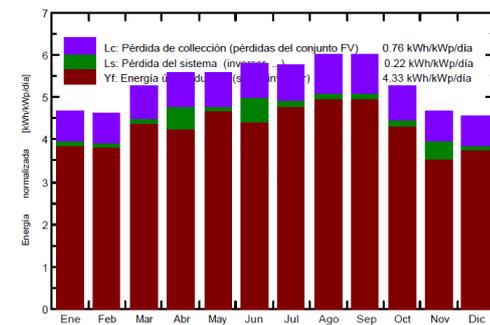


Figura 12: Producción normalizada y pérdidas para configuración de verano.

Fuente: Propia

Para maximizar la producción anual en el sitio de estudio se utiliza ambas configuraciones en los 2 semestres que corresponden para obtener los datos de la tabla 5, donde se ve un aumento considerable en la energía inyectada a la red de 962 MWh.

Tabla 5:
 Producción normalizada con variante de configuración para solsticio de verano e invierno.

	Global. Efectivo. [kW/m ²]	E. efectiva Salida. [MWh]	E. inyectada en red. [MWh]
Abril	156.8	1317	1173
Mayo	163.8	1367	1329
Junio	162.9	1373	1219
Julio	167.2	1405	1367
Agosto	174.8	1457	1417
Septiembre	168.6	1405	1367
Octubre	163.7	1369	1332
Noviembre	159.3	1325	1185
Diciembre	170.0	1416	1376
Enero	167.6	1402	1364
Febrero	134.2	1131	1101
Marzo	148.6	1252	1219
AÑO	1937.5	16219	15449

Fuente: Propia

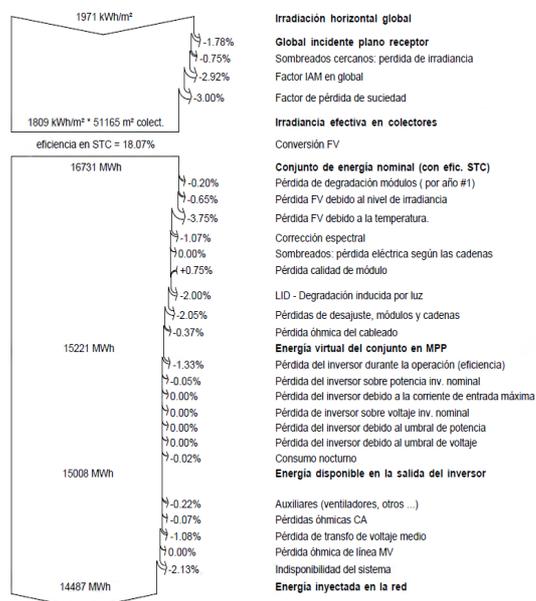


Figura 13: Diagrama de pérdidas del sistema FV en variante de verano.

Fuente: Propia

Para efectos de simulación se toma la variante de verano y se muestra el balance de pérdidas. La irradiación horizontal en el plano receptor es considerablemente alta para lograr el MPPT, los factores de sombreado reducen a 1809 kW/m² de irradiación final recolectada en el plano, el panel nos entrega un 18.07% de eficiencia en condiciones STC para la conversión fotovoltaica lo que se traduce en 16731 MWh de potencia nominal del

sistema. Las pérdidas en el conjunto fotovoltaico y conexiones D.C, los inversores y conexiones A.C y las pérdidas generadas por sistemas auxiliares y sistema de M.T., reducen la potencia de conexión a red a 14487 MWh, para un aprovechamiento idóneo del potencial solar en el sitio, la proporción de rendimiento de la planta fotovoltaica resulta en 81,6% en promedio anual.

4. DISCUSIÓN

En el ámbito de este trabajo los resultados logrados reflejan una fuente importante y útil de información para el aprovechamiento idóneo del recurso solar en el Ecuador, así como un excelente prospecto en el país tanto para su evaluación en el futuro energético dando paso a una matriz de energías renovables cómo su ampliación en proyectos más grandes y robustos, así como análisis externos de la evaluación económica o afectaciones en las siguientes etapas que conlleva un proyecto de esta índole.

Estos resultados guardan relación con el estudio que sostiene Velasco & Cabrera, (2009), quien señala el gran potencial de energía solar que tiene el país, centrándose en la provincia más idónea que es Imbabura, donde encuentra una energía casi constante a lo largo del año. Los datos revisados y experimentados donde se analiza las características climáticas, técnicas y de producción eléctrica de las tres provincias potenciales, indican que la provincia de Imbabura cuenta con las mejores características eléctricas, de irradiación, temperatura, humedad y ubicación, la potencia de generación en esta provincia es más alta debido a su nivel de irradiación y trayectoria solar.

La incidencia de esta posible producción es puesta a prueba en simulación para un proyecto prospecto a gran escala. El diseño y estudio realizado en el software PVSyst indica que en el sitio la irradiación global horizontal alcanza un valor de 1970 kW/m² anualmente y una temperatura ambiente final de 15.14 °C, para una configuración de prueba dada

de 26208 paneles de 350 Wp que proporciona una potencia nominal de 9 MW, se puede obtener diferentes valores de energía en la salida del conjunto dependiendo de la orientación utilizada, para una variante de invierno la irradiación efectiva en el plano es de 1718.1 kW/m^2 y para una variante de verano de 1809.2 kW/m^2 , para tener una curva de generación más lineal y maximizar el potencial de la planta, se utiliza las 2 variantes para cada época del año, de esta manera se consigue una irradiación efectiva en el plano anualmente de 1937.5 kW/m^2 para obtener una potencia de inyección a red de 15,4 GWh en el año. Esta potencia podría ser aún mayor, sin embargo, se toma en cuenta los factores de pérdidas en el plano colector, en el conjunto de paneles, inversores y cableado, transformadores y sistemas auxiliares. La energía producida podría abastecer alrededor de 5000 familias. Este estudio es aplicable a muchas zonas, con un aprovechamiento óptimo en diseño y del recurso solar del sitio y del país en general. Hay que considerar que el presente estudio no toma en cuenta detalles económicos, para complementarlo se recomienda realizar una evaluación económica de costo-beneficio, así como estudios de interconexión analizando el flujo de carga, cortocircuito y armónicos entre los principales. El estudio se considera óptimo y oportuno para aprovechar el recurso solar e incentivar proyectos fotovoltaicos, además de un apoyo para otros estudios a realizarse.

5. CONCLUSIONES

-En el Ecuador, aprovechando adecuadamente el recurso solar y con la adecuada inversión, fácilmente se podría cubrir toda la generación no renovable con solo aprovechar el 1.09% del total del recurso solar en el país, considerando que se tiene 3,4 GW de potencia nominal por energías no renovables.

-Al determinar un sitio idóneo para la explotación de la energía solar, se debe buscar la optimización y mayor eficiencia para la instalación en el sitio, en

el país la irradiación horizontal global tiene valores más altos en la sierra, como Imbabura, este potencial se puede ver afectado con características como temperatura, humedad, velocidad del viento, ubicación y el relieve preexistente del sitio.

-Para obtener el máximo potencial de una instalación fotovoltaica en el país, es importante el estudio de la trayectoria solar durante el año, a partir de allí se recomienda el uso del sistema de seguimiento solar, ya que los paneles podrán permanecer a una inclinación hacia el sur por un semestre completo y cambiar hacia el norte para el segundo semestre, minimizando los costes del sistema y aprovechando en gran medida el recurso solar los 12 meses, de esta manera se consigue una producción casi constante a lo largo del año.

-La incidencia del recurso solar en una producción de energía eléctrica es variable y considera el requerimiento que le del usuario al sistema, en recurso y características en los sitios de estudio puede variar un 6.8% cada año, la factibilidad del sistema y sus aplicaciones como planta prospecto descritas en el estudio son un potencial refuerzo para una matriz energética limpia en Imbabura y en el país en general, ya que una planta fotovoltaica requiere poco mantenimiento, su durabilidad y confiabilidad es alta, y el recurso solar es infinito a diferencia de los combustibles fósiles.

^[1]► **Aprovechar el recurso solar para la producción de energía eléctrica** es el siguiente paso a dar para tener una sustentabilidad eléctrica totalmente limpia, la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos crece con el potente recurso solar en muchas zonas del país y **en base a** estudios precisos se puede aumentar la relación costo-beneficio para implementar nuevos sistemas con un alto porcentaje de rendimiento, optando por el cambio de matriz energética a nivel mundial a paso agigantado.

6. REFERENCIAS

- Álvarez, O., Montaña, T., Quentin, E., & Maldonado, J. (2013). La radiación solar global en la región sur del Ecuador . Reanálisis de la nubosidad diurna. July 2019.
- Arif, M. T., Oo, A. M. T., Ali, A. B. M. S., & Shafiullah, G. M. (2015). Impacts of Storage and Solar Photovoltaic on the Distribution Network. 3–8.
- CARCHI, P. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Carchi.
- Clima promedio en Loja, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark. (n.d.). Retrieved April 29, 2020, from <https://es.weatherspark.com/y/19339/Clima-promedio-en-Loja-Ecuador-durante-todo-el-año>
- CONELEC Consejo Nacional de Electricidad. (2008). Atlas Solar Del Ecuador Con Fines De Generación Eléctrica. Corporación Para La Investigación Energética, 51. <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Domínguez Barbadillo, J. R. (2016). Mantenimiento Y Explotación De Una Planta Fotovoltaica. 95. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70749/fighero/MANTENIMIENTO+Y+EXPLORACION+DE+UNA+PLANTA.pdf>
- Ecuatoriano, E. (2018). Estadística Anual y Reporte de Resultados Multianual del Sector Productivo. R Bo r.
- Farhat, M., Barambones, O., Ramos, J. A., Duran, E., & Andujar, J. M. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 12(4), 476–487. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.07.006>
- Intro - Meteonorm (de). (n.d.). Retrieved August 24, 2020, from <https://meteonorm.com/>
- La energía solar se abre terreno en Ecuador | Diseño | Tendencias | El Universo. (n.d.). Retrieved March 20, 2020, from <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/10/nota/6222868/energia-solar-se-abre-terreno-ecuador>
- Mérida Rodríguez, M., Lobón y Martín, R., & Perles Roselló, M. (2010). Las plantas fotovoltaicas en el paisaje. Tipificación de impactos y directrices de integración paisajística. *Nimbus: Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje*, 25, 129–154.
- NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources. (n.d.). Retrieved August 24, 2020, from <https://power.larc.nasa.gov/>
- National and Local Weather Radar, Daily Forecast, Hurricane and information from The Weather Channel and weather.com. (n.d.). Retrieved September 9, 2020, from <https://weather.com/>
- Patricio Munoz-Vizhnay, J., Vinicio Rojas-Moncayo, M., & Raul Barreto-Calle, C. (2018). Incentive Pertaining To Energy the Generation Distributed in Ecuador. *Ingenius-Revista De Ciencia Y Tecnologia*, 19, 60–68. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>
- PV Syst (Versión 7.0) [Software]. (2020). Windows. Francia: Wegenève.
- Salvador, U. D. E. E. L. (2019). Diseño de Planta Fotovoltaica a Gran Escala. Situación geográfica. (n.d.). Retrieved May 7, 2020, from <https://www.otavalo.gob.ec/otavalo/situacion-geografica.html>
- UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja. (2014).
- UO SRML: programa de gráficos solares. (n.d.). Retrieved August 5, 2020, from <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>
- Urdiales, L., & Espinoza, J. L. (2015). Energía solar en el Ecuador. In ResearchGate (Issue January).
- Velasco, G. F., & Cabrera, E. (2009). Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura. *Escuela Politécnica Del Ejercito-Maestría En Energías Renovables*, 1–7. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9350/1/P72.pdf>

