

**9.4%**

PlagScan by Original. Resultados del Análisis de los plagios del 2021-04-01 07:49 ECT

**DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO TIPO DOMESTICO SIN ALMACENAMIENTO DE ENERGIA-Kleber Cabascango -Jean Sanchez.docx**

Fecha: 2021-04-01 07:42 ECT

\* Todas las fuentes 29 | Fuentes de internet 23 | Documentos propios 6

- ✓ [0] [core.ac.uk/download/pdf/336876685.pdf](#)  
2.3% 11 resultados
- ✓ [1] [core.ac.uk/download/pdf/35292044.pdf](#)  
1.4% 8 resultados
- ✓ [2] [core.ac.uk/download/pdf/154177485.pdf](#)  
1.6% 9 resultados
- ✓ [3] [core.ac.uk/download/pdf/250141916.pdf](#)  
1.6% 7 resultados
- ✓ [4] ["Diseño de un generador solar fotovoltaico de tipo domestico con almacenamiento de energia-Milton Cuchiparte-Jose Rojas.docx" fec](#)  
1.4% 7 resultados
- ✓ [5] [repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5576/pfc6383.pdf?sequence=1](#)  
1.2% 5 resultados
- ✓ [6] [docplayer.es/33628961-Proyecto-fin-de-master.html](#)  
1.2% 7 resultados
- ✓ [7] [core.ac.uk/download/pdf/72021497.pdf](#)  
1.0% 5 resultados
- ✓ [8] [core.ac.uk/download/pdf/30043388.pdf](#)  
0.9% 5 resultados
- ✓ [9] [docplayer.es/162028875-Energia-solar-fotovoltaica.html](#)  
1.2% 2 resultados
- ✓ [10] [upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/330770/REPORT.pdf](#)  
1.0% 6 resultados
- ✓ [11] ["EMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE INSTALACIÓN DEL PANEL SOLAR EN LA EFICIENCIA DE GENER](#)  
0.8% 4 resultados
- ✓ [12] [es.wikipedia.org/wiki/Energía\\_solar\\_fotovoltaica](#)  
0.7% 5 resultados
- ✓ [13] ["GUIA DIDACTICA ENERGIAS ALTERNATIVAS\\_DUAL\\_DANIEL ANDAGOYA.docx" fechado del 2020-06-12](#)  
0.6% 3 resultados
- ✓ [14] [ecoinventos.com/energia-solar-residencial/](#)  
0.6% 3 resultados
- ✓ [15] [core.ac.uk/download/pdf/151618087.pdf](#)  
0.4% 2 resultados
- ✓ [16] [docplayer.es/144020105-Universidad-central-del-ecuador.html](#)  
0.3% 4 resultados
- ✓ [17] [repositorio.upct.es/bitstream/10317/2459/9/pfc4184.pdf.txt](#)  
0.4% 1 resultados
- ✓ [18] [www.researchgate.net/publication/236606562\\_Autoconsumo\\_de\\_Energia\\_Solar\\_Fotovoltaica\\_con\\_Gestion\\_Activa\\_de\\_la\\_Demanda](#)  
0.4% 2 resultados
- ✓ [19] [www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/tramite\\_informacion\\_publica/20/10/Pedregal EIA.pdf](#)  
0.4% 3 resultados
- ✓ [20] [core.ac.uk/download/pdf/38647813.pdf](#)  
0.4% 2 resultados
- ✓ [21] [docplayer.es/40204590-Guia-de-aplicacion-de-energia-solar-como-alternativa-de-energia-renovable-en-embarcaciones-de-recreo.ht](#)  
0.3% 2 resultados
- ✓ [22] [scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612019000400039&lng=es&nrm=iso&tlng=es](#)  
0.2% 1 resultados
- ✓ [23] ["SMC en una microrred Revision\\_Antiplagio.docx" fechado del 2020-05-04](#)  
0.3% 2 resultados
- ✓ [24] [1library.co/document/q75771vz-guia-aplicacion-energia-alternativa-energia-renovable-embarcaciones-recreo.html](#)

0.2% 2 resultados

✓ [25] "ARMIJOS - JIMENEZ.docx" fechado del 2021-04-01  
0.2% 2 resultados

✓ [26] "86-Texto del artículo-467-1-2-20201109.pdf" fechado del 2020-11-19  
0.1% 1 resultados

✓ [27] docplayer.es/17812248-La-energia-solar-fotovoltaica-en-el-pais-vasco.html  
0.1% 1 resultados

✓ [28] docplayer.es/14402693-Departamento-de-energia-y-mecanica-escuela-politecnica-del-ejercito-sangolqui-ecuador.html  
0.1% 1 resultados

**26 páginas, 5890 palabras**

**Nivel del plagio: 9.4% seleccionado / 9.4% en total**

47 resultados de 29 fuentes, de ellos 23 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*

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación consiste en el diseño de un sistema solar fotovoltaico sin almacenamiento (baterías), para una vivienda de la ciudad de Quito específicamente del valle de Tumbaco con la finalidad de aprovechar la energía eléctrica generada por medio de los paneles solares fotovoltaico, reducir la emisiones de CO<sub>2</sub> y sobre todo obtener ahorros en las facturas de energía consumida al dejar de depender en su totalidad del suministro de energía de la red pública de distribución de energía eléctrica .

<sup>[3]</sup>▶ Como parte primordial del diseño del sistema se tomó en consideración el consumo mensual de energía eléctrica de la vivienda un valor de 542kWh/mes. En el valle de Tumbaco La irradiación diaria mensual es superior a los (5 kW/m<sup>2</sup>/día) con una temperatura media de 14.5°C.

El diseño de la planta fotovoltaica cuenta con 10 paneles solares, cuya capacidad nominal instalada es de 4124,80 kW para un área disponible de 120m<sup>2</sup> sobre terraza de la vivienda. De acuerdo con la base de datos de meteonorm disponible en dos softwares especializados en energía fotovoltaica Solarius PV y PVsyst se obtuvo una generación anual promedio de 6768,48 kWh/año.

Esta energía generada será aprovechada en su totalidad por la vivienda para su autoconsumo durante las horas de sol disponible.

Finalmente, De acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración económica el proyecto tiene una inversión inicial de 6038.78USD, cuando el consumo residencial sea superior a los 500kWh/mes se establece una tarifa plana de 10,5 ctvs. el kWh los cuales son facturados por la empresa eléctrica Quito, entonces la producción económica anual por parte del sistema fotovoltaico será de 676.84 USD con lo cual la inversión será recuperada en aproximadamente 10 años de los 25 años de vida útil del diseño fotovoltaico.

Palabras clave –Almacenamiento de energía; Consumo energético; Eficiencia energética;<sup>[12]</sup>▶ Generación de energía renovable; Hora solar pico; Inversor; Irradiación; Paneles solares; Potencia Fotovoltaica.

## ABSTRACT

The present research project consists of the design of a non-storage-free photovoltaic solar system (batteries), for housing in the city of Quito specifically in the Tumbaco Valley with the aim of harnessing the electrical energy generated through the solar photovoltaic panels, reducing CO<sub>2</sub> emissions and, above all, savings on energy bills consumed by ceasing entirely on the power supply of the public electrical power distribution network.

As a primary part of the design of the system, monthly housing electricity consumption was taken into account in a value of 542kWh/month. In the Tumbaco Valley Monthly daily irradiation is greater than (5 kW/m<sup>2</sup>/day) with an average temperature of 14.5°C.

The design of the photovoltaic plant has 10 solar panels, with a nominal capacity installed at 4124.80 kW for an available area of 120msquare on housing terrace. According to the meteonorm database available in two softwares specialized in photovoltaic energy Solarius PV and PVsyst, an average annual generation of 6768.48 kWh/year was obtained.

This energy generated will be used in its entirety by housing for self-consumption during the available sun hours.

Finally, according to the results achieved in the economic assessment, the project has an

initial investment of USD 6038,78D, where residential consumption exceeds 500kWh/month, a flat rate of 10.5 kWh is set. kWh which is invoiced by the Quito electric company, then annual economic production by the photovoltaic system will be USD 676,84, thus making the investment recovered in approximately 10 years of the 25 years of useful photovoltaic design.

Key Words: Energy storage; Energy consumption; Energy efficiency; Generation of renewable energy; Peak solar hour; Investor; Irradiation; Solar panels; Photovoltaic Power.

## [ 9 ] ▶ 1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país y en todo el mundo se realizan importantes esfuerzos para incrementar la integración de las diferentes formas de energía renovable como parte de la generación de energía eléctrica, con el objetivo de satisfacer el constante aumento de las necesidades energéticas, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (González García et al., 2019)<sup>[4]▶</sup>. Por este motivo se ha decidido desarrollar el diseño de un sistema fotovoltaico de tipo domestico sin almacenamiento de energía, con el apoyo de los módulos de simulación fotovoltaica del ISTCT y diferentes programas informáticos que contiene toda la información detallada de funcionamiento, dimensionamiento y recolección de resultados óptimos para el desarrollo del sistema.<sup>[6]▶</sup> Con el objetivo de aprovechar la energía eléctrica generada y reducir la contaminación;<sup>[6]▶</sup> así como obtener ahorros en las facturas de la energía eléctrica de la vivienda y evitar la dependencia total del suministro de energía desde la red pública de distribución.

### 1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las instalaciones fotovoltaicas sin almacenamientos conectadas a la red son una de las ultimas aplicaciones y más novedosas que consiste en la instalación de paneles fotovoltaicos y un

inversor capaz de transformar la energía que suministran los paneles e inyectarlos a la red eléctrica, sin embargo en Ecuador recién se están tomando políticas que regulan e incentiva el uso de estas nuevas tecnologías lo que se convierte en un nuevo desafío hacia las empresas distribuidoras de energía para proyectarnos hacia generación distribuida.<sup>[6]▶</sup> Otro inconveniente con este tipo de tecnología es en los sistemas aislados ya que se requiere de baterías las cuales tienen un alto costo.

<sup>[3]▶</sup> Una instalación autónoma de generación fotovoltaica en áreas residenciales sería factible donde toda la energía generada sería para su propio autoconsumo y los excedentes estarían disponibles para el uso de otros usuarios por lo tanto hay que realizar un estudio para poder determinar si es viable económicamente los sistemas solares fotovoltaicos sin almacenamientos sean conectados a la red o no y opciones de diseño viables para que las estaciones de sistemas fotovoltaicos en áreas residenciales puedan dar resultados eficientes, confiables y que permita ahorrar a su propietario al eliminar las baterías por sus altos costos y evitar una dependencia total del suministro de energía eléctrica de la red pública.

### 1.3 ESTADO DEL ARTE

El crecimiento poblacional a nivel mundial y con ello el calentamiento global a encaminado a la ciencia en la búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías para aprovechar las fuentes de recursos renovables para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, la energía solar fotovoltaica ha influido de forma significativa a un gran desarrollo a nivel mundial de tecnología renovable lo cual hace que se haya posicionado como una de las principales con respecto al aprovechamiento de los recursos de energías renovables (Delloso, 2015).

Uno de los grandes problemas de las próximas décadas será el suministro de energía eléctrica a aproximadamente 1600 millones de personas que viven en zonas rurales, la mayoría de estas personas se encuentran en África, es por eso que Marruecos ha puesto en marcha una estrategia para un abastecimiento de energía eléctrica a zonas rurales que ha sido muy exitoso alcanzando un 98%, una diferencia enorme con un 15% con el que se contaba hasta 1995. (Hachim et al., 2018).

Gobiernos en el mundo entero fomentan la utilización de los recursos renovables como fuente de energía para residencias.

<sup>[1]</sup> ▶ Indonesia es uno de esos gobiernos que fomenta que los edificios con oficinas utilicen este tipo de fuentes para evitar una dependencia de la red de la compañía nacional de electricidad (PLN) con el objetivo de reducir el uso de los combustibles fósiles y así disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La mayoría de estos edificios utilizan la energía eléctrica en el día o en horas laborables, el sistema va instalado en el techo para cubrir la demanda de dicho edificio. <sup>[1]</sup> ▶ Los sistemas fotovoltaicos es una de las tecnologías más amigables con el medio ambiente y puede ser la solución más viable a futuros problemas de crisis energéticas y abastecimiento de energía eléctrica de forma sustentable a un sinnúmero de residencias, edificios, campos agrícolas. (Syafii et al., 2018)

## 2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

En el presente capítulo se describe el diseño de un sistema fotovoltaico, tomando como ejemplo para una vivienda promedio de la ciudad de Quito, específicamente de la parroquia de Tumbaco. <sup>[0]</sup> ▶ En primer lugar, se obtendrá la demanda mensual de electricidad de la vivienda, para luego evaluar el recurso solar disponible en la zona como la irradiación solar y temperatura. <sup>[0]</sup> ▶ Para seguidamente continuar con el cálculo y dimensionamiento del sistema, contando con el apoyo del software Solarius PV y Lucas-Nuller

labsoft para estimar la potencia de producción de energía eléctrica y demás características del diseño del sistema fotovoltaico. Finalmente se realizará el análisis de la viabilidad económica del diseño de un sistema fotovoltaico en áreas residenciales sin almacenamiento.

### 2.1 DATOS DE CONSUMO

La información que obtendremos del consumo mensual de la vivienda se la puede obtener en la página web que las empresas distribuidoras de energía, la empresa distribuidora para la ciudad de Quito es la Empresa Eléctrica Quito, [www.eeq.com.ec](http://www.eeq.com.ec).

Para este diseño nos basamos en el consumo promedio mensual y anual.

El costo por consumo eléctrico en Ecuador es de 0.04 ctvs. Por kW/h hasta 110kW/h/mes en la región sierra, pasado los 110kW/h/mes en la sierra, el costo por consumo eléctrico es de 0.0809 ctvs. Hasta los 500kW/h/mes. Un consumo residencial mayor a los 500kW/h/mes tiene una tarifa plana de 10.5 ctvs. el kW/h. (Arconel, 2020)

Tabla 1.

Consumo Mensual y Anual de energía eléctrica en [kW/h].

Mes	Año	Consumo
Enero	2021	540kW/h
Febrero	2020	532kW/h
Marzo	2020	536kW/h
Abril	2020	528kW/h
Mayo	2020	540kW/h
Junio	2020	536kW/h
Julio	2020	548kW/h
Agosto	2020	560kW/h
Septiembre	2020	528 kW/h
Octubre	2020	592kW/h
Noviembre	2020	532kW/h
Diciembre	2020	532kW/h
Consumo Anual		6504kW/h
Consumo Prom. Mensual		542kW/h
Consumo Prom. Diario		18,067 kW/h

Fuente: Cabascango Kleber

## 2.2 PERFIL DE CARGA

Tabla 2.

Estimación de consumo eléctrico de la vivienda en kWh/día.

Dispositivo	Cantidad	Potencia (W)	Horas (h)	Consumo Total (wh/día)
Focos led	19	9	3	513
Lámparas Led	3	12	3	108
Tubos Led	3	18	3	162
Dicroicos	4	50	3	600
Duchas	2	5500	1	11000
Refrigeradora	1	290	5	1450
Tv	3	61	3	549
Licuadaora	1	600	1	600
Lavadora	1	590	1	590
Computadora	1	90	8	720
Celulares	7	10	1	70
Plancha	1	1200	1	1200
Radio	1	40	5	200
Consumo Total Promedio (Wh/día)				17762

Fuente: Cabascango Kleber

## 2.3 DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA

En la siguiente grafica se puede ver la curva de consumo eléctrico de la residencia. Esto se determinó de acuerdo a la cantidad de electrodomésticos conectados en las diferentes horas y días de la semana.

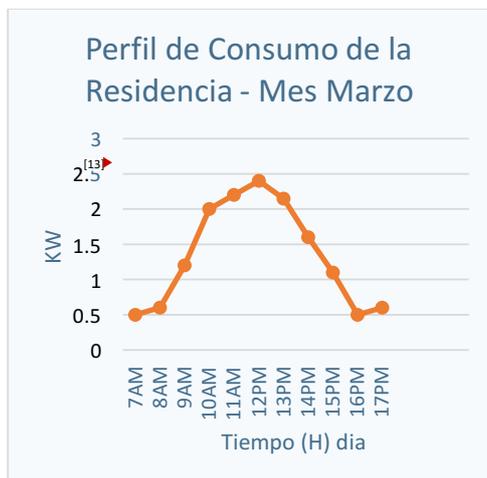


Figura 1: Demanda de Consumo de la Vivienda

Fuente: Cabascango Kleber

## 2.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El lugar de ubicación del sistema fotovoltaico se

encuentra dentro del distrito metropolitano de Quito en la parroquia de Tumbaco-barrio San José de Collaqui, con la ayuda de atlas solar global se determina la azotea de la vivienda.

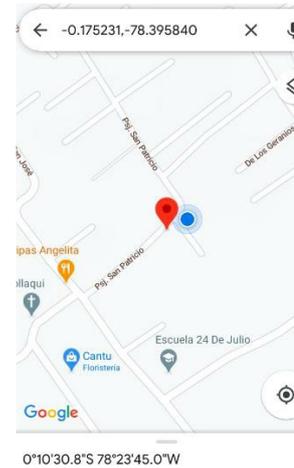


Figura 2: Ubicación Geográfica Tumbaco

Fuente: Google Maps

En la siguiente tabla se presenta los datos de la ubicación geográfica de la residencia.

Tabla 3.

Datos de Ubicación del Proyecto

UBICACIÓN DEL PROYECTO	
Descripción	Datos
Latitud [°]	-0,175231 S
Longitud[°]	-78°.395840W
Altitud [m]	2856

Fuente: Google Maps

## 2.5 POTENCIAL SOLAR EN EL ECUADOR

Debido a la ubicación geográfica de Ecuador en la línea ecuatorial, los recursos de energía solar permanecen casi sin cambios durante todo el año. El GHI (Irradiación solar global horizontal) anual en Ecuador oscila entre 2,9 kWh /m<sup>2</sup> día y 6,3 kWh/m<sup>2</sup> día. Las Provincias como Pichincha e Imbabura tienen altos potenciales solares de 4.5-5.7 kWh/m<sup>2</sup> día. (Vaca & Ordóñez, 2019).

## 2.6 IRRADIACIÓN DEL PREDIO

Para determinar la irradiación solar sobre el plano horizontal de la vivienda, se apoyará de la base de datos más altos de Meteonorm 7.1 contenido en el Software Solarius PV y PVsyst.

Tabla 4.<sup>[1]</sup> Irradiación sobre el plano horizontal

MES	Irrad. global diaria (KWh/m <sup>2</sup> )	Irrad. global mensual (KWh/m <sup>2</sup> )
Enero	5,37	167,4
Febrero	5,32	148,96
Marzo	5,51	171,12
Abril	5,5	165
Mayo	5,27	163,06
Junio	5,43	162,6
Julio	5,39	167,4
Agosto	5,95	184,76
Septiembre	6,2	186
Octubre	5,83	181,04
Noviembre	5,53	166,2
Diciembre	5,43	168,02
Total	Irrad. Anual (KWh/m <sup>2</sup> )	2031,56

Fuente: Meteonorm 7.1

### 3. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 3.1 HORA SOLAR PICO

La hora solar pico es el tiempo en el que se puede aprovechar la irradiación en su máxima potencia, 1000W/m<sup>2</sup>(Salamanca-Avila, 2017).

<sup>[16]</sup> La irradiación global en la ciudad de Quito 5.66 kWh/m<sup>2</sup>, este valor estimado de la comparación de varias fuentes.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación Global}}{1000W/m^2} \quad (1)$$

$$HSP = \frac{5.66 \text{ kWh}/m^2}{1000 \text{ W}/m^2}$$

$$HSP = 5.66 \text{ h}$$

#### 3.2 POTENCIA FOTOVOLTAICA

Es la potencia eléctrica pico que entregará el panel solar fotovoltaico en su máximo rendimiento en condiciones favorables. 1000W/m<sup>2</sup> y 25°C.

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario}}{HSP} \quad (2)$$

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = \frac{18.067 \text{ kW}/h}{5.66 \text{ h}}$$

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = 3,191 \text{ kW}$$

#### 3.3 PANEL SOLAR

El panel solar que hemos elegido para este diseño es de la marca Jinkosolar con una potencia de 400W Monocristalino ya que tiene un mejor rendimiento por m<sup>2</sup>.

Figura 3: Célula Monocristalinas y Policristalinas  
Fuente: (Profesional et al., 2018)

#### 3.4 NÚMERO DE PANELES SOLARES

$$\text{No. de Paneles Solares} = \frac{\text{Potencia Fotovoltaica}}{\text{Potencia de Panel}} \quad (3)$$

$$\text{No. de Paneles Solares} = \frac{3.192 \text{ kW}}{400W}$$

$$\text{No. de Paneles Solares} = 7.98 \text{ módulos}$$

#### <sup>[2]</sup> 3.5 SOBREDIMENSIONAMIENTO

Hay que tener en cuenta las pérdidas que se puedan dar por diferentes factores como:

- Nubosidad
- Condiciones atmosféricas
- Coeficiente de temperatura del módulo
- Eficiencia del inversor

El no tomar en cuenta estos factores puede ocasionar un bajo rendimiento en nuestro sistema solar fotovoltaico sin almacenamiento es por esta razón que sobredimensionamos la Potencia Fotovoltaica hasta un 30% para compensar las pérdidas.

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = 3.192 \text{ kW} + 30\% \quad (4)$$

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = 4.149 \text{ kW}$$

$$\text{No. de Paneles Solares} = \frac{\text{Potencia Fotovoltaica}}{\text{Potencia de Panel}}$$

$$\text{No. de Paneles Solares} = \frac{4.149 \text{ kW}}{400 \text{ W}}$$

$$\text{No. de Paneles Solares} = 10.37$$

Para el diseño del sistema solar fotovoltaico se usarán 10 módulos solares fotovoltaicos con una potencia de 400Wp en condiciones óptimas.

### 3.6 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La orientación o grado azimut ( $\alpha^\circ$ ) es el ángulo que se encuentra entre el norte geográfico y el punto cardinal en el que se encuentre el sol, medido en sentido horario alrededor del horizonte donde se encuentra el observador (Kannan & Vakeesan, 2016).

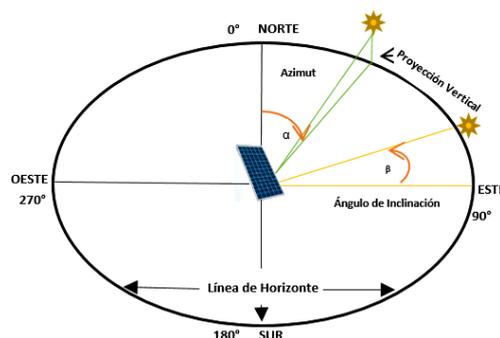


Figura 4: Orientación e Inclinación de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Kleber Cabascango

De acuerdo al software Solarius PV el grado azimut es de  $\alpha^\circ = 90^\circ$  en sentido norte, sin impedir el máximo rendimiento de los paneles fotovoltaicos.

Ahora para la inclinación óptima, depende de la ubicación geográfica, especialmente de la latitud, está determinada por la siguiente ecuación.

$$\beta = 3,7 + 0,69 \cdot \phi \quad (5)$$

$$\beta = 3,7 + 0,69 \cdot (-0,175231)$$

$$\beta = 3,57909^\circ$$

Donde:

$\beta$  = Ángulo de inclinación óptima del generador fotovoltaico [ $^\circ$ ].

$\phi$  = latitud [ $^\circ$ ].

En este caso tenemos una inclinación óptima de  $\beta = 3,57909^\circ$ , por motivos de auto limpieza y mantenimiento de todos los módulos fotovoltaicos la inclinación será de  $15^\circ$  como mínimo.

### 3.7 DISTANCIA MÍNIMA ENTRE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para calcular la distancia mínima de separación entre módulos, primero se determina la altura proyectada sobre el plano horizontal con la inclinación ( $15^\circ$ ) y el ancho del panel fotovoltaico (1,002m) de una fila de módulos (h) (Romeral, 2015).

$$h = A \cdot \text{sen}(\beta) \quad (6)$$

$$h = (1,002\text{m}) [\text{sen}(15^\circ)]$$

$$h = 0,25\text{m}$$

A la altura (h) se integra la estructura de soporte fija de los módulos ubicada en la terraza de la vivienda de modo que se evite las sombras y aprovechar el espacio disponible, para esto se procede a calcular la altura total (ht) con la siguiente fórmula.

$$ht = 0,25\text{m} + (0,10\text{m} \times 1,002) \quad (7)$$

$$ht = 0,35\text{m}$$

Finalmente se calcula la distancia entre módulos fotovoltaicos con la altura total de 0,35m y la latitud. También hay que considerar la distancia de 0,50m entre las filas de los módulos para la circulación peatonal y mantenimiento de los mismos.

$$D = \frac{ht}{\tan(61^\circ - \phi)} \quad (8)$$

$$D = \frac{0,35\text{m}}{\tan(61^\circ - (-0,175231))}$$

$$D = 0.19m$$

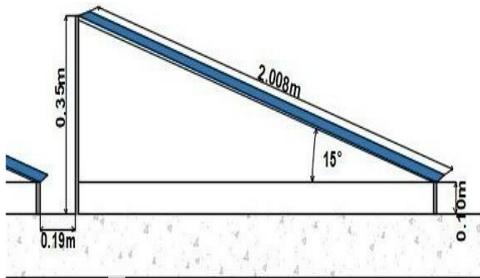


Figura 5: Distancia entre los módulos fotovoltaicos

Fuente: Kleber Cabascango

### 3.8 <sup>[19]</sup> ÁREA DISPONIBLE EN LA TERRAZA DE LA VIVIENDA

Para la instalación de la planta fotovoltaica necesita de un área de terreno recomendable con una elevación del suelo, esto para evitar las sombras provocado por árboles, postes, edificación y demás obstáculos.

Para este diseño se dispone de  $120m^2$  de terraza ya que la edificación es de loza y el área total prevista a utilizar por los módulos es de  $32m^2$ .

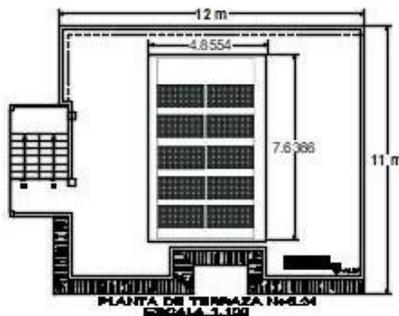


Figura 6: Área disponible de la vivienda

Fuente: Kleber Cabascango

### 3.8 INVERSOR MONOFÁSICO

Una vez sobredimensionado la potencia fotovoltaica y conociendo el número de paneles solares podemos elegir un inversor on grid de los que disponemos en el mercado para que se pueda conectar a la red en un futuro.

Para el diseño de este sistema seleccionaremos un modelo de inversor Fronius Primo de 3.8-1 que permite un rango de potencia desde 3.0 kW hasta

6.0 kW con 2 MPPT, Voltaje nominal de entrada de 410Vcd y salida de 208-240Vca.



Figura 7: Inversor

Fuente: Fronius, 2020

Para determinar el número máximo de módulos en serie para el inversor, nos guiamos con la siguiente fórmula de acuerdo a la ficha técnica estimada por los fabricantes del inversor:

$$N_s = \frac{V_{maxInversor}}{V_{caPanel}} \quad (9)$$

$$N_s = \frac{441V}{41,7V}$$

$N_s = 10$  paneles máximo

Número máximo de ramales en paralelo

$$N_p = \frac{I_{maxInversor}}{I_{cc Panel}} \quad (10)$$

$$N_p = \frac{18,3 A}{10,36 A}$$

$N_p = 1.73$  ramales en paralelo

Finalmente se estima para el diseño fotovoltaico 10 paneles en serie dividido para los 2 ramales para una mejor distribución.

### 3.9 VATÍMETRO

Elegiremos un vatímetro Smart meter TS monofásico de Fronius para que sea compatible con el inversor, el vatímetro

medirá la potencia consumida, curva de consumo y permitirá el flujo o no de energía eléctrica hacia la red ya que es un contador bidireccional.

### 3.10 CABLE EN CC Y CA

Los fabricantes sugieren en la ficha técnica de los paneles solares e inversores, utilizar un calibre de cable específico, el cable para la conexión en CD es diferente al de las conexiones en AC, el tipo de cable para conectar los módulos fotovoltaicos es un cable toposolar PV y su calibre será #14.

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (10)$$

Donde:

S= sección del conductor en mm<sup>2</sup>

L= longitud en metros

I= intensidad que pasará por el conductor

P= conductividad del material

V= Voltaje

$\Delta V$  = caída de tensión

$$S = \frac{2 * 50m * 12.95A}{56 * 480V * 24V}$$

$$S = \frac{1295}{645120}$$

$$S = 2.00mm^2$$

En la siguiente tabla nos muestra el calibre de conductores comerciales que se va a utilizar en sistema fotovoltaico. El conductor de conexión a tierra será el mismo que las fases de 8AWG.

Tabla 5. Tramos de Cableado del sistema fotovoltaico

Tramo	Voltaje (V)	Corriente (A)	Longitud (m)	Sección mm <sup>2</sup>	Cable THHN AWG No.
1 y 2	459 Vcc	9,60 A	25m	2,5mm <sup>2</sup>	14 AWG
3	230 Vca	19,13 A	50m	8,5mm <sup>2</sup>	8 AWG
4	230 Vca	19,13 A	50m	8,5mm <sup>2</sup>	8 AWG
Conexión a tierra			10m	8,5mm <sup>2</sup>	8 AWG

Fuente: Solarius PV

### 3.11 PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Al igual que en los cables nos podemos guiar en la ficha técnica de los fabricantes de paneles solares y del inversor donde nos dan los valores de voltaje en circuito abierto (Voc) y corriente de cortocircuito de los paneles solares (Isc). No se puede usar protecciones de AC en los circuitos de los paneles solares, deben ser protecciones en DC.

10 paneles solares de 400W

Voc = 49.8V

Voc1 = 498V

Vmax = Voc \* factor de protección  
(12)

Vmax = 622.5V

Isc = 10.36A

IscTotal = 20.72A

Imax = Isc \* Factor de protección  
(13)

Imax = 20.76A \* 1.25

Imax = 25.95A

### 3.12 SISTEMA A TIERRA

La protección a tierra será el mismo sistema con el que cuente la vivienda donde se vaya a instalar el sistema fotovoltaico.

### 3.13 FACTOR DE PLANTA

Es el cociente entre la energía que genera una planta y la energía que generaría una planta si trabajara al 100% de su potencia (Vasita et al., 2018).

Energía generada 6 560.97 kW/h/año

$$FC = \frac{EPV_{\text{anual}}}{24 * 365 * PPVp} \quad (14)$$

Donde:

FC= factor de capacidad

EPV anual= energía fotovoltaica generada anual

PPVp = suma de la potencia de los paneles fotovoltaicos a 1000W/m<sup>2</sup>

$$FC = \frac{6560.97kWh/año}{24 * 365 * 4000W}$$

$$FC = 0.18\%$$

### 3.14 CAPACIDAD NOMINAL INSTALADA

La capacidad máxima instalada del sistema de Microgeneración fotovoltaica es determinada por la Arconel con la siguiente expresión:

Capacidad Nominal Instalada

$$= \frac{\sum_{i=mes 1}^{mes 12} E_{mesual_i}(kWh)}{Factor_{planta de diseño} * 8760(h)} (kWh) \quad (15)$$

$$= \frac{12 * 542kWh}{0.18 * 8760(h)} (kWh)$$

$$= 4124.80 kWh$$

### <sup>[12]</sup> 3.15 ENERGÍA SUMINISTRADA ANUALMENTE

En la siguiente tabla se muestra la energía generada por el sistema fotovoltaico, diaria, mensual y anual. <sup>[19]</sup> Se consideró la irradiación de la base de datos de *Meteonorm 7.1* y la ubicación del predio ( $\alpha=90^\circ$  al norte,  $\beta=15^\circ$ ).

Tabla 6.

Energía Diaria, Mensual y Anual generada por sistema fotovoltaico

Año	Mes	GHI Kwh/m <sup>2</sup> día	Energía diaria Kwh/día	Días del Mes	Energía Mensual Kwh/ mes
2021	Enero	5,29	17	31	541,26
	Febrero	5,24	17	28	484,4
	Marzo	5,43	17	31	555,21
	Abril	5,15	16	30	509,4
	Mayo	5,2	17	31	531,34
	Junio	5,3	17	30	524,1
	Julio	5,31	17	31	543,12
	Agosto	5,8	19	31	592,72
	Septiembre	6,11	20	30	604,8
	Octubre	5,75	18	31	587,76
	Noviembre	5,45	17	30	539,4
	Diciembre	5,35	17	31	547,46
Energía Anual Kwh/ año					6560,97

Fuente: Solarius PV

El Sistema fotovoltaico sin almacenamiento de 4124,80 kWh de potencia instalada, producirá anualmente 6560,97 kWh.

### 3.16 OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En la siguiente tabla se indica el mes con mayor irradiación (agosto) conjuntamente con la potencia generada para ese mes en horario de 8am a 5pm.

Tabla 7.

Potencia del Sistema fotovoltaico con irradiación mes de agosto

	Valores promedios mensuales de la irradiancia global (W/m <sup>2</sup> )	Potencia del Sistema Fotovoltaico (KW)
Hora	Agosto	
7:00	497	0,85
8:00	638	1,48
9:00	697	2,08
10:00	713	2,53
11:00	672	2,77
12:00	615	2,76
13:00	569	2,48
14:00	527	2
15:00	506	1,4
16:00	468	0,77
17:00	357	0,6

Fuente: Solarius PV

En la siguiente figura se muestra la curva de consumo de la residencia vs la generación fotovoltaica calculada, como puede observarse la curva de generación es aprovechada por la residencia.

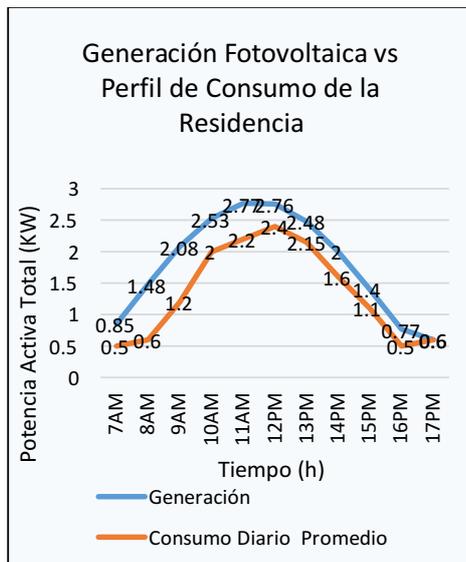


Figura 8: Generación Fotovoltaica vs Consumo de la residencia

Fuente: Kleber Cabascango

### 3.17 VALORACIÓN ECONÓMICA

Para determinar el costo de producción de energía eléctrica del sistema fotovoltaico dimensionado es importante conocer la tarifa por kWh, según la EEQ

el consumo residencial mayor a los 500kW/h/mes tiene una tarifa plana de 10.5 ctvs. el kW/h.

De acuerdo a la tabla de producción eléctrica mensual obtenemos un valor anual de 6768,48kWh, ahora para obtener la producción económica del sistema aplicamos la siguiente formula:

$$P.Económica Anual = EnergíaP * CostokWh \quad (16)$$

$$P.Económica Anual = 6768.48kWh/año * 0.10ctvs$$

$$P.Económica Anual = 676.84 USD$$

Para estimar el periodo de retorno de la inversión del diseño fotovoltaico, se utilizó la siguiente formula:

$$T.R = \frac{Inversion Total del Proyecto}{P.económica anual - Mantenimiento} \quad (17)$$

Para el costo de mantenimiento se considera el 10% de la Producción Económica Anual de 67,88 USD valor considerable para el mantenimiento.

$$T. Recuperación = \frac{6038,78USD}{676,84USD - 67,88USD}$$

$$T. Recuperación = 9.91 años$$

La inversión será recuperada en aproximadamente 10 años de los 25 años de vida útil del diseño fotovoltaico.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores presentados para la estimación del recurso solar se basan en el análisis de las variables de temperatura e irradiación de las fuentes de METEONORM el cual interpola datos del INAMHI, GLOBAL SOLAR ATLAS y POWER DATA ACCESS VIEWER este último es una plataforma de la NASA encargado de valorar el recurso solar para proyectos fotovoltaicos.

Para el diseño y simulación se usaron dos

softwares especializados en energía fotovoltaica como SOLARIUS PV y PVSyst fotovoltaica sin almacenamiento tipo doméstico y así comparar los resultados de ambas simulaciones.

Las gráficas históricas de power data acces view de irradiación directa y difusa, temperatura máxima y mínima tienen una precisión de  $1/2^\circ * 1/2^\circ$  los que nos indica que serán de una área de  $50\text{km}^2$ .

#### <sup>[16]</sup> 4.1 ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN

En Ecuador y **sobre todo en la ciudad de Quito** tenemos un gran potencial de energía solar para ser aprovechado en proyectos fotovoltaicos.

<sup>[16]</sup> Este potencial fotovoltaico **en la ciudad de Quito se** debe por su altura y latitud de donde está ubicada la ciudad ya que **al encontrarse cerca de la línea ecuatorial** podemos aprovechar con mayor facilidad la irradiación directa.

Para empezar un proyecto de energía renovable fotovoltaica el primer paso que tenemos que tomar en cuenta es su ubicación y la irradiación mensual y diaria.

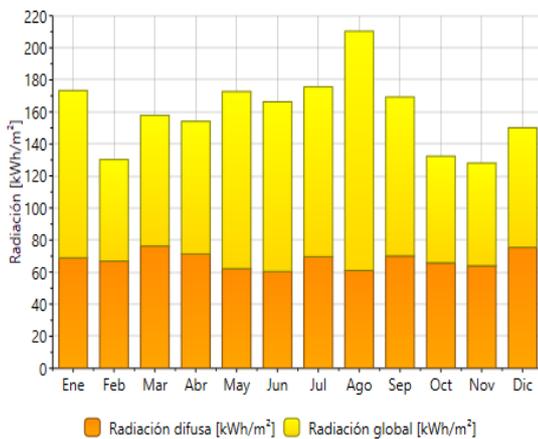


Figura 9: Irradiación mensual en kWh/m²  
Fuente: Meteonorm



Figura 10: Irradiación mensual en kWh/m²  
Fuente: Global Solar Atlas

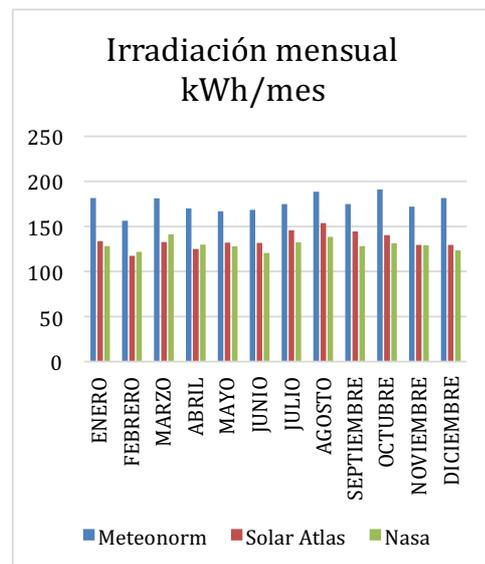


Figura 11: Comparación de Irradiación mensual  
Fuente: Sánchez, 2021

En la comparación de datos de irradiación de las 3 fuentes tenemos una diferencia aproximadamente de  $50\text{kWh/mes}$ , esto se debe a que las fuentes de Global Solar Atlas y Power Data Access Viewer son datos satelitales globales con una resolución de  $1/2^\circ * 1/2^\circ$  es decir que no tenemos la irradiación específica del lugar que se ha tomado en cuenta para el diseño del sistema solar fotovoltaico sino que nos dan valores de un área de  $50\text{km}^2$ .

En comparación a los valores de Meteonorm que nos entrega datos más altos y

específicos ya que el software utiliza un algoritmo el cual hace una interpolación con la base de datos del INAMHI.

#### 4.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA

Las condiciones ideales en las que son puestos a prueba los **módulos fotovoltaicos** y recomendadas por los fabricantes para un rendimiento óptimo es a una temperatura de 25°C, una temperatura mayor a la indicada haría que la corriente que se genera en las celdas fotovoltaicas disminuya y por lo tanto **la eficiencia del sistema de generación.**

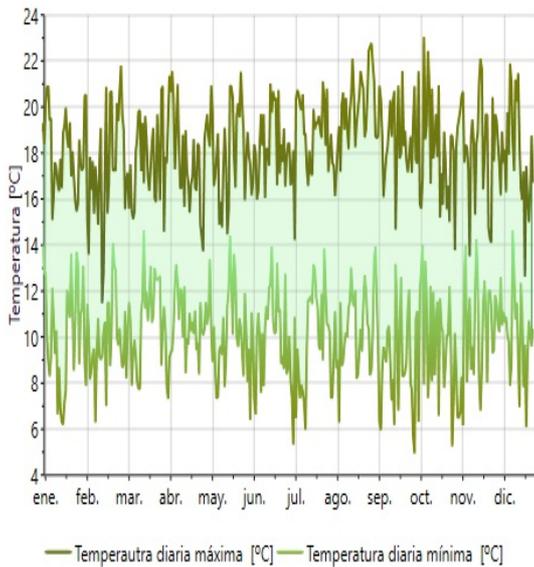


Figura 12: Variación de temperatura diaria  
Fuente: Meteonorm

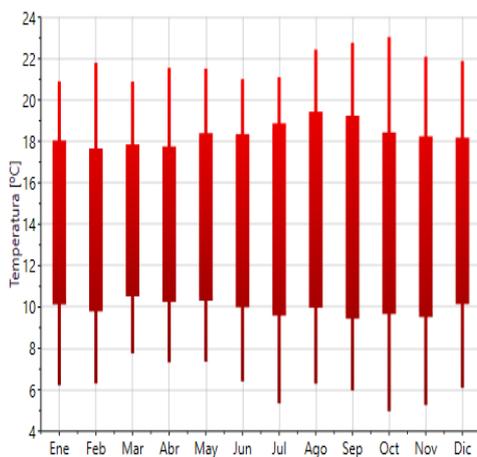


Figura 13: Temperatura Mensual  
Fuente: Meteonorm

Con base a datos de INAMHI y de su estación meteorológica en Tumbaco tenemos una temperatura de 14.5°C, este promedio puede variar según el mes y las precipitaciones, este dato es el resultado de las 14 mediciones diarias con fecha 27 de marzo del 2021.

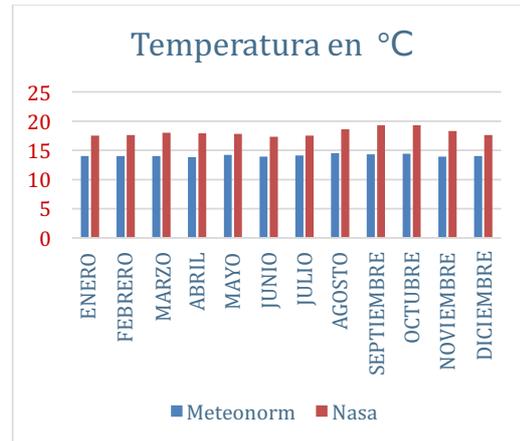


Figura 14: Comparación de temperatura entre Meteonorm y Power Data Acces  
Fuente: Sánchez, 2021

Analizando las gráficas de temperatura de Meteonorm podemos decir que tenemos una temperatura promedio del aire de 14°C, sin embargo esta temperatura puede aumentar o disminuir según el mes llegando a valores máximos de hasta 25°C y valores mínimos de 3°C como se ha podido percibir en ciertos sectores de la ciudad de Quito, cuando la temperatura tiende a bajar, los módulos fotovoltaicos aumentan su voltaje es por esto la importancia de las protecciones en DC hacia el inversor y respetando las especificaciones técnicas del mismo.

#### 4.3 ANÁLISIS DE ENERGÍA GENERADA

Para conocer **la energía generada por el diseño planteado** se usó dos softwares de simulación en donde **se puede apreciar la generación diaria, mensual y anual** con resultados bastantes similares, la diferencia

entre las dos simulaciones varia por la base de datos con que cuenta cada software.

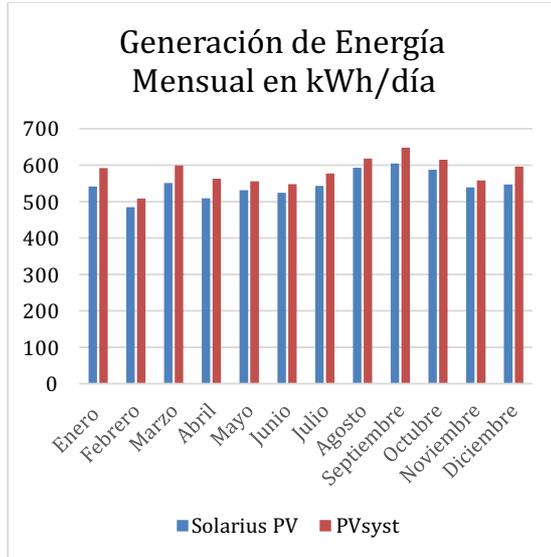


Figura 15: Comparación de energía generada entre los dos Software  
Fuente: Sánchez, 2021

La generación de energía anual por parte del software Solarius PV es de 6560.97kWh/año<sup>[1]</sup> mientras que la energía generada anual por parte de PVsyst es de 6976 kWh/año, con esta generación vamos a poder solventar la demanda de energía de la residencia con una carga fija de autoconsumo de 500Wh/día.

<sup>[8]</sup> Lo ideal es que la residencia pueda consumir toda la energía generada por el sistema de microgeneración fotovoltaica ya que no se va a poder inyectar a la red hasta que en Ecuador estén bien definidas las condiciones para una generación distribuida, la cual no debe afectar al sistema de la red.

## 5. DISCUSIONES

Una vez terminado el diseño de Microgeneración fotovoltaica sin almacenamiento para residencias y realizadas las simulaciones podemos decir que el sistema.

Recuperará su inversión dentro de 10 años de su funcionamiento, un tiempo bastante bueno en comparación al proyecto de viabilidad económica de sistemas conectados a la red realizada por los

autores Syafii, Wati, Novizon y Dona Juliandri, en donde recuperarían la inversión luego de 15 años. La Arconel establece un plazo de operación de 20 años es decir que tendremos 10 años en los cuales nuestro sistema nos permitirá un autoconsumo libre de costo y así evitar una dependencia total de la red.

Al igual que en la investigación del autor Jeffrey T. Dellosa<sup>[5]</sup> la parte de medición de energía consumida y de energía inyectada a la red por usuarios residenciales pone en un gran desafío a las empresas distribuidoras al desconocer el potencial que pueda tener esta tecnología en los usuarios residenciales y las afectaciones que estas puedan ocasionar al sistema.

<sup>[5]</sup> En la investigación realizada por los autores Brahim Hachim, Dounia Dahlioui y Abdelfettah Barhdadi en la cual mencionan que se hacen grandes esfuerzos a nivel mundial por implementar tecnologías fotovoltaicas para el aprovechamiento de la energía solar en zonas rurales. Ecuador la Empresa Eléctrica Quito tiene un programa en el que instala un panel solar pero con baterías por el hecho de no tener acceso a la red pública de energía.<sup>[5]</sup> En la parte urbana solo se han llevado a cabo proyectos Aislados por lo que se debe incentivar a los consumidores residenciales optar por esta tecnología con inyección a la red ya que a futuro tendremos mayor demanda energética por las nuevas tecnologías como vehículos privados, transporte públicos y motocicletas eléctricas, al tener un sistema fotovoltaico conectado a la red podremos reducir el costo en las planillas al cargar las baterías de estos medios de transportes y así reducir emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de las simulaciones y las comparaciones de datos de esta

investigación nos da como conclusiones que en Ecuador tenemos un gran potencial solar para llevar a cabo proyectos fotovoltaicos a nivel residenciales ya que la irradiación es superior a los 5kWh/m<sup>2</sup>, no todos los sectores van a tener la misma irradiación ni temperatura diaria que obtuvimos para el diseño de nuestro sistema solar fotovoltaico sin almacenamiento ni todas las edificaciones se van a poder diseñar sistemas tan óptimos como el propuesto ya que el ángulo de los techos de las edificaciones limita bastante la incidencia de irradiación sobre los paneles solares, en el diseño propuesto se tuvo la ventaja de tener una casa con terraza en la cual se pueden instalar los paneles con un ángulo ideal de 15°.

Ecuador aún no entrado en auge por los sistemas de microgeneración fotovoltaicos para autoconsumo a nivel residencial, en parte se debe a que más del 90% de la energía producida en el país es generada por empresas públicas del estado ecuatoriano el cual subsidia parte de la energía consumida según los kWh/mes.

Para que pueda retornar la inversión de un sistema fotovoltaico de microgeneración para autoconsumo en Ecuador es importante tener un consumo de energía eléctrica superior a los 500kWh/mes ya que de esta manera las empresas distribuidoras aumentan el costo del kWh y la inversión puede retornar después de varios años, en nuestro diseño del sistema propuesto la inversión retornaría dentro de 10 años.

Al tener un sistema fotovoltaico para autoconsumo estamos reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> al dejar de depender de una red pública de suministro de energía eléctrica ya que parte de la energía distribuida viene de centrales térmicas.

En el mundo están cambiando las tecnologías con respecto a movilizaciones urbanas reemplazando medios de transporte con motores de combustión interna a motores eléctricos lo cual aumentará la curva de demanda de energía eléctrica para

abastecer esos medios de transporte y es ahí a donde deben apuntar el estado ecuatoriano y las empresas distribuidoras de energía para incentivar a los consumidores residenciales a optar por esta tecnología de generación fotovoltaica para autoabastecerse de una cierta cantidad de esa energía prevista a ser demandada en un futuro.

<sup>[10]</sup> Antes de implementar un sistema para un autoconsumo es importante tener en cuenta la curva de consumo de la residencia ya que no sería viable el tener un sistema si no va poder consumir la energía generada durante las horas solares ya que las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Ecuador aún no están realizando las conexiones a la red para una generación distribuida por lo que no se puede aún inyectar los excedentes de energía generada por el sistema hacia la red, no cuentan con la tecnología con respecto a medidores bidireccionales a pesar de ya contar con una resolución por parte de la agencia de regulación y control de electricidad (Arconel).

## 7. Referencias

- Arcon, R. N. (2016). ' ' r ,,,
- Arconel, C. D. E. E. (2020). Resolución Nro. ARCONEL-004/2020. 1-7.
- Dellosa, J. T. (2015). Financial Payback of Solar PV Systems and Analysis of the Potential Impact of Net-Metering in Butuan City , Philippines. 1-6.
- González García, M. A., Cárdenas Galindo, V. M., & Álvarez Salas, R. (2019). <sup>[9]</sup> Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica. <sup>[26]</sup> Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 24-29. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Guillermo, M. C. L., <sup>[3]</sup> García, F., José, D., & Duarte, A. (2017). <sup>[3]</sup> Proyecto de diseño e

- implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira Tesis que como requisito para obtener el grado de Maestro en Energías Renovables presentan : Ing . Agustín Cervant.
- Hachim, B., Dahlioui, D., & Barhdadi, A. (2018). Electrification of rural and arid areas by solar energy applications case study: Boumhaout village in south of Morocco.<sup>[23]</sup> *Proceedings of 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2018*, 1-4.  
<https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8702978>
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016).<sup>[4]</sup> *Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Mu, A. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Profesional, U., López, A., Zacatenco, M., Un, D. D. E., Fotovoltaico, S., La, P., Energía, G. D. E., & Una, E. D. E. (2018). Instituto politécnico nacional.
- Romeral, R. (2015).<sup>[12]</sup> *Análisis de sensibilidad de una planta solar fotovoltaica en Chile. Departamento de Industrias*, 87, 145-153.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115303499>
- Salamanca-Avila, S. (2017).<sup>[2]</sup> *Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista científica*, 3(30), 263.  
<https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Sánchez Guevara, S., & Gil, J. F. (2016). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la universidad tecnológica de Pereira. *Universidad tecnológica de Pereira*.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Syafii, Wati, Novizon, & Juliandri, D. (2018). Economic feasibility study of rooftop grid connected PV system for peak load reduction. *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2018-October, 231-235.  
<https://doi.org/10.1109/EECSI.2018.8752957>
- Vaca, D., & Ordóñez, F. (2019). Mapa solar del Ecuador 2019. *Scinergy*, January, 30. <http://meteo-scinergy.epn.edu.ec/>
- Vasita, J., Shakhiya, Q., & Modi, J. (2018). Feasibility study and performance evaluation of a grid-connected rooftop solar PV system. *IEEE International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control, ICICIC 2017*, 2018-Janua, 1-7.  
<https://doi.org/10.1109/ICOMICON.2017.8279067>
- Voltimum. (20 de 12 de 20/12/2017). WEBINAR COMPLETO: Energía fotovoltaica para autoconsumo. Obtenido de Voltimum: <https://www.voltimum.es/webinar-completo-energia-fotovoltaica-autoconsumo>
- Center, S. (22 de 11 de 2019). Webinar Solar Center. Criterios de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=BGQRs1COPtU&t=235s&ab\\_channel=SolarCenter](https://www.youtube.com/watch?v=BGQRs1COPtU&t=235s&ab_channel=SolarCenter)
- Perez, P. C. (7 de 07 de 2020). Cálculo de protecciones en corriente directa para sistemas fotovoltaicos. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=EYZjRaKskEs&t=1069s&ab\\_channel=PavelCortesPere](https://www.youtube.com/watch?v=EYZjRaKskEs&t=1069s&ab_channel=PavelCortesPere)





















