



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2406>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de Investigación

Electrificación con tecnología fotovoltaica en una plaza comercial en Portoviejo

Electrification with photovoltaic technology in a commercial square in Portoviejo

Eletrificação com tecnologia fotovoltaica em um shopping center de Portoviejo

Denis Fabricio García-Pinargote ^I

dgarcia7438@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6909-6368>

María Rodríguez-Gámez ^{II}

maria.rodriguez@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Correspondencia: dgarcia7438@utm.edu.ec

***Recibido:** 30 de septiembre de 2021 ***Aceptado:** 30 de octubre de 2021 * **Publicado:** 26 de Noviembre de 2021

- I. Ingeniero Eléctrico, Estudiante de Maestría Académica con Trayectoria de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Doctorado en Estrategias y Planificación, Docente en la Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Resumen

El creciente interés por el uso de energías limpias, aportar de manera positiva al medio ambiente y los beneficios obtenidos mediante la aplicación de este tipo de sistemas hizo que la generación distribuida actualmente goce de gran acogida. Actualmente en Ecuador existe la regulación ARCERNNR 001/2021 que tiene como objetivo regular el autoabastecimiento a partir de fuentes renovables de energía. El objetivo consiste en demostrar la factibilidad técnica, económica y ambiental que supondría implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red en una plaza comercial de la ciudad de Portoviejo para cubrir la demanda de las áreas comunales de la misma aprovechando los recursos territoriales. Se realizó una investigación bibliográfica y de campo de tipo descriptivo-deductivo lo que permitió obtener conocimiento a fondo y posibilitar el manejo de los datos con seguridad y obtener información respecto al sistema energético de la plaza comercial, así como las estimaciones del potencial de energía solar que incide en la localidad estudiada. Se hizo uso de herramientas informáticas especializadas para la obtención de datos meteorológicos y el diseño del sistema fotovoltaico. Se obtuvo como resultado que es viable la introducción de la tecnología fotovoltaica en la plaza comercial de Portoviejo en lo económico, ambiental y social, permitiendo que los visitantes puedan interactuar y conocer las ventajas de esta tecnología promoviendo su implementación.

Palabras claves: Generación Distribuida; Eficiencia Energética; Autoconsumo; Fotovoltaico; PV_{system}.

Abstract

The growing interest in the use of clean energies, making a positive contribution to the environment and the benefits obtained through the application of this type of system made distributed generation currently very popular. Currently in Ecuador there is the ARCERNNR 001/2021 regulation that aims to regulate self-sufficiency from renewable energy sources. The objective is to demonstrate the technical, economic and environmental feasibility of implementing a photovoltaic system connected to the grid in a shopping plaza in the city of Portoviejo to meet the demand of the communal areas of the same taking advantage of territorial resources. A descriptive-deductive bibliographic and field research was carried out, which allowed obtaining in-depth knowledge and making it possible to safely manage data and obtain information regarding the energy system of

the commercial plaza, as well as estimates of the potential of solar energy. that affects the studied locality. Specialized computer tools were used to obtain meteorological data and design the photovoltaic system. As a result, the introduction of photovoltaic technology in the Portoviejo shopping plaza was viable in economic, environmental and social terms, allowing visitors to interact and learn about the advantages of this technology by promoting its implementation.

Keywords: Distributed Generation; Energy Efficiency; Self-consumption; Photovoltaic; PVsystem.

Resumo

O crescente interesse na utilização de energias limpas, com um contributo positivo para o ambiente e os benefícios obtidos com a aplicação deste tipo de sistema, popularizou a geração distribuída atualmente. Atualmente no Equador existe a norma ARCERNR 001/2021 que visa regular a autossuficiência a partir de fontes renováveis de energia. O objectivo é demonstrar a viabilidade técnica, económica e ambiental da implementação de um sistema fotovoltaico ligado à rede num centro comercial da cidade de Portoviejo para responder à procura das áreas comuns do mesmo aproveitando os recursos territoriais. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica descritiva-dedutiva e de campo, que permitiu aprofundar o conhecimento e possibilitar o gerenciamento seguro dos dados e a obtenção de informações sobre o sistema energético da praça comercial, bem como estimativas do potencial da energia solar que afeta a localidade estudada. Ferramentas de computador especializadas foram utilizadas para obter dados meteorológicos e projetar o sistema fotovoltaico. Como resultado, a introdução da tecnologia fotovoltaica no centro comercial de Portoviejo foi viável em termos económicos, ambientais e sociais, permitindo aos visitantes interagir e conhecer as vantagens desta tecnologia promovendo a sua implementação.

Palavras-chave: Geração Distribuída; Eficiência Energética; Autoconsumo; Fotovoltaico; Fotovoltaico.

Introducción

Toda sociedad basa su desarrollo en dos ejes, sostenibilidad energética y el bienestar general de la población. La tendencia mundial actual es lograr generar energía con fuentes amigables con el medio ambiente, para atenuar el impacto ambiental provocado (Palpa, 2019). El rápido agotamiento de los combustibles fósiles en las reservas mundiales conduce a precios más altos de

la energía, inquietudes en la seguridad energética y preocupaciones medioambientales. Aquí es donde entran los sistemas fotovoltaicos son limpios, fiables y tienen un papel potencial en generación de energía verde. Parámetros específicos de la ubicación, como latitud, temporada, irradiación, índice de claridad, etc. influyen en el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico (Ramanan, Kalidasa Murugavel, & Karthick, 2019).

Actualmente ya se hace conciencia de la importancia de las fuentes renovables de energía (FRE) y la eficiencia energética como mecanismos esenciales para afrontar el cambio climático, crear nuevas oportunidades económicas y proveer el acceso a la energía a millones de personas que no cuentan con servicios de energía modernos. La asamblea general de las Naciones Unidas (ONU), bajo el contexto mencionado declaró en el 2014 el primer año de una década de energía sostenible para todos (SE4ALL), donde se apunta a duplicar la participación de las FRE en el sistema energético desde una línea base del 18% en 2010 al 36% en 2030 (Robles & Rodríguez, 2018).

Un gran desafío actualmente es adecuar las necesidades actuales al concepto de desarrollo sostenible, esto va más allá de salvaguardar el medio ambiente, porque ajusta el desarrollo económico y la justicia social. Bajo ese contexto, es necesario investigar otros medios que utilicen los recursos existentes de manera eficiente. En la generación de energía eléctrica, esto se hace posible a través de las FRE, donde las nuevas tecnologías y los mecanismos de almacenamiento de energía han logrado dar paso a redes inteligentes, confiable y capaz de suplir la demanda de forma eficiente (Quispe, 2020).

Las FRE en 2014 tuvieron una expansión significativa a nivel mundial en términos de capacidad instalada y energía producida. Las inversiones en el sector eléctrico llegaron a superar inversiones netas en las centrales eléctricas térmicas. Tres tecnologías se destacaron del resto con un crecimiento acelerado: la eólica, la solar fotovoltaica (PV) y la energía hidroeléctrica (Altomonte, 2017). El esquema energético actual requiere ser reformado mediante la diversificación de las fuentes que se utilizan y las formas de generar y distribuir la energía. Incrementar los índices de calidad del servicio, combinando adecuadamente las opciones técnicas que se dispongan a nivel territorial, logrando aprovechar las fuentes propias del lugar sin desfavorecer la preservación de los recursos naturales y manteniendo el respeto ambiental (Rodríguez M., Vázquez, Saltos, & Ramos, 2017).

Durante los años 2006-2015 la capacidad de generación eléctrica ecuatoriana, aumento a un ritmo relativamente constante en 1935 MW, es decir un 3.2% anual, pero entre 2015 a 2017 esa capacidad se duplico alcanzando los 4207 MW, teniendo un total de capacidad instalada por encima de los 8000 MW (Ponce, Castro, Pelaez, Espinoza, & Ruiz, 2018). Si bien esta energía proviene de una FRE, la ubicación geográfica de estos centros al estar muy alejados de las zonas de consumo, como lo es la provincia de Manabí se produce en los procesos de transporte y distribución pérdidas, que representa un gasto económico considerable. La Agencia Internacional de Energía (AIE), define la GD como una generación planta que atiende a un cliente en el sitio o que brinda soporte a una red de distribución, conectada a la red de voltaje de nivel de distribución (Abdmouleh, Gastli, Ben-Brahim, Haouari, & Al-Emadi, 2017).

La generación distribuida (GD) goza actualmente de gran acogida, debido a que se puede integrar a la arquitectura de edificaciones, parqueos, viviendas aisladas fundamentalmente del área rural, donde los usuarios se convierten en generadores de su propia energía, creando una conciencia ambiental y de eficiencia su uso. Es una tecnología que se viene implementando desde los años ochenta, países como Estados Unidos, Alemania, Austria y Suiza fueron de los primeros en aplicar este tipo de sistemas (García, Benítez, Vázquez, & Rodríguez, 2021).

En la actualidad hay varios países de Latinoamérica que tiene normas y regulaciones para su implementación como es Uruguay (Fornillo, 2021), en México (León, Reyes, Gutiérrez, Méndez, & Chávez, 2019), en Venezuela (Rodríguez, Sarmiento, & Rodríguez, 2015), en Cuba (Castro, Fernández, Díaz, & Costa, 2010), en Chile (Cisterna, Améstica, & Piderit, 2020), hay otros países vinculados a la introducción de este concepto como Costa Rica (Echevarría & Monge, 2017).

Una de las características más importantes de la generación distribuida es que puede implementarse cerca del consumidor a partir del recurso renovable local, donde se disminuyen las pérdidas en la transmisión, el usuario se convierte de consumidor a generador, se puede desarrollar la matriz económica. La incidencia de la radiación solar en el Ecuador es privilegiada por su posición geográfica y astronómica de su territorio, al ser un país biodiverso presenta disponibilidad de este recurso natural renovable en sus cuatro regiones (Amazonia, Sierra, Costa e Islas).

El Ecuador a través del ex Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) desarrolló el Atlas solar con fines de generación eléctrica, donde se determinó que el valor medio aproximado de la radiación solar global en el Ecuador es de 4.575 kWh/m² /día, mientras que el potencial solar

estimado enfocado a la generación eléctrica en el país es de 312 GW que equivale a 456 TWh por año o 283 MBEP (millones de barriles equivalentes de petróleo) por año (Muñoz-Vizñay, Rojas-Moncayo, & Barreto-Calle, 2018). En la provincia de Manabí el aprovechamiento de la radiación solar mediante la aplicación de la tecnología fotovoltaica en el modo de GD mediante las microrredes puede representar una productividad específica promedio anual entre 1,11 MWh y 1,44 MWh (Vázquez, Saltos, Rodríguez, Castro, & Nieto, 2017). En abril de 2021 se aprobó por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNR), la regulación denominada “Regulación Nro. ARCERNR 001/21 Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”, con el propósito es establecer las disposiciones para el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de sistemas de generación distribuida, basadas en fuentes renovables para el autoabastecimiento de consumidores regulados (García, Benítez, Vázquez, & Rodríguez, 2021). La investigación esta direccionada al estudio de la factibilidad energética, económica, social y ambiental que justifique la introducción de una microrred fotovoltaica, capaz de cubrir una parte importante de la demanda energética de una plaza comercial, específicamente en las áreas comunales las cuales cuentan con iluminación de pasillos, bombas de agua, sistemas de vigilancia, sistemas de detección de incendios y de aire acondicionado. Con esta propuesta se debe reducir la factura mensual por consumo energético, el impacto negativo al medio ambiente y mejorar la eficiencia energética del edificio, logrando que el aporte sea suficientemente versátil como para difundir su posible aplicación en otros territorios que presenten una situación similar en cuanto a su ubicación geográfica y necesidades energéticas.

Materiales y métodos

Se partió del concepto una microrred, la cual se puede definir como una incorporación de elementos en generación, almacenamiento y cargas de baja tensión (usuarios), que se agrupan en una determinada área geográfica, que puede operar conectada a la red o de forma aislada (Saltos, Intriago, Salvatierra, Antonio, & Rodríguez, 2017); en este caso una central fotovoltaica conectada a la red eléctrica que incorpora energía directamente al consumo y que aprovechando la regulación energética actual del país, el excedente se incorpora a la red eléctrica pública.

Para el desarrollo del trabajo se hizo una investigación de campo, lo que permitió el conocimiento del problema y posibilitó manejar los datos con seguridad y obtener información respecto al sistema energético de la plaza comercial, así como las estimaciones del potencial de energía solar que incide en la localidad estudiada. El método corresponde al descriptivo-deductivo, por lo que este tipo de investigación se ocupa de la descripción de datos y características de la gestión energética de la edificación y las posibilidades de cubrir una parte del consumo de electricidad mediante la introducción de una microrred fotovoltaica conectada directamente al consumo. Se empleó el método de investigación de escritorio, que utiliza datos existentes y disponibles, incluye material publicado en documentos de investigación y otros materiales para la obtención de la información apropiada y clara para el desarrollo teórico del tema abordado.

Para gestionar la información relacionada con el potencial solar se utilizó el Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible (SIGDS), que se fundamenta en un sistema de información geográfica (SIG) que se encuentra instalado en los servidores de la UTM mostrados en (Colectivo de Autores, 2021), que contiene los datos relacionados con los potenciales de las fuentes renovables de energía del territorio en la provincia de Manabí, del cual se utilizaron los datos del potencial solar mostrado en la GeoWeb (Rodríguez M. , Vázquez, Martínez, & Bravo, 2019). Para el diseño de la instalación fotovoltaica conectada a la red se utilizó el software PVsyst 7.2 (PVsyst SA, 2021), y como material didáctico de base se usó el libro La Energía Fotovoltaica en la provincia de Manabí (Rodríguez & Vázquez, 2018).

Se realizó en el transcurso de la investigación un inventario de carga en las instalaciones de la plaza comercial, logrando estimar el consumo horario de energía eléctrica. También se realizó un reconocimiento de las áreas disponibles para definir la ubicación del generador fotovoltaico y determinar el punto de conexión óptimo a la red.

Análisis y discusión de los resultados

Teniendo en cuenta las bondades arquitectónicas de un edificio donde sus techos en muchas ocasiones no se utilizan, se puede tener en cuenta para ser aprovechada para instalación de sistemas de generación de energía como son los sistemas fotovoltaicos para autoconsumo en muchos casos conectados a la red.

Los sistemas fotovoltaicos son modulares estos pueden ser instalados en cualquier parte del edificio adaptándose a su configuración, con ello al generar la energía próxima al consumo se logra la reducción de las pérdidas energéticas al no tener que siniestrarla desde puntos distantes, incremento de la confiabilidad, la regulación de tensión en distribución, de forma que exista un intercambio energético entre la energía que se genera para autoconsumo y la red eléctrica (Caamaño, 1998).

Un estudio previo fue realizado en la provincia de Manabí, donde ya se valoraba el potencial solar de la región para la introducción de tecnologías fotovoltaicas conectadas directamente a la red de baja tensión (Rodríguez M., Vázquez, Saltos, & Ramos, 2017).

La investigación se desarrolló en una parte de la plaza comercial Elizabeth, principalmente en sus áreas comunales, que se encuentra ubicada en la ciudad de Portoviejo, parroquia 18 de octubre en la Av. Reales Tamarindos y calle Rotaria que actualmente cuenta con una capacidad instalada de 150 kV y con una proyección de crecer a 200 kV, esto debido a que la plaza aún no está culminada.

Estudio de carga y el consumo energético

Se realizó una socialización del proyecto con el personal de mantenimiento del edificio, para lograr la comprensión de las acciones que tienen que realizar durante el estudio, luego se logró realizar el inventario de carga y el estimado del consumo energético horario en el edificio.

Los resultados del estimado de consumo energético horario por meses del año y el costo de la energía que se cancela mensualmente a la empresa eléctrica se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Estimado del consumo de electricidad y costo de la energía.

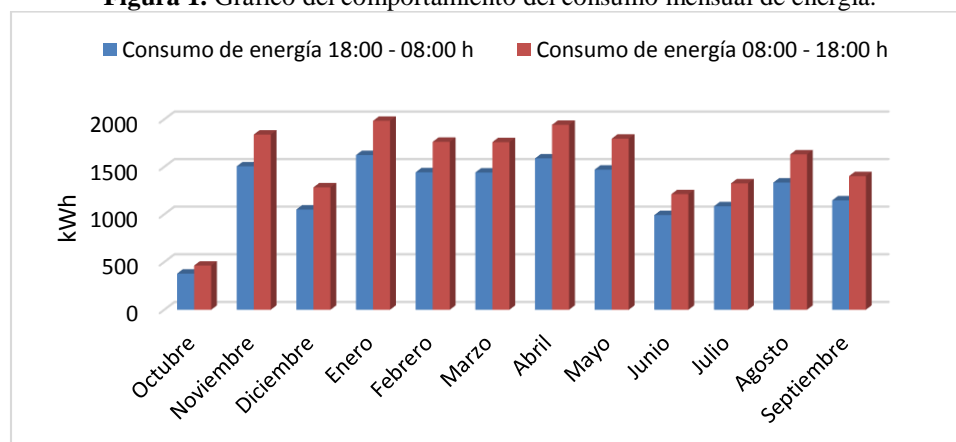
Meses del año	Consumo de energía		Total (kWh)	Pagado por consumo de energía (USD)	Costo promedio de la energía (USD/kWh)
	18:00-08:00 h (kWh)	08:00-18:00 h (kWh)			
Octubre 2020	378	463	841	169.69	0.20
Noviembre 2020	1505	1840	3345	355.6	0.11
Diciembre 2020	1050	1284	2334	276.86	0.12
Enero	1624	1985	3609	366.17	0.10
Febrero	1443	1763	3206	302.64	0.09
Marzo	1440	1760	3200	302.96	0.09
Abril	1589	1942	3531	327.7	0.09
Mayo	1470	1797	3267	306.4	0.09
Junio	992	1212	2204	231.57	0.11
Julio	1085	1326	2411	247.74	0.10
Agosto	1334	1631	2965	287.79	0.10
Septiembre	1147	1402	2549	257.71	0.10
Total	15058	18404	33462	3432.83	0.11

Fuente: Estimado de consumo de energía y las planillas del pago del servicio eléctrico.

Como se observa en la tabla se tomaron valores de los tres últimos meses del año 2020 y los restantes del 2021 para completar un estudio anual.

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la demanda mensual de energía en el horario diurno contemplando un horario comprendido entre las 08:00 y 18:00 h y el horario nocturno entre las 18:00 y 08:00 h.

Figura 1. Gráfico del comportamiento del consumo mensual de energía.



Fuente: Elaboración Propia.

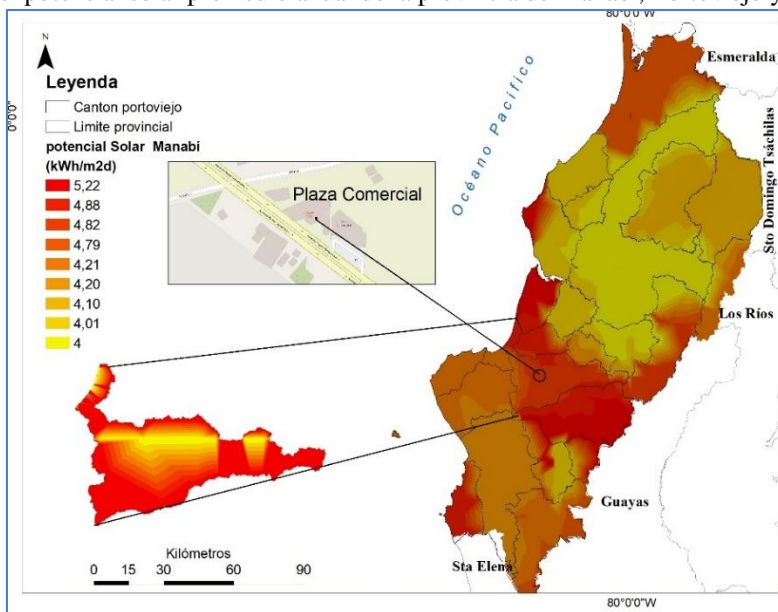
Como se nota los meses de mayor consumo coinciden con la época de calor entre enero y mayo, mientras que los meses de menos consumo son en la época de frío entre junio a septiembre. Para este caso de estudio se tiene una particularidad, octubre cuenta con un consumo muy por debajo del promedio, esto es debido que en esa época aún estaban en vigencia la mayoría de las medidas sanitarias tomadas por el gobierno para mitigar el impacto de la pandemia del Covid-19. El costo promedio del kWh esta por los 11 centavos de dólar.

Se aprecia además que, el mayor consumo de energía de la institución se experimenta en el horario diurno, cuando la radiación solar se encuentra disponible de ser aprovechada mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica.

Comportamiento de la radiación solar

La ubicación geográfica del sitio donde se realiza el estudio hay una incidencia de potencial solar que ofrece viabilidad de ser aprovechado durante todo el año de manera prácticamente invariable. En la figura 2, se muestra el mapa del potencial solar promedio anual que incide en el cantón Portoviejo, donde se puede apreciar la ubicación de la plaza comercial.

Figura 2. Mapa del potencial solar promedio anual de la provincia de Manabí, Portoviejo y la plaza comercial.



Fuente: <http://geoportal.utm.edu.ec/sigds/personal/index.php?page=inicio>

En la tabla 2, se muestra el comportamiento del potencial solar promedio anual en el sitio donde se ubica la plaza comercial objeto de estudio, tomando como referencia datos de satélites de meteo que se encuentra en la base de datos del PVsyst 7.2, a partir de una base datos de la NASA (PVsyst SA, 2021), así como el resultado de las estimaciones de la productividad normalizada y la específica aplicando las ecuaciones 1 y 2 (Rodríguez & Vázquez, 2018).

$$P_n = P_{spa} * PFV * Acc * \eta_t * \eta_c \quad (1)$$

Donde:

P_n → Productividad normalizada (kWh/kWp día).

P_{spa} → Potencial solar promedio anual (kWh/m2 día).

PFV → Potencia fotovoltaica (kWp).

Acc → Área de captación solar de las células fotovoltaicas (6,4 m2).

η_t → eficiencia técnica de los módulos (cuando se trata del silicio policristalino es igual al 13%, si se trata del silicio monocristalino es igual al 16%).

η_c → eficiencia promedio de captación de la radiación durante el ciclo de vida (86%).

Electrificación con tecnología fotovoltaica en una plaza comercial en Portoviejo

$$Pe = Pn * Aop \quad (2)$$

Donde:

Pe → productividad específica (kWh/kWp año).

Pn → productividad normalizada (kWh/kWp día).

Aop → año de operación de la tecnología fotovoltaica (año/365 día).

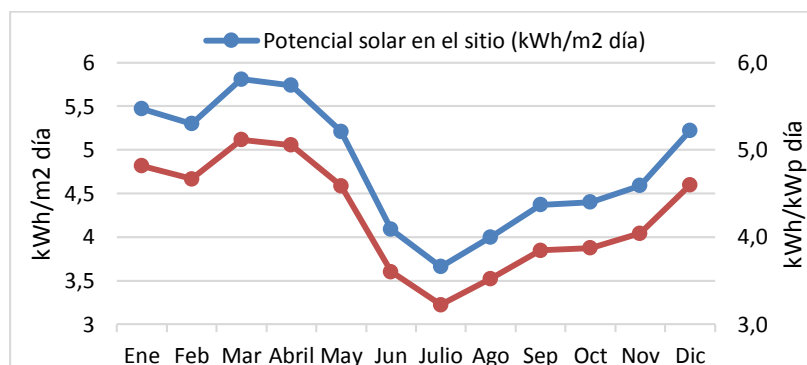
Tabla 2. Análisis sobre el comportamiento del potencial solar promedio anual en el sitio.

Concepto	Prom. anual	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Potencial solar en el sitio (kWh/m ² día)	4.82	5.47	5.3	5.81	5.74	5.21	4.09	3.66	4	4.37	4.4	4.59	5.22
Productividad normalizada (kWh/kWp día)	4.24	4.82	4.67	5.12	5.05	4.59	3.60	3.22	3.52	3.85	3.87	4.04	4.60
Productividad específica (kWh/kWp año)	1549	149	131	159	152	142	108	100	109	115	120	121	143

Fuente: Elaboración Propia.

Como se nota el sistema aportara energía todo el año al edificio estudiado. En la figura 3 se muestra un gráfico comparativo sobre el comportamiento del potencial solar que incide mensualmente en la ubicación de la plaza y la productividad normalizada estimada en cada mes del año.

Figura 3. Comportamiento del potencial solar y productividad normalizada.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa la productividad normalizada está por debajo del potencial solar, mostrando que los resultados obtenidos están adecuados según los análisis realizados.

Estimaciones técnicas

Siendo enero el mes de mayor demanda energética, se toma como base para obtener el consumo estimado diario de energía en las horas diurnas, dando como resultado 66.2 kWh-día. Conociendo que el valor de la productividad normalizada anual es de 4.24 (*kWh/kWp día*), se logró estimar la potencia fotovoltaica requerida para cubrir la demanda energética, el cálculo se realizó aplicando la ecuación 3 (Rodríguez & Vázquez, 2018).

$$P_{fvNi} = \frac{CEdhd}{P_n} \quad (3)$$

Donde:

P_{fvNi} → Potencia fotovoltaica necesaria a instalar (kWp)

$CEdhd$ → Consumo diario promedio de electricidad en el horario diurno (kWh día)

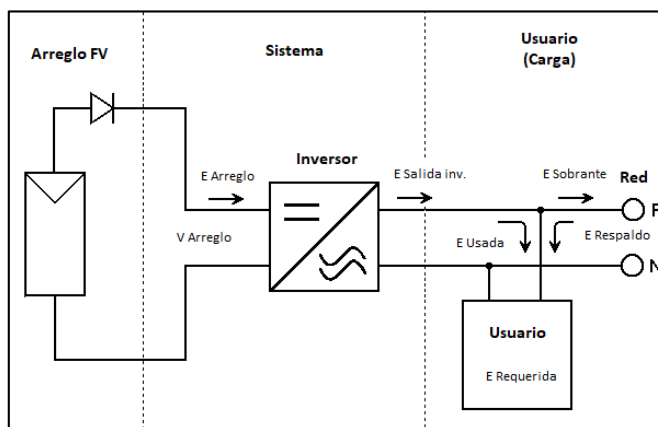
P_n → Productividad normalizada (kWh/kWp-día)

Con los resultados obtenidos se puede determinar que para cubrir el consumo energético actual en el horario diurno de la Plaza Comercial “Elizabeth” se requiere instalar una potencia fotovoltaica de 16 kWp.

Diseño técnico de la instalación fotovoltaica

Se utilizó la herramienta informática PVsyst 7.2 (PVsyst SA, 2021) para el diseño de la composición y estructura técnica de la instalación considerando la capacidad fotovoltaica que se puede instalar obteniendo como resultados lo siguiente; 60 módulos de silicio cristalino de 300 Wp, conectados estructuralmente en 4 cadenas de 15 módulos en serie, dando como resultado 18 kWp del conjunto en un área de 98 m² y un inversor de 17 kW en la salida AC. En la figura 4 se presenta el esquema simplificado de la conexión del sistema.

Figura 4. Esquema simplificado de sistema fotovoltaico.



Fuente: (PVsyst SA, 2021).

Impacto energético

Los datos obtenidos a partir de la simulación dan como resultado que la energía producida anualmente será de 26.79 MWh/Año con una producción específica de 1489 kWh/kWp/año y un rendimiento promedio de 84.68 %. En la tabla 3, se muestra el balance de los resultados principales, estimados en un año de operaciones de la central fotovoltaica de 18 kWp en la plaza comercial Elizabeth.

Tabla 3. Resultados principales.

Meses	GlobHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	EArray (MWh)	E_Grid (MWh)	PR (%)
Enero	169.6	24.94	2513	2475	0.841
Febrero	148.4	25.2	2244	2210	0.844
Marzo	180.1	25.09	2757	2715	0.84
Abril	172.2	25.34	2688	2648	0.84
Mayo	161.5	25.43	2584	2544	0.845
Junio	122.7	25.15	1994	1962	0.856
Julio	113.5	25.03	1826	1795	0.853
Agosto	124	25.01	1982	1950	0.857
Septiembre	131.1	24.94	2061	2027	0.855
Octubre	136.4	24.77	2093	2058	0.847
Noviembre	137.7	24.24	2074	2039	0.847
Diciembre	161.8	24.64	2410	2371	0.847
Total (año)	1759	24.98	27226	26794	0.848

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la simulación utilizando la herramienta PVsyst 7.2.

Donde:

G_{lobHor} → Irradiación solar horizontal global

T_{Amb} → Temperatura ambiental promedio

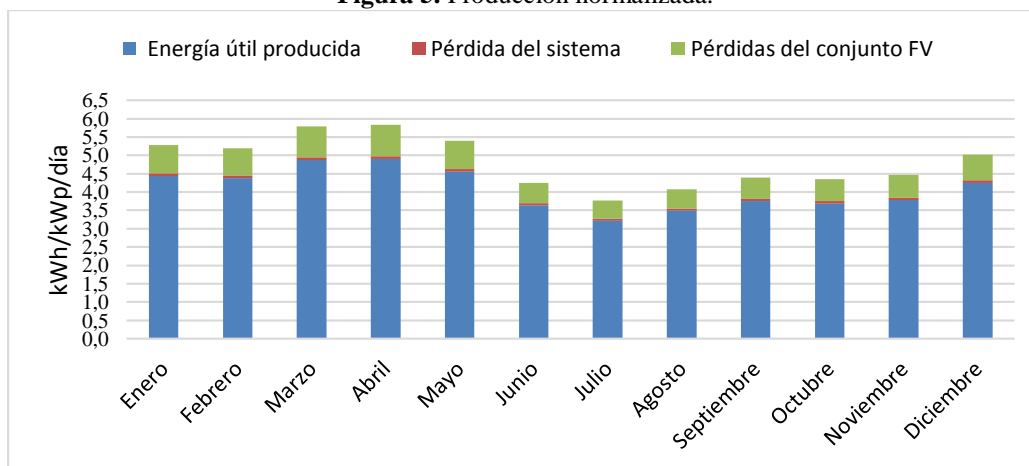
E_{Array} → Energía generada por el sistema FV

E_{Grid} → Energía entregada a la red

PR → Proporción de rendimiento

En la figura 5 se observa la productividad normalizada, durante un año de funcionamiento se aprecian las pérdidas del conjunto fotovoltaico (FV), las pérdidas obtenidas del sistema (inversor) y la energía útil obtenida.

Figura 5. Producción normalizada.

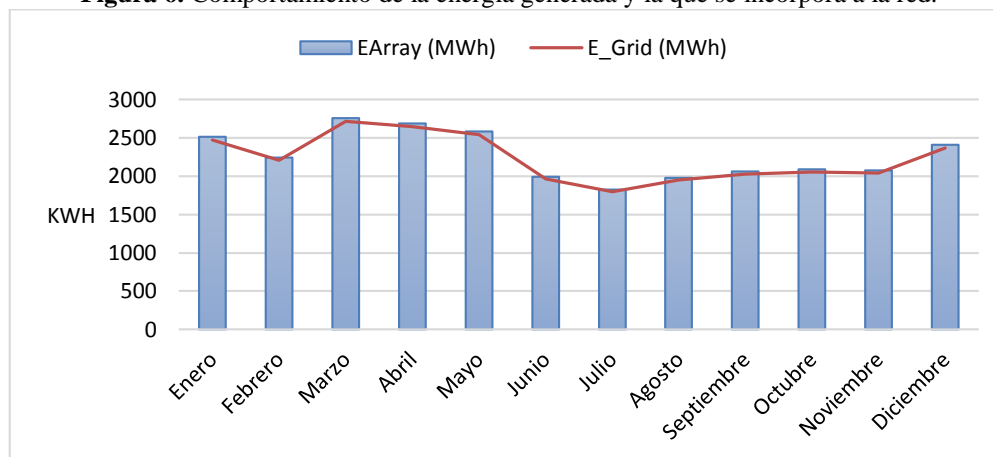


Fuente: (PVsyst SA, 2021).

Los datos obtenidos corroboran la información aportada en la tabla 2 donde el mes de menos producción será el mes de julio, mientras que los meses de mayor producción serán marzo y abril. En la figura 6 se muestra la conducta de la energía producida por la centra fotovoltaica y lo que incorporará a la red eléctrica de la plaza para su consumo de manera mensual.

Electrificación con tecnología fotovoltaica en una plaza comercial en Portoviejo

Figura 6. Comportamiento de la energía generada y la que se incorpora a la red.



Fuente: (PVsyst SA, 2021).

Según (ARCONEL, 2019) las pérdidas de energía del Sistema Nacional Interconectado (SIN) del Ecuador pueden llegar a ser hasta del 23% en la provincia de Manabí, que en comparación con las pérdidas obtenidas en un sistema de generación fotovoltaica a manera de generación distribuida son casi despreciables, demostrando así su eficiencia.

En la tabla 4 se ofrece el análisis del impacto energético considerando el consumo de energía de la institución estudiada en horario diurno, en relación con la productividad energética estimada de la tecnología fotovoltaica.

Tabla 4. Análisis del impacto energético.

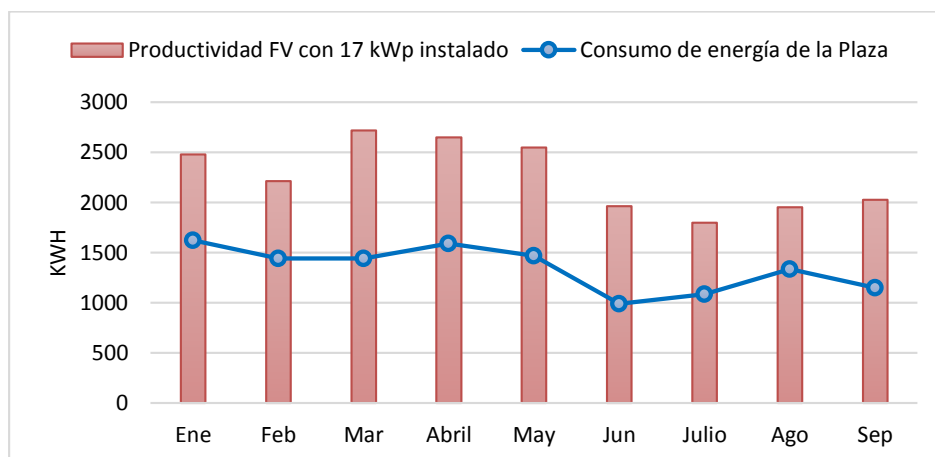
Concepto	Total (año)	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Julio	Agosto	Sept.
Consumo total de energía (kWh)	12123.9	1624.1	1443	1440	1589	1470	991.8	1085	1334	1147
Productividad FV con 16 kWp instalado (kWh)	20326	2475	2210	2715	2648	2544	1962	1795	1950	2027
Porcentaje de cubrimiento fotovoltaico (p.u.)	1.68	1.524	1.532	1.885	1.667	1.73	1.978	1.654	1.461	1.767

Fuente: (PVsyst SA, 2021).

Se tomaron como valores los meses de enero a septiembre ya que de octubre a diciembre de 2020 fueron meses irregulares por la emergencia sanitaria mundial. Tal como se aprecia en el cuadro

comparativo la producción mensual supera la demanda solicitada por la plaza por lo que ese excedente de energía será incorporado a la red y será consumido por las demandas aledañas siendo probablemente los mismos locales de la plaza incidiendo en una mejora de la calidad de la energía. En la figura 7 se muestra de manera didáctica la información proporcionada por tabla 4.

Figura 7. Análisis del impacto energético.



Fuente: (PVsyst SA, 2021).

De existir una regulación que permita retribuir económicamente los excedentes de energía incorporados a la red por pequeños consumidores, la tasa de retorno de inversión disminuiría considerablemente.

Impacto económico

Una de las grandes ventajas de los sistemas fotovoltaicos a manera de generación distribuida radica en su factibilidad económica, que como todo proyecto su inversión inicial debe ser revisada de manera cuidadosa y proyectar la rentabilidad económica durante su ciclo de vida.

En la investigación se estimó un valor de 0.11 \$/kWh, con la producción anual de 26794 kWh, se tiene un ahorro de \$2947.34. En la tabla 5, se muestra el costo que representa el paquete tecnológico hasta la instalación y montaje de la central fotovoltaica, destacando que estos valores son estimados.

Tabla 5. Costo del paquete tecnológico, instalación y montaje.

No	Partida de gastos	Potencia FV 18 kWp		
		Cantidad (u)	Precio unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Módulos fotovoltaicos Wp 27V	60	200.00	12000.00
2	Inversor de conexión a red de 17 kW	1	2600.00	2600.00
3	Costo de envío	1	300.00	300.00
4	Insumos eléctricos para la instalación	1	500.00	500.00
5	Estructura para los módulos	1	700.00	700.00
6	Montaje, instalación y prueba	1	5000.00	5000.00
7	Costo total de la inversión			21100.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para el estudio de factibilidad económica se usa la misma herramienta disponible en el software PVsyst ingresando los datos obtenidos mediante un bosquejo de precios en el mercado ecuatoriano. Con un estimado de 200 dólares anuales en mantenimiento, el programa da como un retorno de la inversión en 7.1 años y un retorno de inversión de 285.5%.

Se comprobó que económicamente la inversión inicial del sistema es alta, tiene una alta tasa de retorno, tomando en cuenta la vida útil de los paneles, se destaca que en el País este tipo de tecnologías está teniendo acogida respecto a otros periodos por lo que existe una mayor competencia de mercado y esto tiende a reducir costos.

Impacto Social

Dentro del ámbito social, es innovador la instalación de un sistema fotovoltaico ya que se proyecta para uso en las áreas comunales de la plaza, donde los visitantes podrían observar de primera mano los beneficios que este tipo de tecnologías ofrecen. También generara confianza y seguridad ya que ante un imprevisto corte de energía por parte de la empresa distribuidora los elementos esenciales de la plaza se mantendrán operativos durante el día. Genera también conciencia social e impulsar a la población general en el uso de generación para autoconsumo contribuyendo a la no emisión de CO₂ a la atmósfera.

Se debe destacar que Portoviejo es una ciudad en vías de desarrollo, por lo que este artículo pretende mostrar las bondades que significaría implementar estos sistemas de autoconsumo

motivando que en las futuras edificaciones en la ciudad se incorporen fuentes renovables para autoconsumo, logrando potencia el desarrollo local con recursos autóctonos. Teniendo en cuenta que este cantón cuenta con un plan de desarrollo a largo plazo por parte del municipio, donde sería interesante que dentro de estas políticas se fomente la implementación de esta tecnología, incentivando el uso de recursos renovables que contribuyan de manera positiva a la sociedad con la implementación de energías limpias y amigables con el medio ambiente potenciando el desarrollo local.

Impacto ambiental

Las fuentes renovables de energía se caracterizan por ser positivas y amigables con el medio ambiente. Para el presente caso de estudio se tiene que uno de los primeros impactos es el área de ocupación de realizarse la instalación los sistemas estos estarían ubicados en la terraza y techos de la edificación contribuyendo a la optimización de espacios y recursos de un área determinada.

Como segundo aspecto se tiene el CO₂ que se dejará de emitir a la atmósfera, estimando que 26.8 MWh/año durante su ciclo de vida equivaldría a 135.600 toneladas de CO₂. Como se aprecia la implementación de esta tecnología en el modo de generación distribuida representa un impacto positivo para el medio ambiente.

Conclusiones

En la plaza comercial Elizabeth, se demostró que existen condiciones en su arquitectura que ofrece viabilidad para introducir un sistema fotovoltaico para autoconsumo a modo de generación distribuida, ofreciendo diferentes ventajas técnica, económica, social y ambiental, aprovechando recursos energéticos autóctonos diversificando la generación de energía y contribuyendo a la no emisión de CO₂ a la atmósfera.

Desde el punto de vista técnico se logra aprovechar es su totalidad la energía producida en horario diurno, reduciendo las pérdidas por transporte y adicional la implementación de estos equipos permiten mejorar los perfiles de tensión.

Referencias

1. Abdmouleh, Z., Gastli, A., Ben-Brahim, L., Haouari, M., & Al-Emadi, N. A. (2017). Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. *Renewable Energy*, 113, 266-280. doi: 10.1016/j.renene.2017.05.087
2. Altomonte, H. (2017). Las energías renovables: panorama mundial, latinoamericano y síntesis de tres estudios de caso. Recuperado el 23 de Septiembre de 2021, de <http://dspace6-d1/handle/11362/41826>
3. ARCONEL. (2019). Balance Nacional de Energía Eléctrica. información estadística de septiembre de 2019, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Quito, Ecuador. Recuperado el 14 de Octubre de 2021, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
4. Caamaño, E. (1998). Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: caracterización y análisis. Tesis Doctoral. Recuperado el 2 de Abril de 2021, de <http://oa.upm.es/1322/>
5. Castro, M., Fernández, M., Díaz, R., & Costa, Á. (2010). Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. *Revista cubana de ingeniería*, 1(3). Obtenido de <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/28>
6. Cisterna, L., Améstica, L., & Piderit, M. (2020). Proyectos Fotovoltaicos en Generación Distribuida ¿Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental? *Revista Politécnica*, 45(2). doi: <https://doi.org/10.33333/rp.vol45n2.03>
7. Colectivo de Autores. (2021). Una geoweb para el desarrollo sostenible. (E. UTM, Ed.) Portoviejo, Manabí, Ecuador. Recuperado el 13 de Octubre de 2021, de https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/component/content/article/24-libros/748-una-geoweb-para-el-desarrollo-sostenible?Itemid=101
8. Echevarría, C., & Monge, G. (2017). Generación distribuida para autoconsumo en Costa Rica: Oportunidades y desafíos. Banco Interamericano de desarrollo. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13971/generacion-distribuida-para-autoconsumo-en-costa-rica-oportunidades-y-desafios>

9. Fornillo, B. (2021). Transición energética en Uruguay: ¿dominio del mercado o potencia público-social? *Ambiente y sociedad, Special Issue: Energy territories*(24). doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190229r1vu2021L1DE>
10. García, D., Benítez, G., Vázquez, A., & Rodríguez, M. (2021). La generación distribuida y su regulación en el Ecuador. *Brazilian Journal of Business*, 3(3), 2018-2031. doi:10.34140/bjbv3n3-001
11. León, L. I., Reyes, E., Gutiérrez, J. A., Méndez, A., & Chávez, G. (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2). doi: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.015>
12. Muñoz-Vizhñay, J. P., Rojas-Moncayo, M. V., & Barreto-Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(19), 60–68. Recuperado el 4 de Octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5055/505554803006/505554803006.pdf>
13. Palpa, A. (2019). Integración arquitectónica de energía solar fotovoltaica para el mejoramiento de la eficiencia energética en establecimientos de salud de comunidades nativas. Recuperado el 22 de Septiembre de 2021, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5952>
14. Ponce, M., Castro, M., Pelaez, M., Espinoza, J., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade. *Energy Policy*, 113, 513-522. doi: 10.1016/j.enpol.2017.11.036
15. PVSyst SA. (2021). PVSyst Photovoltaic Software. Recuperado el 5 de Octubre de 2021, de <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>
16. Quispe, W. (2020). “PLANTA FOTOVOLTAICA CONECTADA A UNA MICRO RED DE BAJA TENSIÓN”. doi:10.26788/epg.v9i3.2134
17. Ramanan, P., Kalidasa Murugavel, K., & Karthick, A. (2019). Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems. *Energy for Sustainable Development*, 52, 104-115. doi:10.1016/j.esd.2019.08.001
18. Robles, C., & Rodríguez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(34), 10. Recuperado el 29 de Septiembre de 2021, de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>

19. Rodríguez, C. G., Sarmiento, A., & Rodríguez, M. (2015). Alternativas de generación eléctrica mediante fuentes renovables de energía para hoteles en Venezuela. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(74), 13-23. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100002&lng=es&nrm=iso
20. Rodríguez, M., & Vázquez, A. (2018). La Energía Solar en la provincia de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador: ediciones@utm.edu.ec. Recuperado el 29 de Septiembre de 2021, de https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/index.php/component/content/article?id=713:la-energia-fotovoltaica-en-la-provincia-de-manabi
21. Rodríguez, M., Vázquez, A., Martínez, V., & Bravo, J. (2019). The Geoportal as Strategy for Sustainable Development. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(1), 10-21. doi: <https://doi.org/10.29332/ijpse.v3n1.239>
22. Rodríguez, M., Vázquez, A., Saltos, W., & Ramos, J. (2017). El Potencial Solar y la Generación Distribuida en la Provincia de Manabí en el Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT*, 2(2), 41-45. doi:10.33936/riemat. v2i2.1143
23. Saltos, W. M., Intriago, G., Salvatierra, S., Antonio, V., & Rodríguez, M. (2017). Microgrid With a 3.4 kWp Photovoltaic System in the Universidad Técnica de Manabí. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 1(2), 11–20. doi:10.21744/ijpse. v1i2.34
24. Vázquez, A., Saltos, M., Rodríguez, M., Castro, M., & Nieto, H. (2017). Sistemas de información geográfica y microrredes. *Revista Cubana de Ingeniería*, 8(1), 24-29. Recuperado el 2021 de Octubre de 2021, de <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/524>