UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de

Ingeniero Eléctrico

MODALIDAD*:* INVESTIGACIÓN

TEMA:

EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE EL RÉGIMEN DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 3,4 kWp INSTALADA EN EL EDIFICIO 3 DE DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

AUTOR: **MINA KLINGER JOSÉ EFREN**

TUTOR: PhD: Yolanda Llosas Albuerne

REVISORA: María Rodríguez Gámez

2017

1. Dedicatoria

Dedico el trabajo de titulación a Dios por darme salud y la fuerza necesaria para no desfallecer en mis debilidades y siempre encontrar un motivo para salir adelante y seguir luchando por alcanzar mis metas.

A mis padres; a mis hermanos y familiares que siempre me apoyaron y me dieron fuerzas cuando las necesité.

A todos lo que me han acompañado en estos últimos años de superación y esfuerzos.

Gracias eterna, nunca los olvidaré.

MINA KLINGER JOSÉ EFREN

AUTOR

2. Agradecimiento

En primer lugar, a Dios que siempre estuvo a mi lado y me guio en cada paso.

A mis padres, por todo aquel sacrificio y apoyo para que hoy pudiera ser el hombre y profesional que soy.

A mis hermanos por forjarme un compromiso al que nunca fallaré y que me obliga a superarme a mí mismo.

A mi familia, que de una forma u otra también han formado parte y contribuyeron a mi formación.

A mi tutora por ayudarme siempre con sus valiosas sugerencias y recomendaciones.

A mis profesores y personas que desde la dirección de la universidad hicieron posible la proeza de enseñarme y formarme en el temple del verdadero profesional.

No pudiera dejar de mencionar a los compañeros de aula que me apoyaron en el transcurso de mi vida universitaria.

A todas aquellas personas que su nombramiento convertiría en interminable el trabajo; pero sin los cuales no hubiese sido posible llegar a graduarme.

¡Gracias eterna a todos!

MINA KLINGER JOSÉ EFREN

AUTOR

3. Certificación del Director de Trabajo de Titulación.

CERTIFICACIÓN

Quien suscribe la presente señora PhD: María Rodríguez Gámez, docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas; en mi calidad de tutora del trabajo de titulación **"EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE EL RÉGIMEN DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 3,4 kWp INSTALADA EN EL EDIFICIO 3 DE DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ",** desarrollado por el profesionista, Señor: **MINA KLINGER JOSÉ EFREN**; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Artículo 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por el profesionista cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente al estudiante en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentó el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó por el revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación el profesionista puso mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes.

PhD. Ing. Yolanda Llosas Albuerne.

TUTORA

4. Informe de revisor del Trabajo de Titulación

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad de investigación y que lleva por tema: **"EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE EL RÉGIMEN DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 3,4 kWp INSTALADA EN EL EDIFICIO 3 DE DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ"**, desarrollado por el señor: **MINA KLINGER JOSÉ EFREN** con cédula No. 080352286-1, previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO, bajo la tutoría y control de la señora PhD. Ing. Yolanda Llosas Albuerne, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobada por el H. Consejo Universitario, cumplo con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, su autor:

- Ha respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- Ha aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados.
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidenciada en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento NO VINCUILANTE para los fines legales pertinentes.

Firma: PhD: María Rodríguez Gámez
REVISORA DEL TRABAJO DE TITULACION

5. Declaración sobre derechos de autores

Quien firma la presente, profesionista; **MINA KLINGER JOSÉ EFREN**, en calidad de autor del trabajo de titulación realizado sobre **"EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE EL RÉGIMEN DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 3,4 kWp INSTALADA EN EL EDIFICIO 3 DE DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ"**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene este proyecto, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6 ,8 ,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumo con responsabilidad la descripción de las mismas

MINA KLINGER JOSÉ EFREN

AUTOR

6. Índice

1. Dedicatoria II
2. Agradecimiento III
3. Certificación del Director de Trabajo de Titulación. IV
4. Informe de revisor del Trabajo de Titulación V
5. Declaración sobre derechos de autores VI
6. Índice VII
7. Resumen IX
8. Absatract X
CAPÍTULO I 1
1.1. Tema: 1
1.2. Planteamiento del problema 1
1.2.1. Descripción de la realidad problemática 3
1.2.2. Formulación del problema 4
1.3. Inmersión inicial en el campo 4
1.3.1. Sistema fotovoltaico y sus características. 4
1.3.2. Conversión de luz solar en electricidad 5
1.3.3. La célula fotovoltaica 6
1.3.4. Rendimiento del proceso fotovoltaico 7
1.3.5. Tipos de baterías o pilas 7
1.3.6. Paneles fotovoltaicos tradicionales 8
1.3.7. Paneles solares de capa fina 9
1.3.8. La eficiencia, la productividad energética de la tecnología y la protección 10
1.4. Hipótesis 11
1.5. Objetivos 12
1.5.1. El objetivo general 12
1.5.2. Objetivos específicos 12
1.6. Nivel de investigación 12
1.7. Método 12
1.8. Técnicas 13
CAPÍTULO II 14
2.1. Población y muestra 14
2.2. Recolección y análisis de los datos e interpretación de los resultados 15

2.3. Elaboración del reporte de los resultados. Evaluación técnica de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en el edificio 3 de profesores a tiempo completo de la UTM. 23
2.3.1. Evaluación técnica de la central fotovoltaica 25
2.3.1.1. Cumplimiento de los objetivos que se propusieron con la instalación de la central fotovoltaica 25
2.3.1.2. Calidad del potencial solar en la zona donde fue instalada la tecnología 26
2.3.1.3. Disposición técnica de la capacidad fotovoltaica diseñada 29
2.3.1.4. Estado técnico del equipamiento instalado 31
2.3.1.5. Chequeo sistemático sobre la productividad energética de la central 32
2.3.1.5. Efecto del ángulo de inclinación en la productividad energética de la central 38
Consideraciones finales 39
Conclusiones 39
Recomendaciones 40
Bibliografía 41
Anexo 1. Encuesta 43
Anexo 2. Evidencias 44

7. Resumen

Cada día resulta más urgente adoptar nuevas alternativas al problema energético y en ello cobre cada vez más importancia el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. En la investigación se muestra una evaluación técnica al proceso de montaje y régimen operacional de la central fotovoltaica instalada en el edificio 3 de profesores a tiempo completo de la Universidad Técnica de Manabí. Se analiza conceptual sobre la energía fotovoltaica, especialmente las aplicaciones en el modo de la generación distribuida, conectada directamente a la red de baja tensión del usuario, que resulta la forma más eficiente de aprovechar el recurso solar. Se muestra los resultados de una encuesta a los profesores y estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica relacionada con la tecnología fotovoltaica. Se muestran los resultados del control de la central fotovoltaica aspectos tales como: cumplimiento de los objetivos que se propusieron con la instalación de la central fotovoltaica, calidad del potencial solar en la zona donde fue instalada la tecnología, disposición técnica de la capacidad fotovoltaica diseñada, estado técnico del equipamiento instalado, chequeo sistemático sobre la productividad energética de la central, efectos del ángulo de inclinación en la productividad energética de la central. Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones del trabajo, así como un grupo de imágenes gráficas que sirven de evidencias del trabajo realizado.

8. Absatract

It is becoming increasingly urgent to adopt new alternatives to the energy problem, and the use of renewable energy sources is increasingly important. The work shows a technical evaluation of the assembly process and operational regime of the photovoltaic plant installed in building 3 of full time professors of the Universidad Técnica de Manabí. A conceptual analysis is presented on photovoltaic energy, especially the applications in distributed generation mode, connected directly to the user's low voltage network, which is the most efficient way to take advantage of the solar resource. It shows the results of a survey of teachers and students of the career of electrical engineering related to photovoltaic technology. The results of the control of the photovoltaic power plant are shown aspects such as: fulfillment of the objectives that were proposed with the installation of the photovoltaic power station, quality of the solar potential in the area where the technology was installed, technical design of the designed photovoltaic capacity, Technical status of the installed equipment, systematic check on the energy productivity of the plant, effects of the angle of inclination on the energy productivity of the plant. Finally the conclusions and recommendations of the work are shown, as well as a group of graphic images that serve as evidences of the work done.

CAPÍTULO I

1.1. Tema:

“EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE EL RÉGIMEN DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 3,4 KWP INSTALADA EN EL EDIFICIO 3 DE DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”.

1.2. Planteamiento del problema

Para cualquier país del mundo resulta imposible construir la sostenibilidad desde una matriz energética tradicional, centralizada y enraizada en el uso de los combustibles fósiles.

A pesar que a escala internacional se ha comenzado a adquirir conciencia de la contaminación ambiental, de los daños ocasionados a la salud humana por la utilización de combustibles tradicionales como el petróleo y el papel que pueden jugar las fuentes renovables de energía (FRE) para mitigar estos problemas y preservar los recursos naturales, aún se continua experimentando resistencia desde las instituciones vinculadas con el sector eléctrico ecuatoriano, para poner en práctica una fuerte voluntad que propicie la introducción masiva de la energía fotovoltaica. Incluso en el sector académico resulta difícil encontrar espacios que permitan el desarrollo de proyectos de investigación encaminados a la introducción masiva de dichas tecnologías.

La resistencia a aceptar y promover la introducción masiva de la tecnología fotovoltaica puede tener su origen, en el desconocimiento que tienen los especialistas del sector eléctrico sobre las ventajas de dichas tecnologías, en lo energético, económico, ambiental y social. Estos factores influyen de manera significativa en las decisiones políticas relacionadas con la aplicación masiva de las tecnologías fotovoltaicas, como elemento asociado a la diversificación de la matriz energética.

La Universidad Técnica de Manabí (UTM), es una universidad pública ubicada en la ciudad de Portoviejo, Manabí. Fue fundada el 29 de octubre de 1952 en el gobierno presidencial del Dr. José María Velasco Ibarra. Sus tres funciones sustantivas son: La Investigación, la Academia y la Vinculación con la sociedad; interviene con calidad en todas las esferas y sectores tantos públicos como privados mediante el apoyo de estudiantes, docentes y autoridades.

La institución universitaria posee plenas facultades para organizarse dentro de las disposiciones de la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Orgánica de Educación Superior, su reglamento, otras leyes conexas, el Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica de Manabí y los reglamentos expedidos para estructurar la organización de la institución.

Actualmente la institución se encuentra acreditada dentro del Sistema de Educación Superior del Ecuador, ubicándose en la categoría B, de acuerdo a la Resolución del Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES), emitida el 09 de mayo del 2016 en base a la solicitud de recategorización y respectivo proceso de evaluación.

En los últimos meses la UTM ha dedicado esfuerzos por profundizar en el estudio de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión, con el objetivo de valorar su aprovechamiento para generar energía, ahorrar recursos, incrementar la eficiencia, reducir emisiones de CO_2 a la atmósfera y disminuir el monto de la factura eléctrica, pues se conoce por investigaciones realizadas en otros países, que la tecnología fotovoltaica aprovecha la radiación solar como combustible para la generación de energía eléctrica, donde una de sus ventajas es evitar la contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero, se obtiene la generación de electricidad con costo virtual igual a cero por concepto de consumo de combustible, reducir las pérdidas y regionalizar la generación de energía eléctrica, aliviando el subsidio económico destinado al aseguramiento del servicio eléctrico.

La UTM pretende continuar profundizando en el funcionamiento de la tecnología fotovoltaica en el modo de conexión directo a la carga en la red de baja tensión y con ello contribuir a la formación de especialistas y personal técnico del sector eléctrico en el territorio.

El proyecto abre la posibilidad de profundizar en los resultados concretos que puede aportar la tecnología fotovoltaica en las condiciones propias que se dan en la ciudad de Portoviejo.

Con el trabajo, se pretende posicionar un resultado que sirva para justificar la implementación masiva en la provincia de Manabí, de los sistemas de energía solar, que pueden reducir la demanda eléctrica e inyectar energía a la red, ahorrando recursos naturales y disminuyendo el impacto ambiental provocado por la generación de energía eléctrica.

Con este proyecto se busca un accionar que garantice la prestación de los servicios eléctricos que cubran la demanda eléctrica en la UTM, reduciendo el costo de la factura eléctrica, que se convierta en una línea de trabajo, de encuentro, de interrelación para valorar las redes sociales, aspectos que visibilicen la permanencia de sistemas de energías renovables, enfatizando en el compromiso directo o indirecto de componentes vinculado en el proceso de formación con la comunidad universitaria. Se propone que estas acciones se conviertan en una política para la provincia.

Se busca a través de estos espacios promover la investigación en temas asociados al bienestar y calidad de vida de los miembros que conforma la UTM, se busca también potenciar el sistema eléctrico con fines de cubrir con la demanda eléctrica de la universidad y trabajo según sus intereses, conocimientos y liderazgos. Se pretende también generar el implemento de más centrales fotovoltaicas capaces de cubrir la demanda energética que tiene la uinversidad, de tal manera que pueda servir de base para la preparación de especialistas del sector eléctrico del territorio, así como en la formación de los futuros ingenieros eléctricos que se gradúan en la institución.

1.2.1. Descripción de la realidad problemática

En el mes de febrero del año 2016 se instaló un sistema fotovoltaico de 3,4 kWp conectado a la red de baja tensión del edificio número 3 de docentes a tiempo completo de la Universidad Técnica de Manabí (UTM). Uno de los objetivos que se persigue con la instalación del sistema, consiste en evaluar el régimen de trabajo operativo y la eficiencia demostrada por la tecnología en las condiciones ambientales que se dan en la ciudad de Portoviejo, de tal manera que se pueda demostrar hasta donde pueden ser competitivos estos sistemas con el resto de las tecnologías de generación que se utilizan en el territorio.

Después de casi un año de operaciones de la central fotovoltaica, se han realizado algunas mediciones aisladas sobre los parámetros técnicos del régimen operativo y la productividad energética, sin embargo no se ha realizado ningún estudio con la aplicación de una metodología científica adecuada, que pueda demostrar los resultados alcanzados con la instalación de la tecnología en lo energético, económico, ambiental y social, tomando en cuenta además la respuesta del sistema ante situaciones de desastres naturales como el ocurrido el 16 de abril de 2016.

El proyecto se prevé realizar en la UTM, especialmente en la superficie techada del edificio número 3 de docentes, donde se encuentra instalada la tecnología fotovoltaica. Se utilizará información desde enero del 2010 hasta agosto del primer semestre de 2016, especialmente en el periodo comprendido a partir del mes de febrero de 2016 cuando se instaló la tecnología fotovoltaica en la UTM.

1.2.2. Formulación del problema

¿En qué modo los resultados técnicos de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en el edificio número 3 de docentes, ha influido en la productividad energética, la eficiencia, el ahorro de recursos, la protección ambiental y la reducción de la factura eléctrica de la UTM?.

1.3. Inmersión inicial en el campo

1.3.1. Sistema fotovoltaico y sus características.

El impacto que produce la posibilidad de utilizar la energía solar en forma controlada y para satisfacer la demanda social de energía, ha permitido el desarrollo de sistemas completos de transformación, almacenamiento y distribución según sea conveniente. La producción de electricidad a partir de la radiación solar mediante células solares y paneles fotovoltaicos es una aplicación que aún no se difunde en su totalidad.

La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente de energía primaria y en consecuencia, sólo se dispone de ella mediante la transformación de alguna u otra forma de energía. Es por eso que han surgido todo tipo de plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles, sin embargo, se ha notado que esta forma de generación produce mucha contaminación y devastación de los recursos naturales con los que cuenta el país [1].

Las llamadas energías alternativas son aquellas cuyo uso no genera contaminación y entre ellas podemos citar la energía eólica y la energía solar. La generación de este tipo de energía no produce contaminantes, en especial la energía solar y es por eso que últimamente ha tomado mucha importancia debido al mal estado en el que se encuentra el ambiente [1].

El hombre ha aprendido recientemente a transformar la energía solar en eléctrica mediante diferentes procedimientos. Algunos de ellos, los llamados heliotérmicos o fototérmicos, operan sobre principios semejantes a los de las centrales térmicas y nucleares convencionales y por otro lado se encuentran los llamados fotovoltaicos, los cuales significan una importante simplificación respecto a los procesos energéticos convencionales. Las células o celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad; son dispositivos estáticos, es decir, carecen de partes móviles [1]. En la figura 1 se muestra un esquema técnico de un sistema fotovoltaico conectado a la línea de baja tensión de una vivienda.

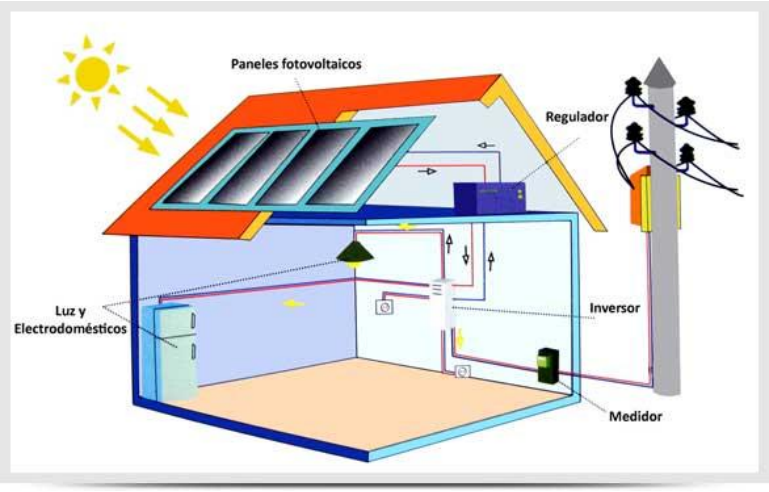


Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red de baja tensión

1.3.2. Conversión de luz solar en electricidad

La conversión directa de la energía solar en electricidad, depende del efecto fotoeléctrico que ya había sido desarrollado en diversas formas en el siglo pasado. El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones de una superficie sólida (o líquida) cuando se irradia con emanaciones electromagnéticas. Se debe señalar que hay dos tipos de efectos fotoeléctricos en las células solares. El primero es el interno, donde ciertos portadores de carga se ven liberados dentro del seno de un material mediante la absorción de fotones energéticos. En el caso del efecto fotoeléctrico externo, se emiten electrones libres mediante la absorción de fotones energéticos. El efecto fotoeléctrico es el agente principal del funcionamiento de los dispositivos conocidos como células solares1. En la figura 2 se muestra un esquema técnico relacionado con el efecto fotoeléctrico.

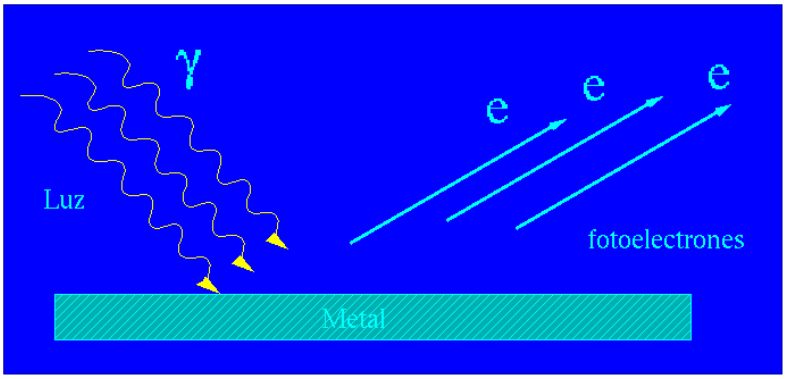


Figura 2. Efecto fotoeléctrico

1.3.3. La célula fotovoltaica

Partiendo de una oblea de silicio (disco muy delgado) se produce una célula solar, que una vez que se ha creado el campo eléctrico interno y después de preparar los contactos eléctricos adecuados, se puede generar electricidad [2].

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la oblea son de geometría y características especiales. La cara que no recibe la radiación se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta a los rayos solares sólo se cubre parcialmente mediante un electrodo metálico en forma de red. Esto permite que el electrodo recoja en forma eficiente los portadores de carga eléctrica generados en el interior de la oblea [2].

Debido a que una célula solar genera corrientes y voltajes pequeños, éstas se acoplan en serie o en paralelo para obtener mayores voltajes y corrientes según el caso, formando lo que se denomina módulo fotovoltaico, que es el elemento que se comercializa. A la vez, estos módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener los voltajes y corrientes que se desea obtener [2].

Los módulos en serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que módulos en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje [2]. En la figura 3 se muestra la estructura técnica de una célula fotovoltaica.

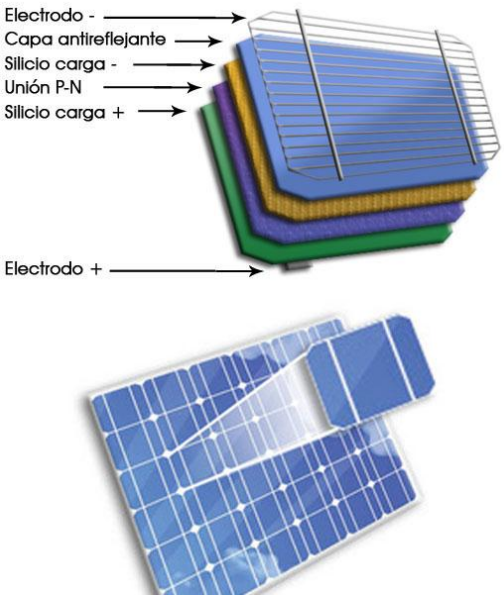


Figura 3. Estructura técnica de una célula fotovoltaica

1.3.4. Rendimiento del proceso fotovoltaico

El rendimiento de operación de una célula solar se define como el cociente entre la energía eléctrica producida y la energía solar interceptada por su superficie. Cuando se optimiza la carga que la célula debe alimentar el rendimiento es máximo [3].

Existen ciertos factores que influyen en mayor o menor medida en el rendimiento de una célula solar. Estos pueden ser de origen interno o externo como características del material, espesor de la oblea, superficie activa, geometría de los contactos, etc. También pueden ser factores ambientales como temperatura de operación y composición espectral de la radiación [3].

1.3.5. Tipos de baterías o pilas

Existen muchos tipos de baterías. Para sistemas fotovoltaicos independientes, comúnmente se usan los siguientes términos: baterías de ciclo profundo, ciclo poco profundo, electrólito gelatinado, cautivo o líquido y hermético o abierto. La batería hermética en realidad es regulada por una válvula que permite la salida del hidrógeno, pero no la adición de electrólito, En la batería abierta se asume que se agregará agua destilada al electrólito líquido como sea necesario. Todas las baterías requieren un mantenimiento periódico para poder tener una larga vida útil [4].

Los tipos de baterías que se usan comúnmente en los sistemas fotovoltaicos independientes pertenecen a la familia de baterías de ciclo profundo libres de mantenimiento. Son recargables, con un tiempo prolongado de vida útil, relativamente económicas y obtenibles en una variedad de tamaños y opciones [4].

Las baterías se pueden adquirir comercialmente baterías de níquel-cadmio diseñadas específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. Su costo inicial es más alto que el de las baterías de plomo-ácido, pero en ciertas aplicaciones su costo por ciclo de vida útil puede resultar más bajo. Las ventajas de las baterías de níquel-cadmio incluyen una larga vida, bajos requisitos de mantenimiento, durabilidad y capacidad de soportar condiciones extremas. Además, las baterías de níquel-cadmio son más tolerantes a ciclos extremos de recarga y descarga [4]. En la figura 4 se muestran algunos prototipos de baterías solares de ciclo profundo.

Figura 4. Batería solar de ciclo profundo

1.3.6. Paneles fotovoltaicos tradicionales

Los paneles solares fotovoltaicos son los que comúnmente se instalan en lo alto de edificios o en campos de gran tamaño, son capaces de recoger su energía a partir de la luz solar y gracias al uso de una silicona y de otros materiales que le permiten almacenar dicha energía [5].

Son muy buenos cuando el sol está brillando, es decir, que aportan mucha energía, aunque no es así cuando el sol se pone, por lo que, en los casos de sistemas autónomos, cuentan con un sistema de almacenaje que permite que se disponga de la energía acumulada, algo similar a lo que hacen las baterías [5].

Al margen de una clara diferencia entre su grosor, o el modo en el que se instalan, hay que decir que los paneles solares, sean fotovoltaicos o de capa fina, pueden tener un costo importante en la fase inicial de su instalación (los de capa fina un poco más), pero con unas posibilidades reales de recuperación económica en corto plazo, pues son capaces de generar electricidad con un costo virtual igual a cero por concepto de gasto de combustible [5]. En la figura 5 se muestra un conjunto de módulos solares de silicio monocristalino instalados en una central fotovoltaica.

Figura 5. Módulos de silicio monocristalino

1.3.7. Paneles solares de capa fina

Este tipo de módulo solar también utiliza la energía del sol, aunque para muchas personas están siendo preferidos, porque son sencillamente mucho más finos y de hecho son capaces de aportar muchísima energía [6].

Los paneles son de una película muy fina, están hechos a partir de un material muy ligero y flexible, que permite capas muy delgadas, lo que hace que se evite la necesidad de capas gruesas de los otros tipos de módulos. Si bien se pueden colocar sobre el suelo, las baldosas de una terraza o de un techo sin la necesidad de soporte alguno [6].

En la actualidad se considera que el costo de instalación de un sistema tradicional de energía solar, basado en los clásicos paneles de silicio de película delgada (thin film), se lleva consigo entre la mitad y las dos terceras partes de los gastos de la instalación. Esto es contabilizando con el gasto de los paneles y los componentes estructurales de las unidades exteriores, sin enumerar los sistemas internos de almacenamiento, puesta en forma y distribución de la energía [6]. En la figura 6 se muestra un módulo fotovoltaico de capa fina.

Figura 6. Módulo fotovoltaico de capa fina

1.3.8. La eficiencia, la productividad energética de la tecnología y la protección

La eficiencia global de un sistema fotovoltaico conectado a la red, depende de las pérdidas del inversor ocasionadas por su operación, topología y la capacidad de control para incrementar la conversión de energía solar en energía eléctrica. Los controles más relevantes que deben ser analizados en el inversor son [7]:

A. la operación en el punto de máxima potencia;
B. el rendimiento;
C. el control de la potencia inyectada a la red;
D. el mejoramiento del factor de potencia;
E. la reducción de la distorsión armónica y;
F. la capacidad de la red eléctrica para absorber la energía excedentaria (anti-aislanding).

En la figura 7 se muestra un inversor fotovoltaico de los que normalmente se utilizan para instalaciones conectadas a la red.

Figura 7. Inversor fotovoltaico de conexión a la red

Un sistema fotovoltaico de 1 kWp es capaz de evitar la combustión de aproximadamente 77kg (170 libras) de carbón, impidiendo la emisión a la atmósfera de unos 136kg (300 libras) de dióxido de carbono y ahorrar mensualmente unos 400 litros (105 galones) de agua. Por tal motivo la energía solar es una de las fuentes con mayor perspectiva de inversión en el escenario de los sistemas eléctricos de potencia [8].

En países como España el desarrollo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red se distingue por el concepto de concentrar la energía solar en grandes instalaciones, para luego distribuir y transportar la electricidad bajo los mismos criterios aplicados al esquema energético tradicional; sin embargo en investigaciones realizadas se ha demostrado que el modo de aprovechamiento de la energía fotoeléctrica no en todos los casos puede resultar eficientemente rentable, siendo factible aplicar otros modos de conexión que garanticen reducir pérdidas que les son características a los sistemas convencionales [9].

Esto sólo se logra mediante la instalación de la tecnología en el modo de conexión directamente en la línea de baja tensión del usuario.

Además de los requerimientos expuestos, existen otros que, por su influencia en la estabilidad y confiabilidad técnica de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, también deben ser evaluados, como pueden ser [10]:

A. influencia de micro faunas propias residentes en los sitios preseleccionados para la instalación;
B. aseguramientos necesarios para el mantenimiento de la limpieza del área de la instalación y la superficie de los módulos;
C. disponibilidad de los recursos humanos y calidad operacional del sistema.

1.4. Hipótesis

La central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en el edificio número 3 de docentes, influirá en la productividad energética, la eficiencia, el ahorro de recursos, la protección ambiental y la reducción de la factura eléctrica de la UTM.

1.5. Objetivos

1.5.1. El objetivo general

Evaluar técnicamente el régimen de trabajo operativo y la eficiencia de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en la superficie techada del edificio número 3 de docentes de la UTM.

1.5.2. Objetivos específicos

a. Revisar el estado técnico de la instalación y el estado de los parámetros operativos relacionados con la productividad energética y la eficiencia.
b. Analizar el impacto de la tecnología en lo energético, económico, ambiental y social.
c. ¿Evaluar los resultados y determinar en qué medida ha influido en la productividad energética, la eficiencia, el ahorro de recursos, y la reducción de la factura eléctrica de la UTM?

1.6. Nivel de investigación

Para el desarrollo del trabajo se asumió el tipo de investigación de campo, para la realización de la evaluación técnica sobre el régimen de trabajo y la eficiencia operacional de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en el edificio 3 de docentes a tiempo completo de la UTM, definida como el proceso que, utilizando el método científico, permite obtener nuevos conocimientos en el área social. Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se realiza en el propio lugar donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permitió el conocimiento más a fondo que posibilitó manejar los datos con más seguridad. En otras palabras, se efectuó una medición de los datos; en el caso propuesto, permitió obtener información respecto al funcionamiento de la central fotovoltaica instalada y su eficiencia.

1.7. Método

El método seleccionado es descriptivo-deductivo, este tipo de investigación se ocupa de la descripción de datos y características de la instalación. El objetivo es la adquisición de datos confiables, precisos y sistemáticos que fueron usados en promedios, frecuencias y cálculos estadísticos.

1.8. Técnicas

Se emplearon las técnicas investigativas de revisión de documentos, textos, tesis, libros, normas técnicas, páginas web y manuales, para la obtención de la información apropiada y clara para el desarrollo del tema abordado; además se investigó sobre los diversos sistemas de energías renovables, los sistemas fotovoltaicos que se instalan en los sistemas eléctricos a nivel nacional e internacional.

CAPÍTULO II

2.1. Población y muestra

Se encuestaron a los docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la FCMFQ de la UTM.

Población y muestra: Los cálculos se realizaron según la ecuación 1.

(1)

N=300

P=0.5

Q=0.5

e= 0.1

Z=1.96

$$n = \frac{(Z)^2 (P)(Q)(N)^{"}}{(Z)^2 (P)(Q) + (ne)^2}$$

$$n = \frac{(1{,}96)^2\ (0{,}5)\ (0{,}5)\ (300)}{(1{,}96)^2\ (0{,}5)\ (0{,}5) + (300)\ (0{,}1)^2}$$

$$n = \frac{(3{,}92)\ (0{,}5)\ (0{,}5)\ (300)}{(3{,}92)\ (0{,}5)\ (0{,}5) + (300)\ (0{,}01)}$$

$$n = \frac{(3{,}92)\ (0{,}25)\ (300)}{(3{,}92)\ (0{,}25) + (300)\ (0{,}01)}$$

$$n = \frac{(0{,}98)\ (300)}{(0{,}98) + (3)}$$

$$n = \frac{(294)}{(3)}$$

$$n = 98$$

Donde:

n→ Tamaño de la muestra
Z→ Nivel de confianza
P→ Probabilidad de ocurrencia = 0.5
Q→ Probabilidad de no ocurrencia = 0.5
N→ Población o universo

2.2. Recolección y análisis de los datos e interpretación de los resultados

Fueron tabulados y cuantificados los resultados de 98 encuestas (ver el anexo 1) a profesores y estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Manabí.

Los objetivos de la encuesta se enfocaron a definir una aproximación respecto al conocimiento que se posee el personal estudiantes y profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica, relacionado con los conceptos y aplicación de la energía fotovoltaica en el sector eléctrico de la provincia de Manabí.

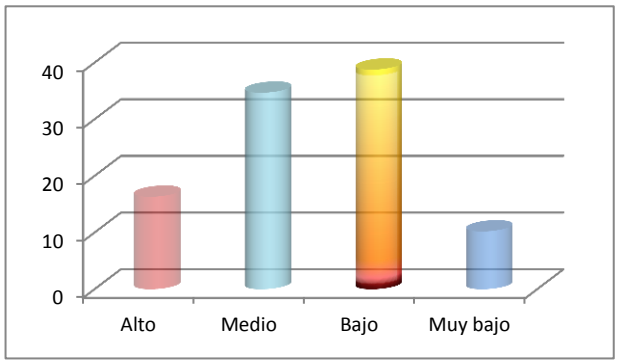
Pregunta 1. ¿Qué conocimientos tiene usted sobre la tecnología fotovoltaica?

Criterios respecto al conocimiento que se tiene sobre la tecnología fotovoltaica.

Opción	Frecuencia	%
Alto	16	16
Medio	34	35
Bajo	38	39
Muy bajo	10	10
Total	98	100

Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación



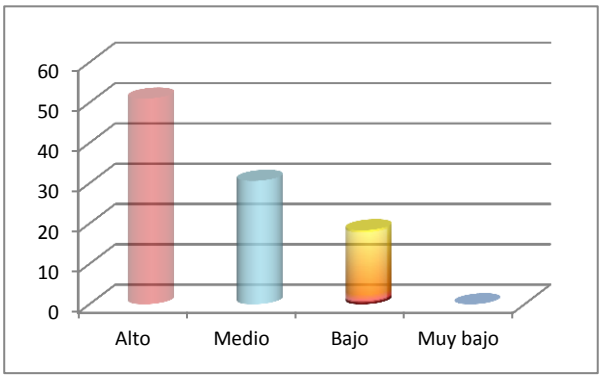
Interpretación: El 16% de los encuestados plantearon que poseen un nivel alto de conocimientos relacionado con la tecnología fotovoltaica; mientras que el 35% consideró que puede ser media; un 39% planteó que es bajo y; el 10% opinó que es muy bajo.

Análisis: En los momentos actuales caracterizado por una profunda crisis ambiental motivada por la sobre explotación de los recursos energéticos fósiles, resulta prioritario la elevación del nivel de conocimiento técnico relacionado con las tecnologías renovables, especialmente de la fotovoltaica, dada la alta disponibilidad que presenta este recurso durante todo el año y en todo el territorio nacional. La dirección de la facultad debería tomar medidas urgentes que permitan elevar el conocimiento de los profesores y alumnos sobre las tecnologías fotovoltaica.

Pregunta 2. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica en la reducción de la factura eléctrica de la UTM?

Criterios respecto al papel que puede jugar la tecnología fotovoltaica en la reducción de la factura eléctrica de la UTM.

Opción	Frecuencia	%
Alto	55	56
Medio	34	35
Bajo	9	9
Muy bajo	0	0
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

Interpretación: El 56% de los encuestados plantearon que la aplicación de la tecnología fotovoltaica conectada a la red, puede propiciar una reducción alta en la factura eléctrica; mientras que el 35% consideró que puede ser media y; un 9% calificó la reducción de baja.

Análisis: En la actualidad es conocido el efecto reductor que propicia la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a la red, para el consumo de energía del sistema convencional. Existen resultados de investigaciones realizadas en la UTM [11] que demuestran que, más del 90 % del consumo de energía eléctrica en la institución se realiza en las horas del día, cuando el potencial solar se encuentra disponible de ser aprovechado. La universidad debe pagar a CNEL 0,07 centavos por cada kWh consumido. A finales del mes de febrero de 2016 se instaló en la cubierta del edificio No 3 de docentes a tiempo completo de la UTM, una pequeña central fotovoltaica de 3,4 kWp conectada a la red de baja tensión de dicha instalación [12]. Hasta la fecha en poco más de un año esa pequeña central renovable ha generado unos 4 MWh de electricidad, pudiendo haber ahorrado en un año unos 280,00 USD por concepto de factura eléctrica. Es importante considerar que la energía eléctrica que se consume en la universidad tiene origen térmico, con un costo real del kWh servido de más de 0,30 USD, por lo que el principal impacto puede ser para el estado ecuatoriano. La pequeña central fotovoltaica referida anteriormente ha propiciado en un año de operaciones, un ahorro económico para el estado ecuatoriano equivalente a 1.200,00 USD.

Para definir el ahorro económico por concepto de reducción de la factura eléctrica se utilizó la ecuación 2.

$$Rfe = EfvG * PrE \qquad (2)$$

Donde:

Rfe→ monto de la reducción de la factura eléctrica (USD)

EfvG→ energía fotovoltaica generada e incorporada al autoconsumo (kWh)

PrE→ precio referencial de la energía (USD/kWh)

Para definir el ahorro económico al estado por concepto de la generación fotovoltaica se utilizó la ecuación 3.

$$AeE = EfvG + Pe * CE \quad (3)$$

Donde:

AeE→ ahorro económico para el estado (USD)

Pe→ pérdidas energéticas evitadas (kWh)

CE→ costo real de la energía térmica servida a los usuarios (USD/kWh)

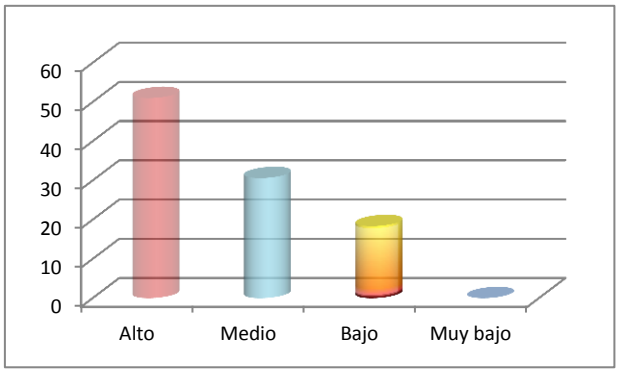
Pregunta 3. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el ahorro de petróleo?

Criterios respecto al papel que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el ahorro de petróleo.

Opción	Frecuencia	%
Alto	47	48
Medio	36	37
Bajo	15	15
Muy bajo	0	0
Total	98	100

Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación



Interpretación: El 48% de los profesores y estudiantes encuestados opinaron que el papel que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el ahorro de petróleo es alto; mientras que el 37% consideró que dicha posibilidad es media y; el 15% planteó que es baja.

Análisis: Los sistemas de generación de electricidad aprovechando la energía solar, se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar la radiación directa del Sol en energía eléctrica en forma de corriente directa (DC). Ello supone que el consumo de cualquier otro combustible para la generación sea nulo. En un sistema conectado a la red esta energía mediante el uso de un inversor es transformada a corriente alterna, la cual puede ser utilizada con capacidad de evitar combustibles fósiles para generar electricidad y mejorar el perfil de tensión de la red junto con otros beneficios que sólo se logran con el aprovechamiento de la energía solar en el modo de la generación distribuida [13]. En las condiciones del potencial solar que incide en la

ciudad de Portoviejo, por cada 10 kWp de tecnología fotovoltaica conectada a la red se puede estar ahorrando anualmente 3,33 ton de petróleo [11].

Para estimar el ahorro promedio de petróleo derivado de la introducción de la tecnología fotovoltaica en las condiciones del potencial solar de la ciudad de Portoviejo se utilizó la ecuación 4.

$$EaC = EfvG + Pe * EIcC \quad (4)$$

Donde:

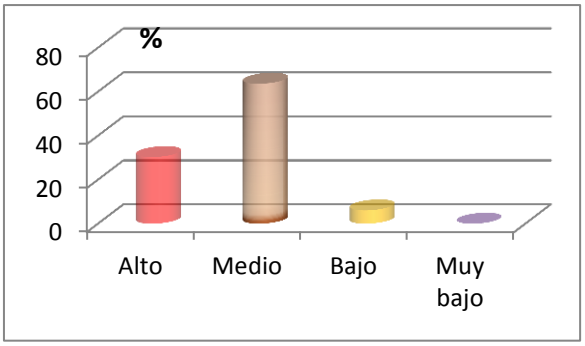
EaC→ estimado de ahorro de combustible (ton)

EIcC→ estimado del índice de consumo de combustible en la generación térmica (25g/kWh)

Pregunta 4. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera?

Criterios respecto al beneficio que puede propiciar a la reducción de los impactos ambientales en la provincia de Manabí, la aplicación de la tecnología fotovoltaica conectada a la red.

Opción	Frecuencia	%
Alto	30	30
Medio	62	64
Bajo	6	6
Muy bajo	0	0
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

Interpretación: El 30% de los encuestados plantearon que la aplicación de la tecnología fotovoltaica conectada a la red, puede propiciar una reducción alta de los impactos ambientales derivados de la generación de electricidad en la provincia de Manabí; mientras que el 64% consideró que el beneficio puede ser medio y; un 6% calificó el beneficio de bajo.

Análisis: En la actualidad resulta una realidad prácticamente innegable el efecto altamente reductor de impactos ambientales que puede propiciar la introducción de las fuentes renovables de energía en la matriz energética de cualquier región, pudiendo ser superior cuando se aplican en función de articular sistemas en el modo de la generación distribuida [12]. La experiencia derivada de un año de explotación de la central fotovoltaica de 3,4 kWp que fue instalada en la superficie techada del edificio 3 de

profesores a tiempo completo de la UTM demuestra, que esa pequeña central renovable ha generado unos 4 MWh de electricidad, que en las condiciones de las pérdidas que tienen lugar en el sistema de potencia del territorio, puede haber evitado hasta 1,2 MWh de pérdidas y haber reducido la emisión de unas 4,68 toneladas de CO_2 a la atmósfera por conceptos de la generación de energía en el territorio. Los resultados de la encuesta ponen de manifiesto el nivel de la urgencia para la dirección de la carrera, en función de elevar la preparación de los profesores y estudiantes relacionado con los efectos ambientales que se pueden propiciar con la introducción de la energía fotovoltaica conectada a la red.

Para estimar la reducción de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera derivado de la introducción de la tecnología fotovoltaica en las condiciones del potencial solar de la ciudad de Portoviejo se utilizó la ecuación 5.

$$GcE = EfvG + Pe * EIeG \quad (5)$$

Donde:

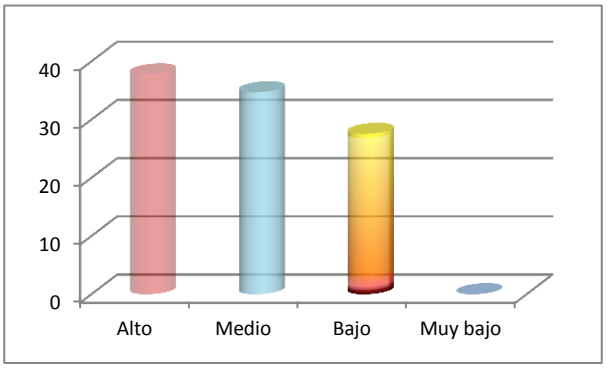
GcE→ gases contaminantes evitados (ton)

EIeG→ estimado del índice de emisión de gases derivado de la generación térmica (900g/kWh)

Pregunta 5. ¿Cómo usted evalúa la calidad del servicio eléctrico en el edificio donde se ubica la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas?

Criterios respecto a la calidad del servicio eléctrico en el edificio donde se ubica la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.

Opción	Frecuencia	%
Alto	37	38
Medio	34	35
Bajo	27	28
Muy bajo	0	0
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

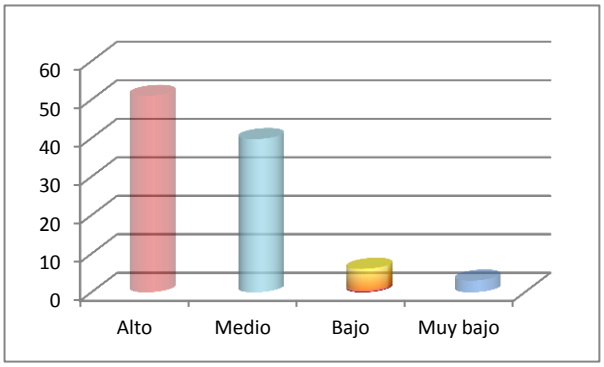
Interpretación: El 38% de las personas encuestadas opinaron que la calidad del servicio eléctrico en el edificio donde se ubica la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas es alta; el 35% plantea que es media; el 28% que es baja.

Análisis: La generación eléctrica en la provincia de Manabí es básicamente térmica mediante el consumo de petróleo. Sobre el sistema de las líneas eléctricas de la provincia influye una situación ambiental desfavorable, dada la contaminación y el aerosol marino que impera en buena parte del territorio, implicando niveles importantes de pérdidas energéticas que pueden afectar la calidad del servicio eléctrico. A esta situación se debe agregar el mal estado técnico en que se encuentran las líneas eléctricas hacia el interior de la universidad, con potencial de crear afectaciones en la calidad del servicio eléctrico de la institución. La calidad del servicio eléctrico en la universidad pudiera mejorarse mediante la introducción de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión de los edificios e instalaciones, contribuyendo a mejorar el factor de potencia, estabilizando el perfil de tensión [12] y economizando la utilización de transformadores y líneas aéreas.

Pregunta 6. ¿Qué nivel de incidencia usted considera al potencial solar en la ciudad de Portoviejo?

Criterios respecto a la calidad del potencial solar en la ciudad de Portoviejo.

Opción	Frecuencia	%
Alto	50	51
Medio	39	40
Bajo	6	6
Muy bajo	3	3
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

Interpretación: El 51% del personal encuestados manifestó que la calidad del potencial solar que incide en la ciudad de Portoviejo es alta; el 40% opinó que es de mediana calidad; el 6% planteó que la calidad es baja; mientras que el 3% opinó que es muy baja.

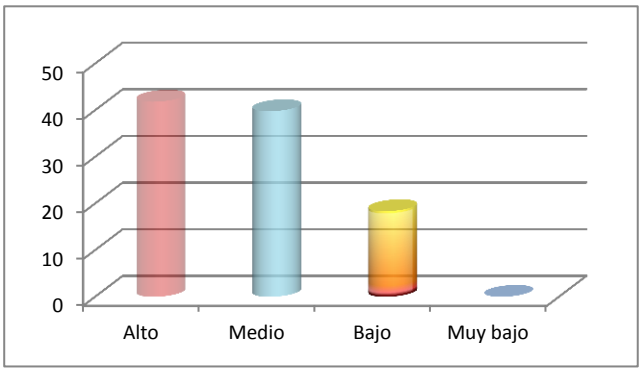
Análisis: Desde el año 2015 se desarrolla en la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, el proyecto denominado: "Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible" (SIGDES) [14], con el objetivo de impulsar el uso de las fuentes renovables de energía para alcanzar el desarrollo energético sostenible en la provincia de Manabí. Mediante la gestión de este proyecto se ha podido realizar el estudio del potencial solar de la

provincia y se ha logrado comprobar que dicho potencial resulta factible para la generación de electricidad mediante la implementación de tecnologías fotovoltaicas. Para que se tenga una idea de la calidad e intensidad del potencial solar en el territorio, se ha podido calcular que la radiación solar promedio que incide en la provincia es equivalente a medio litro de petróleo por metro cuadrado día del espacio territorial, estos datos se han podido realizar a partir de las investigaciones realizadas en el mencionado proyecto.

Pregunta 7. ¿Qué nivel usted considera que puede tener la generalización de la tecnología fotovoltaica en la UTM?

Criterios respecto al nivel que puede tener la generalización de la tecnología fotovoltaica en la UTM.

Opción	Frecuencia	%
Alto	41	42
Medio	39	40
Bajo	18	18
Muy bajo	0	0
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

Interpretación: El 42% de los estudiantes y profesores encuestados opinaron que el nivel que puede tener la generalización de la tecnología fotovoltaica en la UTM es alto; mientras que el 40% consideró que dicha posibilidad es media y; el 18% planteó que es baja.

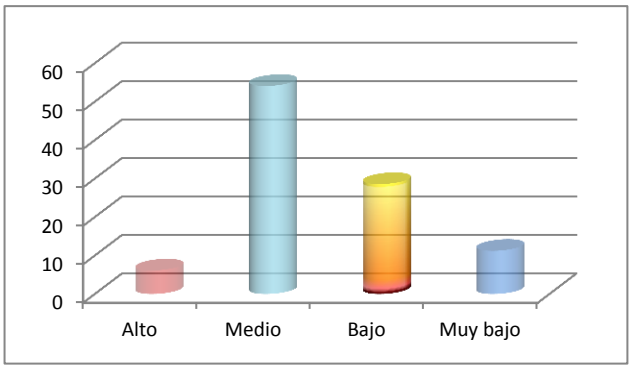
Análisis: Los sistemas que aprovechan la energía solar generan electricidad mediante las tecnologías basadas en celdas solares. Ello supone que el consumo de combustible sea nulo. En un sistema conectado a la red esta energía mediante el uso de un inversor es transformada a corriente alterna, la cual puede ser conectada directamente a la red de baja tensión del consumidor [13]. Considerando lo planteado anteriormente se puede definir que los problemas actuales relacionados con la calidad del servicio eléctrico y la necesidad de reducir el monto de la factura eléctrica de la institución, pueden resolverse mediante la introducción de la energía solar en el formato técnico de conexión la red de baja tensión, logrando además la reducción de las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Nada le impide a la universidad desplegar una amplia

voluntad política en función de generalizar el aprovechamiento de la energía solar para generar electricidad.

Pregunta 8. ¿En qué nivel usted considera que se encuentra la eficiencia energética en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas?

Criterios sobre el nivel en que se encuentra la eficiencia energética en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.

Opción	Frecuencia	%
Alto	6	6
Medio	53	54
Bajo	28	29
Muy bajo	11	11
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

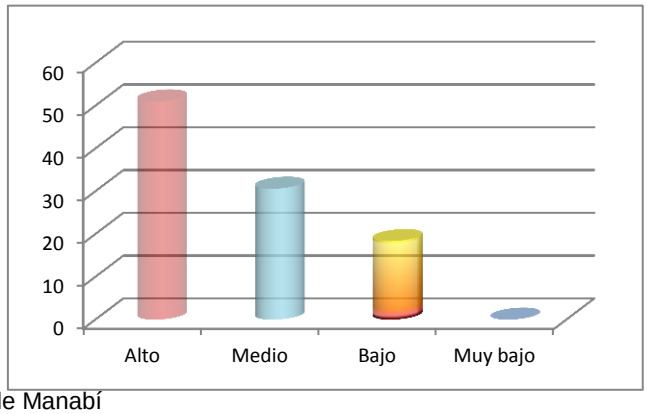
Interpretación: Solo el 6% de los profesores y estudiantes encuestados manifestaron que es alto el nivel de la eficiencia energética en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas; el 54% plantea que es medio; el 29% opinó que es bajo y; un 11% plantea que es muy bajo.

Análisis: Resulta muy importante en los momentos actuales mantener una alta eficiencia energética en cualquier institución y ello depende del nivel de gestión de las personas que radican en el lugar y de la exigencia que puedan desarrollar los directivos. Los resultados de la investigación demuestran que existe plena concordancia entre el bajo cumplimiento de la eficiencia energética manifestada por los encuestados y los resultados concretos de la investigación, pues se pudo comprobar que se dejan luces encendidas y aires acondicionados conectados cuando no existe personal en las oficinas; mala hermeticidad en los locales donde existe aire acondicionado; luces de pasillo y exteriores encendidas en horas del día, mal estado de las líneas eléctricas exteriores que implica un nivel de pérdida energética innecesaria; sobredimensionamiento del transformador instalado en el edificio, lo que provoca que luego que se retira el personal diariamente el factor de potencia no sea superior al 50% [12]. La situación expuesta anteriormente demuestra la necesidad de adoptar urgentemente un plan de acción que pueda elevar el cumplimiento de la eficiencia energética, con la incorporación activa de todo el personal.

Pregunta 9. ¿Qué prioridad usted considera que se concede a la enseñanza de la tecnología fotovoltaica en la carrera de Ingeniero Electricista en la Universidad?

Criterios respecto a la prioridad que puede tener la enseñanza de la tecnología fotovoltaica en la carrera de Ingeniero Electricista en la Universidad.

Opción	Frecuencia	%
Alto	50	51
Medio	30	31
Bajo	18	18
Muy bajo	0	0
Total	98	100



Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

Interpretación: El 51% de los estudiantes y profesores encuestados opinaron que la prioridad que puede tener la enseñanza de la tecnología fotovoltaica en la carrera de Ingeniero Electricista en la Universidad es alta; mientras que el 31% consideró que dicha prioridad es media y; el 18% planteó que es baja.

Análisis: Los resultados de la encuesta demostraron que la mayoría de los profesores y estudiantes de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas consideran una alta prioridad en la enseñanza de la tecnología fotovoltaica en la carrera de Ingeniero Electricista. Todo ello está avalado por el papel que puede jugar dicha tecnología en la diversificación sostenible del sistema eléctrico del territorio, propiciando la independencia del sistema de los combustibles fósiles, el ahorro de recursos energéticos y económicos, así como la reducción de las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.

2.3. Elaboración del reporte de los resultados. Evaluación técnica de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en el edificio 3 de profesores a tiempo completo de la UTM.

En los últimos tiempos cada vez es más necesario priorizar la atenuación del proceso energético para satisfacer la demanda, por sus profundos efectos sobre la sostenibilidad del desarrollo socioeconómico, e incluso por su implicación para la supervivencia humana, debido a que el sistema económico basado en el petróleo, no solo es insostenible, sino que amenaza a la propia especie, porque la contaminación

producida por el empleo derrochador de los combustibles fósiles ha puesto en peligro a la humanidad, debido al crecimiento acelerado de las concentraciones atmosféricas de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos cuando se queman [15].

La producción de energía, sobre todo la que se realiza sobre la base de combustibles fósiles, puede provocar una contaminación atmosférica significativa a escala local, regional y global, tanto por la emisión directa de contaminantes primarios, como por los contaminantes secundarios que se forman en la propia atmósfera a partir de los primarios. La contaminación atmosférica se define como: la alteración de la composición química media de la misma, a niveles de concentración de los contaminantes que producen efectos adversos sobre la salud humana y otros elementos del medio ambiente como ríos, lagos, mares, bosques, y por supuesto toda forma de vida encontrada en esos lugares [16].

Casi todas las FRE son derivadas de la energía que proporciona el Sol, la mayor parte de la energía solar que llega a la Tierra se transforma en energía térmica: 76 % calienta la atmósfera, 23 % mantiene el ciclo hidrológico, cerca del 1% restante causa los vientos y las corrientes oceánicas y una fracción muy pequeña se emplea en la fotosíntesis que permite el crecimiento de los vegetales y las cosechas [15].

El ambiente de control resulta un elemento clave que debe materializarse a través de todos los procesos del SGC, desde la dirección, transitando durante la gestión de recursos, la realización del producto (producción) y la medición, análisis y la mejora; pero es en este último proceso donde el ambiente de control viene a constituir su mayor actividad, como uno de los objetivos fundamentales plasmados en la norma ISO 9001/2000, que se refiere a la mejora continua en la organización.

La mejora continua del sistema es una condición imprescindible para la norma 9001/2000. Se exige un análisis de los datos que generan los distintos procesos para detectar los aspectos que se pueden mejorar, seleccionar algunos de ellos, precisar el nivel de mejoría deseado y planificar las acciones correctivas o preventivas para lograrlo en un intervalo de tiempo determinado. Se consideran acciones correctivas aquellas que se plantean para mejorar la eficacia de los procesos o reducir las no conformidades del producto o del sistema. Para asegurar la capacidad de los procesos incluidos en el sistema y alcanzar los resultados planificados se han implementado mecanismos para medir su funcionamiento, que indican dónde intervenir. En caso de no obtener los resultados esperados deben ponerse en marcha acciones correctivas para paliar dicha situación.

2.3.1. Evaluación técnica de la central fotovoltaica

Básicamente los elementos técnicos que fueron evaluados se corresponden a los siguientes:

1. Cumplimiento de los objetivos que se propusieron con la instalación de la central fotovoltaica.
2. Calidad del potencial solar en la zona donde fue instalada la tecnología.
3. Disposición técnica de la capacidad fotovoltaica diseñada;
4. Estado técnico del equipamiento instalado;
5. Chequeo sistemático sobre la productividad energética de la central;
6. Efectos del ángulo de inclinación en la productividad energética de la central.

2.3.1.1. Cumplimiento de los objetivos que se propusieron con la instalación de la central fotovoltaica.

La introducción de la tecnología fotovoltaica en el edificio 3 de profesores a tiempo completo de la UTM, obedeció a la necesidad de evaluar el impacto energético, económico y ambiental de la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a red en las condiciones concretas de la radiación solar y el clima en la ciudad de Portoviejo.

Se pudo comprobar que el objetivo fue cumplido cuando en el mes de febrero de 2016, un grupo de 4 estudiantes desarrollaron dos proyectos I+D+i dirigidos a introducir la tecnología en la UTM, que consistió en una central de 3,4 kWp conectada directamente a la red de baja tensión del edificio 3 de profesores a tiempo completo. El financiamiento para adquirir la tecnología fue asignado por el Rector de la universidad, habiéndose cumplido al 100%.

Durante el desarrollo del proyecto fue instalado el generador fotovoltaico que está compuesto por dos cadenas de 9 módulos, conectadas en serie, cada módulo es del tipo SM572-190, con una potencia nominal de 190 Wp, que tienen una dimensión de 1.580 mm de largo por 808 mm de ancho y 35 mm de alto. Consta de 72 células fotovoltaicas conectadas en serie, las mismas que forman cada una un área de 15625 mm^2, y que ocupan un área por módulo de 1,26 m^2. La eficiencia nominal del módulo en cuanto al aprovechamiento de la energía primaria del Sol, está planteada entre un 16,4 % hasta un 17,6 % y un tiempo de vida útil de 25 años. Dentro de las

características técnicas se tiene que el módulo a circuito abierto posee una tensión de 40Vcd y con circuito cerrado 24 Vcd [17].

Se instaló un inversor SUNNY BOY 3000 SMA, de patente alemana y fabricado en China, que posee un grupo de protecciones y un sistema de siguiente del punto de máxima potencia [12].

Se instalaron además las protecciones adecuadas para el lado de corriente continua y el lado de corriente alterna. Se utilizaron cables del tipo solar de *6 mm*^{2} y las estructuras metálicas de soporte para los módulos fotovoltaicos [17].

La calidad y fortaleza de la instalación fue puesta a prueba el 16 de abril de 2016, al soportar un sismo de gran intensidad de 7,8 grados y cuando colapso el sistema eléctrico centralizado, la central fotovoltaica continuó generando electricidad sin dificultades.

En la figura 7 se muestra una imagen de los módulos fotovoltaicos utilizados para el diseño técnico, con datos relacionados con su dimensión y estructura.

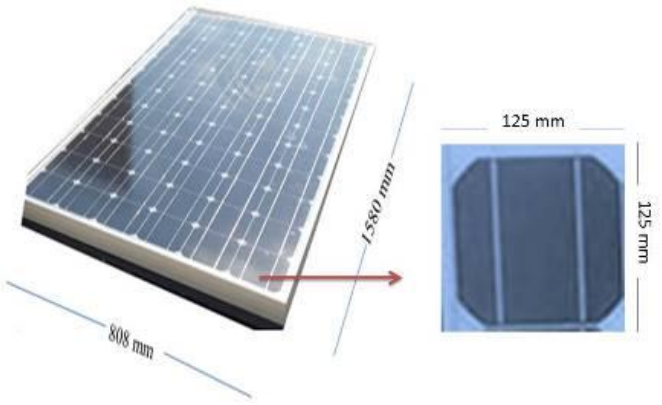


Figura 7. Módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino instalados

2.3.1.2. Calidad del potencial solar en la zona donde fue instalada la tecnología.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende de la forma complicada pero predecible, del día, del año y de la hora. La provincia de Manabí se encuentra ubicada en el territorio costero del Ecuador, posee uno de los niveles más elevados de la radiación solar incidente en relación con el resto del país.

En la figura 8 se muestra el mapa a escala cromática con el potencial solar diario promedio anual en la provincia de Manabí y una ampliación de la ciudad de Portoviejo donde se ubica el sitio de instalación de la tecnología fotovoltaica. Y en la tabla 1 se

muestra la información estadística del potencial solar promedio anual y por meses del año.

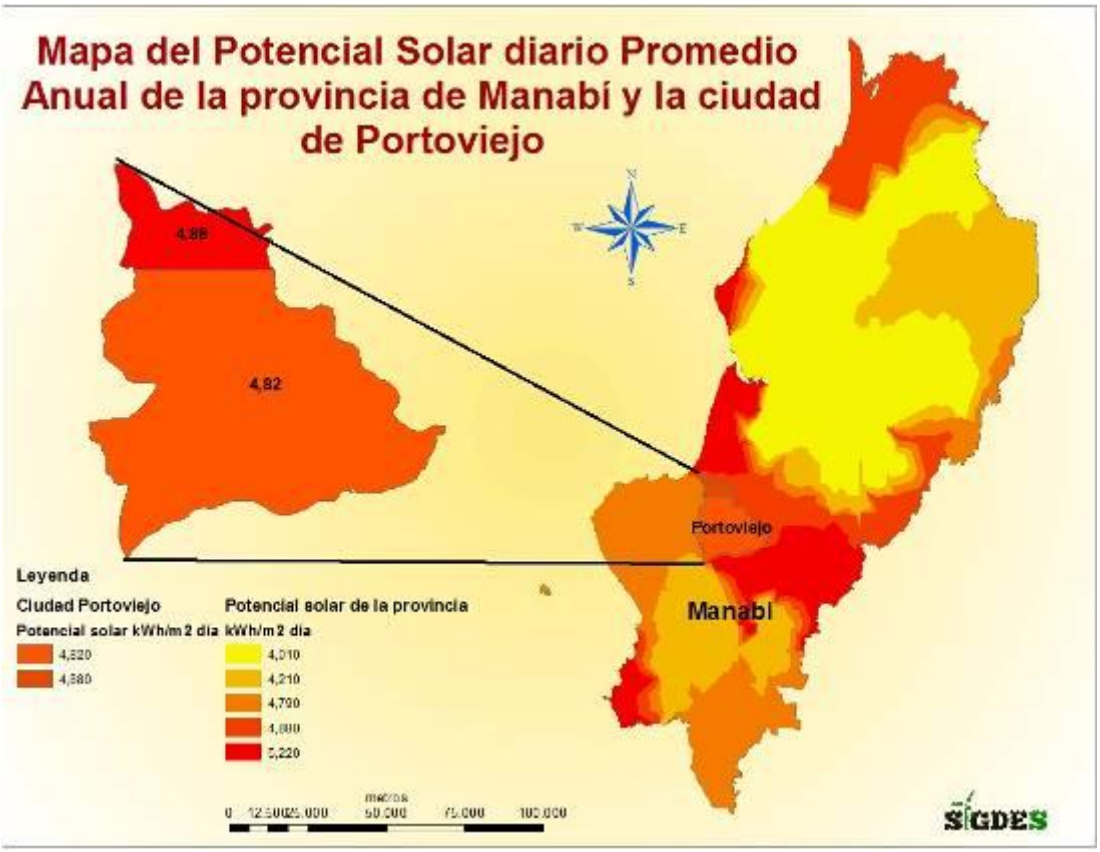


Figura 8. Radiación solar diaria promedio anual, de la provincia de Manabí y una ampliación de la ciudad de Portoviejo

Tabla 1. Datos estadísticos de la radiación solar diaria promedio anual de la provincia de Manabí

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
Potencial solar (kWh/m^2 día)	4,601	4,982	4,977	5,526	5,409	4,867	3,93	3,753	4,056	4,312	4,269	4,367	4,758

En la ciudad de Portoviejo la radiación solar presenta una variación relativa durante el año, dada la ubicación latitudinal del territorio en relación con el movimiento aparente del Sol y las condiciones climáticas propias que tienen lugar a lo largo del año. En la tabla 2 se exponen los datos estadísticos de la radiación solar promedio anual y por meses que incide en la ciudad de Portoviejo.

Tabla 2. Radiación solar promedio anual que incide en la ciudad de Portoviejo

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
Portoviejo (kWh/m^2 día)	4,850	5,385	5,270	5,865	5,775	5,235	4,085	3,830	4,115	4,430	4,470	4,610	5,135

El análisis de los datos reflejados en las tablas 2 y 3 permite definir que el nivel de la radiación solar promedio anual incidente en la ciudad de Portoviejo, se encuentra por encima de los valores promedios registrados para la provincia de Manabí, por lo que cualquier inversión realizada en el área de estudio con el objetivo de aprovechar el potencial solar incidente, garantiza niveles energéticos superiores a los esperados en el resto de la provincia.

En la tabla 3 se muestra el cálculo de la productividad normalizada[1] promedio anual y por meses del año.

Tabla 1. Productividad normalizada promedio anual y por meses del año

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
Productividad normalizada (kWh/kWp)	**3,957**	**4,394**	**4,300**	**4,785**	**4,712**	**4,271**	**3,333**	**3,125**	**3,357**	**3,614**	**3,647**	**3,761**	**4,190**

El valor de la productividad normalizada se obtiene a partir de la ecuación 6

$$Pn = Pspa * PFV * Acc * \eta t * \eta c \qquad (6)$$

Donde:

Pn→ productividad normalizada (kWh/kWp día)

Pspa→ potencial solar promedio anual (kWh/m^2 día)

PFV→ potencia fotovoltaica (kWp)

Acc→ área de captación solar de las células fotovoltaicas (6,4m^2)

ηt→ 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%)

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

La radiación solar incidente en la ciudad de Portoviejo garantiza que por cada kWp de fotovoltaica instalada se puedan generar hasta unos 36 MWh de electricidad en del ciclo de vida de la tecnología, con un costo promedio estimado en 8 centavos de dólar el kWh generado.

Los cálculos energéticos fueron realizados aplicando la ecuación 7.

[1] La productividad normalizada constituye un indicador que representa el resultado del cálculo sobre la cantidad de energía eléctrica que puede ser generada por cada kWp de tecnología fotovoltaica instalada en un día de operación. En ello juega un papel determinante la consideración del potencial solar incidente en el sitio de la instalación. Se expresa *(kWh/kWp día)*.

$$GeCv = Pn * Toa * ToCv \quad (7)$$

Donde:

GeCv→ generación de energía en el ciclo de vida de la tecnología (MWh Cv)

Toa→ tiempo de operación en un año (1 año/365días)

ToCv→ tiempo de operación en el ciclo de vida (25 años)

En la figura 9 se muestra gráficamente la relación existente entre la radiación solar promedio anual de la provincia de Manabí y la que incide en la ciudad de Portoviejo.

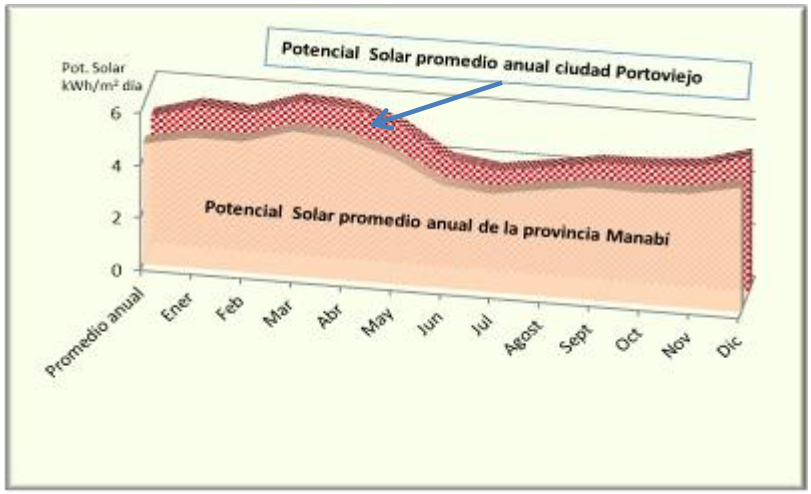


Figura 9. Relación gráfica entre la radiación solar promedio anual de la provincia de Manabí y la que incide en la ciudad de Portoviejo

2.3.1.3. **Disposición técnica de la capacidad fotovoltaica diseñada**

En algunos países europeos que son líderes en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, prevalece el concepto de concentrar la energía solar en grandes instalaciones, para luego distribuir y transportar la electricidad bajo los mismos criterios aplicados al esquema energético tradicional; este proceso supone un diseño típico de pérdidas, que incluso se planifican y que van a estar en dependencia de la magnitud de los procesos de distribución, las distancias de transportación de la electricidad, así como el estado de las redes y el resto de los elementos técnicos del sistema.

No obstante, es perfectamente verificable que, en las condiciones del sistema eléctrico ecuatoriano y especialmente en la región costa, dicho modo de aprovechamiento de la energía fotoeléctrica, no en todos los casos resulta eficientemente rentable, pudiendo aplicarse modalidades de conexión que garantizan reducir unas pérdidas que le son típicas a los sistemas convencionales. En la provincia

de Manabí las pérdidas promedio del sistema eléctrico pueden estar estimadas hasta en un 15%, de los cuales el 5% corresponden a la transportación de la energía y un 10% a la distribución. Durante la etapa de diseño de los sistemas fotovoltaicos resulta importante considerar esta particularidad, pues con una misma potencia instalada, es decir, con un mismo gasto económico de inversión pueden lograrse diferentes resultados.

En la tabla 5 se muestran los resultados de una simulación de laboratorio relacionada con el supuesto de dos centrales FV de 1 MWp ubicadas en Portoviejo. La primera conectada a la red de distribución, estimándose pérdidas promedio del 5 % asociada a los procesos de transportación y 10 % vinculada a distribución; la segunda conectada directamente a la carga del centro de demanda y partiendo de que en ningún sistema eléctrico las perdidas llegan a ser iguales a 0, se prevén mermas energéticas del 2 %. En el análisis se pueden apreciar los impactos económicos y ambientales.

Tabla 5. Resultados de la simulación técnica.

Variante	TC (kWh/kWp)	Ega (MWh/año)	Esc (MWh/año)	IE (USD)	IA (ton CO_2)
Conectado a la red de distribución.	1 444	1 444	1 228	368 297,00	1 105,20
Conectado Directamente al centro de carga.	1 444	1 444	1 415	424 625,60	1 273,80
Diferencia	--	--	**187**	**56 328,60**	**168,60**

Fuente: Realización propia mediante el manejo del software *PVSyst V5.55*

Descripción de acrónimos:

TC→ Tiempo característico[2] (kWh/kWp año)

Ega→ Cálculo de energía que puede generarse en un año (kWh/año)

Esc→ Estimado de energía que puede ser suministrada al consumo (kWh/año)

IE→ Estimado del Impacto económico para el estado (USD)

IA→ Estimado del Impacto ambiental (USD)

En la tabla 5 se pude apreciar que de asumir la instalación de una central fotovoltaica de 1 MWp en el modo de la generación centralizada, en relación con otra instalada en el modo de la generación distribuida, las diferencias en un solo año de operación a favor de la segunda variante, llega a ser de decenas de MWh dejados de servir al consumo, pues se disipan en pérdidas, lo que representa más de cincuenta y

[2] Resulta el estimado de la energía que se puede generar con un kWp de fotovoltaica instalado durante un año de operación. Es el equivalente a la productividad normalizada por 365 días.

seis mil dólares que se pierden y se dejarían de emitir a la atmósfera unas 168,8 ton de CO_2.

Con los resultados observados anteriormente se puede plantear que, para la instalación de los sistemas, es recomendable alcanzar una mayor proximidad de la generación a la carga, reduciendo las pérdidas y garantizando una mayor eficiencia y la recuperación económica del sistema en más breves plazos. Esencialmente aprovechando las áreas techadas, áreas perimetrales y otras superficies del ámbito urbano donde actualmente no es óptimo el aprovechamiento del espacio.

Relacionado con el diseño técnico se pudo comprobar que existe correspondencia entre la disposición técnica del sistema diseñado con la realidad, pudiendo verificar que se cumplen las siguientes características del diseño técnico, según lo reflejado en la tabla 5.

Tabla 5. Disposición técnica de la central fotovoltaica

PVSYST V5.55					25/01/16	Página 1/3
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación						
Proyecto :	**CENTRAL DE 3.4 KW EN LA UTM**					
Lugar geográfico	**PORTOVIEJO**			**País**	**Equator**	
Ubicación	Latitud	2.7°N		Longitud	27.3°E	
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT+1		Altitud	20 m	
	Albedo	0.20				
Datos climatológicos :	PORTOVIEJO, Síntesis datos por hora					
Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**					
	Fecha de simulación	25/01/16 23h40				
Parámetros de la simulación						
Orientación Plano Receptor	Inclinación	5°		Acimut	0°	
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos					
Sombras cercanas	Sin sombreado					
Características generador FV						
Módulo FV	Si-mono	Modelo	**SM572-150**			
		Fabricante	CHINA			
Número de módulos FV		En serie	9 módulos	En paralelo	2 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	18	Pnom unitaria	190 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	**3420 Wp**	En cond. funciona.	3092 Wp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	301 V	I mpp	10 A	
Superficie total		Superficie módulos	**23.0 m²**	Superficie célula	20.3 m²	
Inversor		Modelo	**SUNNY BOY 3000**			
		Fabricante	SMA			
Características		Tensión Funciona.	220-480 V	Pnom unitaria	3.00 kW AC	
Factores de pérdida Generador FV						
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)				TONC	56 °C	
Pérdida Ohmica en el Cableado		Res. global generador	489 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas	1.5 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas	2.0 % en MPP	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05	
Necesidades de los usuarios :	Carga ilimitada (red)					

2.3.1.4. Estado técnico del equipamiento instalado

Se comprobó que la tecnología (módulos fotovoltaicos e inversor) se encuentran en perfecto estado técnico y su funcionamiento es normal. Su pudo comprobar que en el mes de febrero de 2016 recién instalada la tecnología en uno de los módulos fotovoltaicos se produjo un punto caliente por desperfecto de fabricación del módulo, el que fue cambiado inmediatamente por el proveedor. La instalación eléctrica y las

estructuras de soporte de los módulos presentan buen estado técnico. En la figura 10 se muestra una imagen del estado actual de la central fotovoltaica.

Figura 10. Central fotovoltaica

2.3.1.5. Chequeo sistemático sobre la productividad energética de la central

La información sobre la productividad energética de la central debe ser tomada de manera manual, para lo cual se ha habilitado un registro que contiene la información básica del régimen operacional de la tecnología.

El primer registro de información corresponde al día 27 de enero de 2016 a las 11:14 horas, que coincide con el momento en que fue puesta en operación la central, la información fue firmada por la operadora Susana. La primera lectura operacional se realizó el 29 de enero a las 10:30 horas, es decir dos días después, por la operadora Susana, y se reporta una generación de 19 kWh entregados a la red, con un promedio diario de 9,5 kWh por día de operación.

Hasta el mes de marzo las lecturas se efectuaron semanalmente y para el día 1ro de dicho mes, es decir en 34 días de operación, la central había generado e incorporado al consumo del edificio unos 302 kWh, para un promedio diario de 8,88 kWh.

El día 11 de marzo la lectura reportó 406 kWh generados e incorporado al consumo del edificio, con un promedio diario de 10,4 kWh.

Se pudo comprobar que en adelante se interrumpen los reportes de lecturas, realizándose uno el 17 de mayo de 2016 y otro el 8 de junio del mismo año y no se vuelve a realizar otro reporte hasta el 13 de diciembre de 2016. Esta es una situación que debe ser resuelta, pues una de las formas de detectar desperfectos técnicos en este tipo de instalación, está relacionado con el control de los reportes de generación. El

control al régimen operacional de la central debe realizarse cuando menos una vez por semana.

El día 13 de diciembre de 2016 se realizó un mantenimiento con limpieza de las superficies de los módulos y se comenzó un ciclo de control periódico a la generación de la central fotovoltaica, sus resultados se muestran en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Control periódico operacional.

Semana I- del 13 al 16 de diciembre de 2016

Fecha	Hora	Potencia activa (W)	Voltaje (V)	Lectura medidor (U)	Energía generada en la semana (kWh)	Promedio diario (kWh)
13/12/2016	09:00	495	297	3294		
13/12/2016	13:00	397	285	3300		
13/12/2016	18:00	290	289	3306		
14/12/2016	09:00	482	295	3312		
14/12/2016	13:00	1115	298	3317		
14/12/2016	18:00	342	299	3323		
15/12/2016	09:00	458	292	3328		
15/12/2016	13:00	401	301	3333		
15/12/2016	18:00	312	292	3337		
16/12/2016	09:00	488	310	3342		
16/12/2016	13:00	1125	296	3348		
16/12/2016	18:00	280	292	3353	59	14.75

En la figura 11 se muestra un gráfico con el comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red durante los días de la semana que fueron registrados, donde se puede apreciar el punto más crítico el día 13 de diciembre de 2016 a las 13:00 horas, pudiendo comprobar que ese día y a esa hora se nubló el cielo de forma muy intensa y comenzó a caer una lluvia muy torrencial, luego se puede notar una recuperación gradual del clima y un punto más elevado el día 16 de diciembre de 2016 a las 09:00 horas con un cielo totalmente despejado que propició una alta captación de la radiación solar.

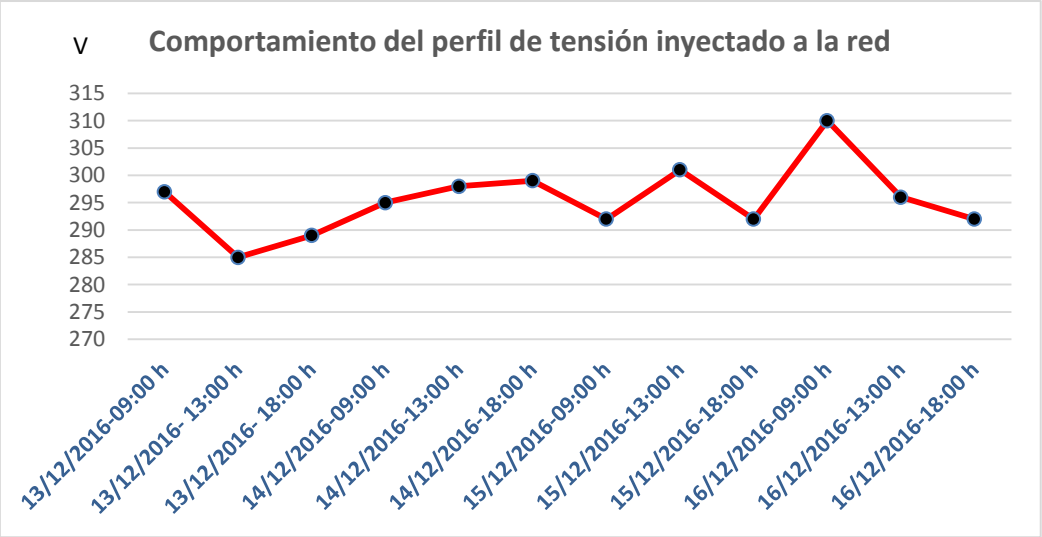


Figura 11. Comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red

Tabla 7. Control periódico operacional.

Semana II- del 19 al 22 de diciembre de 2016

Fecha	Hora	Potencia activa (W)	Voltaje (V)	Lectura medidor (U)	Energía generada en la semana (kWh)	Promedio diario (kWh)
19/12/2016	09:00	488	301	3390		
19/12/2016	13:00	1142	309	3406		
19/12/2016	18:00	276	293	3412		
20/12/2016	09:00	1134	296	3418		
20/12/2016	13:00	1150	299	3422		
20/12/2016	18:00	110	284	3425		
21/12/2016	09:00	1022	316	3429		
21/12/2016	13:00	327	307	3433		
21/12/2016	18:00	540	303	3436		
22/12/2016	09:00	825	319	3439		
22/12/2016	13:00	460	314	3442		
22/12/2016	18:00	480	209	3445	55	13.75

En la figura 12 se muestra un gráfico con el comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red durante los días del 19 al 22 de diciembre de 2016, donde se puede apreciar mucha estabilidad en el perfil de tensión inyectado a la red, excepto el día 22 de diciembre a las 18:00 horas, que corresponde con día que a partir de las 13:30 horas comenzó a nublarse, con ocurrencia de precipitaciones, que afectaron la capacidad de captación de la radiación solar por los módulos.

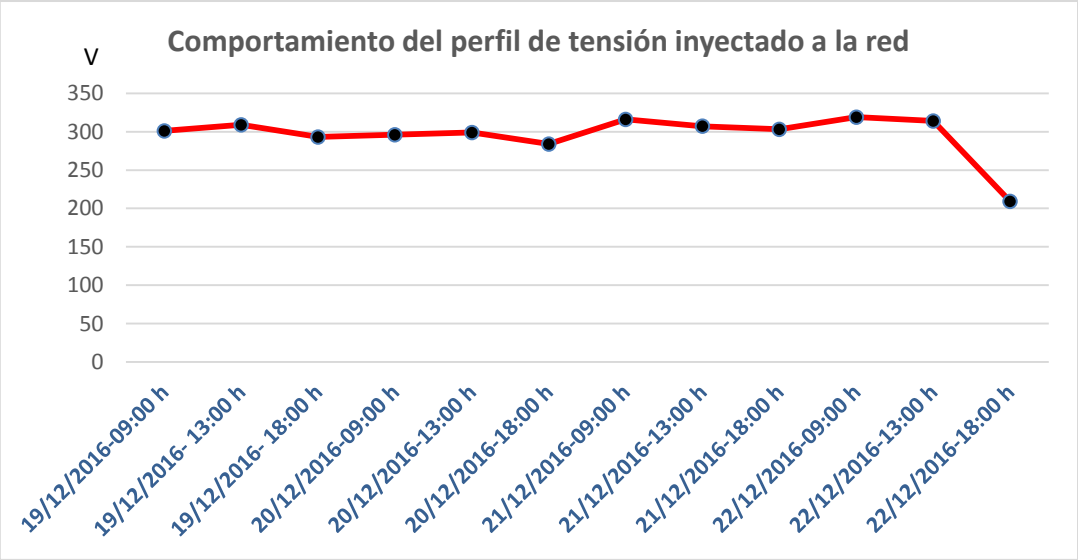


Figura 12. Comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red

El día 9 de enero se comenzó otro ciclo de control periódico a la generación de la central fotovoltaica, esta vez sin realizar mantenimiento ni limpieza de la superficie de los módulos, con el objetivo de comprobar los efectos que puede implicar la suciedad en la superficie captadora y como consecuencia hasta donde se puede afectar la generación de energía producto de la suciedad. Los resultados se muestran en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Control periódico operacional.

Semana III- del 9 al 13 de enero de 2017

Fecha	Hora	Potencia activa (W)	Voltaje (V)	Lectura medidor (U)	Energía generada en la semana (kWh)	Promedio diario (kWh)
9/1/2017	09:00	524	318	3587		
9/1/2017	13:00	1175	301	3590		
9/1/2017	18:00	427	295	3593		
10/1/2017	09:00	1113	301	3595		
10/1/2017	13:00	1093	303	3597		
10/1/2017	18:00	525	301	3600		
11/1/2017	09:00	770	296	3605		
11/1/2017	13:00	1240	269	3609		
11/1/2017	18:00	176	279	3614		
12/1/2017	09:00	1131	297	3617		
12/1/2017	13:00	1125	301	3620		
12/1/2017	18:00	550	305	3626		
13/1/2017	09:00	495	303	3630		
13/1/2017	13:00	1195	309	3635		
13/1/2017	18:00	292	299	3639	52	10.4

En la figura 13 se muestra un gráfico con el comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red durante los días del 9 al 12 de enero de 2017, donde se puede

apreciar que a partir del día 9 de enero a las 13:00 horas, el perfil de tensión inyectado a la red comienza a descender, llegando al punto más crítico el día 11 de enero a las 13:00 horas, aunque después comienza a subir gradualmente. Se pudo comprobar que esta situación se debe a la ocurrencia de días nublados con la ocurrencia de lluvias, que afectaron la captación de la radiación solar por parte de las celdas fotovoltaicas.

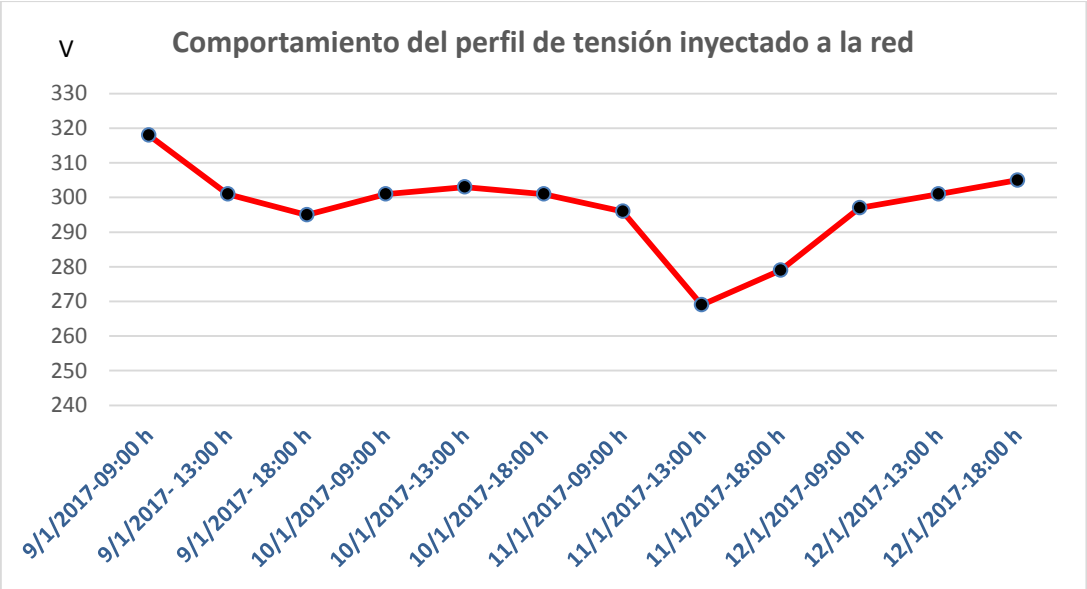


Figura 13. Comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red

Tabla 9. Control periódico operacional.

Semana IV- del 16 al 20 de enero de 2017

Fecha	Hora	Potencia activa (W)	Voltaje (V)	Lectura medidor (U)	Energía generada en la semana (kWh)	Promedio diario (kWh)
16/1/2017	09:00	485	310	3644		
16/1/2017	13:00	1225	297	3648		
16/1/2017	18:00	283	293	3653		
17/1/2017	09:00	482	297	3658		
17/1/2017	13:00	1215	303	3661		
17/1/2017	18:00	375	297	3664		
18/1/2017	09:00	524	296	3666		
18/1/2017	13:00	1310	304	3669		
18/1/2017	18:00	325	285	3672		
19/1/2017	09:00	1135	302	3676		
19/1/2017	13:00	1975	300	3678		
19/1/2017	18:00	933	280	3680		
20/1/2017	09:00	560	290	3682		
20/1/2017	13:00	1255	305	3684		
20/1/2017	18:00	903	293	3687	43	8.6

En la figura 14 se muestra un gráfico con el comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red durante los días del 16 al 20 de enero de 2017, donde se puede apreciar inestabilidad en el perfil de tensión inyectado a la red, pudiendo

comprobarse que corresponde a días con un clima nublado y la ocurrencia de chubascos, siendo el día más crítico el 18 de enero a las 13:00 horas.

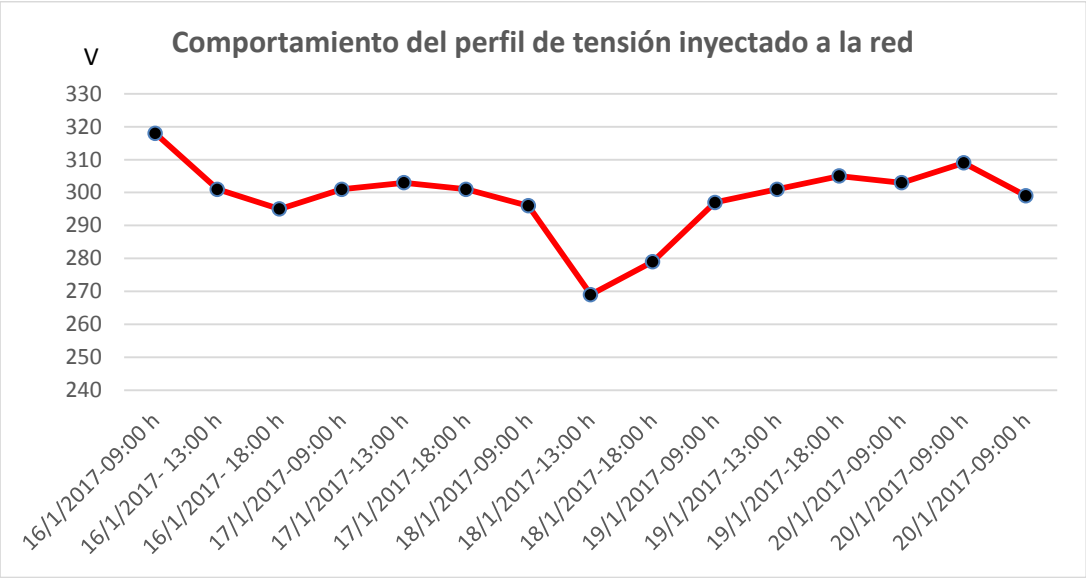


Figura 14. Comportamiento del perfil de tensión inyectado a la red

En la tabla 10 se ofrece un resumen comparativo con el comportamiento de la productividad energética en las cuatro semanas controladas. Las dos primeras luego de haber realizado un mantenimiento y limpieza a la superficie captadora de los módulos y las dos semanas siguientes sin la realización del mencionado mantenimiento. En La propia tabla se refleja la productividad normalizada que ha sido estimada para los meses de diciembre y enero, todo ello en función de la radiación solar promedio incidente en estos meses del año en la ciudad de Portoviejo. Los datos reflejados permiten evaluar el nivel de eficiencia con que se encuentra trabajando la central fotovoltaica en cada una de las situaciones señaladas anteriormente.

Tabla 10. Resumen comparativo

Periodo del control	Estado de los módulos	Energía generada en la semana (kWh)	Promedio diario (kWh)	Generación diaria por kWp (kWh/kWp)	Productividad normalizada estimada para la ciudad de Portoviejo (kWh/kWp)	Diferencia (kWh/kWp)
Primera semana del 13 al 16 de diciembre de 2016	Limpios	**59**	**14.50**	**4.265**	**4.190**	**0.075**
Segunda semana del 19 al 22 de diciembre de 2016	Medianamente limpios	**55**	**13.75**	**4.044**	**4.190**	**-0.146**
Tercera semana del 9 al 13 de enero de 2017	Sucios	**52**	**10.04**	**2.953**	**4.394**	**-1.441**
Cuarta semana del 16 al 20 de enero de 2017	Muy sucios	**43**	**8.60**	**2.529**	**4.394**	**-1.865**

En la figura 15 se puede apreciar el efecto de la suciedad de los módulos en la productividad energética.

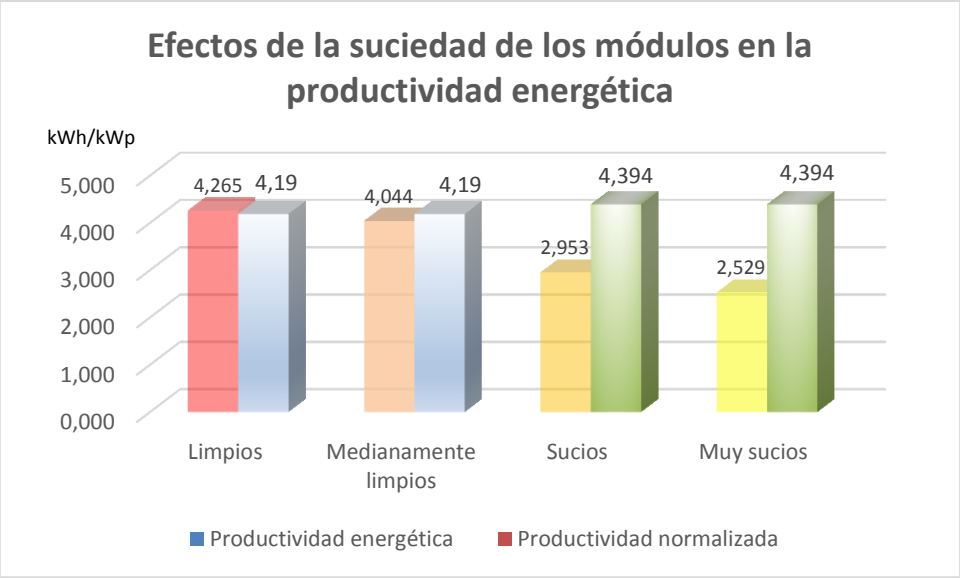


Figura 15. Efecto de la suciedad de los módulos en la productividad energética

La reducción del rendimiento energético motivado por la suciedad de la superficie de los módulos fotovoltaicos en las condiciones ambientales de la ciudad de Portoviejo, puede ser mayor al 50% en relación con la productividad energética nominal de la tecnología. Es por ello la importancia de observa con mucho cuidado el cumplimiento de un plan adecuado de mantenimiento y limpieza de la superficie captadora de los módulos fotovoltaicos.

2.3.1.5. Efecto del ángulo de inclinación en la productividad energética de la central

La selección del ángulo de inclinación óptimo para el plano fijo en una central fotovoltaica, se toma como referencia la latitud del lugar donde se quiere instalar la central. En el caso de la ciudad de Portoviejo, la inclinación teórica sería 1°, pero se conoce que la situación ambiental de la ciudad de Portoviejo está dominada por una atmósfera polvorienta, que propicia la acumulación importante de polvo sobre las superficies horizontales, lo que influiría negativamente para la inclinación teórica de los módulos fotovoltaicos, pues se requeriría la limpieza de la superficie de os módulos diariamente. Considerando lo anteriormente señalado se llegó a la conclusión de adoptar un compromiso técnico de una inclinación de los módulos a 15 grados y con ello poder reducir el efecto negativo del polvo ambiental, pues con esta inclinación se propicia una menor acumulación de suciedad en la superficie captadora de los módulos.

Consideraciones finales

Durante la realización del control al estado técnico de la central fotovoltaica de 3,4 kWp instalada en la superficie techada del edificio 3 de profesores a tiempo completo, se pudo comprobar que fueron cumplidos los objetivos trazados durante la realización del proyecto, al lograr la evaluación del impacto energético, económico y ambiental relacionado con la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a red, en las condiciones concretas de la radiación solar y el clima en la ciudad de Portoviejo.

Uno de los objetivos evaluados era conocer el funcionamiento de la central fotovoltaica en el modo de conexión a la red, demostrándose con el estudio que es satisfactoria y viable la conexión en el modo de generación distribuida, encontrándose en buen estado todos los componentes de la central fotovoltaica se encuentran en buen estado técnico y su funcionamiento es normal.

Conclusiones

1. Se comprobó que la central fotovoltaica se encuentra en buenas condiciones técnicas de aportar la energía según lo estimado durante los estudios del proyecto. En la investigación se valoró que la mayor afección que tiene es provocada por la contaminación ambiental que provoca la disminución de la productividad energética debido a la suciedad que acumula cuando no se le aplican los mantenimientos adecuados, debiendo corresponder a uno por semana como mínimo.
2. La generación que se aporta está propiciando la reducción del monto de la factura eléctrica que se paga a CNEL por la universidad. Estos resultados son apropiados para esta tecnología en el modo de la generación distribuida, conectada directamente a la línea de baja tensión del edificio 3 de profesores a tiempo completo, asegurando los niveles de eficiencia requeridos, contribuyendo al ahorro de recursos naturales, la reducción del subsidio que el estado ecuatoriano asigna para el servicio eléctrico en la provincia de Manabí y propicia la disminución de las emisiones de CO_2 a la atmósfera.
3. Es necesario comentar que existe pobre el conocimiento que los profesores y estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica sobre la tecnología fotovoltaica y las oportunidades que esta ofrece para ser aprovechada en la provincia de Manabí.

Recomendaciones

I. Nada le impide a la Universidad técnica de Manabí desarrollar una voluntad política encaminada a generalizar la introducción de la tecnología fotovoltaica, por lo que, considerando los resultados del proyecto, es recomendable extender la aplicación de la tecnología en el modo de la generación distribuida, lo que puede propiciar la reducción del monto de la factura eléctrica, la disminución del subsidio que el estado ecuatoriano asigna para el servicio eléctrico en la provincia de Manabí y contribuir a las disminución de las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

II. Se recomienda que la dirección de la carrera de ingeniería eléctrica encamine los esfuerzos por ampliar y profundizar el conocimiento de los profesores y estudiantes en la materia relacionada con las fuentes renovables de energía y especialmente de la energía solar fotovoltaica.

Bibliografía

1. Yes, N.L.A., *Energía solar, una propuesta para generar energía eléctrica.* Consultado el 20 de febrero de 2017. Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos94/energia-solar-propuesta-generar-energia-electrica/energia-solar-propuesta-generar-energia-electrica.shtml#ixzz4b3Q1mIqX, 2014.
2. Villa, L.A., *Energía fotovoltaica* Consultado el 20 de febrero de 2017. Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos61/energia-fotovoltaica/energia-fotovoltaica2.shtml, 2016.
3. webdiee, *Sistema Fotovoltaico para Aplicaciones Residenciales.* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México. Laboratorio de Diseño Electrónico, 2014. **Consultado el 21 de febrero de 2017. Disponible en:** http://webdiee.cem.itesm.mx/web/servicios/archivo/trabajos/electronica/inversor/introduccion.html.
4. Deltavolt, *Baterías para Sistemas Solares y Eólicos. Baterías para Almacenar Energía.* Consultado el 23 de febrero de 2017. Disponible en: http://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias, 2016.
5. Fernández, F.J., *Caracterización de módulos.* Universidad Carlos III de Madrid, 2013. **Consultado el 23 de febrero de 2017. Disponible en:** http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf;jsessionid=CFCE7D103DC38E44B1E5849051D640BD?sequence=1.
6. Díaz, S.R. and C.d. autores, *Normas técnicas y sistemas fotovoltaicos conectados a red.* Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. Empresa de Hidroenergía, La Habana, Cuba., 2013.
7. ()., A., *Sistemas fotovoltaicos.* Tesis de Maestría. Universidad del Perú, 2005.
8. Orlandi, *Snapsbot of global PV Markers.* Report IEA 2015. Tech rep. Becquerel Intitute, IEA International Energy Agency, 2014.
9. Amtmann, M., *Nichos de mercado para los sistemas fotovoltaicos en conexión a la red electrica en México.* Forever Print S.A. de C.V., 2009 (www.conuee.gob.mx), 2009.
10. Pérez, R.J.R., *El servicio ingeniero en los proyectos de construcción.* Project Management». Editorial Obras, UEB-ICT aicros, Ministerio de la Construcción. La Habana, 2009. Manual. 223-338 pp. ISBN: 978 959 247 0743., 2009.
11. Quijije A Wilson S and Reina V Jefferson D, *Implementación de una microrred fotovoltaica conectada a la red, para suministrar energía eléctrica al primer piso del edificio no. 3 de Docentes a Tiempo Completo de la Universidad Técnica de Manabí, el ahorro y la eficiencia energética.* Informe escrito del trabajo de titulación para obtener el Título de Ingeniero Eléctrico. Modalidad de Trabajo Comunitario y Cambio de la Matriz Energética. Repositorio de la Biblioteca de la Universidad Técnica de Manabí, 2016.
12. Intriago, C.G. and C.S. Salvatierra, *Implementación de tecnología fotovoltaica conectada a la red para suministrar energía eléctrica al segundo y tercer piso del edificio nº 3 de Docentes a Tiempo Completo de la Universidad Técnica de Manabí, el ahorro y la eficiencia energética.* Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, 2015. Repositorio de la Biblioteca de la Universidad Técnica de Manabí., 2016.
13. Soto I E, *Celdas fotovoltaicas en la generación distribuida.* Santiago de Chile, 2005. **Tesis Consultada el 10 de noviembre de 2016. Disponible en:** http://web.ing.puc.cl/power/paperspdf/pereda.pdf: p. 7.

14. Rodríguez, G.M., *Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible" (SIGDES).* Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, 2015.
15. Arrastía, M.A. and M.E. Lima, *Energía y Cambio Climático.* La Habana: Editorial Academia. pp: 235. ISBN: 978-959-270-227-1, 2011.
16. Ramos, R. and C.d. autores, *PVSoft.* Universidad de Oriente Cuba. Herramienta Virtual sobre Sistemas Solares Fotovoltaicos (PVSoft). Universidad de Santiago2010.
17. Quijije, A.W.S. and V.J.D. Reina, *Implementación de una microrred fotovoltaica conectada a la red, para suministrar energía eléctrica al primer piso del edificio no. 3 de Docentes a Tiempo Completo de la Universidad Técnica de Manabí, el ahorro y la eficiencia energética.* Informe escrito del trabajo de titulación para obtener el Título de Ingeniero Eléctrico. Modalidad de Trabajo Comunitario y Cambio de la Matriz Energética. Repositorio de la Biblioteca de la Universidad Técnica de Manabí, 2016., 2016.

Anexo 1. Encuesta

ENCUESTA

Lugar: Universidad Técnica de Manabí

Objeto de la encuesta: Obtener información estandarizada sobre la importancia que los profesores y el personal que y trabaja en la UTM le concede a la tecnología fotovoltaica.

3. ¿Qué conocimientos tiene usted sobre la tecnología fotovoltaica?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

4. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica en la reducción de la factura eléctrica de la UTM?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

5. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el ahorro de petróleo?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

6. ¿Qué papel usted considera que puede jugar la tecnología fotovoltaica conectada a la red en reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

7. ¿Cómo usted evalúa la calidad del servicio eléctrico en el edificio donde se ubica la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

8. ¿Qué nivel de incidencia usted considera al potencial solar en la ciudad de Portoviejo?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

9. ¿Qué nivel usted considera que puede tener la generalización de la tecnología fotovoltaica en la UTM?
   Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

10. ¿En qué nivel usted considera que se encuentra la eficiencia energética en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas?
    Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

11. ¿Qué prioridad usted considera que se concede a la enseñanza de la tecnología fotovoltaica en la carrera de Ingeniero Electricista en la Universidad?
    Alto ( ), Medio ( ), Bajo ( ), Muy bajo ( ).

FECHA: _____

Encuestador: _____

Anexo 2. Evidencias