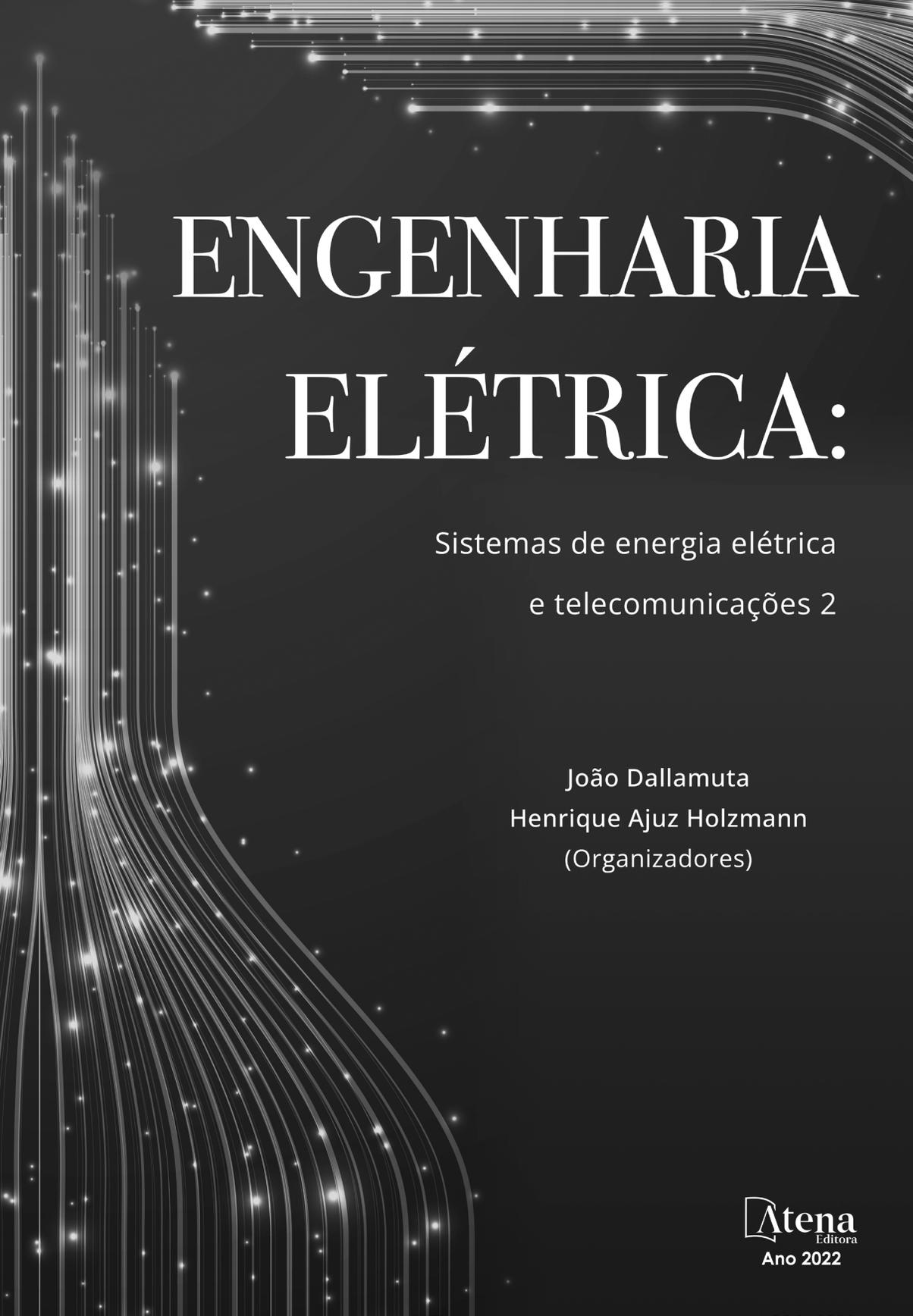


ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações 2

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações 2

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Soellen de Britto
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0727-0 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.270221111</p> <p>1. Engenharia elétrica. 2. Telecomunicações. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.3</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Também se trata de uma área de conhecimento com uma grande amplitude de sub áreas e especializações, algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

CAPÍTULO 1	1
ESTRATÉGIA TÉCNICA À IMPLANTAÇÃO FUNCIONAL DE COMPENSAÇÃO REATIVA SÉRIE MODULAR	
Cíntia Veiga Claudio	
Fernanda Trindade	
Guilherme Ferretti Rissi	
Mateus Teixeira Duarte	
Massayuki Suzuki	
Nelson C. Jesus	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211111	
CAPÍTULO 2	14
PROJETO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE CONTROLE POR MODO DESLIZANTE APLICADO AO CONVERSOR CC-CC BUCK: ESTUDO DE CASO	
Rafael Angelini Donda	
Flávio Luiz Rossini	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211112	
CAPÍTULO 3	25
USO DE MICRORREDES FOTOVOLTAICAS. CASO DE ESTUDIO EXTENSIÓN LODANA, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ	
María Rodríguez Gámez	
Antonio Vázquez Pérez	
Guillermo Antonio Loor Castillo	
Wilber Manuel Saltos Arauz	
Italo Humberto Navarrete García	
Marcos Lenin Davila Cedeño	
Lucio Alfredo Valarezo Molina	
Julio Cesar Mera Macias	
Julio Cesar Guamán Segarra	
Lenin Agustín Cuenca Álava	
Washington Colon Castillo Jurado	
José Ricardo Núñez Álvarez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211113	
CAPÍTULO 4	47
ANÁLISE DE ALGORITMOS DE ESTIMAÇÃO PARAMÉTRICA APLICADOS AO PROJETO DE CONTROLADOR ADAPTATIVO POR MODELO DE REFERÊNCIA	
Henrique Coldebella	
Leandro Castilho Brolin	
Flávio Luiz Rossini	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211114	
CAPÍTULO 5	59
A INFLUÊNCIA DA TENSÃO ELÉTRICA NA QUALIDADE DA SOLDA A ARCO	

SUBMERSO EM CHAPAS FINAS

Júlio Cezar Pedrosa da Silva
 Gustavo de Castro Lopes
 Matheus Abrão Abdala
 Aldemi Coelho de Lima
 Ildeu Lúcio Siqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211115>

CAPÍTULO 672**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO IFG - CAMPUS GOIÂNIA, A PARTIR DE *RETROFIT* DE ILUMINAÇÃO**

Berthiê de Castro Furtado
 Aylton José Alves
 André Mendes Martins
 José Luis Domingos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211116>

CAPÍTULO 787**DESCUBRIENDO LAS CÓNICAS A PARTIR DE SU ECUACIÓN GENERAL**

Esperanza Georgina Valdés y Medina
 Miguel Ángel Chávez García
 Leilani Medina Valdés

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211117>

CAPÍTULO 8 91**APLICAÇÃO DO MÉTODO DO GRADIENTE E DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS RECURSIVO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONTROLE ADAPTATIVO POR MODELO DE REFERÊNCIA**

Diego Carrião Canhan
 Leandro Castilho Brolin
 Flávio Luiz Rossini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211118>

CAPÍTULO 9101**ANÁLISE DA GESTÃO DE RESÍDUOS EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS-MA**

Camila Pinho Tavares Coimbra
 Jessica Moraes Dos Santos
 Janyeid Karla Castro Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211119>

SOBRE OS ORGANIZADORES 111**ÍNDICE REMISSIVO112**

CAPÍTULO 3

USO DE MICRORREDES FOTOVOLTAICAS. CASO DE ESTUDIO EXTENSIÓN LODANA, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

Data de submissão: 19/10/2022

Data de aceite: 01/11/2022

María Rodríguez Gámez

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Antonio Vázquez Pérez

Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2994-8626>

Guillermo Antonio Loor Castillo

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-4986-7524>

Wilber Manuel Saltos Arauz

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-5520-595X>

Italo Humberto Navarrete García

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-0798-3321>

Marcos Lenin Davila Cedeño

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-3248-2409>

Lucio Alfredo Valarezo Molina

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-0490-7542>

Julio Cesar Mera Macias

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-4035-4159>

Julio Cesar Guamán Segarra

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-8985-1519>

Lenin Agustín Cuenca Álava

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-5079-9469>

Washington Colon Castillo Jurado

Carrera de Ingeniería eléctrica,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-00032-7011-1131>

José Ricardo Núñez Álvarez

Departamento de Energía, Universidad de
la Costa, Barranquilla, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-6607-7305>

RESUMEN: El objetivo del trabajo consiste en estudiar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la introducción de la energía solar fotovoltaica en el modo de la generación distribuida, mediante los resultados del desarrollo de las ideas conceptuales en un caso de estudio, que por la sencillez y versatilidad de los métodos de análisis utilizados puedan servir para generalizar las experiencias en otros territorios presenten condiciones geográficas y climáticas similares. La metodología empleada para el estudio fueron la búsqueda bibliográfica, el sistema de información geográfica para el estudio climatológico y el software PvSyst para el diseño del sistema. En el trabajo se realiza una exposición de la problemática, fundamentalmente para la implementación de los sistemas fotovoltaicos en forma de generación distribuida, para disminuir demanda en horario diurno en los centros educativos que funcionan fundamentalmente en los horarios donde hay un alto potencial solar y teniendo en cuenta que la generación de electricidad, por esta vía hoy se implementa de forma simbólica. Se tuvo como resultado la propuesta de una central fotovoltaica para disminuir la demanda en horario diurno en el modo de la generación distribuida, de forma tal que se incremente la calidad del servicio, la eficiencia del sistema, reducción de los costos de la energía, propiciando la preservación de los recursos naturales y disminuyendo las emisiones de CO₂ al ambiente, potenciando el desarrollo energético local sostenible.

PALABRAS-CLAVE: Energía fotovoltaica, desarrollo local, sostenibilidad, generación distribuida, demanda energética.

USE OF PHOTOVOLTAIC MICROGRIDS. CASE STUDY EXTENSION LODANA, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

ABSTRACT: The objective of the work is to study the technical, economic and environmental feasibility of the introduction of photovoltaic solar energy in the distributed generation mode, through the results of the development of conceptual ideas in a case study, which due to its simplicity and The versatility of the analysis methods used can serve to generalize the experiences in other territories present in similar geographic and climatic conditions. The methodology used for the study was the bibliography search, the geographic information system for the climatological study and the PvSyst software for the design of the system. In the work, an exposition of the problem is made, superior for the implementation of photovoltaic systems in the form of distributed generation, to reduce the demand during daytime hours in educational centers that function superior in the hours where there is a high solar potential and having Keep in mind that the generation of electricity in this way is today implemented in a symbolic way. The result was the proposal of a photovoltaic plant to reduce the demand during daytime hours in the distributed generation mode, in such a way that the quality of service, the efficiency of the system, reduction of energy costs, are increased, promoting there was of natural resources and reducing CO₂ emissions to the environment, promoting sustainable local energy development.

KEYWORDS: Photovoltaic energy, local development, sustainability, distributed generation, energy demand.

1 | INTRODUCCIÓN

Las previsiones del World Energy Outlook, sobre el panorama energético mundial con proyección a 2040, plantea que entre 1940 a 2016 la demanda de energía en el mundo creció en un 60%, estimándose una tendencia al incremento sostenido hasta el año 2040, debido especialmente al desarrollo exponencial de la industria, aumento poblacional, uso intensivo de tecnologías, consumismo de la sociedad y aumento de la contaminación ambiental, en muchos casos motivado por el incremento de la huella del carbono (WEO, 2017).

La Agencia Internacional de Energía (IEA), en el año 2018 señala que, la participación de la electricidad en el uso mundial de la energía está creciendo, mientras que el aumento de las tecnologías bajas en carbono está provocando una gran transformación en la forma en que se genera la electricidad (WEO, 2018). Plantean que, en el año 2019, el análisis energético indica la necesidad de cambios rápidos y generalizados; pero las decisiones tomadas por los gobiernos siguen siendo críticas para el futuro del sistema energético. Se enfatiza que la demanda de energía crecerá un 1,3% anual hasta 2040. Eso llevará a tensiones en todos los aspectos de los mercados energéticos y un fuerte crecimiento de las emisiones relacionadas con la energía (WEO, 2019).

En la actualidad ecuatoriana el tema energético constituye un elemento decisor para el futuro inmediato de la sociedad. El alto costo de la energía con una tendencia de continuar incrementando en los próximos años y la contaminación ambiental asociada a la generación de electricidad, así como su distribución y consumo, constituyen temas actuales del debate sociopolítico y científico, que apuesta por encontrar alternativas de solución que, al propio tiempo garanticen la sostenibilidad del desarrollo en el territorio (Sánchez, 2015); (Macías, Valarezo, & Loor, 2018).

Desde sus comienzos la producción de electricidad en Ecuador se realizó mediante el consumo intensivo de hidrocarburos, con un bajo aprovechamiento de la energía primaria contenida en el combustible fósil, que nunca sobrepasó el 30% de eficiencia en cuanto al aprovechamiento de la energía primaria contenida en el combustible fósil. Al propio tiempo que la energía primaria no aprovechada industrialmente se convierte en contaminación, lo que encarece el costo de la electricidad (Jaramillo & Chamba, 2008).

En un periodo de 10 años (2007-2017) se abrieron nuevos horizontes para el progreso nacional de cara al siglo XXI, marcado por una pujante voluntad inversionista en ramas claves de la economía y el desarrollo social de la nación ecuatoriana. Se destaca el cambio de la matriz energética mediante el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía (FRE) (Guido, Poveda-Burgos, Ruiz, & González, 2017).

Para que se tenga una idea, se puede resaltar que en el año 2010 en Ecuador la oferta de energía eléctrica procedía básicamente de tres fuentes: la generación hidráulica con 48%, la generación térmica 47%, representando entre las dos el 95% de la oferta total;

el 5% restante se importaba desde Colombia y Perú (Jurado, 2012); (Piloso, 2017).

A partir del año 2013, el Estado ecuatoriano asumió el reto de cambiar la matriz energética e incrementar el aporte de las fuentes renovables de energía, lo que para el año 2017 se había logrado con la construcción de varias centrales de generación hidráulica, que aprovechan los grandes potenciales que se localizan en la región centro del país. Con ello se había logrado incrementar la participación de la energía hidráulica a más del 70%, transformando el país de importador a exportador de energía hacia Perú y Colombia, ofreciendo un importante aporte a la reducción en las emisiones de carbono derivado de la generación de energía (Bordons, García, & Valverde, 2015).

Pero las centrales eléctricas construidas se ubican en el centro del país, a más de 350 kilómetros de las principales ciudades de la región costera. Esta situación implica un nivel de pérdidas que se producen durante la transmisión y distribución de la electricidad, pues se siguen los mismos principios técnicos de la generación centralizada (Correa, Celi, & Gómez, 2017). El Sistema Nacional Interconectado (SNI) presenta pérdidas de energía que llegan a ser del 18%, lo que equivale a más de 413 millones de dólares y más de 11 millones de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera anualmente (ARCONEL, 2019). La situación resulta ser más grave en la provincia de Manabí, por su ubicación y por la contaminación ambiental que se produce durante el invierno, donde las pérdidas energéticas pueden llegar hasta el 23%, siendo aún peores en las zonas rurales (Vázquez & Castillo, 2015).

Los escenarios energéticos ayudan a la toma de decisiones con respecto a la transformación del sistema de suministro de energía (Redera, Stappela, Hofmannb, Försterc,; Emelec, Hülkb, M, Glauerd, 2020). Cada territorio posee sus propias características energéticas y establece sus prioridades sociales, resultando clave la disponibilidad que se tenga de las fuentes de suministro en función de la sostenibilidad.

Actualmente en Ecuador la energía se considera como un problema estratégico (Asamblea Constituyente, 2008). Se gestiona y suministra mediante una gestión centralizada, donde no se aprecian adecuadamente las potencialidades endógenas de las localidades, ni las alternativas de aprovechamiento de los recursos energéticos que existen localmente, situación que se acentúa en los territorios más pobres (MEER, 2016).

El caso de estudio de la investigación se desarrolla en las instalaciones de la extensión universitaria ubicada en Lodana, cantón Santa Ana, donde se localizan las facultades de: Ciencias Agrícolas, Agronómicas y Veterinarias. Un estudio previo fue realizado en la provincia de Manabí donde ya se apuntaba el potencial solar de la región para la introducción de tecnologías fotovoltaicas conectadas directamente a la red de baja tensión (Rodríguez, Vázquez, Saltos, & Guardarrama, 2017).

En este trabajo, se pretende ir más allá y estudiar la factibilidad energética, económica y ambiental que justifica la introducción de una microrred fotovoltaica, capaz de cubrir una parte importante del consumo de energía de la institución, reduciendo así

la factura que se paga a la empresa eléctrica. Se pretende brindar una contribución a la disminución del impacto ambiental derivado de la generación de electricidad, de tal manera que la experiencia sea suficientemente versátil como para generalizar su aplicación en otros territorios que presenten una situación similar en cuanto a su ubicación geográfica y climática.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

Se parte del concepto básico que una microrred consiste en una red eléctrica integrada, para suministrar la demanda en forma local (Velázquez, Sarmiento, Silva, Vidrio, & Nieva, 2010); en este caso una central fotovoltaica conectada a la red eléctrica que incorpora energía directamente al consumo, entregando el excedente a la red eléctrica.

Para el desarrollo del trabajo se asumió el tipo de investigación de campo, lo que permitió el conocimiento a fondo que posibilitó manejar los datos con seguridad y obtener información respecto al sistema energético en la extensión Lodana, de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), así como las estimaciones del potencial de energía solar que incide en la localidad estudiada.

El método corresponde al descriptivo-deductivo, por lo que este tipo de investigación se ocupa de la descripción de datos y características de la gestión energética en la institución y las posibilidades de cubrir una parte del consumo de electricidad mediante la introducción de una microrred fotovoltaica conectada a la línea eléctrica del SNI.

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 teórico del tema abordado. Para gestionar la información relacionada con el potencial solar se utilizó el Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible (SIGDS), que se fundamenta en un sistema de información geográfica (SIG ó GIS en Inglés) (UTM, 2018), que contiene los datos relacionados con los potenciales de las fuentes renovables de energía del territorio en la provincia de Manabí, del cual se utilizaron los datos del potencial solar mostrado en la GeoWeb (Rodríguez, Vázquez, Martínez, & Bravo, 2019).

Para el diseño de la instalación fotovoltaica conectada a la red se utilizó el software PVsyst 6.8.6. (PVsyst V 6.8.6, 2019) y como material didáctico de base se usó el libro La Energía Fotovoltaica en la provincia de Manabí (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018).

Para el análisis económico se utilizó el software CHomer (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018), que constituye una solución tecnológica especialmente diseñada para la realización de los estudios de factibilidad económica en inversiones fotovoltaicas, a partir de las experiencias derivadas del trabajo con la herramienta Homer, resultando útil para agilizar y determinar la factibilidad del proyecto que se realiza en la extensión Lodana de la UTM.

El manejo de la base de datos cartográficos se realizó utilizando el software QGIS

versión libre y de código abierto, que permite experimentar el análisis espacial y compartir contenido geográfico vía Web GIS (UTM, 2018), contando con una plataforma que va a posibilitar la organización, creación e intercambio de información desde cualquier lugar, momento y dispositivo. Para la información cartográfica se utilizó la publicada en la página web de escala regional 1:250.000, versión enero 2013. Capas de información geográfica básica del Instituto de Geografía Militar (IGM) de libre acceso (Codificación UTF-8) (IGM, 2013).

Durante la investigación se realizó un inventario de carga en las instalaciones de la extensión Lodana de la UTM, pudiendo estimar el consumo horario de energía eléctrica. Al propio tiempo se realizó un reconocimiento del terreno para definir la ubicación del generador fotovoltaico y determinar el punto de conexión óptimo a la red eléctrica.

3 I ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las tecnologías que aprovechan las (FRE), representan un futuro energético promisorio para la sociedad, pueden ser implementadas en cualquier sitio según los potenciales disponibles, solo se necesita realizar los estudios de potencial y el análisis de la factibilidad energética, económico y ambiental, lo que permite su aplicación de manera sostenible (Sarmiento, Rodríguez, Castillo, & Vázquez, 2014).

Alemania es uno de los países pioneros que emprendió la transición energética, abordando el tema con una visión integradora de los procesos (Alvarez & Ortiz, 2016) para la aplicación de estrategias y políticas que apoyan el desafío al cambio y que en muchos casos pueden servir como instrumentos para el diseño de políticas similares en otros territorios.

Actualmente Alemania es líder en la introducción de las energías limpias (AleaSoft Energy Forecasting, 2019), con una potencia renovable de más de la mitad del parque productor con el 56% de la potencia total instalada.

Los países nórdicos son un ejemplo del uso de las alternativas renovables, las necesidades energéticas y la falta de combustibles fósiles, los han llevado a realizar diferentes investigaciones que podrían implantarse en diferentes regiones geográficas, muestra de ello son los estudios realizados en Dinamarca (Baizura, Chun-Lien, Zhaoxia, Vázquez, & Guerrero, 2018), donde algunas de las prácticas aplicadas podrían implementarse en regiones donde las condiciones resultan adecuadas para su inserción.

España también ha sido promotora de la introducción de las FRE en forma de microrredes en el modo de la generación distribuida (GD), pretendiendo integrar de manera eficiente la diversidad de los recursos energéticos, para lo que han estado enfrascados en los sistemas de control para la gestión energética de diferentes orígenes, fundamentalmente fotovoltaica y eólica (Bordons, García-Torres, & Valverde, 2015); también han incursionado en el estudio de la viabilidad en la implementación de las microrredes, sus consideraciones

técnicas, regulatorias y económicas (López, 2018).

En América Latina se han dado pasos relacionados con la introducción de las FRE. En Argentina se propone una visión general del uso de tecnologías para la seguridad, operación, gestión y control de microrredes (Medina, 2014) mediante redes inteligentes para vincular la generación y almacenamiento distribuido, a partir de un suministro con altos estándares de calidad y confiabilidad a precios razonablemente bajos; a pesar de que existen limitaciones con el diseño de políticas y estrategias que permitan las condiciones para la penetración de las energías renovables en el sistema eléctrico argentino.

Otros países como Colombia se encuentran enfrascados en introducir las microrredes en campus universitarios (Salazar, 2017), siendo una estrategia adecuada para el aprovechamiento de las FRE y las nuevas tecnologías de comunicación, disminuyendo la huella del carbono y los impactos negativos al ambiente.

En la actualidad, las microrredes basadas en el aprovechamiento de las FRE constituyen una alternativa energética limpia, que cada vez encuentra más espacios para su generalización. En Ecuador se han realizado diferentes estudios para lograr implementar las microrredes. En el proyecto realizado por (Saltos, Rodríguez, Vázquez, Loor, & Cuenca, 2017), se demuestra su viabilidad como una alternativa viable para el mejoramiento de la calidad de energía en zonas aisladas y de difícil acceso, las que en invierno confrontan problemas con la estabilidad del servicio y en tiempos normales se producen problemas con la calidad de la tensión en la red (Rodríguez, Vázquez, Veléz, & Saltos, 2018).

El puerto de Manta en la provincia de Manabí constituye una de las principales instalaciones económicas del territorio (Rosillo, Intriago, & Bravo, 2019), donde se realizan operaciones con contenedores utilizando grandes grúas que presentan un elevado consumo de electricidad (El Comercio, 2019), pudiendo valorar la introducción de FRE como alternativa energética limpia (Baizura, Othman, Vásquez, Guerrero, & Lien, 2018).

En la UTM, se han realizado varios proyectos de investigación, encaminados a proponer la aplicación de metodologías científicas capaces de generar información relevante, que por su versatilidad ofrezcan la posibilidad de aplicación en todo el territorio.

Entre los proyectos desarrollados en la UTM se encuentra el SIGDS, que se sustenta en una página web de acceso abierto, que asegura información georreferenciada confiable sobre los potenciales de las FRE, como apoyo al proceso de toma de decisiones por las autoridades facultadas (Martínez, Rodríguez, Bravo, Vázquez, & Valencia, 2019); (Rodríguez M., Vázquez, Martínez, & Bravo, 2019). La aplicación puede ser utilizada por estudiantes, profesores e investigadores, sirviendo de ayuda para realizar diferentes proyectos de investigación a partir de información georreferenciada en la provincia.

Otro de los proyectos desarrollados en la UTM, está relacionado con la introducción de microrredes fotovoltaicas conectadas a la red en las instituciones que presentan el mayor consumo de electricidad en el horario diurno, cuando la radiación solar se encuentra disponible para ser aprovechada. Los estudios realizados demuestran que los centros

educacionales pueden ser beneficiados a priori, pues la mayor parte del consumo de energía eléctrica se experimenta durante las horas diurnas (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018). Lo anteriormente señalado se logró evidenciar mediante la evaluación de una microrred fotovoltaica conectada a la línea eléctrica que, se instaló en el año 2016 en la superficie techada de la Facultad de Ciencias matemática, Física y Química de la UTM (Vázquez, Rodríguez, Saltos, Rodríguez, & Cuenca, 2018).

El proyecto referido anteriormente logra demostrar la factibilidad energética, económica y ambiental que resulta de la introducción de la tecnología fotovoltaica en un centro de la educación superior, donde logra reducir el costo de la energía mediante una inversión perfectamente viable desde el punto económico y ambiental.

A diferencia de los sistemas convencionales de generación, transmisión y distribución de la electricidad, los sistemas fotovoltaicos presentan unos gastos de mantenimiento prácticamente simbólicos, pues no requieren la instalación de nuevas líneas eléctricas, ni transformadores, no necesitan ser abastecidos con combustible y lubricantes, constituyendo un potencial reductor de impactos ambientales.

Considerando lo analizado anteriormente, se ha entendido desarrollar el proyecto mediante un caso de estudio, de manera que las experiencias alcanzadas y los propios resultados del proyecto, propicien la generalización de la tecnología en otros territorios.

Estudio de carga y el consumo energético

Con el objetivo de planificar y organizar las actividades del proyecto, se realizaron las coordinaciones del trabajo con las autoridades y factores de la institución, acordando realizar la socialización del proyecto con todo el personal docente y estudiantes, para lograr la comprensión de las acciones que se deben realizar. Acto seguido se realizó el inventario de carga y el estimado del consumo energético horario en la entidad. En la tabla 1 se muestran los resultados del estimado de consumo energético horario por meses del año y el costo de la energía que debe ser cancelado mensualmente a la empresa eléctrica.

Meses del año	Consumo de energía		Total (kWh)	Pagado (USD)	Costo promedio de la energía (USD/kWh)
	08:00-18:00 h (kWh)	18:00-08:00 h (kWh)			
Enero	8189	2938	11127	2204,45	0,20
Febrero	8189	2938	11127	2204,45	0,20
Marzo	16073	7611	23684	2386,8	0,10
Abril	12919	7317	20236	2445,78	0,12
Mayo	21355	8468	29823	2804,46	0,09
Junio	20364	7857	28220	2697,86	0,10
Julio	19571	7941	27512	2703,03	0,10
Agosto	22594	7074	29668	2894,59	0,10
Septiembre	19684	7287	26971	2688,41	0,10
Octubre	22985	6987	29972	2871,53	0,10
Noviembre	26189	6529	32718	2905,18	0,09
Diciembre	16005	6787	22792	2498,25	0,11
Total	214117	79732	293850	31304,79	0,11

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

Fuente: Elaboración propia aprovechando los datos del estimado de consumo de energía y las planillas del pago del servicio eléctrico

En la figura 1 se muestra el comportamiento gráfico del consumo mensual de energía en el horario diurno (08:00-18:00) y el horario nocturno (18:00-08:00 h).

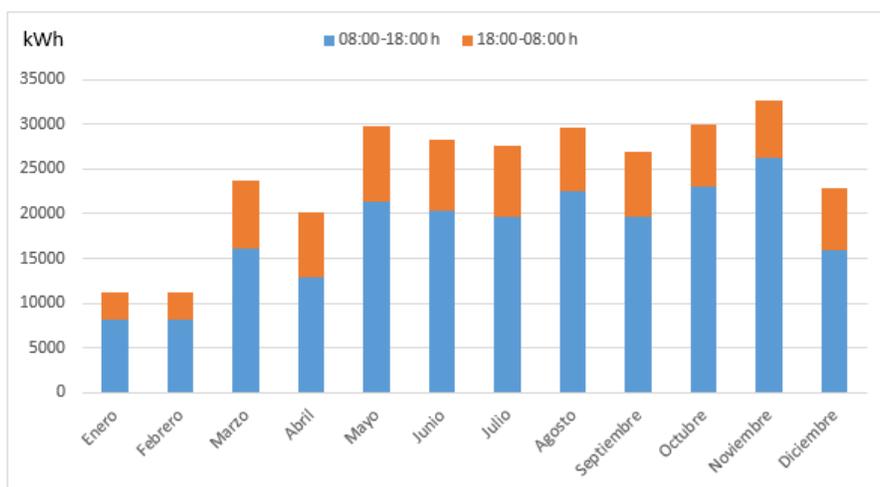


Figura 1. Gráfico del comportamiento del consumo mensual de energía

La información reflejada en la tabla 1 indica que los meses de menor consumo de electricidad son diciembre, enero y abril, coincidiendo con los momentos de receso de las

actividades académicas. El pico de mayor consumo de energía se produce en los meses de noviembre, agosto y mayo. Los de menor impacto en el gasto económico por concepto del pago de la factura eléctrica corresponde desde diciembre hasta abril, experimentándose un alza desde mayo a noviembre.

En la figura 2 se muestra el análisis gráfico del comportamiento horario del consumo promedio de energía eléctrica en un día en la extensión Lodana.

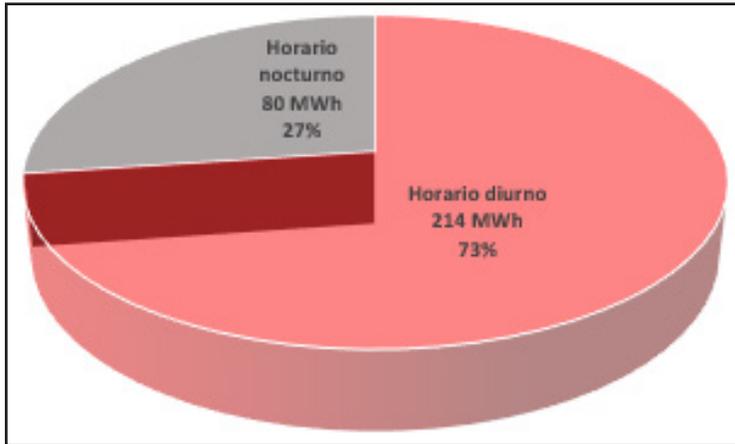


Figura 2. Comportamiento horario del consumo promedio de energía eléctrica
Fuente: Elaborado con los datos del estimado de consumo horario de energía

Se puede apreciar en la información reflejada en la figura 1, que el mayor consumo de energía de la institución se experimenta en el horario diurno, cuando la radiación solar se encuentra disponible de ser aprovechada mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica.

Examen del comportamiento de la radiación solar

La ubicación geográfica del sitio donde se realiza el caso de estudio propicia la incidencia de un potencial solar que ofrece viabilidad de ser aprovechado durante todo el año de manera prácticamente invariable. En la figura 3, se muestra el mapa del potencial solar promedio anual que incide en la provincia de Manabí, donde se puede apreciar la ubicación de la extensión universitaria Lodana.

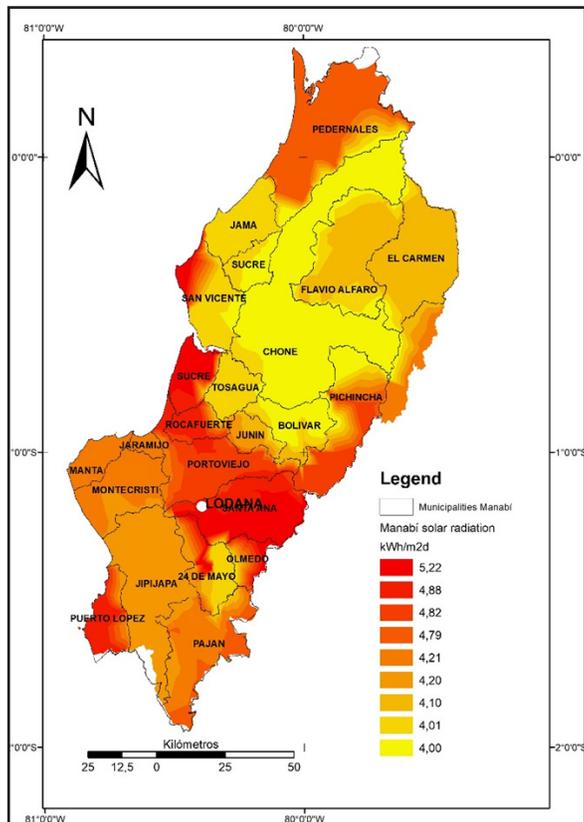


Figura 3. Mapa del potencial solar promedio anual de la provincia de Manabí

Fuente: Elaboración propia con información del proyecto SIGDS

En la tabla 2, se expone el análisis sobre el comportamiento del potencial solar promedio anual en el sitio donde se ubica la extensión Lodana, así como el resultado de las estimaciones de la productividad normalizada y la específica.

Concepto	Prom. anual	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Potencial solar promedio anual Cantón Santa Ana (kWh/m ² día)	4,733	5,290	5,169	5,660	5,583	5,063	4,046	3,681	4,030	4,363	4,339	4,536	5,059
Potencial solar en el sitio Lodana (kWh/m ² día)	4,820	5,470	5,300	5,810	5,740	5,210	4,090	3,660	4,000	4,370	4,400	4,590	5,220
Productividad normalizada (kWh/kWp día)	4,216	4,713	4,605	5,042	4,974	4,510	3,604	3,280	3,590	3,887	3,865	4,041	4,507
Productividad específica (kWh/kWp año)	1539	146	129	156	149	140	108	102	111	117	120	121	140

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

En la figura 4 se muestra un gráfico comparativo sobre el comportamiento del potencial solar que incide mensualmente en el cantón Santa Ana y en el sitio Lodana, así como la productividad normalizada estimada en cada mes del año.

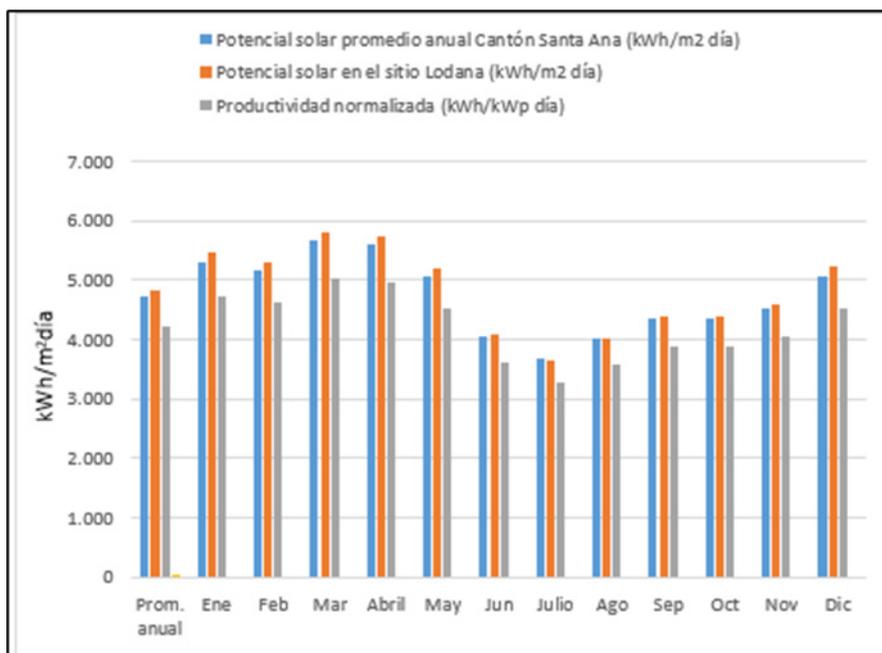


Figura 4. Comportamiento del potencial solar y productividad normalizada

El análisis de los datos permite apreciar que la radiación solar promedio anual que incide en el sitio Lodana, se comporta ligeramente por encima del promedio cantonal, confirmando la viabilidad de introducir la tecnología fotovoltaica con el fin de lograr la repotenciación energética de la institución. Se puede apreciar que los promedios diarios de la generación de energía por cada kWp de fotovoltaica instalado, garantiza la viabilidad técnica del sistema.

Estimaciones técnicas

Si se conoce que el consumo promedio diario de energía en las horas diurnas en las instalaciones de la extensión Lodana es de 586,6 kWh día y sabiendo el valor de la productividad normalizada, se logró estimar la potencia fotovoltaica requerida para cubrir el consumo energético en el horario diurno, lo que se realizó aplicando la ecuación 1 (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018).

$$P_{fvNi} = \frac{CEdhd}{P_n} \quad (1)$$

$$P_{fvNi} = 139,14 \text{ kWp}$$

Donde:

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

CE_{dhd} → Consumo diario promedio de electricidad en el horario diurno (586,6 kWh día)

P_n → Productividad normalizada (4,216 kWh/kWp día)

Para cubrir el consumo de electricidad en el horario diurno de la institución se requiere instalar una potencia fotovoltaica de 130 kWp, no obstante, considerando las limitaciones financieras que presenta la entidad y teniendo en cuenta los precios que tienen las tecnologías en el mercado ecuatoriano, se adoptó el compromiso técnico de proponer la instalación con una capacidad fotovoltaica conectada a la red de 70 kWp.

Diseño técnico de la instalación fotovoltaica

Una vez que se ha considerado la capacidad fotovoltaica que se puede instalar, se procedió al diseño de la composición y estructura técnica de la instalación, para lo cual se utilizó la herramienta PVsyst 6.8.6 (PVsyst V 6.8.6, 2019), resultando la siguiente estructura: 280 módulos de silicio monocristalino de 250 Wp, conectados estructuralmente en 14 cadenas integradas por 20 módulos cada una conectados en serie y las cadenas conectadas en paralelo a los inversores, que sumarían globalmente una potencia nominal de 70 kWp y una potencia en condiciones de funcionamiento de 62,3 kWp a una temperatura de 50° C, con un voltaje de máxima potencia V_{mpp} = 545 V y una corriente máxima equivalente a 114 A; un inversor fotovoltaico DC-AC, del modelo PVM 450-068-TT, con una potencia de 68 kW en la salida AC; el conjunto de protecciones a la entrada y salida del inversor; el cableado de conexión a la red; los soportes de los generadores fotovoltaicos que se instalaran en las superficies techadas de los edificios y; la protección perimetral de la instalación.

Impacto energético

En la tabla 3, se muestra el balance de los resultados principales, estimados en un año de operaciones de la central fotovoltaica de 70 kWp en la extensión universitaria Lodana.

Meses	PsPi (kWh/m ² mes)	Tap (°C)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	ES (%)
Enero	155,5	28,0	8268	7969	10,04
Febrero	142,1	26,2	7565	7291	10,05
Marzo	183,1	26,6	9596	9245	9,89
Abril	180,7	26,6	9559	9216	9,99
Mayo	175,2	26,1	9309	8974	10,03
Junio	130,5	25,0	7072	6809	10,23
Julio	131,2	24,6	7104	6838	10,22
Agosto	135,5	24,6	7321	7050	10,20
Septiembre	135,9	24,8	7341	7070	10,20
Octubre	138,5	25,0	7374	7097	10,05
Noviembre	132,7	25,1	7089	6825	10,09
Diciembre	147,9	25,7	7923	7639	10,11
Total (año)	1788,8	25,7	95521	92024	10,08

Tabla 3. Resultados principales

Fuente: Simulación utilizando la herramienta PVsyst 6.8.6

Donde:

PsPi → Potencial solar sobre plano inclinado

Tap → Temperatura ambiental promedio

EArray → Energía generada por el sistema FV

E_Grid → Energía entregada a la red

ES → Eficiencia en el aprovechamiento de la energía primaria del Sol

En la figura 5 se muestra el gráfico del comportamiento de la energía generada por la central fotovoltaica y la que se incorpora a la red eléctrica por meses del año, luego de deducida las pérdidas del sistema FV.

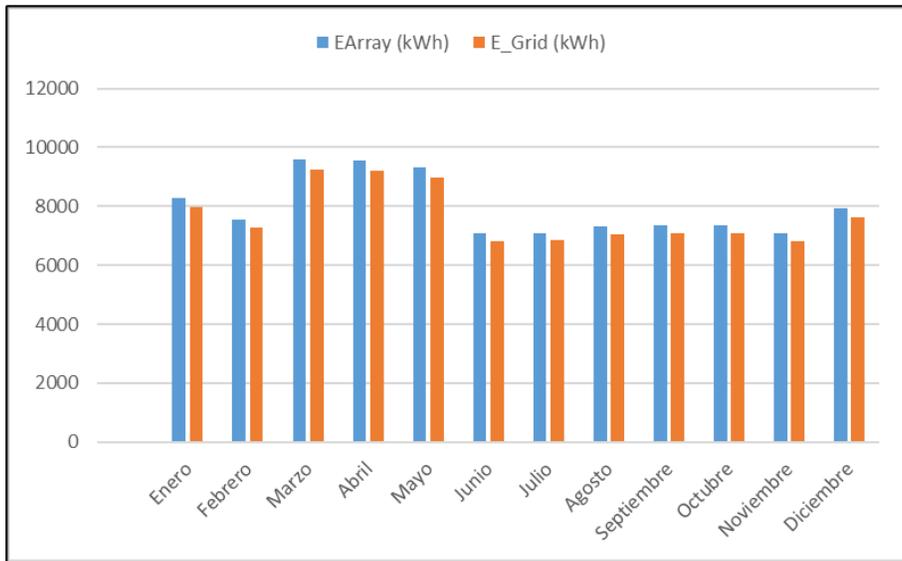


Figura 5. Gráfico del comportamiento de la energía generada y la que se incorpora a la red

Cuando se analiza que las pérdidas de energía del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador pueden llegar a ser hasta del 23% en la provincia de Manabí (ARCONEL, 2019), se logra apreciar que las pérdidas de energía en el sistema fotovoltaico resultan prácticamente simbólicas, comprobando la alta eficiencia que se puede alcanzar con la introducción de la tecnología fotovoltaica en el modo de la generación distribuida. En la tabla 4 se ofrece el análisis del impacto energético considerando el consumo de energía de la institución estudiada en horarios diurnos, en relación con la productividad energética estimada de la tecnología fotovoltaica.

Concepto	Total (año)	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Consumo total de energía (MWh)	214,1	8,2	8,2	16	13	21,3	20,3	19,6	22,6	19,7	23	26,2	16
Productividad FV con 70 kWp instalado (MWh)	91,7	7,9	7,2	9,2	9,2	9	6,8	6,8	7	7,1	7,1	6,8	7,6
Porcentaje de cubrimiento fotovoltaico (%)	43	97	89	58	71	42	34	35	31	36	31	26	48

Tabla 4. Análisis del impacto energético

Se puede apreciar que con la introducción de una central fotovoltaica de 70 kWp conectada a la red en las condiciones de la extensión universitaria Lodana, se lograr cubrir el 43% del total del consumo de energía en el horario diurno, pudiendo observar que desde las primeras investigaciones realizadas sobre el impacto energético de las tecnologías

fotovoltaicas, se comprobó que desde el punto de vista técnico se logran otros impactos positivos, especialmente en el perfil de tensión, de las instalaciones que son beneficiadas con la introducción de las microrredes fotovoltaicas conectadas en el modo de la generación distribuida (Huacuz, 1999); (Benalcazar, Lara, & Samper, 2020).

Impacto económico

Otro de los elementos que demuestra la viabilidad de introducir las microrredes fotovoltaicas en el modo de la generación distribuida, radica en los beneficios económicos que se reportan. Todas las instalaciones de generación de energía representan una inversión inicial que debe ser considerada de manera cuidadosa y analizada minuciosamente durante el ciclo de vida.

Los generadores fotovoltaicos basados en el silicio mono cristalino tienen un ciclo de vida útil operando en condiciones normales que está estimado en 25 años, por lo que el análisis de factibilidad económica que se ha realizado abarca todo ese tiempo. El costo de la energía para la institución estudiada se comporta en 0,11USD/kWh como promedio anual y es el dato que se ha utilizado para realizar el estudio del impacto económico; pero el costo real estimado para la provincia de Manabí es de 0,21USD/kWh.

En la tabla 5, se muestra el costo que representa el paquete tecnológico hasta la instalación y montaje de la central fotovoltaica.

No	Partida de gastos	Potencia FV 70 kWp		
		Cantidad (u)	Precio unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Módulos fotovoltaicos 280 Wp 24V	280	98,75	27.650,00
2	Inversor de conexión a red de 33 kW	2	2.690,00	5.380,00
3	Costo de envío	1	11.00,00	1.100,00
4	Insumos eléctricos para la instalación	1	1.900,00	1.900,00
5	Estructura para los módulos	1	3.267,00	3.267,00
6	Montaje, instalación y prueba	1	5.600,00	5.600,00
7	Costo total de la inversión			44.897,00

Tabla 5. Costo del paquete tecnológico, instalación y montaje

Los cálculos del estudio de factibilidad económica se realizaron con la ayuda del software CHomer (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018), utilizando los siguientes datos de partida: costo de la inversión 44 897,00, los que se cubrirán con recursos propios; una inflación estimada en 3%; una amortización en 5 años; una tasa de descuento del 10%; un gasto planificado de mantenimiento del 10%; con un ingreso inicial en el primer año proveniente del monto evitado de la factura eléctrica equivalente a 11.850,30 y; un tiempo de análisis de 25 años.

Los cálculos realizados reportan un valor actualizado neto (VAN) de 65.018,26, indicando un flujo de caja positivo para la inversión; una tasa interna de retorno del 25%, indicando que la inversión es rentable y que existen oportunidades reales para la reinversión y; un periodo de recuperación económica de 4 años. En la tabla 6, se muestran los resultados generales del análisis de inversión.

Años	Ingresos (\$)	Costes variables (\$)	Amortización (\$)	BAIT (\$)	BAT (\$)	Impuestos (\$)	Beneficio neto (\$)	Flujo de caja (\$)	Beneficio acumulado (\$)
1	11.850,30	1.185,03	8.979,40	1.685,87	1.685,87	168,59	1.517,28	10.496,68	10.496,68
2	12.176,78	1.220,58	8.979,40	1.976,20	1.976,20	197,62	1.778,58	10.496,68	21.254,67
3	12.511,03	1.157,20	8.979,40	2.274,43	2.274,43	227,44	2.046,99	11.026,39	32.281,05
4	12.855,08	1.294,91	8.979,40	2.580,77	2.580,77	258,08	2.322,69	11.302,09	43.583,14
5	13.206,60	1.333,76	8.979,40	2.895,43	2.895,43	269,54	2.605,89	11.585,29	55.168,43
6	13.538,81	1.373,77	0,00	12.165,04	12.165,04	1.216,50	10.946,53	10.948,53	66.116,97
7	13.877,28	1.414,99	0,00	12.462,29	12.462,29	1.246,23	11.216,06	11.216,06	77.333,03
8	14.224,21	1.457,44	0,00	12.766,78	12.766,78	1.276,68	11.490,10	11.490,10	88.823,13
9	14.579,82	1.501,16	0,00	13.078,66	13.078,66	1.307,87	11.770,79	11.770,79	100.593,92
10	14.944,31	1.546,20	0,00	13.398,12	13.398,12	1.339,81	12.058,31	12.058,31	112.652,23
11	15.700,87	1.592,58	0,00	13.725,34	13.725,34	1.372,53	12.352,81	12.352,81	125.005,04
12	16.495,73	1.640,38	0,00	14.060,51	14.060,51	1.406,05	12.654,46	12.654,46	137.659,50
13	16.093,39	1.689,57	0,00	15.115,66	15.115,66	1.440,38	12.963,44	12.963,44	150.622,94
14	16.495,73	1.740,26	0,00	15.484,58	15.484,58	1.475,55	13.279,92	13.279,92	163.902,86
15	16.908,12	1.792,46	0,00	15.155,66	15.155,66	1.511,57	13.604,09	13.604,09	177.506,95
16	17.330,82	1.846,24	0,00	15.484,58	15.484,58	1.548,46	13.936,13	13.936,13	191.443,08
17	17.764,09	1.901,63	0,00	15.863,47	15.863,47	1.586,25	14.276,22	14.276,22	205.719,30
18	18.208,20	1.958,67	0,00	16.249,52	16.249,52	1.624,95	14.624,57	14.624,57	220.343,87
19	18.663,20	2.017,43	0,00	16.645,97	16.645,97	1.664,60	14.981,37	14.981,37	235.235,24
20	19.129,99	2.077,96	0,00	17.052,03	17.052,03	1.705,20	15.346,83	15.346,83	250.672,06
21	19.608,24	2.140,30	0,00	17.467,94	17.467,94	1.746,79	15.721,15	15.721,15	266.393,21
22	20.098,44	2.204,50	0,00	17.893,94	17.893,94	1.789,39	16.104,54	16.104,54	282.497,75
23	20.600,90	2.270,64	0,00	18.330,26	18.330,26	1.833,03	16.457,24	16.497,24	298.994,49
24	21.115,92	2.338,76	0,00	18.777,17	18.777,17	1.877,72	16.899,45	16.899,45	315.894,44
25	21.643,82	2.408,92	0,00	18.234,90	18.234,90	1.923,49	17.311,41	17.311,41	333.205,86

Donde:

BAIT→ Ingreso menos impuesto

BAT→ Beneficio antes de impuestos

Tabla 6. Resultados generales del análisis de la inversión

Fuente: Elaboración propia mediante la utilización del software CHOMER (Rodríguez, M; Vázquez, A, 2018)

Resulta interesante señalar que cuando se realiza el estudio considerando el precio real de la energía, el VAN es equivalente a 161.856,47, con una TIR de 45% y 2 años para la recuperación económica de la inversión. Lo que permite ubicar a la inversión en un plano muy competitivo comparado con cualquier otra fuente energética.

Impacto ambiental

Cualesquiera de las FRE representan una potencialidad positiva ambientalmente. En el caso de la energía fotovoltaica los impactos se reducen a la utilización del espacio; pero cuando se trata de las instalaciones en el modo de la GD, existe la posibilidad de

manejar el impacto mediante la utilización de las superficies de las edificaciones, techados de parqueos y pasillos exteriores, así como la utilización de terrenos improductivos, siempre que se encuentren cercanos a la instalación que será beneficiada con la tecnología fotovoltaica. En la instalación de Lodana se ha considerado instalar la tecnología en la superficie techada de las edificaciones, parqueos y pasillos exteriores que cuenta con 975m² de superficie utilizable.

Otro de los aspectos está asociado con la reducción de las emisiones de CO₂. Si se conoce que, por cada MWh de energía eléctrica generada en las centrales térmicas de la provincia de Manabí, se emiten a la atmósfera 0,9 toneladas de CO₂ (Rodríguez & Vázquez, 2018), se puede calcular el aporte de la energía fotovoltaica a la reducción de las emisiones contaminantes por concepto de evitar el consumo de energía que se genera con el petróleo, que en este caso es equivalente a 82,53 toneladas de CO₂ en el ciclo de vida.

Sintetizando lo analizado anteriormente se puede decir que existen otros impactos de cara a la gestión energética en el SNI, pero que su análisis rebasa los objetivos trazados para el trabajo, por lo que se recomienda su estudio a profundidad en la medida que el aporte de las FRE se vaya incrementando en la matriz energética del territorio.

Desde el punto de vista de los impactos energéticos, ya se ha comentado que las pérdidas del SNI en la provincia de Manabí pueden llegar hasta el 21%, lo que supone estimar que, como promedio, por cada kWh de electricidad suministrada por la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el modo de la GD, se puede evitar la generación de 1,23 kWh en la central eléctrica. Otros de los impactos a estudiar están relacionado con los efectos de la penetración en la red, especialmente en las instalaciones que se conectan en el modo de la GD, así como el papel de la fotovoltaica para evitar petróleo en la generación, contribuyendo a la preservación de los recursos naturales.

CONCLUSIONES

La investigación permitió verificar que al igual que en la provincia de Manabí, en el territorio nacional incide un elevado potencial solar durante todo el año de manera prácticamente ininterrumpida, lo que permite afirmar que la introducción de microrredes fotovoltaicas combinadas con las redes eléctricas del Sistema Nacional Interconectado, constituye una alternativa que resulta viable en función de la diversificación y relocalización de los recursos energéticos, la elevación de la eficiencia, el ahorro de recursos naturales, la reducción de las emisiones de CO₂ al ambiente y del costo de la energía.

Se logra demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental relacionada con la introducción de una central fotovoltaica conectada a la red en el modo de la generación distribuida en la extensión universitaria Lodana, donde se lograron desarrollar las ideas conceptuales, verificando que la tecnología fotovoltaica conectada directamente a la red de consumo ofrece un nivel de competitividad adecuado con cualquier otra de las fuentes

de energía.

Se logra demostrar la sencillez de los métodos de análisis utilizados, y se puede comprobar que su versatilidad permite su aplicación para ser generalizado en otros territorios que presenten condiciones geográficas y climáticas similares.

Las condiciones estructurales de la extensión Lodana de la Universidad Técnica de Manabí, ofrece la posibilidad de que los generadores fotovoltaicos se puedan incorporar en el modo de la generación distribuida, formando parte de las superficies techadas, así como las cubiertas de parqueos y pasillos exteriores, logrando con ello reducir al máximo la competencia de utilización del espacio útil que puede ser aprovechado para otras funciones, propiciando aproximar la generación de electricidad al consumo reduciendo las pérdidas de energía.

REFERENCIAS

AleaSoft Energy Forecasting. (2019). *pv-magazine*, On line. (A. I. renovables, Productor) Recuperado el 9 de febrero de 2020, de <https://www.pv-magazine.es/2019/02/27/alemania-lider-en-la-implantacion-de-energias-renovables/>

Alvarez, E., & Ortiz, I. (2016). *La transición energética en Alemania (Energiewende)*. Política, Transformación Energética y Desarrollo Industrial. Instituto Vasco de Competitividad, Fundación Deusto. Bilbao: Cuadernos Orkestra. Recuperado el 29 de enero de 2020, de https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/La_transici%C3%B3n_energ%C3%A9tica_en_Alemania_Energiewende_-_Versi%C3%B3n_web.pdf

ARCONEL. (2019). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. información estadística de septiembre de 2019, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Quito, Ecuador. Recuperado el 11 de marzo de 2020, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>

Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Norma jurídica, Montecristi. Recuperado el 20 de enero de 2020, de <https://www.cosede.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf>

Baizura, N., Chun-Lien, S., Zhaoxia, X., Vásquez, J., & Guerrero, J. (2018). Modelado y controles de los sistemas de almacenamiento de energía del volante para la recolección de energía de las grúas eléctricas de puerto. (R. a. (IAS), Ed.) *Transacciones IEEE en aplicaciones industriales*, 55(4), 3354-3364. doi:10.1109 / IAS.2018.8544652

Baizura, N., Othman, M., Vásquez, J., Guerrero, J., & Lien, C. (2018). Dimensionamiento óptimo y evaluación del rendimiento de una microrred basada en energía renovable en futuros puertos marítimos. (I. C. (ICIT), Ed.) *Ingeniería Informática*. doi:DOI: 10.1109 / icit.2018.8352322

Benalcazar, P., Lara, J., & Samper, M. (2020). Distributed photovoltaic generation in Ecuador: Economic analysis and incentives mechanisms. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 18(3, March 2020). Recuperado el 29 de marzo de 2020

Bordons, C., García-Torres, F., & Valverde, L. (2015). Gestión Óptima de la energía en Micro redes con Generación Renovable. *Revista Iberoamericana de automática industrial*, 12, 117-132. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2015.03.001

Correa, R., Celi, K., & Gómez, F. (2017). *Perspectivas del desarrollo regional sustentable en Ecuador tomo II*. Titulación de Economía, Memorias RECIR 2016 - 1er Encuentro Internacional y 2do Encuentro Nacional de la Red Ecuatoriana de Ciencias Regionales, Departamento de Economía.

El Comercio. (2019). Puerto de Manta marca hito en movimiento de carga en contenedores. *Diario El Comercio*. Recuperado el 11 de enero de 2020, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/puerto-manta-hito-contenedores-exportaciones.html>

Guido, H., Poveda-Burgos, K., Ruiz, M., & González, J. (2017). Desarrollo de energías renovables en el Ecuador del siglo XXI, optimización de recursos económicos y conservación del medio ambiente. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. Julio 2017. Recuperado el 20 de febrero de 2020, de <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/ec/2017/energias-renovables-ecuador.html>.

Huacuz, J. (1999). *Generación eléctrica distribuida con energías renovables*. Boletín IIE, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Cuernavaca, México.

IGM. (2013). Capas de Información Geográfica básica del Instituto de Geografía Militar. *En línea*. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 15 de enero de 2020, de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/carto>

Jaramillo, J., & Chamba, D. (2008). *Una aproximación CTS a la implementación de la primera empresa de servicio eléctrico público en el Ecuador*. Informe Técnico, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Loja, Ecuador. Recuperado el 10 de marzo de 2020, de <file:///X:/HISTORIA/jorgeluis-loja-pionera-de-la-generacion-electrica-junio-2008.pdf>

Jurado, J. (2012). *Análisis de las empresas de energía eléctrica tras la aplicación del Mandato 15*. Disertación previa a la obtención del título de Economista, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía, Quito, Ecuador.

López, M. (2018). *Análisis de la viabilidad de la implantación de microrredes en España. Consideraciones técnicas, regulatorias y económicas*. Proyecto de titulación, Universidad Pontificia de Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Madrid. Recuperado el 10 de marzo de 2020, de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/22737/TFG-%20Lopez-Tafall%20Criado%2C%20Monica.pdf?sequence>

Macías, J., Valarezo, L., & Loor, G. (2018). Los Diferentes Costos que Tiene la Energía Eléctrica en el Ecuador Considerando los Cambios de la Estructura Actual. *Revista RIEMAT*, 3(2).

Martínez, V., Rodríguez, M., Bravo, J., Vázquez, A., & Valencia, J. (2019). Implementación de un Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible, en la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador). *Espacios*, 40(39), 26. Recuperado el 4 de febrero de 2020, de <https://www.revistaespacios.com/a19v40n39/a19v40n39p26.pdf>

Medina, R. (2014). Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 12, 15-23. doi:DOI: 10.17163.ings.n12.2014.02

MEER. (2016). *Plan Maestro de Electricidad*. Plan Institucional Nacional, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Quito. Recuperado el 15 de enero de 2020, de <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/images/PME%202016-2025.pdf>

Piloso, A. (2017). *Diagnóstico y análisis de generación de energías renovables no convencionales en el sistema eléctrico del Ecuador*. Trabajo de titulación, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Eléctrica, Manta, Manabí, Ecuador. Recuperado el 21 de febrero de 2020, de <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/636/1/ULEAM-IEL-0002.pdf>

PVsyst V 6.8.6. (2019). Herramienta para el diseño y simulaciones técnicas en sistemas. Recuperado el 7 de febrero de 2020, de <https://www.pvsyst.com/>

Redera, K; Stappela, M; Hofmannb, C; Försterc, H; Emelec, L; Hülkb, L; M, Glauerd. (2020). Identification of user requirements for an energy scenario database. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, Vol. 25 2020, 95-108. Recuperado el 25 de marzo de 2020, de <http://doi.org/10.5278/ijsepm.3327>

Rodríguez, M., Vazquez, A., Martínez, V., & Bravo, J. (2019). The Geoportal as Strategy for Sustainable Development. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(1), 10~21. doi:<https://doi.org/10.29332/ijpse.v3n1.239>

Rodríguez, M., Vázquez, A., Martínez, V., & Bravo, J. (2019). The Geoportal as Strategy for Sustainable Development. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(1), 10-21. doi:<https://doi.org/10.29332/ijpse.v3n1.239>

Rodríguez, M., Vázquez, A., Saltos, W., & Guardarrama, J. (2017). El potencial solar y la generación distribuida en la provincia de Manabí en el Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología (REIMAT)*, 2(2), 41-45.

Rodríguez, M., Vázquez, A., Veléz, M., & Saltos, V. (2018). Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas. *Revista Científica*, 33(3), 265-274. doi:Doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.13104>

Rodríguez, M; Vázquez, A. (2018). *Capítulo V. Estudio de factibilidad energética, técnico-económica y ambiental* (Vol. 1). Portoviejo, Manabí, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Recuperado el 25 de enero de 2020, de ediciones@utm.edu.ec

Rodríguez, M; Vazquez, A. (2018). *La energía fotovoltaica en la provincia de Manabí* (Vol. 1). Portoviejo, Manabí, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Recuperado el 9 de febrero de 2020, de https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/index.php/component/content/article?id=713:la-energia-fotovoltaica-en-la-provincia-de-manabi

Rodríguez, M; Vázquez, A. (2018). *La Energía Solar en la provincia de Manabí*. Portoviejo, Manabí, Ecuador: ediciones@utm.edu.ec. Recuperado el 5 de marzo de 2020, de https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/index.php/component/content/article?id=713:la-energia-fotovoltaica-en-la-provincia-de-manabi

Rosillo, N., Intriago, M., & Bravo, G. (2019). Resiliencia después del movimiento telúrico en Ecuador (2016). Políticas económicas para la sostenibilidad empresarial. *Economía y Desarrollo*, 162(2). Recuperado el 20 de marzo de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842019000200007&lng=es&tling=es.

Salazar, J. (2017). Microrredes en universidades colombianas. *VICIUREE. Congresos de eEficiencia y gestión energética*, (pág. 12). Universidad industrial de Santander: (UIS).

Saltos, W., Rodríguez, M., Vázquez, A., Loor, G., & Cuenca, L. (2017). The Future of Micro-Grids in Ecuador. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 1(3), 1-8. Recuperado el 12 de febrero de 2020, de <https://sciencescholar.us/journal/index.php/ijpse/article/view/53/82>

Sánchez, J. (2015). *El Sector Energético del Ecuador y la Diversificación de la Matriz Energética: El Caso de Manta*. México, Durango, México: Editorial de la Universidad Juárez del estado de Durango.

Sarmiento, A., Rodríguez, M., Castillo, O., & Vázquez, A. (2014). Sistemas Integrados de energías con fuentes renovables. *Ingeniería Energética*, XXXV(1), 71-78.

UTM. (2018). Una geoweb para el desarrollo sostenible. *Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible (SIGDES) de la Universidad Técnica de Manabí*. (M. R. Gámez, Ed.) Portoviejo, Manabí, Ecuador. Recuperado el 2 de marzo de 2020, de <http://geoportal.utm.edu.ec/>

Vázquez, A., & Castillo, W. (2015). La energía solar en la provincia de Manabí y el déficit de un Marco Regulatorio adecuado. En M. d. (MEER) (Ed.), *XXX Seminario Nacional del Sector Eléctrico Riobamba 2015*. Rio Bamba, Ecuador.

Vazquez, A., Rodríguez, M., Saltos, W., Rodríguez, C., & Cuenca, L. (2018). Rendimiento energético, económico y ambiental de una Central Fotovoltaica de 3,4 KWp en el modo de la generación distribuida (GD). *Revista Espacios*, 39(47), 34. Recuperado el 5 de febrero de 2020, de <http://www.revistaespacios.com/a18v39n47/a18v39n47p34.pdf>

Velazquez, R., Sarmiento, H., Silva, J., Vidrio, G., & Nieva, R. (julio-septiembre de 2010). Introducción al concepto de micro redes. *Tendencias tecnológicas*. Recuperado el 21 de enero de 2020, de <https://www.ineel.mx/boletin032010/tenden.pdf>

WEO. (2017). *Un mundo en transformación. Cambios globales en el sistema energético*. Informe emblemático, World Energy Outlook, IEA. Recuperado el 9 de febrero de 2020, de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/406/PRIMERA%20NOTA.pdf>

WEO. (2018). *Perspectivas energéticas mundiales*. Agencia Internacional de Energía (IEA), World Energy Outlook. OECDilibrary. Recuperado el 3 de marzo de 2020, de https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2018_weo-2018-en

WEO. (2019). *El World Energy Outlook 2019, de la IEA, aborda las disparidades del sistema energético global*. Agencia Internacional de Energía, World Energy Outlook. EnergyNews. Recuperado el 4 de marzo de 2020, de <https://www.energynews.es/el-world-energy-outlook-2019-de-la-iea-aborda-las-disparidades-del-sistema-energetico-global/>

A

Arco submerso 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 71

C

Chapas finas 59, 61

Comparação 5, 23, 47, 91, 98

Comparação de desempenho 91

Compensação reativa série 1, 3, 11, 13

Construção civil 101, 102, 103, 104, 105, 109, 110

Controle Adaptativo por Modelo de Referência (CAMR) 49, 91, 93, 100

Controle por modo deslizante 14, 16, 23

Conversor CC-CC buck 14, 16, 17

Curto circuito 1, 12, 13

D

Demanda energética 26

Desarrollo local 26

Destinação 101, 102, 103, 107, 108

Distorções harmônicas 72, 73, 75, 76, 81, 82

E

Energía fotovoltaica 26, 29, 41, 42, 45

G

Generación distribuida 26, 30, 39, 40, 42, 43, 45, 46

GeoGebra 87, 88, 89, 90

Geração 12, 73, 77, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 109

Gerenciamento 75, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110

I

Impactos ambientais 101, 102

Interpretación 87, 89

M

Método do Gradiente (MG) 47, 49, 50, 91, 96

Método dos Mínimos Quadrados Recursivo (MMQR) 47, 49, 51, 91, 97

MG 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 91, 92, 96, 97, 98, 99

MMQR 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 91, 92, 97, 98, 99

P

Partícula magnética 59, 62, 63, 68, 69, 70

Planejamento 1, 13, 107, 108, 109

Potência de 1, 11, 79

Q

Qualidade da solda 59, 60, 61, 62

Qualidade de energia 1, 72, 73, 75, 77, 84

R

Resíduos 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110

Ressonância subsíncrona 1, 3, 7, 11

Resultados simulados 47, 48

Retrofit de iluminação 72, 73, 80

S

Secciones cónicas 87, 88, 89

Sistema não linear 14

Sostenibilidad 26, 27, 28, 45

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 