





MEMORIAS
I CONGRESO
INTERNACIONAL
de **energías** renovables y
eficiencia energética 2019

Créditos

Rector

Francisco Salgado Arteaga

Vicerrectora Académica

Martha Cobos Cali

Vicerrector de Investigaciones

Jacinto Guillén García

Decano Facultad de Ciencia y Tecnología

Andrés López Hidalgo

Subdecano Facultad de Ciencia y Tecnología

Pedro Crespo Vintimilla

Comité Científico

Andrés López Hidalgo
Pedro Crespo Vintimilla
Antonio Barragán Escandón
Damián Encalada Ávila
Juan Leonardo Espinoza
Marcelo Neira Moscoso
Tsai García Pérez
Luis González Morales
José Jara Alvear
Andrés Montero-Izquierdo
Manuel Raúl Peláez Samaniego
Francisco Vásquez
Esteban Zalamea
Pablo Arias Reyes
John Calle Sigüencia
Manuel García Renté

Compiladores

Andrés López Hidalgo
Pedro Crespo Vintimilla
Damián Encalada Ávila
Tsai García Pérez
Andrea Muñoz Vélez
Verónica Guillén Cordero

Organización

Andrés López Hidalgo
Tsai García Pérez
Damián Encalada Ávila

Directora de Comunicación y Publicaciones

Toa Tripaldi Proaño

Corrección de Estilo

Verónica Neira Ruiz

Diagramación y Diseño de Portada

Santiago Neira Ruiz
Departamento de Comunicación y Publicaciones

ISBN: 978-9942-822-49-9

e-ISBN: 978-9942-822-50-5

Impresión

Imprenta Digital - Universidad del Azuay

Cuenca - Ecuador

Febrero 2020

Tabla de contenido

Autoridades	7
Presentación	9
Cronograma	11
Control Predictivo en Microrredes	15
La energía renovable como herramienta para la aplicación exitosa de los mecanismos de desarrollo sustentable y mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.....	16
Valorización energética de la biomasa residual de jardines: contribuciones hacia la sostenibilidad.....	17
Tecnología de Energías Renovables y Eficiencia Energética vs. Distorsión de Subsidios energéticos mal enfocados	18
Plantas fotovoltaicas de gran tamaño: Evolución tecnológica y nuevos parámetros de diseño	19
Potencial energético de la biomasa residual de palma de aceite en Colombia.....	20
Reflexiones de 30 años de trabajo orientado a mejorar la habitabilidad y eficiencia energética en edificios en Chile.....	21
Generación distribuida mediante cogeneración	22
Pérdidas de energía de un parque eólico: Caso Villonaco	23
Cuenca Ciudad Energética: Estrategia local y proyecto fotovoltaico La Libertad	24
El reto de la integración de las energías renovables y la movilidad eléctrica: experiencias de la Universidad de Cuenca	25
Modelo Integrado de Planificación Energética y Usos del Suelo de Ecuador (ELENA Model)	26
Energía Solar Térmica para Obtener Agua Caliente Sanitaria, una alternativa para la disminución de la Contaminación Ambiental. Análisis para el Cantón Cuenca - Ecuador	27
Tecnologías Energéticas Alternativas con Fuentes Renovables Orientadas al Desarrollo de la Industria y la Comunidad	28
Desarrollo de materiales compuestos naturales renovables para la reducción de peso y consumo de combustible en vehículos.....	29
Experiencia en la rehabilitación de la Minicentral Gualaceo, conectada como generación distribuida.....	30
Análisis Energético del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca - ELECAUSTRO S.A.	31
Microgeneración solar fotovoltaica: mejores prácticas y experiencias a nivel local e internacional.....	32
Algoritmo de coaliciones para reducción de pérdidas en redes eléctricas inteligentes (Teoría de juegos)	33
Reducción de consumo energético en laboratorios por economía circular	34

Desarrollo de un colector de concentración solar de Fresnel para calor de procesos en Ecuador.....	35
Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador	36
Energías Renovables en la ciudad de Cuenca, Ecuador: selección e impacto	37
La energía solar y su aplicación en los procesos industriales	38
Producción de energía eléctrica a partir del efecto simbiótico electroquímico de agua y anilina vegetal.....	39
Indicadores de Eficiencia Energética para Viviendas en la Ciudad de Cuenca	40
Eficiencia energética y emisiones ambientales en hornos de ladrilleras artesanales del cantón Cuenca.....	41
Evaluación de dos procesos de clasificación de cielos estándar ISO 15469 CIE S 011/2003 usando datos de distribución de luminancia obtenidos a través de imágenes HDR	42
Diseño de pre-factibilidad de una planta fotovoltaica flotante en el embalse Mazar	43
Arquitectura respetuosa con el medio y sensible a las emociones humanas y su confort	44
Análisis comparativo de consumo de energía entre propulsión eléctrica y motor de combustión de un vehículo que circula por una ruta específica.....	45
Factores clave para introducir la eficiencia energética en la gestión de la producción	46
Análisis de la eficiencia de sistemas de almacenamiento de energía.....	47
Electrificación Rural en la Amazonía, Proyecto Yantza Ietzari.....	48
Energías renovables: Una alternativa para la complementariedad energética en el Ecuador	49
Smart UniverCity un enfoque energético del futuro	50
La labor universitaria como garantía del desarrollo sostenible: experiencias prácticas.....	51

Artículo 1

Desarrollo de un colector de concentración solar de Fresnel para calor de procesos en Ecuador.....	59
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Artículo 2

Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador	73
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Artículo 3

Eficiencia energética y emisiones ambientales en hornos de
ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca..... 89

Artículo 4

Análisis de la Eficiencia de Sistemas de Almacenamiento de
Energía Electroquímicos 108

Artículo 5

Análisis Comparativo de Consumo de Energía entre Propulsión
Eléctrica y Motor de Combustión de un Vehículo que Circula
por una Ruta Específica..... 121

PRESENTACIÓN

La generación y uso de la energía es fundamental en toda sociedad para poder alcanzar un desarrollo óptimo. Existe una relación directa entre el desarrollo de una nación y la generación de energía. Toda sociedad debe pretender llegar a una independencia económica e intelectual, parte de la primera consiste en poder generar su propia energía.

La tendencia mundial es reemplazar principalmente las energías convencionales por energías renovables, esto se debe a que la fuente primaria de energía proviene de recursos naturales renovables como: el viento, el agua y el sol. Al usar esta energía en reemplazo de la convencional se disminuyen los contaminantes ambientales. Por lo tanto, se debe buscar la mejor manera de promover el uso y generación de este tipo de energía, se deben crear incentivos económicos para el desarrollo y construcción de tecnología para producción de energía limpia y mejorar los precios de pago a la generación de energía que usa fuentes renovables.

Resulta indispensable impulsar espacios de diálogo y de transmisión de conocimientos técnicos y científicos sobre el ámbito de la energía y de manera especial sobre las energías renovables. Con todos estos esfuerzos debemos mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales renovables que en nuestro país existen y plantearnos un objetivo común como Ecuador: diseñar y construir nuestra propia tecnología, de esta manera, llegar a cerrar el círculo productivo/económico de la energía. Para todo esto, se debe trabajar de manera cercana y en unión, entre las universidades y las empresas públicas y privadas.

En la actualidad, existen tecnologías que permiten comunicarse, de una manera efectiva, desde diferentes lugares del mundo y en cualquier momento gracias al internet. Sin embargo, se deben mantener intercambios de conocimientos científicos y culturales, con un contacto directo entre personas para mejorar las relaciones humanas, siendo una de las estrategias más usadas durante mucho tiempo, los eventos académicos como los congresos. El “I Congreso Internacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética” es un ejemplo de unión de varias instituciones con la finalidad de compartir experiencias y conocimientos. Son organizadores instituciones de educación superior como: Universidad del Azuay (sede del congreso), Universidad de Cuenca y Universidad Politécnica Salesiana; e instituciones auspiciantes como: Asociación Ecuatoriana de Energías Renovables y Eficiencia Energética, Graiman, Elecaastro, Centrosur, Intienergías, 25 años Futuro Latinoamericano, Renova Energía, Cedia y Cieela.

La Universidad del Azuay convencida del uso de energías limpias participa como coorganizadora y como sede de este congreso. Además, ha realizado la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta de la renovada biblioteca Hernán Malo con una potencia de 69kW que permite que este espacio sea autosustentable.

Siempre que se habla de energía, se debe tener presente la primera ley de la termodinámica (si obtenemos trabajo de un sistema y se da un intercambio de calor, tenemos como resultado un cambio de energía en este sistema) podemos decir que: si participamos con trabajo científico y académico en este congreso y suponemos que estamos en un sistema adiabático, deberíamos aumentar en la misma magnitud, de este trabajo, nuestros conocimientos.

Al finalizar este congreso internacional, quedarán establecidos nuevos lazos y redes de personas, que mediante un intercambio de conocimientos y experiencias, permitan contribuir al desarrollo de una sociedad más justa y con mejor calidad de vida.

Andrés López Hidalgo

Decano de la facultad de ciencia y tecnología

PROGRAMA DE CONGRESO

CRONOGRAMA I CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES

JUEVES 6 DE NOVIEMBRE			
LUGAR: AUDITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
INICIO	FIN	TEMA	PRESENTACIÓN
14h00	14h30	Registro de participantes	
14h30	15h00	Inauguración	
15h00	15h50	Control predictivo en microrredes	Dr. Carlos Bordons
15h50	16h40	La energía renovable como herramienta para la aplicación exitosa de los mecanismos de desarrollo sustentable y mejora de la calidad de vida de los ciudadanos	Msc. Antonio Borrero
16h40	17h30	Tecnología de energías renovables y eficiencia energética vs. distorsión de subsidios energéticos mal enfocados	Ing. Eduardo Rosero
17h30	18h20	Potencial energético de la biomasa residual de palma de aceite en Colombia	Dr. Jesús García Núñez
18h20	19h10	Reflexiones de 30 años de trabajo orientado a mejorar la habitabilidad y eficiencia energética en edificios en Chile	Dr. Adelqui Fissore Schiapacasse
19h10	20h00	Generación distribuida mediante cogeneración	Dr. Manuel Raúl Peláez Samaniego

VIERNES 7 DE NOVIEMBRE			
LUGAR: AUDITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
14h00	14h30	Registro de participantes	
14h30	15h20	Plantas fotovoltaicas de gran tamaño: evolución tecnológica y nuevos parámetros de diseño	Msc. Pablo Alonso Aguilar
15h20	16h10	Microgeneración solar fotovoltaica: mejores prácticas y experiencias a nivel local e internacional	Msc. Juan José Del Valle
16h10	17h00	Tecnologías ecológicamente racionales en energía para América Latina y el Caribe	Msc. Renato Oña
17h00	17h50	Tecnologías energéticas alternativas con fuentes renovables orientadas al desarrollo de la industria y la comunidad	Dr. José Guasumba
17h50	18h40	Desarrollo de un colector de concentración solar de fresnel para calor de procesos en Ecuador. Modelo integrado de planificación energética y usos del suelo de Ecuador (Elena Model)	Dr. Rafael Soria
18h40	19h30	Valorización energética de la biomasa residual de jardines: contribuciones hacia la sostenibilidad	Dr. Juan Fernando Pérez Bayer
19h30	20h30	Diseño de pre factibilidad de una planta fotovoltaica flotante en el embalse Mazar	Ing. Diego Suárez / Ing. Verónica Polo



SÁBADO 8 DE NOVIEMBRE			
LUGAR: AUDITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
14h30	15h00	Registro de participantes	
15h00	15h30	El reto de la integración de las energías renovables y la movilidad eléctrica: experiencias de la Universidad de Cuenca	Dr. Luis González y Dr. Juan Leonardo Espinoza
15h30	16h00	Pérdidas de energía de un parque eólico: caso Villonaco	Msc. Enith Carrión
16h00	16h30	Experiencia en la rehabilitación de la Minicentral Gualaceo, conectada como generación distribuida.	Ing. Carlos Durán Noritz / Ing. Marcelo Gómez Coello Salinas
16h30	17h00	Electrificación rural en la amazonia, proyecto Yantza letzari	Msc. Francisco Vásquez
17h00	17h30	Energía solar en edificaciones andinas como alternativa fundamental para alcanzar estándares netzero, plus energy y power energy	Dr. Esteban Zalamea
17h30	18h00	La labor universitaria como garantía del desarrollo sostenible. Experiencias prácticas	Dra. María Rodríguez Gámez
18h00	18h30	Arquitectura respetuosa con el medio y sensible a las emociones humanas y su confort	Msc. Alfredo Ordoñez

SÁBADO 8 DE NOVIEMBRE			
LUGAR: AUDITORIO DE ADMINISTRACIÓN			
14h30	15h00	Registro de participantes	
15h00	15h30	Energía solar térmica para obtener agua caliente sanitaria, una alternativa para la disminución de la contaminación ambiental. Análisis para el cantón Cuenca – Ecuador	Dr. John Calle
15h30	16h00	Cuenca ciudad energética: estrategia local y proyecto fotovoltaico La Libertad	Msc. Juan Diego Villacis
16h00	16h30	Factores clave para introducir la eficiencia energética en la gestión de la producción	Ing. Fernando Salinas
16h30	17h00	Energías renovables en la ciudad de Cuenca, Ecuador: selección e impacto	Dr. Antonio Barragán
17h00	17h30	Producción de energía eléctrica a partir del efecto simbiótico electroquímico de agua y anilina vegetal	Msc. José Luis Intriago Fray / Msc. Jaime Arturo García Ochoa
17h30	18h00	Indicadores de eficiencia energética para viviendas en la ciudad de Cuenca	Msc. Vanessa Guillén
18h00	18h30	Reducción de consumo energético en laboratorios por economía circular	Dr. Efrén Fernández Palomeque
18h30	19h00	Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador	Ing. Santiago González Pozo
19h00	19h30	Evaluación de dos procesos de clasificación de cielos estándar iso 15469 cie s 011/2003 usando datos de distribución de luminancia obtenidos a través de imágenes hdr	Ing. Msc. Fernando Ramírez Cabrera / Pdr. José Luis Torres

SÁBADO 8 DE NOVIEMBRE			
LUGAR: AUDITORIO DE POSGRADOS			
14h30	15h00	Registro de participantes	
15h00	15h30	Desarrollo de materiales compuestos naturales renovables para la reducción de peso y consumo de combustible en vehículos	Dr. Jorge Fajardo
15h30	16h00	Energías renovables: una alternativa para la complementariedad energética en el Ecuador	Dr. José Jara
16h00	16h30	Smart univercity un enfoque energético del futuro	Dr. Diego Xavier Morales
16h30	17h00	Análisis comparativo de consumo de energía entre propulsión eléctrica y motor de combustión de un vehículo que circula por una ruta específica	Ing. Francisco Torres
17h00	17h30	Análisis de la eficiencia de sistemas de almacenamiento de energía electroquímicos	Ing. Eddy Bravo Padilla
17h30	18h00	La energía solar y su aplicación en los procesos industriales	Dr. Andrés Montero
18h00	18h30	Análisis energético del proyecto eólico minas de Huascachaca – Elecaastro S.A	Ing. Héctor Sumba
18h30	19h00	Eficiencia energética y emisiones ambientales en hornos de ladrilleras artesanales del cantón Cuenca	Ing. Adrián F. Cabrera Z
19h00	19h30	Algoritmo de coaliciones para reducción de pérdidas en redes eléctricas inteligentes (teoría de juegos)	Ing. Msc. Pablo Arias/ Ing. Javier Cabrera

RESUMEN DE LAS PONENCIAS

Control Predictivo en Microrredes

Carlos Bordons

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, España

bordons@us.es

Resumen: En la actualidad se está produciendo una transición desde el sistema energético basado en combustibles fósiles a un nuevo sistema con implantación de energías renovables y sistemas eléctricos de transporte, lo que hace necesario el desarrollo de nuevas técnicas que permitan gestionar los aspectos relacionados tanto con la naturaleza estocástica y distribuida de la generación como con los nuevos perfiles de consumo. Las microrredes pueden jugar un papel muy importante en esta transición, por lo que están recibiendo gran interés en la actualidad. El control de microrredes, que son sistemas energéticos de pequeña escala formados por un conjunto de cargas, sistemas de generación (principalmente basados en energías renovables) y unidades de almacenamiento, presenta nuevos retos que deben ser abordados con avanzadas técnicas de control. Esta presentación trata los principales problemas de control que aparecen en las microrredes y propone soluciones basadas en Control Predictivo (Model Predictive Control, MPC). Se trata especialmente el diseño del sistema de gestión de energía (Energy Management System, EMS) dentro de una estructura de control jerárquica.

En esta presentación se abordan temas relacionados con una operación segura de la microrred, incluyendo los aspectos económicos, tales como los precios de la energía eléctrica y la degradación de los sistemas de almacenamiento, y la participación de microrredes en el mercado eléctrico. El uso de MPC, con distintos tipos de modelos y de funciones objetivo, permite aportar soluciones en los diversos niveles de control de la microrred, desde el control de los convertidores electrónicos de potencia a la interconexión de microrredes, minimizando el coste de la operación. A lo largo de la presentación se muestra cómo se pueden adaptar diversas técnicas usadas en MPC (como modelos híbridos, inclusión de perturbaciones, métodos distribuidos, etc.) para resolver los principales problemas. Se incluyen simulaciones y resultados experimentales en una microrred de laboratorio.

Palabras clave: control predictivo basado en modelo, energías renovables, gestión de energía, microrredes, optimización.

La energía renovable como herramienta para la aplicación exitosa de los mecanismos de desarrollo sustentable y mejora de la calidad de vida de los ciudadanos

Antonio Borrero Vega

ELECAUSTRO S.A.

antonio.borrero@elecaustro.gob.ec

Resumen: La generación de energía eléctrica puede ser entendida además del proceso de conversión de energía potencial y cinética en energía eléctrica en una actividad productiva que se circunscribe en un territorio con una realidad social y ambiental específica y que debe favorecer al desarrollo económico y productivo de la población. La política energética del Gobierno Nacional promueve el desarrollo de proyectos estratégicos generando desarrollo integral en la zona de implantación en el horizonte de los objetivos del desarrollo sostenible.

En este sentido, los mecanismos de desarrollo sustentable, de manera particular para el sector eléctrico, son un concepto asociado a la inversión que se genera desde los proyectos estratégicos de generación y transmisión eléctrica, y que contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades que se asientan en las áreas de influencia.

Estas inversiones son realizadas en el entendido de que los proyectos de generación y transmisión eléctrica tienen una vida útil prolongada, contexto en el cual el sector eléctrico pasa a ser un actor más de la localidad que se permite mirar la manera de aportar al desarrollo de las comunidades aledañas, como un instrumento además de generar sostenibilidad a los proyectos, centrales e infraestructura.

Para ELECAUSTRO ha sido fundamental para el posicionamiento de la empresa la ejecución del programa de Desarrollo Territorial implementado en las áreas de influencia de sus centrales de generación con cinco componentes de acción: dotación de infraestructura sanitaria, educativa, vial y de servicios básicos; protección del recurso hídrico y entorno ecológico, capacitación y fortalecimiento organizacional, alternativas productivas sostenibles y gestión de riego.

Valorización energética de la biomasa residual de jardines: contribuciones hacia la sostenibilidad

William González, Juan F. Pérez

Departamento de Ingeniería mecánica, Grupo de Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL), Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia; Calle 67 No. 53-108, Medellín, Colombia.

juanpb@udea.edu.co

Resumen: El campus central de la Universidad de Antioquia (Medellín - Colombia) posee una extensión de ~24 hectáreas, de las cuales el 34% son jardines con ~2280 árboles plantados. Los árboles de ciudad universitaria producen en promedio ~2.8 t/mes de hojarasca seca. Este residuo se usa como materia prima en la universidad para producir compost, el cual se utiliza como fertilizante en los jardines del campus. Con el fin de contribuir a la sostenibilidad del campus universitario desde el manejo de residuos, en este trabajo se evalúa la viabilidad técnica de valorizar la hojarasca para generación de energía mediante gasificación en lecho fijo a escala de laboratorio. Para tal fin, la hojarasca se densificó caracterizando sus propiedades como biocombustible sólido, y se gasificó evaluando las características de los dos productos principales, el gas de gasificación y el biochar. Se concluye que los pellets de hojarasca son adecuados para la conversión termoquímica, alcanzando un poder calorífico entre 13.50 y 14.02 MJ/kg, y una durabilidad en torno al 97%. Mediante la gasificación de la hojarasca peletizada en lecho fijo se alcanzó un poder calorífico del gas 3.2 MJ/Nm³, y eficiencias del proceso en frío y exergética del 60.4% y 55.8% respectivamente, con una relación equivalente combustible-aire de 2.2. El rendimiento másico del gas fue del 90.15 wt%, y del 9.5 wt% para el biocarbón. El biocarbón producido bajo regímenes de gasificación alcanzó un carbón orgánico total de 16.65 %, capacidad de intercambio catiónico en torno a 20 meq/100 g, y pH 9.23.

Palabras clave: Biocarbón, campus universitario sostenible, densificación, gasificación, hojarasca, residuos a energía.

Tecnología de Energías Renovables y Eficiencia Energética vs. Distorsión de Subsidios energéticos mal enfocados

AEEREE

(Asociación Ecuatoriana de Energías Renovables y Eficiencia Energética, www.aeeree.org)

eduardo.rosoero@aeeree.org

Resumen: El Ecuador es un país con un alto potencial de recursos renovables aprovechables tanto para la generación de electricidad así como para diversos procesos energéticos que entre otros requieren la producción de calor. El rápido desarrollo de la tecnología y su popularización está permitiendo a nivel mundial que los procesos industriales y el abastecimiento energético residencial puedan ser cubiertos con fuentes renovables. Por otro lado desde hace décadas el país ha mantenido una política de subsidios que perjudica y sigue desfavoreciendo completamente la incorporación de renovables y eficiencia energética a procesos productivos. El cambio climático, la sostenibilidad, la presión a nivel mundial sobre la contaminación y la reducción de GEI determinan un cambio de visión en la política energética más aún cuando los beneficios económicos por la incorporación de renovables en la matriz energética se vuelven inminentes. Estudios recientes y proyectos piloto desde hace más de una década demuestran la factibilidad técnica y económica de la energía renovable no convencional y que la política de subsidios mal enfocados sigue causando un enorme peso fiscal. Esta distorsión financiera hace muy difícil la incorporación de medidas coherentes y se requiere que la **Transición Energética Sostenible del Ecuador** rompa con estos paradigmas y posicione al país nuevamente como pionero a nivel regional en el liderazgo de política energética coherente. La concientización y democratización energética serán las herramientas principales y mejores aliadas para apoyar la lucha contra el cambio climático y el fortalecimiento de la sostenibilidad energética.

Palabras clave: Ecuador, energía renovable, eficiencia energética, distorsión, subsidios, política energética, transición energética sostenible, democratización energética, empoderamiento ciudadano.

Plantas fotovoltaicas de gran tamaño: Evolución tecnológica y nuevos parámetros de diseño

Pablo Alonso Aguilar, CEO Irradia Energía

Ingeniero Industrial por la Universidad de Sevilla y master en Energías Renovables por la Universidad Internacional de Andalucía

palonso@irradiaenergia.com

Resumen: La tecnología de generación fotovoltaica ha tenido un desarrollo exponencial en los últimos años. Tanto es así que se ha convertido en una de las tecnologías disruptivas llamadas a cambiar el modelo energético de la mayoría de países. En esta presentación se hará un breve resumen de la evolución histórica del desarrollo tecnológico de los últimos años hasta llegar al estado del arte de la fotovoltaica. Nos centramos en las grandes plantas de generación llamadas a sustituir gran parte de la generación de combustibles fósiles. Se plantean los nuevos paradigmas y criterios en el diseño de estas. En primer lugar, se analiza el generador fotovoltaico: rendimientos, tecnologías contrastadas, criterios para selección de módulos, tensiones de trabajo, etc. Sistemas de seguimiento vs. estructura fija, alternativas y tecnologías más fiables y eficientes económicamente. Inversores o convertidores de potencia, tamaño y modularidad, particularidades a tener en cuenta en función del emplazamiento y calidad de las redes de evacuación. Sistemas de almacenamiento, bus en continua vs. bus en alterna y sus requisitos técnicos en función del grado de penetración de la fotovoltaica en la red de evacuación. El objetivo de la presentación será exponer el estado del arte de la fotovoltaica comercial en el mundo.

Palabras clave: generación, electricidad, energía, fotovoltaica, generación, ingeniería, solar.

Potencial energético de la biomasa residual de palma de aceite en Colombia

Jesús Alberto García Núñez ^{a*}, Juan Camilo Barrera Hernandez, ^a,
David Arturo Munar Florez

^aPrograma de procesamiento, Corporación centro de investigación de palma de aceite, Colombia

* jgarcia@cenipalma.org

Resumen: La palma de aceite es el cultivo oleaginoso de mayor rendimiento de aceite por hectárea, y a su vez es un gran productor de biomasa residual siendo el 41% del peso en base seca de los racimos de fruta fresca (RFF) que ingresan al beneficio. Colombia al ser el cuarto productor mundial de palma de aceite posiciona la biomasa residual como una gran fuente potencial de energía renovable. Entre el 18 y 24% del peso total de los racimos de fruto fresco corresponde al aceite crudo; entre el 4% y 6% son almendras. El resto de la biomasa sólida es tusa (20-23%), fibra (11 - 14%) y el cuesco (5 - 7%) en base húmeda. Las características termoquímicas de la biomasa de palma de aceite la favorecen para ser transformada y aprovechada por diferentes rutas de conversión energética. El requerimiento eléctrico en plantas de beneficio es de 18 kWh t RFF⁻¹ y una demanda térmica de 1350 MJ t RFF⁻¹. La biomasa sólida tiene un potencial de 3600 MJ t RFF⁻¹ mientras que la biomasa residual líquida (efluentes) puede aportar otros 600 MJ t RFF⁻¹ a través de sistemas de digestión y captura de metano. Se estima un potencial energético para Colombia de 270 MW, el escenario descrito sugiere que usando tecnologías eficientes es posible generar nuevos modelos de negocio a través del desarrollo de biorefinerías. Las biorefinerías además de proveer productos energéticos promueven la disminución de emisión de gases de efecto invernadero, logrando reducciones de hasta el 200% de las generadas por una planta de beneficio.

Palabras clave: biomasa, biorefinería, energía renovable, gases de efecto invernadero, palma de aceite.

Reflexiones de 30 años de trabajo orientado a mejorar la habitabilidad y eficiencia energética en edificios en Chile

Adelqui Fissore Schiappacasse

Departamento de Ingeniería Mecánica – Facultad de Ingeniería

Universidad de Concepción – Chile

afissore@udec.cl

Resumen: La exposición se basa en una descripción y reflexión de las actividades realizadas durante 30 años en la habitabilidad y eficiencia energética en los edificios chilenos, desde sus impulsos iniciales con muy poco apoyo de la comunidad hasta la actualidad donde trata de contener y organizar las acciones en este tema para conseguir el mayor impacto posible. Se describe en forma general las actividades realizadas, tendientes a conocer la realidad en terreno que permite definir con propiedad las condiciones de borde del problema y poder diseñar y recomendar las acciones a seguir en políticas públicas. En este sentido, se presentan los resultados de diferentes actividades en más de 6000 viviendas a nivel nacional. También se describen y comentan los estudios técnicos e investigaciones que permiten la generación de los requerimientos térmicos incorporados en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y el sistema de Calificación energética de Chile, que son dos pilares relevantes que masifican esta nueva forma de construir. El desafío para los próximos años es incorporar en el diseño térmico eficiente de viviendas y edificios, los nuevos requerimientos que impone la sociedad, como por ejemplo la tendencia de los jóvenes a vivir solos; y los requerimientos que impone para la población de la tercera edad. Se entiende como un todo a través de las nuevas condiciones de borde que implica el cambio climático y los grandes avances y disponibilidad de nueva tecnología. Este panorama, aún no ha sido considerado en forma sistemática en el diseño, que representa una amenaza o una oportunidad en el caso de que nos ocupemos correctamente de ello.

Palabras clave: Energía, habitabilidad, sustentabilidad, normativa.

Generación distribuida mediante cogeneración

Manuel Raúl Peláez Samaniego

Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción/Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec

Resumen: El término generación distribuida se refiere a un conjunto de tecnologías para la generación de electricidad en el sitio o cerca del sitio de consumo, lo que puede beneficiar en una menor dependencia de las redes eléctricas, reducir el costo de generación, usar recursos energéticos disponibles en el lugar, mejorar la calidad de la energía, o abastecer de electricidad a lugares aislados. Entre las opciones existentes para efectuar generación distribuida se pueden mencionar la energía solar, eólica, o la cogeneración, entre otras. En el Ecuador, el Plan Nacional de Eficiencia Energética incluye a la cogeneración como uno de los tres métodos más importantes para incrementar eficiencia energética en el país, debido a la posibilidad de adoptar esta tecnología en el sector industrial sin efectuar modificaciones importantes ni costosas y aprovechando recursos combustibles propios. El objetivo de esta presentación es mostrar algunos aspectos relacionados con la posibilidad de adoptar cogeneración en el sector industrial del Ecuador y los resultados de un estudio efectuado para determinar el potencial de cogeneración correspondiente, así como las condiciones de su posible viabilidad. La presentación se basa en un estudio efectuado en el sector industrial a nivel nacional por un grupo de trabajo liderado por la Universidad de Cuenca, con el auspicio de CELEC EP y el anterior MEER. Los resultados del estudio han mostrado que el potencial de cogeneración en el Ecuador es de alrededor de 600 MW, considerando plantas de capacidad de al menos 500 kW cada una y usando diferentes tipos de combustibles.

Palabras clave: cogeneración, generación distribuida, energía térmica, eficiencia energética.

Pérdidas de energía de un parque eólico: Caso Villonaco

Enith Carrión

Dirección de Planificación de la Expansión/Celec Ep/Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables,

enith.carrion@celec.gob.ec

Resumen: No toda la energía producida por los aerogeneradores que componen el parque eólico se inyecta a la red eléctrica. Esto se explica por las pérdidas energéticas que es necesario analizar para poder optimizar el diseño del parque. La energía bruta es producida por todos los aerogeneradores en bornes, presenta un escenario de pérdidas como por efecto estela, pérdidas eléctricas, pérdidas por disponibilidad, histéresis de altos vientos, contaminación de las palas, entre otras.

La verificación de la curva de potencia permite medir las desviaciones de la producción energética estimada y la energía real producida. Son los fabricantes de los aerogeneradores quienes proporcionan la curva de potencia y coeficientes de empuje que serán analizados para medir la producción energética real de un parque.

Contando con los datos de producción real de la Central Eólica Villonaco de la ciudad de Loja, Ecuador, es posible analizar tres años de su producción y calcular su escenario de pérdidas lo que servirá de insumo para mejorar y optimizar su gestión operativa. El escenario de pérdidas energéticas de un parque eólico a nivel mundial que compara la energía bruta y neta (vertida a red) es del orden del 9-13% dependiendo de cada caso, particular que será comparado con la Central Eólica Villonaco.

Palabras clave: aerogeneradores, curva de potencia, energía eólica, energía bruta, energía neta, estela, pérdidas, potencia, producción.

Cuenca Ciudad Energética: Estrategia local y proyecto fotovoltaico La Libertad

Mauricio Villaseñor

EBP (Chile), Fundación Futuro Latinoamericano, Universidad de Cuenca, Asociación Ecuatoriana de Energía Renovable y Eficiencia Energética, Green Energy

mauricio.villasenor@ebpchile.cl

Resumen: Cuenca es la tercera ciudad más poblada del Ecuador y ha mostrado un crecimiento demográfico acelerado en la última década, lo que genera desafíos importantes en materia de abastecimiento energético y acción climática con miras al desarrollo sostenible. En este contexto, EBP (Chile) en alianza con la Fundación Futuro Latinoamericano, la Universidad de Cuenca y la AEEREE ha implementado la metodología denominada “Ciudad Energética” (CE) para Cuenca. Esta se basa en el European Energy Award (eea®), un marco metodológico utilizado actualmente por más de 1,500 municipalidades en todo el mundo. Desde inicios de 2019 se ha involucrado al Municipio de Cuenca en un proceso continuo de planificación, gestión y monitoreo de una política energética. Como punto de partida, se ha diseñado una estrategia energética para Cuenca con acciones en eficiencia energética, energías renovables y movilidad sostenible, involucrando tanto a la administración del municipio y una multitud de socios del sector público, privado, académico y sociedad civil. Además de la estrategia energética, se está implementando un proyecto fotovoltaico de 12 kW en el parque La Libertad que posea una alta visibilidad ciudadana, para así promover la conciencia energética sostenible en Cuenca y el país entero.

Palabras clave: Cuenca, energía renovable, eficiencia energética, estrategia, gestión.

El reto de la integración de las energías renovables y la movilidad eléctrica: experiencias de la Universidad de Cuenca

L.G. Gonzalez, J. L. Espinoza

Departamento Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones,
Universidad de Cuenca

luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Resumen: Hoy en día, las energías renovables tienen un protagonismo importante en las sociedades, si se consideran aspectos ambientales, sociales y principalmente económicos, que han permitido la proliferación de tecnologías de generación de energía limpia en sustitución de las convencionales a partir de combustibles fósiles que, sin embargo, aun dominan ampliamente el mercado energético. Uno de los principales sectores de contaminación ambiental en el mundo es el transporte con casi el 50% del consumo energético a nivel mundial. Desde hace una década aproximadamente se ha venido tomando en cuenta sistemas de movilidad basados en Vehículos Eléctricos (VE), con la finalidad de reducir la huella de carbono y mejorar la eficiencia energética de la transportación. Estos vehículos han mejorado en su autonomía y competitividad de precios gracias al avance de sus sistemas de almacenamiento de energía. Aspectos como la descarbonización del sistema eléctrico de potencia por la inclusión de las fuentes renovables y la descarbonización de la movilidad por la introducción de VE deben estar articulados con la finalidad de multiplicar sus beneficios individuales. En este sentido nuevos desafíos involucran la coordinación de la gran variabilidad del recurso solar y eólico, primordialmente, con el proceso de carga inteligente de los vehículos a tracción eléctrica. Con el aumento de la densidad energética en los sistemas de almacenamiento, tanto estacionarios como de los VE, se agrega un elemento importante al sistema de energía eléctrica. Por un lado, las generadoras y distribuidoras podrán almacenar/gestionar energía renovable para optimizar sus sistemas. Por otro lado, los VE, tienen la opción de trabajar en bidireccionalidad energética conocida como V2G, y prestar soporte para absorber eventualmente las fluctuaciones de las fuentes renovables. Estos aspectos involucran un reto adicional: la comunicación entre los elementos que conformarían el sistema red eléctrica-VE.

Palabras clave: energías renovables, vehículos eléctricos, carga inteligente

Modelo Integrado de Planificación Energética y Usos del Suelo de Ecuador (ELENA Model)

Rafael Soria^{a*}, Pedro Rochedo^b, Daniel Villamar^a, Alexandre Szklo^b, Mariana Imperio^b, Roberto Schaeffer^b

^a Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 17-01-2759 Quito, Ecuador

^b Energy Planning Program, Graduate School of Engineering, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala 211, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

* rafael.soria.energia@gmail.com

Resumen: Ecuador tiene experiencia en planificación energética sectorial de corto y mediano plazo. El sector eléctrico e hidrocarburífero realizan sus planes maestros de expansión, y sus planos de operación. Sin embargo, Ecuador no cuenta con un modelo de planificación energética integrada (PEI) y de largo plazo. Un modelo de estas características permitiría planificar, al mismo tiempo, y de forma holística, a los diferentes subsectores del sector energético (eléctrico, hidrocarburos, biocombustibles, etc.), no solamente pensando en la oferta (expansión de nueva infraestructura), sino también planificando sobre la demanda, en sus diferentes segmentos (residencial, comercial, industrial, transporte, otros). Un modelo de PEI también puede contribuir para entender los *nexus* del sector energético con clima, cambios de los usos del suelo, agricultura, alimentación, salud, agua, etc. Este trabajo presenta el modelo Elena (*Ecuador Land Use and Energy Network Analysis model*) para PEI. Este modelo se construyó usando la plataforma MESSAGE, que permite optimizar la expansión del sector energético y la conversión de los usos del suelo en el largo plazo. Elena calcula escenarios de mínimo costo total de expansión del sector energético y usos del suelo hasta 2050. El modelo considera los recursos fósiles y el potencial de las diversas fuentes de energía renovable, así como la infraestructura actual y una amplia gama de tecnologías posibles para la expansión del sector energético y agrícola hasta 2050. La presentación mostrará en detalle al modelo Elena, desarrollado en el marco del proyecto *Deep Decarbonization Pathways Project* (DDPP) – Ecuador.

Palabras clave: cambio en usos del suelo, Ecuador, energía, herramientas de planificación energética, optimización, planificación energética integrada.

Energía Solar Térmica para Obtener Agua Caliente Sanitaria, una alternativa para la disminución de la Contaminación Ambiental. Análisis para el Cantón Cuenca - Ecuador

John Calle-Siguencia

Grupo de Investigación en Energías (GIE) /Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana

jcalle@ups.edu.ec

Resumen: La presente investigación analiza la factibilidad de integración de sistemas solares para producir Agua Caliente Sanitaria (ACS) en el Ecuador, en Azuay, en el cantón Cuenca, con el propósito de reducir la contaminación ambiental que se genera al utilizar combustibles fósiles para este propósito. Para realizar la toma de datos de radiación solar global se implementa una red meteorológica con 16 estaciones totales ubicadas en zonas pobladas durante los años 2014 y 2015, también a través de un trabajo de campo se identifican los sistemas que en la actualidad los habitantes utilizan para obtener ACS. Otra fase importante es la implementación de dos tipos de calentadores solares de tubos de vacío en instalaciones piloto para medir eficiencia de los mismos y compararla con un análisis teórico para establecer la eficiencia real de cada colector y utilizar las ecuaciones con un factor de corrección que disminuya errores en el análisis. Con los datos de radiación medidos, la cantidad de energía requerida en función de la demanda de ACS y la parametrización de los colectores solares se propone un modelo que determina la factibilidad de implementación del sistema en las diferentes zonas del cantón. Además, se cuantifica la cantidad de CO_2 que se produce al calentar agua usando como combustible Gas Licuado de Petróleo (GLP) y se determina la disminución de dicha contaminación cuando se utiliza energía solar. Los resultados obtenidos establecen que el 82% de familias utilizan ACS y el 90% de estas lo hacen con sistemas a base de GLP; que el 44% de la de la energía necesaria de acuerdo a la demanda de ACS se puede obtener con energía solar, esto implica que la energía faltante debe ser cubierta con sistemas auxiliares, es decir la implementación considera sistemas híbridos para garantizar un abastecimiento constante de ACS, y que con la implementación se lograría reducir 108573 Tn eq. de CO_2 . También se determina que utilizar calentadores híbridos de tubos de vacío con tubos de calor y GLP, que se consideran los más eficientes, en la situación actual económicamente no son rentables debido al subsidio del GLP, pero si el subsidio se elimina, el sistema sería competitivo con el calentador de paso a gas que actualmente es el más popular en el Ecuador, generando la ventaja de disminuir la contaminación ambiental.

Palabras clave: calentador solar, contaminación ambiental, energía solar, tubos de vacío.

Tecnologías Energéticas Alternativas con Fuentes Renovables Orientadas al Desarrollo de la Industria y la Comunidad

**José Guasumba^{a*}, José Díaz Santamaría^b, Hugo Bonifáz^c,
Mario Jiménez^d, Isidoro Lillo Bravo^e**

^a Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Aplicaciones Energéticas con Recursos Renovables, DCEM-ESPE, Centro de Investigaciones Tecnológicas Energéticas y Ambientales, CITECNIA CORP.

^b Departamento de Ciencias Exactas/Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

^c Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción/Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

^d Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica/ESPE-Latacunga

^e Departamento de Termodinámica y Energías Renovables/Universidad de Sevilla-España

* sjguasumba@espe.edu.ec

Resumen: En este mega proyecto de investigación, se desarrollan múltiples aplicaciones para el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos provenientes de fuentes renovables como la solar térmica de baja, media, y alta temperatura, en este caso se utilizan captadores de tereftalato de polietileno enrollados en forma helicoidal para obtener ACS a 42°C, lente de Fresnel con temperatura focal de 400°C, y mediante foto hidroconcentración de la luz solar lograr 1000°C en la cámara de reacción con aplicación al tratamiento térmico de materiales y fundición de metales ligeros. En el Ecuador, la biomasa es un recurso importante que no ha sido técnicamente utilizado por lo que se propone producir biogás a partir de residuos agrícolas en instalaciones con calefacción solar para reducir los tiempos de fermentación y estabilizar el campo de temperaturas en el lecho bacteriano. Además, se dispone de una mejora sustancial en la tecnología de transferencia de energía térmica con IC complejos de tres etapas en tubos y uno en carcasa para procesos de combustión de leña, briquetas de combustible sólido, gas de síntesis y biogás. En el ámbito de la innovación se han realizado ensayos con turbinas de tipo Savonius para generación de potencia hidráulica y eólica con los cuales funcionarán los sistemas de calentamiento por fricción que a nivel de laboratorio se produce vapor a 180°C en un tiempo de 18 minutos. Todas estas nuevas tecnologías energéticas pretenden contribuir con el desarrollo armónico de las comunidades y sectores agroindustriales, poniendo especial interés en el cuidado ambiental, la mejora de la calidad de vida y la eficiencia óptima de conversión de la energía renovable.

Palabras clave: energías renovables, turbinas, fricción, rotación, calor, radiación.



Desarrollo de materiales compuestos naturales renovables para la reducción de peso y consumo de combustible en vehículos

Jorge I. Fajardo

Grupo de Investigación en Nuevos Materiales / Área de Ciencia y Tecnología / Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana

jfajardo@ups.edu.ec

Resumen: En las últimas dos décadas, a nivel mundial se han generado acuerdos y normativas que buscan el desarrollo sustentable y la reducción de emisiones. El sector de mayor interés ha sido el sector automotriz y de transporte. La Comunidad Europea tiene en marcha la European Guideline 2000/53/EG, para la reducción del peso y consumo de combustible de los vehículos. Por su parte, Estados Unidos, mediante el Departamento de Energía (DOE) lidera un programa orientado hacia el desarrollo de energía eficiente y ambientalmente amigable denominado FreedomCAR and Vehicle Technologies (FCVT) Program. En esta presentación se abordarán los aspectos de ingeniería para el desarrollo de materiales compuestos poliméricos (polipropileno) reforzado con diferentes fracciones volumétricas de fibras naturales, moldeadas por inyección con potencial de aplicación en el sector automotriz.

Palabras clave: compuestos poliméricos, fibras naturales, micromecánica, modelamiento, propiedades mecánicas.

Experiencia en la rehabilitación de la Minicentral Gualaceo, conectada como generación distribuida

Carlos Durán Noritz^a, Marcelo Gomezcoello Salinas^b

Elecaastro, Unidad de Supervisión de Proyectos

^acarlos.duran@elecaastro.gob.ec; ^bmarcelo.gomezcoello@elecaastro.gob.ec

Resumen: ELECAUSTRO S.A, como empresa dedicada a la generación de energía eléctrica, en los últimos cinco años ha incorporado tres centrales de generación hidroeléctrica y al momento se encuentra ejecutando la central de generación eólica, Minas de Huascachaca. El presente trabajo realiza el análisis técnico - económico de lo que representó para Elecaastro, ejecutar el plan piloto impulsado por el Ex. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, para rehabilitar la Minicentral Gualaceo, que estuvo en abandono, enfocándose en las experiencias de diseño civil, eléctrico, electrónico, control y comunicaciones. La concepción del diseño se basó en disponer de una minicentral automática operada desde el centro de control de Elecaastro mediante un sistema SCADA, y entregando su producción al sistema de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A, a través del alimentador primario N° 1523 a 22 kV, bajo el concepto de generación distribuida. Luego de cuatro años en operación comercial, así mismo se realizará la evaluación técnica - económica de la mini central como generación distribuida, así como los problemas presentados de las obras civiles rehabilitadas, y su impacto en la operación la minicentral.

Palabras clave: construcción, diseño, minicentral, operación, rehabilitación, generación distribuida.

Análisis Energético del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca – ELECAUSTRO S.A.

Héctor Sumba

ELECAUSTRO S.A/Dirección de Planificación

hector.sumba@elecaustro.gob.ec

Resumen: Este tema propuesto presentará el estado actual de la generación eléctrica a nivel mundial y del Ecuador, haciendo énfasis en la generación eólica, luego se expondrá la necesidad de nuevas centrales de generación del Ecuador en función de un análisis de la información estadística de capacidad instalada, generación y demanda real desde 1990 hasta 2018 y de las proyecciones de generación y demanda del país hasta 2035, lo cual justificará la ejecución del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca – PEMH. Posteriormente, se analiza el recurso eólico en base a las mediciones de parámetros de cuatro estaciones meteorológicas del PEMH desde 2009 hasta 2018, para ello la información será sometida a un proceso de registro, almacenamiento y minería de datos, del cual se muestra la variabilidad del recurso eólico, así como de los demás parámetros como temperatura, presión atmosférica, humedad relativa e irradiación que permitirán determinar la densidad del aire en la zona, y finalmente se estima el recurso energético por hora del PEMH tanto con resolución mensual como anual.

Palabras clave: recurso eólico, generación eólica, potencia instalada, demanda, energías renovables.

Microgeneración solar fotovoltaica: mejores prácticas y experiencias a nivel local e internacional

Juan José del Valle Gasanz

Máster en Energías renovables por la Universidad San Pablo CEU de Madrid. Director ejecutivo de J3M GLOBAL

jjdelvalle@generacionrenovable.org

Resumen: En el Ecuador se aprobó en el año 2018 la regulación Nro. ARCONEL 003/18 que permite a los consumidores conectados a la red eléctrica generar su propia energía eléctrica 100% renovable mediante la tecnología solar fotovoltaica. Este tipo de generación con fines de autoabastecimiento lleva años presente en países como Alemania, España, Estados Unidos, México o Chile. Se presentan en particular los resultados de un análisis técnico, económico y social basado en la experiencia acumulada durante 8 años en la promoción, ejecución, operación y mantenimiento y tramitación de más de 200 instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo conectadas a la red en España. Los resultados del análisis permiten extraer a todos los niveles un gran número de lecciones aprendidas y mejores prácticas susceptibles de ser aplicadas en el desarrollo de la generación renovable fotovoltaica distribuida a pequeña escala en el Ecuador.

Palabras clave: autoconsumo, microgeneración, fotovoltaica, autogeneración, solar.

Algoritmo de coaliciones para reducción de pérdidas en redes eléctricas inteligentes (Teoría de juegos)

Pablo Arias^{a *}, Javier Cabrera^{a,b}

^a Universidad Católica de Cuenca, Ingeniería Eléctrica.

^b Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes.

* pariasr@ucacue.edu.ec

Resumen: La administración técnica y comercial de la generación eléctrica distribuida a gran escala donde sus microrredes son tomadoras de decisiones autónomas, muestran problemas teóricos interesantes de la interacción competitiva y cooperativa de las diferentes redes inteligentes. Una nueva óptica puede aplicarse para hacer de estas redes auto organizativas, auto configurables y auto optimizadas, incursionando en los conceptos teóricos de juegos en la comunicación de redes inteligentes. Dentro de la Teoría de juegos se puede distinguir entre dos categorías principales: no cooperativa y la teoría cooperativa de juegos. Si bien la teoría de juegos no cooperativa se ocupa principalmente del comportamiento competitivo de modelado, la teoría cooperativa de juegos está dedicada al estudio de la cooperación entre una serie de jugadores. La teoría cooperativa de juegos incluye principalmente dos ramas: la negociación de Nash y la teoría de juegos de coalición. En este trabajo, restringimos nuestra atención a esta última, la teoría de juegos de coalición trata principalmente de la formación de grupos cooperativos (coaliciones) que permiten al jugador cooperante fortalecer sus posiciones en un juego dado. En este contexto, los juegos de coalición demuestran ser una herramienta muy poderosa para diseñar estrategias de cooperación justas, robustas, prácticas y eficientes en redes eléctricas. Sin embargo, la mayoría de la investigación en la comunidad eléctrica se ha centrado en juegos no cooperativos o en la aplicación de modelos y técnicas de teoría de juegos de coalición estándar para estudiar aspectos muy limitados de la cooperación en redes como la estabilidad bajo cooperación ideal o justicia; debido principalmente a la escasa literatura que aborda los juegos de coalición como referencias teóricas de juego más pioneras, como se centran en juegos no cooperativos.

Palabras clave: coalición, cooperativismo, pérdidas eléctricas, smart grids, teoría de juegos.

Reducción de consumo energético en laboratorios por economía circular

Efrén Fernández Palomeque

Centro de Investigación ERGON, Escuela de Ingeniería Automotriz,
Universidad del Azuay

efernandez@uazuay.edu.ec

Resumen: Este documento presenta una propuesta de reducción de consumo para laboratorios de electrónica mediante el uso de economía circular. La economía circular es una estrategia que tiene como objetivo reducir el uso de materiales nuevos y en donde se aprovecha la mayor cantidad de materiales ya sean reciclados o no, para generar factores económicos a favor. En este caso, el recurso a utilizar son las baterías de níquel-hidruro-metal (NiHm) presentes en vehículos híbridos y que muchas veces no son reutilizadas. Estas baterías mediante un proceso de carga sencillo se pueden ajustar nuevamente para ser utilizadas como generadores estáticos y suministrar energía necesaria para el consumo dentro de un laboratorio de electrónica. Esto permitirá reducir el consumo y gastos eléctricos.

Palabras clave: baterías NiHm, convertidor DC-AC, economía circular, eficiencia energética.



Desarrollo de un colector de concentración solar de Fresnel para calor de procesos en Ecuador

Francisco Jácome, Diego Vaca-Revelo, Roberto Rojas,

Rafael Soria, Freddy Ordóñez ^a,

Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional

freddy.ordonez@epn.edu.ec

Resumen: El grupo de investigación SCINERGY de la Escuela Politécnica Nacional ha emprendido en la investigación y desarrollo de un colector solar de concentración tipo Fresnel para producción de calor de procesos ($< 180^{\circ}\text{C}$), que pueda ser construido con las capacidades tecnológicas locales. Este trabajo muestra los avances y los retos alrededor de este objetivo. El desarrollo local de esta tecnología apoyaría en la diversificación de la matriz energética introduciendo fuentes renovables.

Palabras clave: colector lineal Fresnel, concentración solar, energía renovable.

Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador

Santiago González Pozo ^a, Carlos Armenta Déu ^b

Facultad de Ciencias Físicas/Máster en Energía, Universidad Complutense de Madrid

^a santia08@ucm.es, santiago.gp20@gmail.com, ^b cardeu@fis.ucm.es

Resumen: El estudio se ha centrado en el estudio de la influencia de las deformaciones en dos tipos de palas de un micro-aerogenerador sobre la generación de energía, así como sobre su eficiencia. Se realizaron pruebas de laboratorio para simular condiciones de viento determinadas y se calculó la respuesta, en cuanto a generación y eficiencia del micro-aerogenerador. Con métodos mecánicos se crearon deformaciones por flexión, torsión y flexión-torsión combinadas. Los resultados obtenidos demuestran que existe una influencia real y marcada sobre la respuesta del micro-aerogenerador y que aparece una diferencia entre cada tipo de pala. En la mayoría de los casos existe un efecto negativo sobre la generación causada por las deformaciones, siendo distinto para cada tipo de pala. El estudio se podría extrapolar para aerogeneradores reales, abriendo nuevas líneas de investigación para comprender mejor la manera en que estos efectos de deformación influyen el comportamiento del aerogenerador.

Palabras clave: micro-aerogenerador, deformación, eficiencia.

Energías renovables en la ciudad de Cuenca, Ecuador: selección e impacto

Antonio Barragán^{a*}, Julio Terrados^b, Esteban Zalamea^c

^a Universidad Politécnica Salesiana

^b Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos, Universidad de Jaén,

^c Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca

*ebarragan@ups.edu.ec

Resumen: Las ciudades son concebidas como súper organismos poco desarrollados, que requieren enormes cantidades de materiales, agua, nutrientes y energía. Los centros urbanos emplean más del 80% de la energía, a pesar de que ocupan menos del 3% del área terrestre. No se ha podido modificar la matriz energética mundial pues se sigue dependiendo de recursos energéticos fósiles que por un lado son contaminantes y por otro son no renovables. Una de las alternativas que se plantea es hacer que las ciudades utilicen sus propios recursos para autoabastecerse de energía utilizando tecnologías renovables. Sin embargo, cada ciudad es diferente, ya sea por sus condiciones geográficas, climatológicas, sociales o disponibilidad de infraestructura. Con el fin de aplicar determinadas energías renovables se aplica una metodología multicriterio para seleccionar a partir de 11 alternativas tecnológicas cuales son las mejores opciones para una determinada urbe. A partir de ello se establece el potencial energético de cada tecnología y se compara a través de indicadores energéticos cuál es el impacto en una ciudad. Se aplica la metodología en la ciudad intermedia de Cuenca, y se establece que aun cuando se podría cubrir el 100% de la energía eléctrica con generación renovables, comparado con el requerimiento de toda la ciudad no se llega a alcanzar el 10% de autoabastecimiento energético. Al aplicar otros indicadores de sostenibilidad se destaca que el costo de la producción de la energía es elevado con respecto a la situación base, sin embargo, el empleo podría verse incrementado al fomentar el uso de estas tecnologías.

Palabras clave: energías renovables urbanas, planificación urbana.

La energía solar y su aplicación en los procesos industriales

Andrés Montero-Izquierdo

Grupo de Ingeniería de Reactores, Catálisis y Tecnologías del Medio Ambiente (IRCMA)/
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

andres.montero@ucuenca.edu.ec

Resumen: El desarrollo económico de un país está relacionado directamente con la disponibilidad de energía y su actividad económica, ya que se considera a la energía como el agente principal en la generación de riqueza y un factor importante en el desarrollo económico. En América Latina el sector industrial es una pieza clave del crecimiento económico, es así que en el año 2012 representó aproximadamente el 32% del consumo de energía final en la región. El consumo de energía en el sector industrial puede representarse por el consumo de combustibles fósiles, electricidad y biomasa principalmente. Con respecto al uso de energía, las industrias principalmente emplean en sus procesos calor y electricidad, por lo que una medida de producir ese calor puede ser el uso de fuentes renovables como es la energía solar, la energía geotérmica y la bioenergía. Estas fuentes de energías renovables representan una solución al uso de combustibles fósiles en la industria para la producción de calor, alcanzando un porcentaje del 10% (8 EJ) del uso total de energía en el año 2011 a nivel mundial.

El empleo de captadores solares térmicos dependerá del grado de temperatura requerida en un proceso industrial, es así que los captadores podrán clasificarse de acuerdo a si son sin concentración o con concentración. De acuerdo a esta clasificación se presenta una revisión del estado del arte de los sistemas de captación solar aplicados a la industria, haciendo énfasis en la experiencia de uso en Latinoamérica.

Palabras clave: Energía, industria, procesos, solar, térmica.

Producción de energía eléctrica a partir del efecto simbiótico electroquímico de agua y anilina vegetal

José Luis Intriago Fray ^a, Jaime Arturo García Ochoa ^b

* ^a Ciencias Químicas/ Facultad de Ciencias Químicas y la Salud ^b

Gestión Ambiental /Facultad de Ciencias Sociales Universidad Técnica de Machala

* jintriago@utmachala.edu.ec / jagarciao@utmachala.edu.ec

Resumen: Del grupo amino, una molécula de benceno conocida como anilina, por sus características de termoestabilidad rompe los enlaces de la molécula del agua, esto genera un efecto de radiación electroquímica de la cual se puede obtener energía. El objetivo es generar energía eléctricoquímica constante de bajo rango con el efecto simbiótico de ruptura de enlaces de moléculas del agua con la anilina. Se utilizaron dos catalizadores, uno de cobre y otro aluminio, se los colocaron por separado en embaces plásticos de 250 ml de cerrado hermético, se receptó la mezcla de anilina y agua, el método que se utilizó para analizar la reacción fue por estequiometría y con voltímetro se evaluó la cantidad de energía generada. El resultado que se obtuvo al usar voltímetro en 20 voltios de corriente directa y alterna donde se obtuvo resultados específicos en cuanto el voltaje de energía en cada frasco de 250 ml. El voltímetro en 20 V de corriente directa nos dio 0.90 V, El voltímetro en 20 V de corriente alterna nos 1.4 V. Se unieron 10 frascos con el contenido de 35 ml de anilina y 200 ml agua por cada frasco obteniendo 14 voltios con 2 amperios lo cual nos ayuda a mantener constante la energía receptada por los catalizadores. Se concluye que es posible convertir la radiación termoestable baja eléctricoquímica energía a una fuente y forma de energía eléctrica constante para utilizarlos en diversos equipos eléctricos.

Palabras clave: anilina, agua, energía verde, síntesis de agua, catálisis de anilina y agua.

Indicadores de Eficiencia Energética para Viviendas en la Ciudad de Cuenca

Vanessa Guillén-Mena

Proyecto Certificación Edificio Sustentable y Seguro, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca

vanessa.guillen@ucuenca.edu.ec

Resumen: En la actualidad, los métodos de evaluación sustentable de la edificación han desarrollado sistemas para medir y calificar el nivel de cumplimiento de las edificaciones, sin embargo, muchos autores han determinado los posibles problemas que pudieran darse por una falta de adaptación a las necesidades locales. La investigación realizada presenta el desarrollo de indicadores de eficiencia energética contextualizados para la ciudad de Cuenca que permitan calificar el desempeño energético de la vivienda. La metodología de investigación aplicada se divide en tres etapas de desarrollo: en la primera, se analiza los métodos internacionales de certificación sustentable y se plantea un nuevo enfoque de evaluación de la edificación que pueda ser adecuado para países en vías de desarrollo, basado en una exhaustiva revisión del estado de arte. En la segunda, a partir del estudio del parque de viviendas de la ciudad se definen criterios e indicadores. Por último, con la participación de expertos en el área se definen ponderaciones para cada uno de los criterios de evaluación. Los resultados determinaron un modelo de evaluación del desempeño energético conformado por 7 requerimientos y 11 criterios de evaluación para viviendas multifamiliares, y de 7 requerimientos y 9 criterios de evaluación para viviendas unifamiliares. Uno de los indicadores más relevantes establece que para cumplir un estándar sustentable, la demanda por climatización, iluminación, equipos y electrodomésticos debe mantenerse en un rango de 30.1 kWh / m²año hasta 41.6 kWh / m²año; mientras que para superar el estándar los valores no deben ser mayores a 24.3 kWh / m²año.

Palabras clave: Cuenca, eficiencia, energía, indicadores, viviendas.



Eficiencia energética y emisiones ambientales en hornos de ladrilleras artesanales del cantón Cuenca

Adrián F. Cabrera Z.^a, Rómulo A. Faicán Z.^a, Daniela Albuja^b, Catalina Peñaherrera^b, Néliida Cabrera^c, Valeria Coronel V.^c M. Raúl Peláez S.^d

^a Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

^b Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

^c Comisión de Gestión Ambiental – CGA, Municipalidad de Cuenca

^d Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

**adrian.cabrera@ucuenca.edu.ec, arturo.faican@ucuenca.edu.ec,
manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec**

Resumen: La elaboración de ladrillos y tejas es un segmento industrial muy importante en el cantón Cuenca, pero también uno de los sectores de mayores emisiones ambientales. Una opción para reducir las emisiones es la adopción de hornos menos contaminantes y más eficientes, como es el caso de los hornos de tiro invertido. Estos han superado la etapa de pruebas, pero se desconoce la evolución del comportamiento de la composición de los gases con respecto al tiempo, su eficiencia energética en las condiciones de operación en Cuenca y sus ventajas, desde el punto de vista energético, respecto a los hornos tradicionales ampliamente usados actualmente. El objetivo de este trabajo es determinar los contaminantes emitidos a la atmósfera en los hornos de tiro invertido, determinar la eficiencia energética de los mismos y comparar estos resultados con los de hornos tradicionales. Para ello se efectuaron mediciones de emisiones y una evaluación de la eficiencia energética de los dos tipos de hornos. La eficiencia energética de los hornos de tiro invertido es ~20%, que es aproximadamente el doble de los hornos artesanales. Se espera que estos resultados ayuden a expandir el uso de hornos más eficientes en la industria ladrillera y de tejas artesanales en Cuenca.

Palabras clave: eficiencia energética, horno de tiro invertido, emisiones ambientales, ladrilleras.

Evaluación de dos procesos de clasificación de cielos estándar ISO 15469 CIE S 011/2003 usando datos de distribución de luminancia obtenidos a través de imágenes HDR

Fernando Ramirez Cabrera ^a, José Luis Torres

Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra

^a ferrami8615@hotmail.com

Resumen: El aprovechamiento de la energía solar como una fuente de energía renovable depende de nuestra capacidad de estimar la cantidad de energía que procede del sol. Numerosos estudios han sido propuestos con la intención de establecer métodos para el pronóstico de la energía recibida del cielo, por lo que fue necesario estandarizar el amplio rango de cielos del mundo, por esta razón, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), por medio del estándar ISO 15469 CIE S 011/2003, ha adoptado un conjunto de 15 distribuciones de luminancias.

Este trabajo ha comparado los resultados de la clasificación de cielos obtenidos por medio de dos métodos de clasificación: por comparación de las funciones de gradación e indicatriz teóricas y los grupos homónimos observados y por comparación del error medio cuadrático RMSE entre las distribuciones de luminancia de la bóveda celeste y las luminancias teóricas definidas por el estándar CIE.

Los datos de distribución de luminancias empleados proceden de imágenes de alto rango dinámico (HDR) capturadas con la ayuda de un objetivo de ojo de pez incorporado a una cámara digital la cual fue calibrada geométricamente para obtener la información espacial de las luminancias observadas. Se ha comprobado que aproximadamente el 50% de las imágenes analizadas coinciden en la clasificación, no obstante, se ha observado que el 37% de las imágenes que no muestran coincidencias difieren un máximo de dos tipos de clasificación.

Palabras clave: CIE Standard Skies, HDR image luminance data, photovoltaic energy, sky scanner, sky luminance distribution.

Diseño de pre-factibilidad de una planta fotovoltaica flotante en el embalse Mazar

**Diego Suárez^a, Vincent Burgmeier^b, Freddy Ordóñez^c, Diego Vaca^c,
Verónica Villacís^a, Verónica Polo^d**

^aENYA Energies S.A., ^bEnertis SPa.

^cDepartamento de Energía / Facultad de Ingeniería Mecánica /
Escuela Politécnica Nacional

^dCorporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP Unidad de Negocio HIDROPAUTE

**diego.suarez@eniatec.com.ec, vincent.burgmeierl@enertis.com,
freddy.ordonez@epn.edu.ec, diego.vaca@epn.edu.ec,
verovillacis2001@yahoo.com, veronica.polo@celec.gob.ec**

Resumen: CELEC EP HIDROPAUTE, empresa operadora del Complejo Hidroeléctrico Paute Integral (1.757 MW) realizó el estudio de pre-factibilidad para la generación fotovoltaica flotante para aprovechar la superficie del embalse Mazar.

La estructura diseñada de la planta fotovoltaica flotante del embalse Mazar se compone de 53 bloques flotantes de paneles fotovoltaicos que suman 3,808 MWp, cada uno con un inversor y centro de transformación de 3 MW, que alimentan eléctricamente en media tensión de 33 kV a una subestación construida en tierra elevadora a 230 kV, y a una línea de transmisión en el mismo voltaje. La potencia resultante es 201,824 MWp, que generará 292.867 MWh el primer año. El monto de inversión es 170.509.579,32 USD, y la tarifa mínima varía entre 27,60 y 60,16 USD/MWh en los escenarios de análisis financieros realizados. Los análisis de las viabilidades técnica, ambiental, económica-financiera y legal realizados, son positivos, beneficiosos, realizables y sostenibles.

Palabras clave: anclajes, embalse, flotante, fotovoltaica, Mazar, planta.

Arquitectura respetuosa con el medio y sensible a las emociones humanas y su confort

Alfredo Ordoñez Castro

Magíster en Edificaciones Sustentables,

Mención en Proyectos Arquitectónicos y Urbanos

Profesor Titular-Investigador de la Facultad de Arquitectura y

Urbanismo de la Universidad de Cuenca

Profesor Titular-de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad del Azuay

Director de la Maestría en Arquitectura Bioclimática Confort y Eficiencia Energética de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo

alfredo.ordonez@ucuenca.edu.ec

aordonez@uazuay.edu.ec

Resumen: Diversos conceptos, discursos, declaratorias, se hacen se dicen se promulgan, todos cargados de ruido como sensación sonora de alarma y de buenas intenciones como acciones de buena fe, pero atados a decisiones y mediciones políticas y económicas. Lo que prevalece, sin embargo, son las expresiones recurrentes, en las cuales la sostenibilidad es vista como un principio en evolución que requiere mucha investigación adicional.

Toda actividad que el hombre como especie realiza causa impactos ambientales que afectan de una u otra medida al grado de desarrollo sostenible de los territorios, considerando a la ciudad como protagonista del territorio hay que dar respuestas a sus demandas sociales, no solo desde las soluciones pragmáticas del ordenamiento territorial con direccionalidades políticas dando como resultado ciudades estáticas y clasistas, sino lograr conseguir la fusión armónica del espacio, el urbanismo y la arquitectura con la dinámica de las percepciones y las sensaciones, sensible a las emociones del comportamiento humano y su confort.

La ciudad y la arquitectura sostenible como parte de una región y un territorio se compromete con la humanidad y la naturaleza, con un nuevo e imprescindible modelo de desarrollo, sinergias e interacciones que busca la continuidad de la vida en nuestro planeta. ¿Preguntándonos hay que vivir o saber vivir?

Palabras clave: razón humana, evolución sensorial, armonías, portal, receptor, incluyente, emociones, sensaciones.



Análisis comparativo de consumo de energía entre propulsión eléctrica y motor de combustión de un vehículo que circula por una ruta específica

Francisco Torres ^a, Andrés López ^a, Mateo Coello ^a, Daniel Cordero-Moreno ^a

^aCentro de Investigaciones ERGON/Facultad de Ciencia y Tecnología/Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad del Azuay

ftorres@uazuay.edu.ec, alopezh@uazuay.edu.ec,

mfcuello@uazuay.edu.ec, dacorderom@uazuay.edu.ec

Resumen: El trabajo de investigación consiste en el análisis de consumo de energía de un vehículo liviano con motor de combustión interna alternativo a gasolina que se desplaza por rutas definidas, que tienen la mayor demanda debido al comercio en la ciudad de Cuenca, luego se compara el consumo de energía que necesita un vehículo liviano modificado de propulsión eléctrica y alimentado sus baterías de corriente proveniente de la carretera, de esta manera se puede comparar y determinar cuál de las tecnologías aplicadas genera menor consumo de energía para una misma ruta.

Mediante la medición de la posición global del vehículo se determina la pendiente a superar, con las características dinámicas, como es el área frontal, masa, resistencia a la rodadura, se determina las fuerzas necesarias para desplazar el vehículo y con ello la energía de desplazamiento. Como resultado se obtuvo que el vehículo con propulsión eléctrica consume menor cantidad de energía que el de motor de gasolina, como conclusión se establece que la movilidad eléctrica es beneficioso para el transporte privado.

Palabras clave: consumo, energía, eléctrico, gasolina, propulsión, ruta.

Factores clave para introducir la eficiencia energética en la gestión de la producción

Fernando Salinas

Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de Pichincha

presidencia@cieepi.ec

Resumen: Desde la perspectiva del sector Industrial, el aumento de los precios de la energía, la búsqueda constante de eficiencia operacional e incremento de productividad, de a poco, han ido situando a la eficiencia energética en la producción, en una situación en la cual su adopción es cada vez más imperiosa. Este documento identifica los factores clave a ser considerados por las empresas industriales para integrar la eficiencia energética en su gestión productiva.

En el desarrollo del documento se parte de la ponderación que tienen los indicadores claves -KPI- para su asimilación en la gestión de la producción y la eficiencia energética. Luego se expone la importancia de la Gestión Comparada -Benchmarking- como herramienta que coadyuva por medio de marcadores a optimizar el rendimiento de la energía en la industria. El papel altamente relevante del monitoreo y control de la gestión de la energía también es abordado como factor que permite identificar oportunidades de mejora así como evaluar los efectos de las decisiones en torno a la generación y uso de la energía. También el documento evidencia el importante rol de la adopción de Normas de Gestión de la Energía como factor coadyuvante en la gestión sistemática y las organizaciones. Finalmente, se destaca la labor de las herramientas de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la integración de la Eficiencia Energética en la Industria, de tal manera que la teoría se traduzca en la práctica, de una producción eficiente.

Palabras clave: gestión, producción, eficiencia energética, factores clave.

Análisis de la eficiencia de sistemas de almacenamiento de energía

Eddy Bravo, Héctor Sumba

Facultad de Ingeniería / Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Cuenca
eddybravop@gmail.com, inghector.1988@gmail.com

Resumen: La presente investigación se enfoca en el análisis de los datos de energía activa máxima obtenidos de los ciclos de carga/descarga de los sistemas de almacenamiento de Ion-Litio, Plomo Ácido, Flujo de Vanadio Redox y Supercondensadores existentes en el laboratorio de Redes Inteligentes del Centro de Energía del Campus Balzay de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, con el objetivo de determinar su eficiencia energética y establecer los tiempos de duración de los ciclos. Además, se evidencia la variación del estado de carga SOC del sistema de supercondensadores ante la inyección de energía reactiva a la micro-red del laboratorio, con fines de compensación.

Palabras clave: Almacenamiento, eficiencia energética, ion-litio, flujo de vanadio redox, supercondensadores, plomo ácido.

Electrificación rural en la Amazonía, Proyecto Yantza letzari

Francisco Vásquez^{a*}, Luis Urdiales^{b}, Patricio Quitusaca^{c***}, Elias Juank Papue^{d****}**

^aFacultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Electrónica/
Universidad del Azuay

^bDirección de Morona Santiago/Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A

^cDirección de Planificación Técnica/Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

^dUnidad de Energías Renovables/Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

* fvasquez@uazuay.edu.ec

** luis.urdiales@centrosur.gob.ec

*** patricio.quituisaca@centrosur.gob.ec

**** federico.juank@centrosur.edu.ec

Resumen: La Empresa Regional Centro Sur viene implementando, desde hace 10 años, sistemas autónomos de electrificación rural fotovoltaica para diferentes comunidades que se encuentran en la selva amazónica de la provincia de Morona Santiago, con el denominado Proyecto “Yantza letzari” (Iluminándonos con la Luz del Sol).

Se presenta un resumen de los trabajos de la consultoría previos a la realización del proyecto, poniendo énfasis en la disponibilidad de los recursos energéticos de la zona y características socioculturales de las comunidades Shuaras y Achuaras que habitan la región. En función de estos antecedentes se dimensionan, calculan y se diseñan los sistemas fotovoltaicos rurales.

Se presenta también un análisis de la participación de técnicos de la zona en la promoción y mantenimiento de los sistemas instalados, además del empoderamiento del proyecto por parte de los usuarios; complementando con la evaluación y proyecciones a futuro de los sistemas de electrificación rural para las zonas aisladas de la amazonia.

La experiencia de electrificación rural fotovoltaica, desarrollada por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, ha permitido que más de 3400 sistemas de energías renovables se encuentren en la actualidad funcionando en su área de concesión en la selva amazónica

Palabras clave: Amazonía, electrificación rural, sistemas fotovoltaicos aislados, Yantza letzari.

Energías renovables: Una alternativa para la complementariedad energética en el Ecuador

José Jara

Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP

jose.jara@celec.gob.ec

Resumen: Con la construcción de las grandes centrales hidroeléctricas, el Ecuador presenció desde mediados del año 2016, una transformación del sector eléctrico llegando a abastecer en el año 2017 su demanda eléctrica con cerca del 85% de energías renovables –ER- (incluida la hidroelectricidad). Sin embargo, debido a que el mayor recurso hidroeléctrico se encuentra localizado en la vertiente hidrográfica del Amazonas, se observa en el mediano plazo un fuerte efecto estacional, es decir en época lluviosa (abril a septiembre) se dispone de una abundancia de hidroelectricidad, mientras que en época seca esta se reduce significativamente. Por lo cual, en los periodos de estiajes futuros se requiere de una producción continua e incremental de termoelectricidad para compensar la reducción de hidroelectricidad. Este hecho motiva la necesidad de estudiar las ER complementarios para la expansión del SNI. Es decir, desarrollar proyectos de ER que su máximo potencial se presente durante los meses del estiaje hidroeléctrico predominante (octubre a marzo). Por lo que en el presente trabajo se presenta un estudio prospectivo del potencial de las ERNC para compensar el desbalance hidroeléctrico del país.

Palabras clave: energías renovables, complementariedad, análisis multicriterio, planificación energética.

Smart UniverCity un enfoque energético del futuro

Diego Morales

Universidad Católica de Cuenca, Jefatura de Posgrados

dmoralesj@ucacue.edu.ec

Resumen: La presente ponencia define las actividades necesarias para el despliegue en un horizonte de tiempo de 3 años de una Smart University para la Universidad Católica de Cuenca, actualmente existen cientos de proyectos alrededor del mundo que buscan la creación de Smart Cities, abordando ejes como movilidad, ambiente, vida, personas, gobierno, eficiencia energética y economía. Sin embargo, la mayoría no han realizado pilotos o despliegues a escalas manejables. Es así que, este programa nombrado como Smart University Cato 2.0, establecerá un marco de referencia para el despliegue exitoso de proyectos a escala 1:1 en la región y en el país, considerando que la complejidad que representa una universidad es comparable a escala con la de una ciudad. Las soluciones alcanzadas en el Smart University servirán no solo a las personas vinculadas con la universidad, sino a agencias de desarrollo, a los gobiernos locales y a la ciudadanía en general.

Palabras clave: smart university, emobility, eficiencia energética, vehículo eléctrico.

La labor universitaria como garantía del desarrollo sostenible: experiencias prácticas

María Rodríguez Gámez^{a*}, Antonio Vázquez Pérez^{b}, Lenin Agustín Cuenca-Álava^{a***}**

^a Carrera de Ingeniería en Electricidad. Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí.

^b Carrera de Ingeniería Industrial. Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí

* mariarodriguez@utm.edu.ec

** eavazquez@utm.edu.ec

*** lcuenca@utm.edu.ec

Resumen: El papel que puede jugar la educación superior en interés de la sostenibilidad, resulta un tema de importancia internacional. El objetivo del trabajo consiste en crear un espacio de reflexión para el análisis de experiencias relacionadas con la gestión de la sostenibilidad y el aprovechamiento de las energías renovables. Se aplicó el método deductivo para abordar la problemática desde el plano general, logrando interpretar las acciones que en el plano particular se pueden adoptar. La modalidad del trabajo responde a un informe de investigación. Como resultados se reflexiona sobre las experiencias docentes e investigativas vinculadas con la sostenibilidad. Se exponen los resultados de diversos proyectos de investigación realizados en el marco de los trabajos de titulación y la vinculación con la sociedad, como actividades sustantivas de la universidad. Finalmente en las conclusiones se expone la importancia del papel de la universidad en interés de lograr la sostenibilidad energética.

Palabras clave: desarrollo sostenible; docencia; fuentes renovables de energía; investigación; vinculación con la sociedad.

ARTÍCULOS

Desarrollo de un colector
de concentración solar
de Fresnel para calor de
procesos en Ecuador

Desarrollo de un colector de concentración solar de Fresnel para calor de procesos en Ecuador

Francisco Jácome^a, Diego Vaca-Revelo^a, Roberto Rojas^a, Rafael Soria^a,
Freddy Ordóñez^a, *

Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional

* freddy.ordonez@epn.edu.ec

Resumen: El grupo de investigación SCINERGY de la Escuela Politécnica Nacional ha emprendido en la investigación y desarrollo de un colector solar de concentración tipo Fresnel para producción de calor de procesos ($< 180^{\circ}\text{C}$), que pueda ser construido con las capacidades tecnológicas locales. Este trabajo muestra los avances y los retos alrededor de este objetivo. El desarrollo local de esta tecnología apoyaría en la diversificación de la matriz energética introduciendo fuentes renovables.

Palabras clave: Colector lineal Fresnel, concentración solar, energía renovable.

Abstract: The research group SCINERGY from Escuela Politécnica Nacional embarked on the research and development of a Fresnel-type solar collector to generate heat for industrial processes ($< 180^{\circ}\text{C}$), which should be built with local technological capabilities. This work shows the advances and challenges around this objective. The local development of this technology would support the diversification of the energy matrix by introducing renewable energy sources.

Keywords: Linear Fresnel collector, concentrating solar power, renewable energy.

I. Introducción

El Balance Energético Nacional 2016 reporta que el consumo anual de energía primaria y secundaria a nivel nacional para 2015 fue de 90.6 MBEP, siendo el sector industrial el responsable de 17% de este consumo (17.8 MBEP) (MISCE, 2016). Actualmente, las demandas de calor para procesos industriales son cubiertas principalmente con diésel (24% del consumo nacional), y, en menor medida con GLP (MICSE, 2015). Un volumen muy significativo de estos combustibles es actualmente importado, afectando a la balanza comercial del país. Por otra parte, en 2012, el país generó 80 millones de toneladas de CO_2e , siendo el segmento industrial el responsable de aproximadamente 6% de estos gases de efecto invernadero (GEI) emitidos (MICSE, 2015). Los sistemas solares de concentración son actores importantes para diversificar la matriz energética nacional. Sin embargo, la eficiencia de estos sistemas aún debe mejorar con el desafío de alcanzar su madurez tecnológica y lograr un potencial de mercado (Ordóñez, Caliot, Bataille, & Lauriat, 2014). De entre las tecnologías de concentración solar (colectores cilindro-parabólicos (PTC), colectores lineales Fresnel

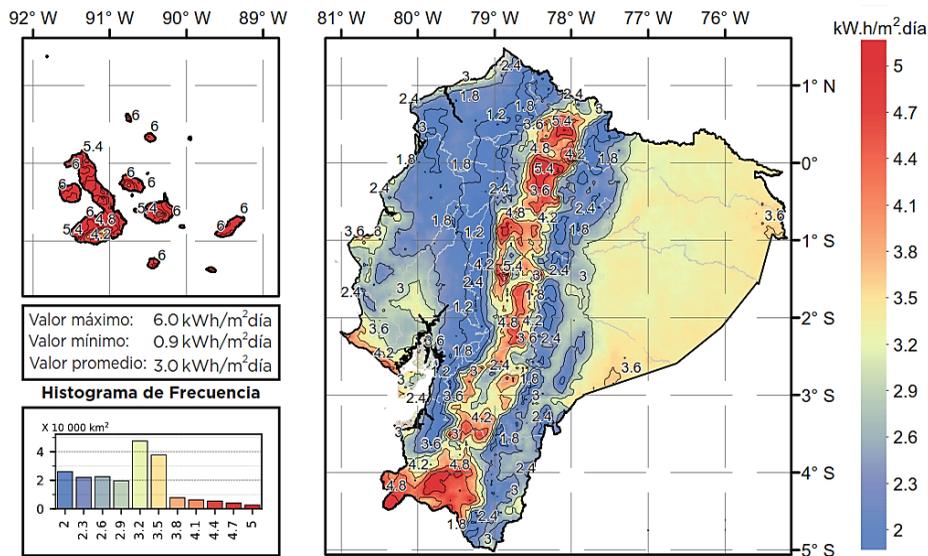
(LFC), centrales solares de torre (TSP) y colectores parabólicos de disco (PDC), los colectores lineales de Fresnel son la tecnología con más potencial de innovación y de reducción de costos (Zhang, Baeyens, Degreève, & Cacères, 2013) mostly as parabolic trough collectors (PTC. Además, su menor complejidad tecnológica permitiría que este tipo de colector sea desarrollado con industria local en países con menor grado de industrialización, como en Ecuador. Las tecnologías de concentración solar lineal Fresnel pueden proveer calor de media temperatura (150°C–400°C), en un rango de presión de 10-20 bar; y, calor de baja temperatura (menor a 150 °C), con presiones menores a 10 bar. Estos rangos de temperatura son ideales para segmentos industriales como la agroalimentaria (lácteos, carne y bebidas), agroindustria (procesamiento de frutas y legumbres), minería, criaderos de aves y cerdos, producción de alimento para animales, industria farmacéutica, industria química y fabricación de productos metálicos (Fernández-García et al., 2015). Dentro del grupo de investigación SCINERGY de la Escuela Politécnica Nacional se ha emprendido en la investigación y desarrollo de un colector solar de concentración tipo Fresnel para producción de calor de procesos, que pueda ser construido con las capacidades tecnológicas locales. Este trabajo muestra los avances y los retos alrededor de este objetivo.

II. Recurso solar del Ecuador

Debido a la situación geográfica del Ecuador (sobre la línea ecuatorial), el recurso solar presenta algunas ventajas respecto de otras latitudes, por ejemplo la poca variabilidad del recurso a lo largo del año evita acumuladores de energía o equipos auxiliares sobredimensionados (Ordonez, Morales, Lopez-Villada, & Vaca, 2018) and therefore, improves the global energy collected by PV systems. Nonetheless, solar-tracking PV systems require more resources and energy than static systems. Additionally, the presence of cloudiness and shadows from near buildings may reduce the profitability of these systems. Therefore, their feasibility must be assessed in order to justify their application. In equatorial latitudes, the sun's movement through the sky is in the zenith East-West axis. It may be advantageous, since the best tilt in such latitudes is the horizontal. In these terms, the main objective of this research is to numerically assess the performance of a PV array with solar tracking and under typical operation conditions in equatorial latitudes. For this, the assessment of the solar resource in Quito was analyzed in first place. Then, the comparison between three solar arrays was studied to evaluate the feasibility of solar tracking (two-axes tracking, horizontal one-axis tracking, and horizontal fixed. Sin embargo, la presencia de la cordillera de los Andes crea variados microclimas que reducen el potencial solar en el Ecuador. Pocos estudios se han realizado para analizar el recurso solar o el potencial de implementación de tecnologías solares en Ecuador (Cevallos-Sierra & Ramos-Martin, 2018a; Ordonez et al., 2018) non-conventional sources such as solar or wind energies have not represented a big share of their electric energy systems. The first step to promote the use of these sources in the region is identifying the potential of each energy source, task that can be estimated with the use of spatial tools such as Geographic Information Systems (GIS. En 2008 el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) publicó el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica (CONELEC, 2008). Este atlas fue desarrollado utilizando interpolaciones de estimaciones satelitales tomadas del NREL. Las

principales desventajas de este atlas fueron el tamaño de malla de las estimaciones (40x40 km) y el hecho de que estos datos no fueran validados con mediciones terrestres. En 2014, el NREL refinó la malla de sus estimaciones (4x4 km) y mejoró su modelo de estimación de radiación solar. Los datos de irradiación solar medidos en Ecuador no cubren completamente el territorio. Por tanto, se hace necesario el uso de estimaciones satelitales. Para lo cual es importancia conocer la fiabilidad del uso de estas estimaciones. Esto dio lugar a un estudio completo de la fiabilidad de estas estimaciones. Se compararon estimaciones de la radiación global horizontal (GHI) con mediciones de 42 estaciones repartidas en el territorio ecuatoriano, pertenecientes al INAMHI, al ex INER y a la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. En promedio, el sesgo (error MBE) de estas comparaciones se ubicó en el 8%, lo que brinda una buena fiabilidad de las estimaciones (Ordoñez, Vaca-Revelo, & López-Villada, 2019). Entre los productos del estudio del recurso solar realizado se encuentra la actualización del mapa solar del Ecuador. En la Figura 1 se muestra el mapa de irradiación solar directa normal, resultante del estudio.

Figura 1. Irradiación solar directa (DNI) en el Ecuador.



Fuente: Vaca Revelo Diego y Ordóñez Freddy. 2020. Mapa Solar del Ecuador 2019. ISBN: 978-9978-383-56-8. Editorial EPN, Quito. Disponible en: meteo-scinerger.epn.edu.ec

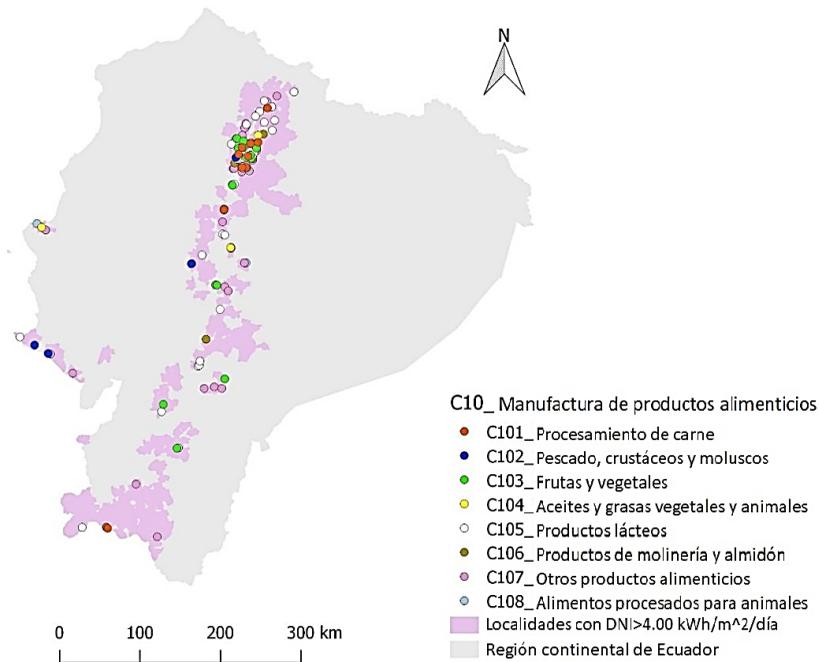
La irradiación solar directa normal (DNI) anual sobre el Ecuador varía desde 0.9 kWh/m².día a 6.0 kWh/m².día. En general, las zonas ubicadas en altitud tienen niveles de radiación mayores, mientras que las regiones de transición hacia la costa o el oriente las menores. En el primer caso, el menor espesor de la atmósfera y la menor presencia de nubes permite tener una mayor radiación. En el segundo caso, la presión atmosférica causa la formación de nubes, lo que hace de estas regiones altamente húmedas y nubosas. Cevallos-Sierra y Ramos- Martín (Cevallos-Sierra & Ramos-Martin,

2018) sugieren un valor de 3.5 kWh/m²día como un valor umbral para proyectos de concentración solar. Pichincha, Ibarra, Loja y Galápagos muestran niveles de irradiación por encima de este valor. El alto potencial solar de Pichincha e Ibarra (4.5-5.2 kWh/m²día) son importantes ya que una buena parte de la industria y población del país se asienta en estas regiones. Por otra parte, Loja cuenta con el mayor potencial solar en el Ecuador continental con niveles de radiación que pueden llegar hasta los 5.5 kWh/m²día. Dado que la industria en esta región no está suficientemente desarrollada, la implementación de proyectos solares puede ayudar a diversificar su matriz productiva. Finalmente, debido a la localización excepcional de las Islas Galápagos, su DNI es la máxima en el país, alcanzando valores entre 4.0 – 7.4 kWh/m²día. Esto sugiere una considerable viabilidad de implementación de tecnologías de concentración solar, y fotovoltaica en la diversificación energética de las islas. El año típico meteorológico (TMY) del NREL fue utilizado para los fines de este proyecto. El TMY indica las condiciones meteorológicas que típicamente ocurren en una locación teniendo como prioridad a los elementos de radiación solar. La nubosidad, al correlacionarse con la radiación solar, se encuentra considerada en el TMY. Sin embargo, el TMY no considera nubosidades o fenómenos extremos como erupciones volcánicas (Wilcox & Marion, 2008).

III. Potencial de implementación de colectores lineales Fresnel

Para entender el potencial de implementación de tecnologías de concentración solar en el país, una vez conocido el recurso solar, es necesario estudiar el potencial tecno-económico de tales implementaciones. En este sentido, se identificaron los subsectores industriales con mayores consumos energéticos a media temperatura (Cartuche, 2019). Este estudio mostró que el subsector agroalimenticio consume el 71% de la energía destinada a la industria en el Ecuador. Los resultados muestran que una considerable cantidad de las industrias dedicadas a la manufactura de alimentos se ubican geográficamente en zonas con DNI mayor a 4 kWh/m² día, como lo muestra la Figura 2.

Figura 2. Distribución de las industrias agroalimentarias en localidades con DNI mayor a 4 kWh/m² día en el Ecuador



Fuente: Cartuche, (2019).

Por otro lado, se realizó un estudio de caso de una empresa alimenticia localizada en Pichincha para evaluar la viabilidad económica de implementar LFC en sus procesos. Esta empresa utiliza una caldera para cubrir su demanda de energía térmica (generación de vapor). Esto es comparado económicamente con el uso de un sistema híbrido de un LFC y una caldera. Los resultados muestran que el costo nivelado del calor (LCOH) producido con tecnología Fresnel es de aproximadamente 9.5 ctvs.USD/kWh-t, mientras que, con una caldera (cuyo combustible es el bunker) se encuentra entre 3.7 ctvs.USD/kWh-t (con precio subsidiado de 1.186 USD/gal) y 5.2 ctvs.USD/kWh-t (con precio internacional sin subsidio de 1.88 USD/gal). En estas condiciones, los sistemas LFC, no son económicamente viables en el país. Además, el estudio de sensibilidad que se realizó a estos resultados muestra que esta tecnología sería viable al considerar un precio del bunker mayor o igual a 3.2 USD/gal o que la inversión inicial disminuya en un 40%. Algunos autores sugieren que el pico de producción de petróleo hará descender dicha producción entre el 2025-2030 (Capellán-Pérez 2014). Se prevé que esta coyuntura incida directamente en la disminución de costos de las energías renovables y un incremento de los precios de los combustibles fósiles, viabilizando la implementación de esta tecnología en el mediano plazo.

IV. Modelación y simulación de un colector solar de Fresnel

Un colector solar lineal de Fresnel consiste en un campo de espejos (helióstatos) dispuestos sobre el suelo que reflejan la radiación solar hacia un receptor lineal ubicado sobre el campo de espejos. El colector se orienta en el eje N-S y los espejos siguen el movimiento solar en la dirección E-O. Varios retos se presentan a la hora de modelar el comportamiento de un LFC. En este trabajo se ha desarrollado el modelo de un LFC en tres partes: modelo óptico, modelo térmico, modelo de integración anual. El modelo óptico calcula la concentración de la radiación solar sobre el receptor para una DNI y posición del sol dadas. El modelo térmico calcula el comportamiento térmico del receptor sometido a un flujo de radiación concentrado. Finalmente, el modelo de integración anual acopla los dos modelos anteriores y calcula la energía anual colectada. En el estado actual de este trabajo, no se ha investigado aún acerca del uso del espacio para la implementación de estos colectores. Se asume que existe el espacio dentro de las industrias para instalar el sistema LFC (en las industrias alimenticias suele haber espacio en las terrazas).

Modelo óptico del campo de heliostatos

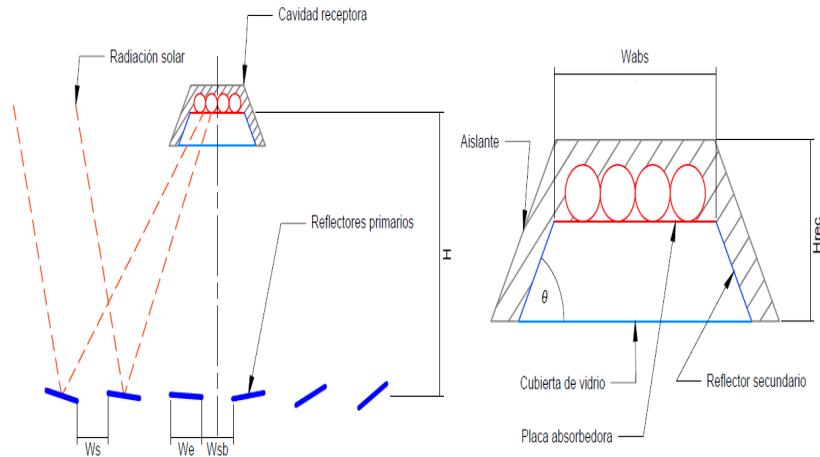
Para desarrollar este modelo se utilizó el software Solstice. Este software utiliza un algoritmo MCRT (Monte Carlo Ray Tracing) para calcular las pérdidas de energía radiante debidas a bloqueos, sombreados, difusión de la radiación, imperfecciones de los espejos, etc. El modelo desarrollado calcula la posición del sol para un tiempo y lugar determinados, y con esto construye una geometría del colector ubicando los espejos de tal manera que su posición refleje la radiación hacia el receptor. Los estudios iniciales se hicieron para Quito. En la Figura 3 se muestra un esquema del campo de espejos. El modelo fue validado por comparación con el trabajo presentado por Zhu (2017), obteniendo errores menores al 1%.

Modelo térmico del receptor

Tradicionalmente, las tecnologías de concentración lineal (PTC y LFC) han usado como receptor tubos al vacío con concentradores secundarios, debido a su alta eficiencia. Sin embargo, este tipo de receptores no son fáciles de construir y deben ser comprados a fabricantes especializados.

Últimamente, algunos autores sugieren el uso de receptores trapezoidales. Si bien este tipo de receptores tienen una eficiencia menor, conllevan otras ventajas como su facilidad de construcción y su amplio margen de mejora.

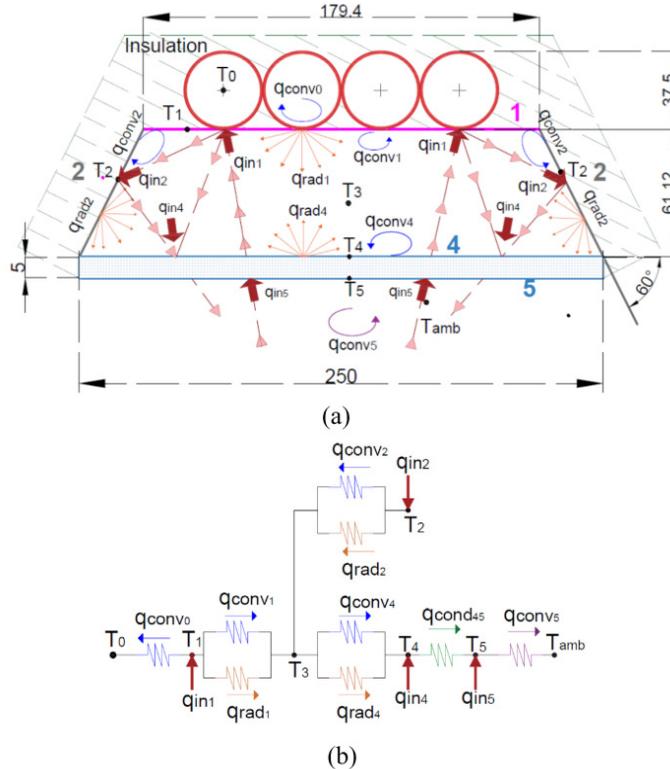
Figura 3. Esquema del colector solar simulado donde se muestra el campo de helióstatos y el receptor. La escala del receptor está sobredimensionada para mejorar la visualización



Elaboración propia.

Con el fin de optimizar la geometría y el funcionamiento de este receptor se escogió desarrollar un modelo simplificado usando resistencias térmicas por sobre uno desarrollado en programas CFD (computational fluid dynamics). Si bien la precisión de este modelo es menor, permitirá simular el comportamiento del receptor en tiempos computacionales mucho menores, consintiendo enfrentar estudios paramétricos y optimizaciones de forma sencilla (Ordóñez & Jaramillo, 2018). Este modelo fue implementado en lenguaje Python. En la Figura 4 se muestra la geometría usada, así como el modelo de resistencias térmicas (las dimensiones están en mm.).

Figura 4. Esquema de (a) la transferencia de calor en el receptor y (b) modelo simplificado de resistencias térmicas



Fuente: Ordóñez & Jaramillo, (2018).

El receptor consiste en una cavidad trapezoidal donde la parte inferior es una cubierta de vidrio, las zonas laterales son superficies reflectivas (reflectores secundarios), y, por último, la parte superior es una superficie selectiva de alta absorptividad y baja emisividad (absorbedor). Este modelo fue validado numéricamente comparándolo con un modelo realizado en un programa CFD (Fluent) obteniendo errores menores al 10%.

Modelo de integración anual de la energía

Uno de los inconvenientes de las simulaciones de concentradores solares es que la integración anual de la energía colectada es costosa computacionalmente. En este trabajo se acopló mediante un código escrito en Python, el modelo óptico con el modelo térmico. Este acoplamiento es una automatización de escritura y lectura de los resultados de Solstice que son leídos por el modelo térmico (*hard-link*). Adicionalmente, se desarrolló un algoritmo de integración anual usando la técnica de Monte

Carlo con el fin de obtener el comportamiento anual del colector teniendo como dato de entrada solamente el archivo anual de DNI (TMY) del emplazamiento. Además, el código fue paralelizado con el fin de obtener velocidades de cómputo razonables. Por ejemplo, la simulación anual del comportamiento del colector, con una precisión del 98,5%, tarda aproximadamente 16 minutos. Esta herramienta se utilizará para realizar estudios paramétricos y optimizaciones de la geometría y de los parámetros operacionales del colector.

A continuación, se presentan algunos resultados importantes obtenidos utilizando las herramientas desarrolladas.

Comportamiento del receptor

Se hizo un estudio detallado del receptor para entender su comportamiento térmico. En la Tabla 1 se muestran los parámetros ópticos usados en la simulación. La simulación fue realizada para un receptor de 100 m de longitud, un flujo másico de agua de 1.25 kg/s, una temperatura de entrada de 150°C, una concentración solar de 20 kW/m² y una temperatura del ambiente de 27°C. La temperatura ambiente para Quito fue tomada como 27°C. Este valor puede darse cuando existen niveles elevados de irradiación como el que se propone en esta parte del estudio.

Tabla 1. Parámetros ópticos usados en la simulación del receptor del LFC

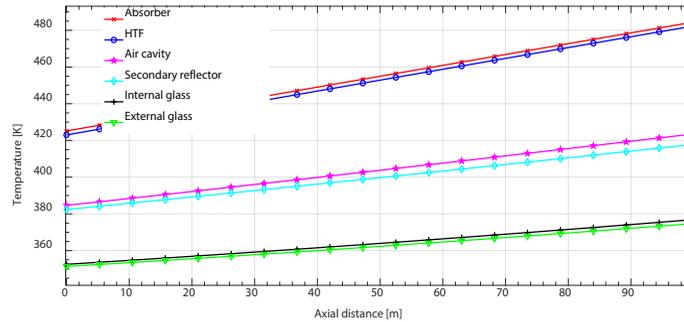
Parámetro	Absorbedor	Reflectores secundarios	Vidrio
Absortancia	0.96	0.1	0.02
Transmitancia	-	-	0.97
Emitancia	0.32	0.1	0.86

Elaboración propia.

En la Figura 5 se muestran las temperaturas obtenidas a lo largo del colector. Note la gran diferencia de temperatura entre el absorbedor y el vidrio. Esta diferencia hace que el mecanismo de transferencia de calor predominante sea por radiación. Los valores de eficiencia térmica obtenidos están alrededor del 89%. Adicionalmente, se realizaron estudios paramétricos para investigar la influencia del recubrimiento del absorbedor (recubrimiento selectivo frente a pintura negra) y del flujo másico. Los resultados muestran incrementos de hasta el 3% usando un recubrimiento selectivo, mientras que la eficiencia energética aumenta con el aumento del flujo másico. Sin embargo, el aumento del flujo másico disminuye la temperatura de salida del fluido de trabajo. Conforme incrementa la temperatura en la placa absorbidora, las pérdidas

por radiación y convección aumentan, dando lugar a que la eficiencia térmica disminuya. Para más detalle consultar la referencia (Ordóñez & Jaramillo, 2018).

Figura 5. Temperaturas dentro del absorbedor

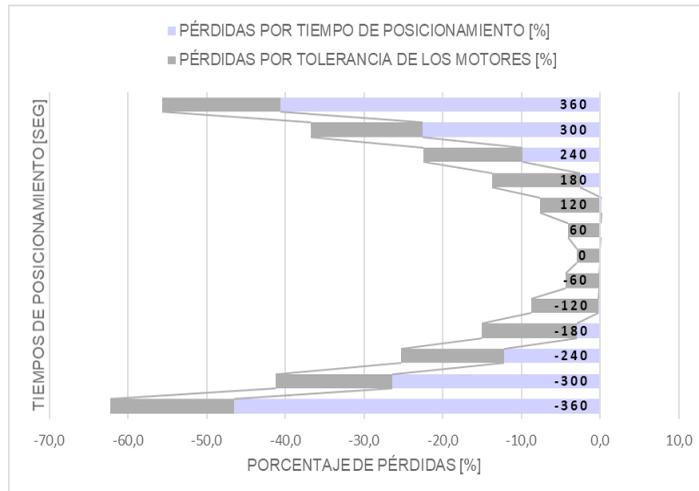


Fuente: Ordóñez & Jaramillo, (2018).

Estudio del tiempo de posicionamiento de los espejos

El movimiento aparente del sol en la bóveda celeste es un movimiento continuo. El movimiento de los espejos que siguen el sol debería también serlo. Esto conlleva algunos inconvenientes. La precisión de los motores debería ser lo suficientemente alta como para tener movimientos casi continuos y su tolerancia debería ser cercana a cero para evitar pérdidas por desenfoque. Esto conlleva a dos inconvenientes, por un lado, el coste de motores con estas precisiones suele ser elevado y, por otro lado, el consumo energético aumenta.

Figura 6. Energía anual obtenida en el receptor para cada tiempo de posicionamiento



Elaboración propia.

En esta parte, se cuantificaron las pérdidas de energía debidas al tiempo de posicionamiento de los espejos (se trabajó con movimientos de los motores de 60, 120, 180, 240, 300 y 360 segundos, en adelante o retraso a la posición solar). El colector usado fue el mismo expuesto anteriormente. Las tolerancias de los motores fueron de $\pm 0.5^\circ$. En la Figura 6 se muestran estos resultados. Se observa que se puede trabajar con tiempos de posicionamiento menores a 120s, ya sea en adelante o retraso, con un resultado de energía perdida menor a 1%. Sin embargo, con tiempos de posicionamiento mayores a 120s, la energía perdida aumenta de forma notable. Note que en esta parte del estudio no se ha tomado en cuenta las pérdidas debidas a las imperfecciones de los espejos (slope error) que pueden variar estos resultados.

V. Trabajos futuros

Actualmente, el grupo de investigación ha emprendido en la construcción de un banco de pruebas de un LFC para comprobar de manera práctica que los resultados teóricos anteriormente mencionados son reales. El diseño del banco de pruebas se muestra en la Figura 7. Estos estudios experimentales permitirán entender mejor los fenómenos físicos y los desafíos tecnológicos involucrados en el desarrollo de un LFC.

Figura 7. Diseño del banco de pruebas del colector Fresnel a implementarse en la EPN



Elaboración propia.

Adicionalmente, se está trabajando en el desarrollo de un receptor que utilice nanofluidos como medio de trabajo (absorbedor volumétrico). El uso de nanofluidos presenta algunas ventajas respecto de un absorbedor de superficie, como la reducción de las pérdidas por re-radiación del receptor y por ende un incremento en la eficiencia del colector. Así mismo, se ha emprendido en el estudio térmico detallado de los receptores propuestos haciendo uso de paquetes CFD. Se está utilizando Ansys-Fluent y OpenFoam. En el segundo caso es ventajoso el uso de este paquete, ya que es un software libre que permite introducir modelos propios.

Aún restan problemáticas por resolver dirigidas a la ocupación espacial y el dimensionamiento de la capacidad térmica en industrias puntuales, con la finalidad de corroborar la aplicabilidad del LFC en la industria nacional. El uso de tubos al vacío también será evaluado.

VI. Conclusiones

La tecnología solar puede ser un actor importante en la diversificación de la matriz energética ecuatoriana. Sin embargo, la participación de estas tecnologías es aún marginal. Con el fin de incentivar la implementación de tecnologías solares en el país, es necesario la investigación y desarrollo de las mismas con la participación de la industria local. Este trabajo presentó los avances en el desarrollo de un colector solar de concentración de Fresnel para generar calor para procesos industriales. Si bien, existe un avance importante en este sentido, es necesario más esfuerzos para lograr el objetivo de desarrollar tecnología local.



Agradecimientos

Este trabajo está siendo desarrollado bajo el financiamiento del proyecto de la EPN, PIMI 15-06. Un agradecimiento especial a los estudiantes que han colaborado con el grupo de investigación y que han aportado con sus trabajos a la consolidación del presente proyecto.

VII. Referencias

- Capellán-Pérez, I., Mediavilla, M., de Castro, C., Carpintero, Ó., & Miguel, L. J. (2014). "Fossil fuel depletion and socio-economic scenarios: An integrated approach". *Energy*, 77, pp. 641-666. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.063>
- Cartuche, N. (2019). *Evaluation of the commercial potential of linear fresnel collectors in the industrial sector of Ecuador, in the short, medium and long term*. Peoples' friendship University of Russia.
- Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018a). "Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, pp. 1154-1165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.015>
- Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018b). "Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 1154-1165. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.08.015>
- CONELEC. (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Recuperado de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Fernández-García, A., Rojas, E., Pérez, M., Silva, R., Hernández-Escobedo, Q., & Manzano-Agugliaro, F. (2015). "A parabolic-trough collector for cleaner industrial process heat". *Journal of Cleaner Production*, 89, 272-285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.018>
- MICSE. (2015). "Resumen Balance Energético Nacional 2015". En *Balance Energético Nacional 2015*. Recuperado de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>
- MISCE. (2016). *Balance energético nacional 2016*. Recuperado de https://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/balance_energetico_2016
- Ordóñez, F., Caliot, C., Bataille, F., & Lauriat, G. (2014). "Optimization of the optical particle properties for a high temperature solar particle receiver". *Solar Energy*, 99, pp. 299-311. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.11.014>
- Ordóñez, F., & Jaramillo, D. (2018). "Thermal performance model and parametric studies of a trapezoidal Fresnel solar receiver". *AIP Conference Proceedings*, 2033(1), 50001. <https://doi.org/10.1063/1.5067083>
- Ordóñez, F., Morales, C., Lopez-Villada, J., & Vaca, S. (2018). "Assessment of the

energy gain of photovoltaic systems by using solar tracking in equatorial regions". *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 140(3). <https://doi.org/10.1115/1.4039095>

Ordoñez, F., Vaca-Revelo, D., & López-Villada, J. (2019). "Assessment of the solar resource in Andean regions by comparison between satellite estimation and ground measurements : study case of Ecuador". *Journal of Sustainable Development*, 12(4). Recuperado de <https://doi.org/10.5539/jsd.v12n4p62>

Wilcox, S., & Marion, W. (2008). *Users Manual for TMY3 Data Sets*. Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

Zhang, H. L., Baeyens, J., Degrève, J., & Cacères, G. (2013). "Concentrated solar power plants: Review and design methodology". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, pp. 466-481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>

Zhu, G. (2017). "New adaptive method to optimize the secondary reflector of linear Fresnel collectors". *Solar Energy*, 144, pp. 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.005>

Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador

Influencia de las deformaciones por flexión, torsión y efectos combinados en las palas sobre el rendimiento de un micro-aerogenerador

Santiago González Pozo ^a, Carlos Armenta Déu ^b

Facultad de Ciencias Físicas/Máster en Energía, Universidad Complutense de Madrid

^asantia08@ucm.es, ^{santiago.gp20@gmail.com}, ^bcardeu@fis.ucm.es

Resumen: El estudio se ha centrado en el estudio de la influencia de las deformaciones en dos tipos de palas de un micro-aerogenerador sobre la generación de energía, así como sobre la eficiencia del mismo. Se realizaron pruebas de laboratorio para simular condiciones de viento determinadas y se calculó la respuesta, en cuanto a generación y eficiencia del micro-aerogenerador. Con métodos mecánicos se crearon deformaciones por flexión, torsión y flexión-torsión combinadas. Los resultados obtenidos demuestran que existe una influencia real y marcada sobre la respuesta del micro-aerogenerador y que aparece una diferencia entre cada tipo de pala. En la mayoría de los casos existe un efecto negativo sobre la generación causada por las deformaciones, siendo distinto para cada tipo de pala. El estudio se podría extrapolar para aerogeneradores reales, abriendo nuevas líneas de investigación para comprender mejor la manera en que estos efectos de deformación influyen el comportamiento del aerogenerador.

Palabras clave: micro-aerogenerador; deformación; eficiencia.

Abstract: This study has been focused on the influence that deformations in two kinds of blades have on the energy generation and efficiency of a micro wind turbine. We have simulated, by using a wind tunnel, wind speed conditions to test the response of the micro wind turbine. Using mechanical methods, the blades have been deformed by bending and applying torsion to them. The results showed the influence that these kinds of deformation on each type of blades have on the efficiency and energy generation of the micro wind turbine. In most of the cases, there is a negative effect, which is different for each blade-type. The study can be extrapolated to commercial wind turbines, opening new lines of investigation to better understand the way these kinds of deformation influence wind turbine behavior.

Keywords: micro wind turbine; blade deformation; efficiency.

I. Introducción

La creciente demanda de energía a nivel mundial y los problemas medioambientales que generan las fuentes convencionales de energía han promovido la búsqueda, el desarrollo y la implantación de fuentes de energía renovables, entre estas se en-

cuentra la eólica que, en la actualidad, es una de las más utilizadas para la generación eléctrica. Actualmente, a nivel mundial, existe una potencia instalada superior a 500 GW y hay un crecimiento exponencial en su uso (Wind and Council, 2019).

Uno de los aspectos fundamentales a estudiar de los aerogeneradores es su respuesta ante las deformaciones de las palas y la influencia que dichas deformaciones tienen en la energía generada, así como, en la eficiencia energética. Desde un punto de vista mecánico existen estudios utilizando tipos de palas específicas para comprobar su respuesta ante la fatiga y para conocer su resistencia ante roturas (Manwell, McGowan, 2002a).

Es sabido que la respuesta de un aerogenerador frente al viento depende, entre otros aspectos, de la geometría de las palas, dado que el perfil alar que “ve” el viento crea determinadas fuerzas de sustentación que son las responsables del giro de la turbina eólica y, por consiguiente, de la generación de potencia y energía. Si se produce un cambio en el perfil alar “visto” por el viento, se altera la composición de fuerzas sobre la pala del aerogenerador, modificándose, por tanto, el valor de las fuerzas de sustentación y, con ellas, la velocidad de giro y la potencia y energía generadas (Manwell, McGowan, 2002).

Las modificaciones del perfil alar se pueden deber a modificaciones producidas por el control del aerogenerador, tales como variación del ángulo de guiñada, del ángulo de cabeceo, etc., o bien a cambios en la geometría de la pala como resultado de la acción del viento, fuerzas de arrastre, el peso de las propias palas, o de la presencia de momentos no compensados que den lugar a desequilibrios mecánicos y dinámicos. En tanto, el primer grupo tiene lugar como resultado de acciones voluntarias destinadas a modificar el par de giro para generar mayor o menor velocidad de rotación debido a la necesidad de adecuar la generación de potencia y energía a la demanda de la red, el segundo grupo se produce de manera involuntaria como consecuencia de la acción del viento y la gravedad, creando efectos indeseables que, además no pueden ser revertidos (Burton; Sharpe; Jenkis, 2001).

La aplicación de los principios de mecánica clásica sobre el análisis de fuerzas que actúan sobre la pala de un aerogenerador ha demostrado que pequeñas variaciones en el perfil alar del aerogenerador provoca cambios significativos en la respuesta del mismo, tanto en generación de energía como en eficiencia del dispositivo. Es por ello que es de especial relevancia comprender cómo actúan los efectos debidos a las deformaciones sobre el comportamiento del aerogenerador, no tan solo por la posible reducción en la potencia y energía generadas, sino también por la influencia que ello pueda tener sobre la duración de las palas.

El presente estudio plantea determinar los efectos sobre la eficiencia, así como la potencia y energía generadas, de tres tipos de deformaciones, en dos tipos de palas distintas. Los resultados obtenidos pueden proporcionar una herramienta muy útil para programar acciones correctivas sobre el mantenimiento de los aerogeneradores,

al tiempo que predecir el grado de obsolescencia de los mismos y, por tanto, establecer un adecuado calendario de sustituciones.

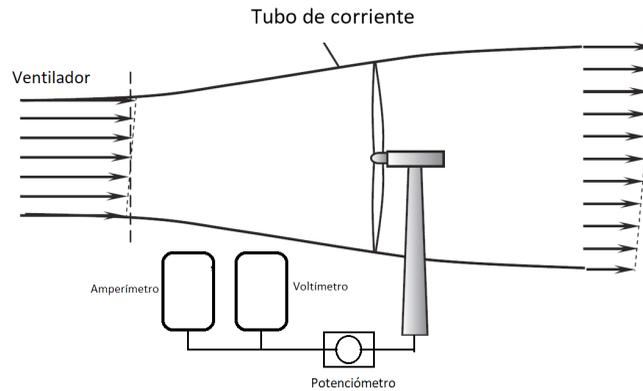
II. Materiales y métodos

Para determinar la curva característica de las palas se ha montado un diseño para medir su respuesta en distintas velocidades de viento. Se utilizó un ventilador con potencia variable y un túnel cilíndrico para simular el viento a distintas velocidades. Asimismo, se empleó un circuito eléctrico formado por una resistencia variable, un voltímetro y un amperímetro para la determinación de las curvas de potencia del aerogenerador, variando la carga y, por tanto, la corriente y el voltaje generado por el micro-aerogenerador (fig.1). Este procedimiento se repitió utilizando dos tipos de palas, cuya geometría y perfil alar era distinta, y a tres velocidades de viento: 2.6 m/s, 2.9 m/s y 3.3 m/s.

El micro-aerogenerador del experimento tiene 30cm de alto. Cada pala estaba compuesta de plástico y tenía una longitud de 15.5cm. El ventilador utilizado para simular el viento tiene un diámetro de 30cm y una potencia de máxima de 50W, siendo capaz de generar tres niveles distintos de velocidad de viento. El túnel de viento tenía unas dimensiones de 50cm de diámetro y 50.5cm de largo.

Para calcular la velocidad del viento en cada una de las potencias del ventilador se utilizó un anemómetro que tomaba medidas a tiempo real. Como las mediciones de velocidad del viento no eran constantes y fluctuaban levemente debido a pequeñas turbulencias, se tomaron medidas cada 15 segundos durante 5 minutos para obtener la velocidad promedio en cada uno de los niveles del ventilador.

El micro-aerogenerador se conectó a un voltímetro y a un amperímetro que proporcionaban los valores de la tensión y la corriente generada. Al utilizar la resistencia de carga variable, los valores de voltaje y corriente cambiaban y de esta manera se pudieron tomar varias mediciones para así obtener las curvas I-V y P-V del micro-aerogenerador para cada tipo de pala.

Figura 1. Esquema del banco de pruebas

Elaboración propia.

Para comparar la respuesta del micro-aerogenerador sobre la generación y eficiencia del mismo se obtuvieron las curvas I-V y P-V. El primer paso fue obtener resultados para ambos tipos de pala sin ninguna deformación, de esta forma podemos conocer el comportamiento estándar, es decir con palas nuevas. Después, a las palas se las tuvo que deformar por flexión, torsión y el efecto combinado flexión-torsión y nuevamente obtener resultados utilizando la misma metodología.

Flexión en las palas

A las palas se las sometió a esfuerzos de flexión colocando una masa de 100 gramos en el extremo de cada una de estas, mientras que el otro extremo se encontraba anclado a un punto fijo. El peso de la masa colocada en un extremo generaba un momento que deformaba la línea de pala original y la “doblaba”. Las palas fueron sometidas a este proceso por un período de 1 semana; de esta manera se puede simular un desgaste de largos periodos de tiempo en situaciones normales de funcionamiento. Después de este proceso, se obtuvieron nuevamente las curvas de potencia del micro-aerogenerador, esta vez con las palas deformadas por flexión, a las distintas velocidades de viento y con cada tipo de pala para así poder comparar con las curvas sin deformaciones.

Torsión en las palas

Para simular los efectos de torsión en las palas, se sujetaron los extremos de las palas en dos soportes y se procedió a girar uno de ellos, con relación al otro, un ángulo de 15 grados, creando así un efecto de torsión sobre la pala. Las palas se mantuvieron

en esta posición durante 1 semana, de manera que se pudieran simular efectos de torsión de largos periodos de tiempo.

Terminado el proceso de deformación por torsión, se midieron las curvas I-V y P-V del micro-aerogenerador con las palas deformadas, para evaluar tanto la potencia generada como el coeficiente de potencia.

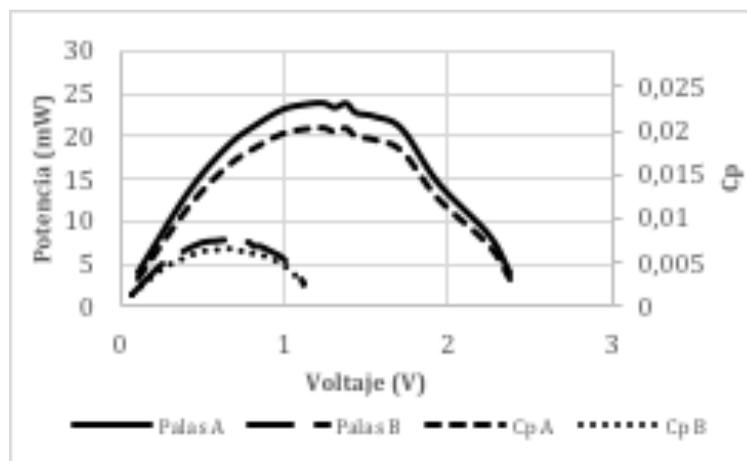
Finalmente, se sometieron a los dos tipos de palas a un proceso de flexión y torsión para comprender los resultados de un efecto combinado de los dos tipos de deformaciones sobre el funcionamiento y la potencia generada.

III. Resultados y Discusión

Con la información recopilada de corriente, voltaje y potencia generada se procedió a hacer una caracterización de las palas para conocer su curva de potencia (P-V), la cual determina la potencia generada por el micro-aerogenerador en función del voltaje que este genera. Como se ha mencionado en el apartado de la metodología, se utilizó un potenciómetro para variar la resistencia de carga, por lo tanto, el voltaje y la corriente se iban modificando y con ellas, la potencia del micro-aerogenerador.

Para empezar, se obtuvieron las curvas de potencia de los dos tipos de palas sin deformaciones, para comparar la potencia generada en cada caso. También se calculó el coeficiente de potencia lo que nos proporcionará una valoración sobre la eficiencia del micro-aerogenerador. En la Figura 2, que está a continuación, podemos ver los resultados:

Figura 2. Curva de potencia y Cp (Palas A y B)



Elaboración propia.

En la Figura 1 se puede observar de manera clara que la respuesta en potencia de las palas tipo A es muy superior al de las palas tipo B, siendo aproximadamente tres veces superior. En cuanto al C_p , que determina la eficiencia del aerogenerador, también fue del orden de tres veces mayor. Esto se debe al diseño de la pala, siendo el tipo A el adecuado, en tanto que el tipo B no lo es. Estos resultados nos muestran que es fundamental un diseño de pala adecuado para un mayor aprovechamiento del recurso eólico.

Normalmente, los diseños de los aerogeneradores de gran tamaño suelen tener un C_p entre 0.3-0.4 cuando trabajan en las condiciones óptimas; debido a que nuestro modelo está desarrollado a escala, y a que las condiciones experimentales no fueron las ideales (flujo de viento turbulento), el valor del C_p para nuestro micro-aerogenerador fue mucho menor, dentro del rango 0.018-0.021, que, sin embargo, se ha considerado como un C_p válido para nuestro caso.

Efectos de las deformaciones en las Palas A

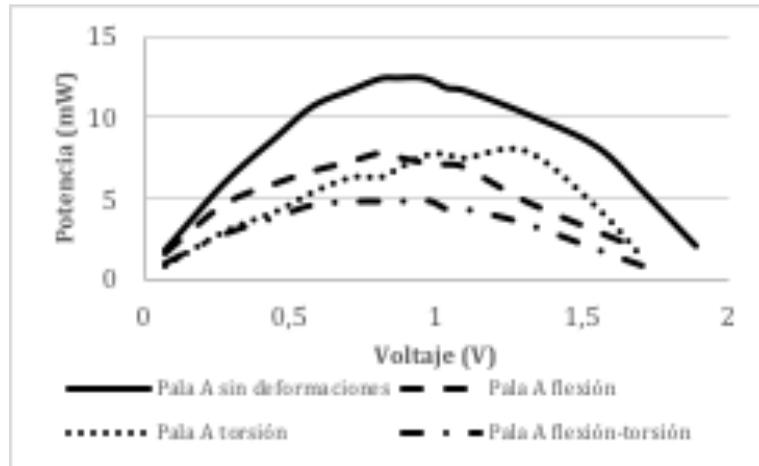
Para conocer detalladamente los efectos de las deformaciones en la curva de potencia característica del micro-aerogenerador se han elaborado, para una misma velocidad, las gráficas comparativas de los efectos de la flexión, torsión y flexión-torsión combinadas.

Con objeto de poder tener una mejor visión, y saber mejor el efecto de cada tipo de deformación sobre la curva de la potencia, se procedió a elaborar una gráfica P-V para cada una de las velocidades a las que se realizaron las pruebas, con el fin de reunir y comparar el comportamiento con las distintas deformaciones.

Para el diseño óptimo de pala tipo A, los efectos de las deformaciones son evidentes, provocando una reducción de la potencia del micro-aerogenerador. Para cargas bajas, esto es resistencia de carga elevada, en las que el voltaje generado es reducido, el efecto de torsión es más significativo que el de flexión, ocurriendo lo contrario para cargas elevadas. Como era de esperar, el efecto combinado de la flexión y la torsión es el que más ha influenciado negativamente en la curva de potencia.

Debido a que los voltajes altos se corresponden con corrientes reducidas, esto es, con resistencia de carga elevada, y a que la velocidad de viento es reducida, lo que provoca una velocidad de giro igualmente lenta, el efecto del contra-momento positivo en la zona más alejada se reduce notablemente, puesto que el momento en dicha zona es muy sensible a la velocidad del viento.

Figura 3. Curvas P-V Palas tipo A. Velocidad 1



Elaboración propia.

Si calculamos el coeficiente de potencia máximo promediado en las tres velocidades, para cada una de las curvas los resultados son los siguientes:

Tabla 1. Palas tipo A. Velocidad 1

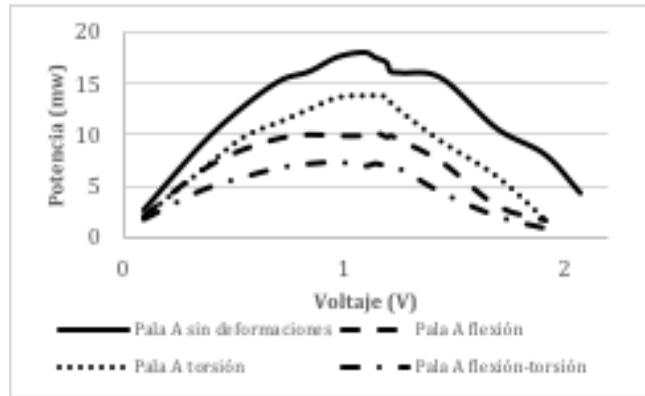
Tipo de deformación	Cp	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.02141	1
Flexión	0.01376	0.643
Torsión	0.01334	0.623
Flexión-Torsión	0.00845	0.395

Elaboración propia.

A la Tabla 1 se le ha agregado un factor de corrección del coeficiente de potencia que, multiplicado por el Cp de las palas sin deformar, nos da el resultado del Cp con la deformación correspondiente. Este factor nos sirve para estimar los efectos que tendrían las deformaciones en las palas en la eficiencia y la potencia generada.

Continuando con el análisis, las figuras 4 y 5 nos muestra los resultados de las deformaciones a la velocidad 2, que es de 2.9 m/s y a la velocidad 3 que es de 3.3m/s.

Figura 4. Curva P-V Palas tipo A. Velocidad 2



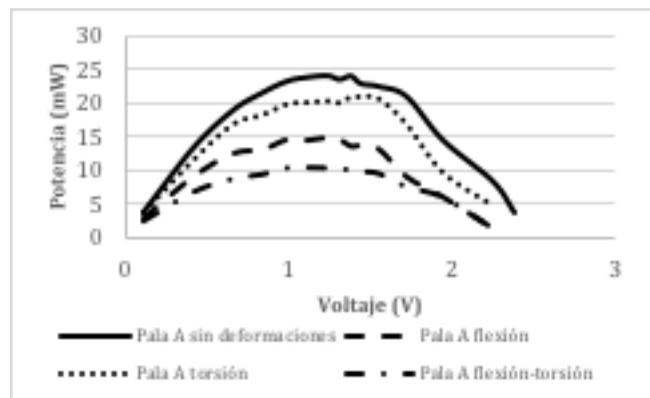
Elaboración propia.

Tabla 2. Palas tipo A. Velocidad 2

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.02227	1
Flexión	0.01264	0.568
Torsión	0.01725	0.775
Flexión-Torsión	0.00920	0.413

Elaboración propia.

Figura 5. Curva P-V Palas tipo A. Velocidad 3



Elaboración propia.

Tabla 3. Palas tipo A. Velocidad 3

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.02053	1
Flexión	0.01268	0.618
Torsión	0.01766	0.860
Flexión-Torsión	0.00865	0.421

Elaboración propia.

Como la velocidad del viento en condiciones reales nunca es constante, los valores de C_p y del factor de corrección a las tres velocidades distintas, se han promediado para comprender como influyen las deformaciones de las palas en general.

Tabla 4. Palas tipo A. Promedio

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.02140	1
Flexión	0.01303	0.610
Torsión	0.01608	0.753
Flexión-Torsión	0.00877	0.410

Elaboración propia.

Del análisis de los resultados podemos ver que los efectos de torsión dan lugar a una menor reducción del coeficiente de potencia en comparación con los de flexión. Los efectos combinados por flexión-torsión son los que producen una mayor caída del valor de C_p , y por tanto una mayor pérdida de eficiencia. Igualmente, se puede apreciar que los efectos de torsión presentan una tendencia decreciente con el aumento de velocidad, esto es, el coeficiente de potencia va aumentando a medida que lo hace la velocidad.

Con estos resultados podemos decir que, cuando se somete a las palas tipo A a esfuerzos de torsión, la potencia generada se reduce a un 75.3% del valor obtenido para palas sin deformaciones, lo que quiere decir que su eficiencia ha disminuido en un 24.7%. A su vez, la flexión genera una reducción del 39%, en tanto que el efecto combinado de ambos tipos de deformación da lugar a una reducción del 59%.

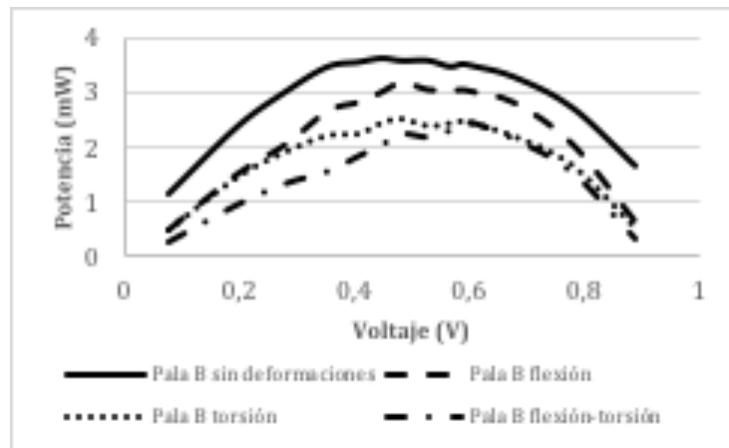
Es de hacer notar que los efectos de las deformaciones en las palas tipo A pueden provocar una pérdida de potencia tan elevada que pudiera no ser rentable seguir operando y se tenga que invertir en palas nuevas para el aerogenerador. Estos resultados

demuestran que los diseños de las palas tienen que ser resistentes a sufrir deformaciones de cualquier tipo.

Efectos de las deformaciones en las palas tipo B

Al igual que para el caso de las palas tipo A, se procedió a elaborar una gráfica P-V para cada velocidad a las que se hicieron las pruebas, con el objetivo de comparar el comportamiento para los distintos tipos de deformación. Dichas gráficas se muestran en las figuras de 6 a 8.

Figura 6. Curvas P-V Palas tipo B. Velocidad 1



Elaboración propia.

A bajas velocidades, el mejor comportamiento, como parece lógico, lo muestran las palas sin deformar, en tanto que las palas con deformación por flexión presentan mejor comportamiento que las deformadas por torsión y estas que las que han sido deformadas por combinación de ambos efectos.

Se debe destacar que, a bajos voltajes no hay diferencias apreciables entre los efectos de la deformación por flexión o por torsión; esto es justificable por el hecho que para bajos voltajes la resistencia de carga externa es pequeña, lo que tiene a incrementar el efecto positivo sobre el par de giro en la zona más alejada del buje, que es donde los efectos por torsión tienden a incrementar la velocidad de rotación y con ello la potencia generada. En cambio, para voltajes elevados con resistencias de carga altas, la velocidad de rotación tiende a reducirse, lo que hace que los efectos del contra-momento positivo de la deformación por torsión en la zona alejada del buje se reduzcan, limitando con ello la potencia generada.

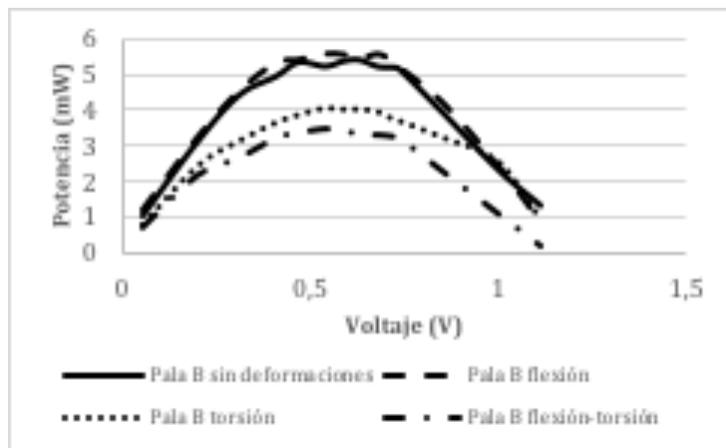
Al realizar nuevamente el análisis del coeficiente de potencia, C_p y del factor de corrección para las palas tipo B, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6. Palas tipo B. Velocidad 1

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.00625	1
Flexión	0.00618	0.866
Torsión	0.00433	0.691
Flexión-Torsión	0.00422	0.674

Elaboración propia.

Figura 7. Curvas P-V palas tipo B. Velocidad 2



Elaboración propia.

Tabla 7. Palas tipo B. Velocidad 2

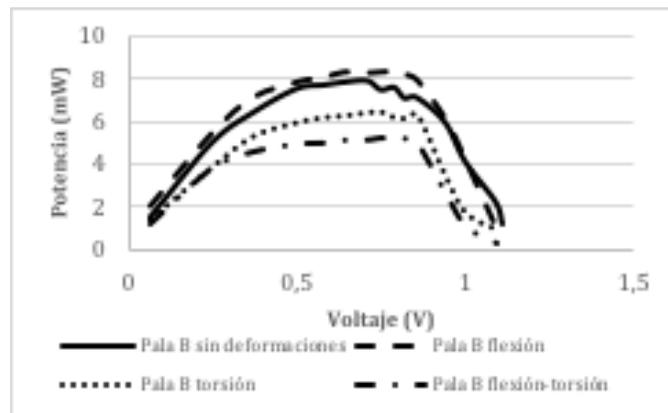
Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.00672	1
Flexión	0.00689	1.026
Torsión	0.00505	0.752
Flexión-Torsión	0.00427	0.636

Elaboración propia.

A velocidades intermedias los resultados difieren mucho con relación a velocidades bajas. Se puede notar que la curva para deformación por flexión es pareja con la correspondiente a palas sin deformar; esto se debe a que el efecto compensatorio de la deformación por flexión sobre el perfil alar de la pala se incrementa con la velocidad del viento, y nos indica que, para palas con un diseño inadecuado, como las de tipo B de nuestro trabajo. Las deformaciones por flexión pueden no afectar el rendimiento, incluso mejorarlo. Sin embargo, ya hemos comentado que esta situación es temporal, puesto que la deformación por flexión alcanzará un punto óptimo de trabajo, a partir del cual la deformación sigue produciéndose y los efectos asociados empiezan a tener consecuencias negativas sobre la potencia.

En la Tabla 7 se observa que el factor de corrección es mayor a 1 en la flexión, lo que significa un C_p mayor y un mejor rendimiento que las palas sin deformaciones. El efecto es poco significativo y no induce a pensar en una mejora relevante de la potencia por efectos de la deformación por flexión. En cuanto a la torsión y flexión-torsión el patrón no ha cambiado y siguen teniendo un peor rendimiento en comparación.

Figura 8. Curva P-V palas tipo B. Velocidad 3



Elaboración propia.

Tabla 8. Palas tipo B. Velocidad 3

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.00666	1
Flexión	0.00701	1.053
Torsión	0.00537	0.807
Flexión-Torsión	0.00438	0.657

Elaboración propia.

En esta última gráfica de las palas tipo B, se puede apreciar que cuando se las somete a flexión tienen un mejor rendimiento que las palas sin deformaciones. Este hecho ha sido ya justificado con anterioridad.

La Tabla 8 nos muestra que, según lo comentado anteriormente, el C_p y el factor de corrección son superiores cuando las palas fueron sometidas a deformaciones por flexión, consecuencia del aumento del efecto positivo por adecuación del perfil alar de la pala a medida que se incrementa la velocidad del viento.

Para terminar el análisis de las palas B hemos procedido a obtener el coeficiente C_p y el factor de corrección promedio, que se presentan a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Palas tipo B. Promedio

Tipo de deformación	C_p	Factor de corrección (f)
Sin deformar	0.00654	1
Flexión	0.00669	1.023
Torsión	0.00492	0.752
Flexión-Torsión	0.00429	0.656

Elaboración propia.

Al ser un diseño no óptimo de palas los efectos sobre la energía generada por el micro-aerogenerador no son tan altos en comparación con las palas tipo A, e incluso puede aumentar su eficiencia. La deformación por flexión ha sido ligeramente beneficiosa y aumentó levemente el coeficiente C_p y su factor de corrección es superior a 1. Con torsión, el factor de corrección fue de 0.752, lo que significa que genera un 75.2% de energía en comparación a las palas sin deformar y su eficiencia disminuyó un 25%. Con flexión-torsión la eficiencia fue un 34.4% menor.

Para concluir se realizó una tabla comparativa entre los dos tipos de palas y se analizó el coeficiente de potencia y las pérdidas/ganancias en la eficiencia.

Tabla 10. Cp y pérdidas en la eficiencia en los dos tipos de palas

Tipo de deformación	Palas A		Palas B	
	Cp	Pérdidas de eficiencia	Cp	Pérdidas de eficiencia
Sin deformar	0.02140	0	0.00654	0
Flexión	0.01303	39.1%	0.00669	+2.3%
Torsión	0.01608	24.9%	0.00492	24.8%
Flexión-Torsión	0.00877	59.0%	0.00429	34.4%

Elaboración propia.

Los resultados nos muestran que, en palas con diseño óptimo, tipo A, los efectos de las deformaciones siempre repercuten negativamente en su rendimiento en general, siendo la flexión-torsión la que mayores pérdidas de eficiencia genera, seguido por la flexión y finalmente la torsión. En un tipo de pala con diseño no óptimo, tipo B, los efectos de la deformación por flexión pueden compensar, e incluso mejorar, las pérdidas de potencia generadas por la propia deformación, sea de manera individual, o combinadas con otro tipo de deformación como la torsión.

IV. Conclusiones

Los resultados nos mostraron que en cada tipo de pala la respuesta a las deformaciones es diferente. Las palas de tipo A mostraron un rendimiento tres veces mayor por lo que se ha considerado que su diseño geométrico y aerodinámico es el óptimo para las condiciones experimentales. El diseño de las palas B obtuvo resultados de potencia bajos y fue muy ineficiente, por lo que se las consideró como un diseño no óptimo. Los efectos de las deformaciones por flexión, torsión y flexión-torsión sobre la eficiencia fueron muy distintos para cada tipo de pala. En el caso de un diseño de palas óptimo, tipo A, hubo una reducción considerablemente alta en la eficiencia del micro-aerogenerador. En el caso de las palas tipo B en el caso de la flexión aumentó sutilmente la eficiencia, probablemente a que esa deformación tuvo un efecto beneficioso en la geometría de la pala mejorando su respuesta aerodinámica. El efecto de la torsión y la flexión-torsión tuvieron efectos perjudiciales sobre la eficiencia, aunque no tanto como en el otro tipo de pala, probablemente por el hecho de que este tipo de palas ya cuenta con un potencial de generación reducido. Si extrapolamos los resultados obtenidos hacia un aerogenerador real se podría obtener información valiosa para entender la vida útil de las palas y realizar una proyección de la generación teniendo en cuenta las pérdidas de eficiencia. También puede resultar útil para investigar y realizar mejores diseños de palas, más eficientes y resistentes a las deformaciones.

V. Referencias

- European Wind Energy Association (EWEA). (2009). *Wind Energy – The Facts Wind Energy – The Facts*. Vol. 33.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkis, N., Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*. United Kingdom.
- Christensen, V. (2009). “Ecopath with Ecosim: Linking Fisheries and Ecology 1 Why Ecosystem Modeling in Fisheries?” *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*. 34, pp. 1755–8336.
- Energ, M.; Cornejo, E. (2008). *L Sistema Eólico*. eoi.
- Manwell, J.; McGowan, J.; Rogers, A. (2002). *Wind Energy Explained. Theory, Design and Application*. edited by John Wiley and Sons.
- Hui, L.; Shi, L.; McLaren, P. (2005). “Neural-Network-Based Sensorless Maximum Wind Energy Capture with Compensated Power Coefficient.” *IEEE Transactions on Industry Applications* 41(6), pp. 1548–56.
- Marín, J. C., F. Paris Barroso, and J. Cañas. (2007). “Estudio De Los Daños Por Fatiga En Palas De Aerogenerador.” *Anales de La Mecánica de Fractura* 2, pp. 581–86.
- Spera, D. (2011). *Wind Turbine Technology*. edited by David A. Spera. New York.
- Twidell, J. (2015). *Renewable Energy Resources*. London: Routledge.
- Wind Global and Energy Council. (2019). “Report 2018” (April).

Eficiencia energética y
emisiones ambientales
en hornos de ladrilleras
artesanales del cantón
Cuenca

Eficiencia energética y emisiones ambientales en hornos de ladrilleras artesanales del cantón Cuenca

**Adrián F. Cabrera Z.^a, Rómulo A. Faicán Z.^a, Daniela Albuja^b, Catalina Peñaherrera^b,
Nélida Cabrera^c, Valeria Coronel V.^c, M. Raúl Peláez S.^d**

^a Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

^b Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

^c Comisión de Gestión Ambiental – CGA, Municipalidad de Cuenca

^d Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

adrian.cabrera@ucuenca.edu.ec, arturo.faican@ucuenca.edu.ec, manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec

Resumen: La elaboración de ladrillos y tejas es un segmento industrial muy importante en el Cantón Cuenca, pero también uno de los sectores de mayores emisiones ambientales. Una opción para reducir dichas emisiones es la adopción de hornos menos contaminantes y más eficientes, como es el caso de los hornos de tiro invertido. Estos hornos han superado la etapa de pruebas, pero se desconoce la evolución del comportamiento de la composición de los gases con respecto al tiempo, su eficiencia energética en las condiciones de operación en Cuenca y sus ventajas, desde el punto de vista energético, respecto a los hornos tradicionales ampliamente usados actualmente. El objetivo de este trabajo es determinar los contaminantes emitidos a la atmósfera en los hornos de tiro invertido, determinar la eficiencia energética de los mismos y comparar estos resultados con los de hornos tradicionales. Para ello se efectuaron mediciones de emisiones y una evaluación de la eficiencia energética de los dos tipos de hornos. La eficiencia energética de los hornos de tiro invertido es ~20%, que es aproximadamente el doble de los hornos artesanales. Se espera que estos resultados ayuden a expandir el uso de hornos más eficientes en la industria ladrillera y de tejas artesanales en Cuenca.

Palabras clave: eficiencia energética, horno de tiro invertido, emisiones ambientales, ladrilleras.

Abstract: The manufacture of bricks and tiles, a very important industrial segment in Cuenca, is one of the sectors with the highest environmental emissions. One option to reduce those emissions is the adoption of less polluting and more efficient ovens such as the inverted draft ovens. The testing stage of these ovens in Cuenca has finished but the evolution of the gases released with respect to time and their energy efficiency in the operating conditions in Cuenca have not been evaluated. In addition, the advantages of these ovens over the old/traditional ovens, from an energy point of view, deserves further study. The objective of this work is to determine the pollutants emitted into the atmosphere in inverted draft ovens and determine their energy efficiency and compare these results with those of traditional furnaces. For this purpose, emission measurements and an evaluation of the energy efficiency of both types of

furnaces are conducted. The energy efficiency of inverted draft ovens is ~20%, which is approximately twice that of traditional ovens. The results of this work are expected to help expanding the use of more efficient furnaces in the brickwork and artisanal tiles industry in Cuenca.

Keywords: energy efficiency, inverted draft ovens, bricks industry, environmental emissions.

I. Introducción

La industria es trascendental para el desarrollo de países en desarrollo, como es el caso de Ecuador. Uno de los segmentos industriales más importantes es la producción de materiales de construcción, entre los que se encuentra la fabricación de ladrillos. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2010 se registraron 1730 micro empresas dedicadas a la producción de ladrillos a escala nacional, con al menos 10 personas laborando en cada empresa (ALTIOR, 2013). Los ladrillos son en su mayoría producidos usando hornos artesanales, alimentados principalmente con leña (madera y sus residuos, a veces mezclados con otros tipos de biomasa) como combustible. En el proceso se emiten altas cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) que generan contaminación al ecosistema (González, 2013), debido fundamentalmente a la baja tecnificación en la fabricación y uso de este tipo de hornos. La elaboración de los ladrillos tampoco cuenta con un control de calidad adecuado.

Estudios efectuados por el programa Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA) muestran que la implementación de tecnologías más eficientes, especialmente durante la cocción de ladrillos, puede resultar en reducciones de emisiones contaminantes del 10 al 50%, dependiendo del proceso, escala y combustible utilizado (EELA, 2017). De acuerdo con EELA (2011), la emisión de gases de efecto invernadero por tonelada de ladrillo producido se aproxima a los 300 kg de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), problema que afecta también a la salud de la población.

Las ladrilleras artesanales que funcionan en el Cantón Cuenca y que han venido operando desde hace mucho tiempo, han sido objeto de análisis por parte de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) de la Municipalidad de Cuenca, debido a la alta contaminación por la liberación de GEI. Por este motivo, se han buscado alternativas a los procesos de producción que generen menor impacto al ambiente. El proyecto EELA, implementado en el año 2010, tiene como fin contribuir a la mitigación del cambio climático través de la reducción de las emisiones de GEI generados por las ladrilleras artesanales (CGA, 2013). El elemento más importante que se ha propuesto para tal fin es la implementación de hornos de tiro invertido, que alcanzan temperaturas de hasta 1000°C (superior a la temperatura de hornos tradicionales).

El horno de tiro invertido presenta un diseño que mejora el rendimiento en la cocción de los ladrillos y disminuye el consumo de combustible (leña), mejorando la calidad de los productos y los ingresos económicos de las familias dedicadas a esta

actividad (EELA, 2015). Este horno posee una estructura rectangular sin aislamiento térmico, con una bóveda en la parte superior y varias aberturas a los lados para inyectar aire y combustible. Los gases son evacuados a través de una criba o emparrillado en su piso (solera).

Si bien el proyecto EELA se viene ejecutando desde el año 2010, no ha existido un seguimiento a las emisiones de NO, NO₂, SO₂, CO, CO₂ y material particulado, por lo que junto a la CGA se ha visto la necesidad de realizar un estudio para determinar las concentraciones de los contaminantes resultantes de los hornos y verificar que el programa implementado está manteniendo su efectividad con el transcurso del tiempo. Adicionalmente, no existe información referente a la eficiencia energética de estos hornos. Los resultados del estudio podrán ser comparados con la normativa vigente, con el fin de confirmar si las concentraciones de gases producidos por los hornos se encuentran dentro de los estándares establecidos por la normativa nacional y/o con valores en normas internacionales. Además, los datos obtenidos serán usados para proponer una nueva normativa de emisiones únicamente para ladrilleras artesanales. La ejecución del presente trabajo se justifica porque existe una necesidad evidente de: a) cuantificar los gases de efecto invernadero en los hornos de tiro invertido para valorar su funcionamiento y proponer una normativa sobre las emisiones permisibles en este tipo de hornos; y, b) determinar la eficiencia energética de los hornos de tiro invertido y tradicionales para comparar el consumo de combustible respectivos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar los contaminantes emitidos a la atmósfera en los hornos de tiro invertido, determinar la eficiencia energética de los mismos y comparar estos resultados con los de los hornos tradicionales. Estos resultados permitirán sustentar de mejor manera la necesidad de la adopción de hornos más tecnificados y propiciar su implementación en mayor escala.

II. Materiales y Métodos

Para este estudio se realizó una medición de la composición de los gases emitidos y se efectuó un balance térmico en los hornos de tiro invertido. Luego se calcularon y compararon las eficiencias de los hornos tradicionales con los hornos de tiro invertido empleados en ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca.

II.I Balance térmico

Para el balance térmico en los hornos de tiro invertido se aplicaron un conjunto de ecuaciones basadas en metodologías disponibles en la literatura para realizar balances térmicos en calderas (por ejemplo, Pankratov (1986) y Erojin y Majankó (1986)) y en hornos de ladrilleras (Hinojosa y Velasco, 2004). Para el análisis se parte del hecho de que los hornos de las ladrilleras comparten algunos elementos con una caldera de combustibles sólidos, como hogar, paredes, chimeneas y puertas, además de que manejan combustibles similares (en este caso la leña).

Para los cálculos se tomó en cuenta la masa de la leña por cada ciclo de cocción en el horno (7300 kg) y la masa de ladrillos introducida al horno en cada ciclo de trabajo (28750 kg por cada carga de 5000 ladrillos, donde cada ladrillo tiene una masa seca de 5,8 kg).

La ecuación general de balance térmico a ser aplicada para los hornos de tiro invertido es la Ec. 1. La Fig. 1 muestra un esquema del horno y las pérdidas de calor más importantes. Por conveniencia, los cálculos correspondientes a cada término de la Ec. 1 se muestran en la sección de resultados.

$$Q_{dis}^a = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad (1)$$

Donde:

Q_{dis}^a - Energía disponible en el combustible (leña) en cada carga [kW].

Q_1 - Calor aprovechado para la cocción de los ladrillos [kW] en el ciclo de trabajo completo.

Q_2 - Calor perdido en los gases de combustión por la chimenea [kW].

Q_3 - Calor perdido debido a reacciones químicamente incompletas en el uso del combustible [kW].

Q_4 - Calor perdido debido a la combustión mecánicamente incompleta [kW].

Q_5 - Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno [kW].

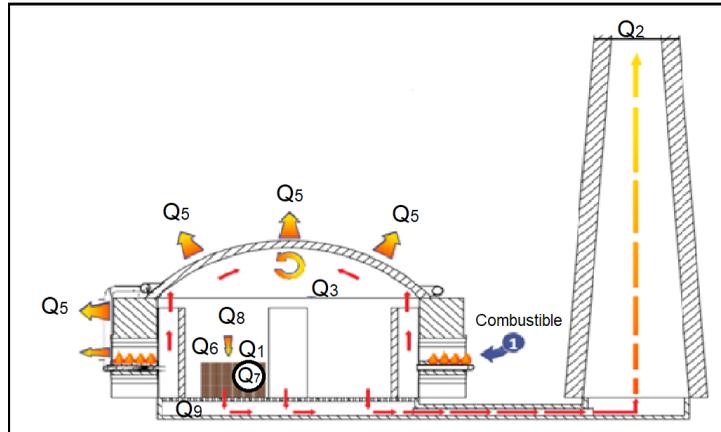
Q_6 - Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas [kW].

Q_7 - Calor perdido por la descomposición del carbonato en las arcillas [kW].

Q_8 - Calor perdido en la evaporación de la humedad de los ladrillos [kW].

Q_9 - Calor perdido por conducción en el suelo de los hornos [kW].

Figura 1. Horno de tiro invertido. Alimentación de combustible, flujo de gases y pérdidas de calor en el horno y pérdidas de calor



Fuente: EELA, (2015).

Los términos Q_1, Q_2, \dots, Q_9 se definen en la Ec. 1.

II.II Análisis de los gases emitidos

La medición de los gases emitidos por los hornos de tiro invertido estuvo a cargo de la CGA y se efectuó durante dos días consecutivos y en condiciones de trabajo a máxima capacidad de un horno, en el mes de abril de 2019. Para el efecto se empleó un analizador de gases, colocado en la chimenea del horno, que permitió la medición de material particulado, SO_2 , NO_x , CO y CO_2 . Si bien la medición se efectuó durante dos días únicamente, se espera que los resultados sean representativos de lo que ocurre en los equipos, ya que las condiciones de operación son aproximadamente similares a lo largo del año. Sin embargo, futuros estudios podrían ayudar a identificar si existen diferencias entre diferentes meses del año.

III. Resultados y Discusión

III.I Resultados del balance térmico del horno de tiro invertido

III.I.I Energía suministrada al horno

El calor total que entra al horno (Q_{dis}^a) se refiere a la cantidad de calor que el sistema tendrá durante un ciclo de trabajo. Este valor es igual al poder calorífico inferior de

la madera, que en nuestro caso tomamos como 14500 kJ/kg (Francescato y Antonini, 2012). Sin embargo, este valor puede variar en dependencia del combustible utilizado y sus condiciones. Al trabajar con madera y basádonos en las condiciones de los hornos, el combustible no se precalienta antes de entrar al horno y tampoco entra calor al horno junto con el aire (es decir, no hay precalentamiento del aire). Por lo tanto, la energía suministrada al horno es (Ec. 3):

$$Q_{dis}^a = Q_{in}^a * m_{comb} \quad (3)$$

Donde:

Q_{in}^a – Poder calorífico de la leña (PCI) (kJ/kg).

m_{comb} – Masa de combustible para la cocción de los ladrillos (kg/s).

Para los cálculos de m_{comb} se toma en cuenta el peso del combustible empleado y el tiempo de operación del horno, asumiendo que la alimentación es constante. La densidad de la leña (que fue medida en el sitio de estudio) es de 730 kg/m³ en promedio. Un ciclo de trabajo dura 48600 s (13,5 horas). Tomando en cuenta que la ladrillera emplea ~10 m³ de leña en cada ciclo y que, cuando se realizó el trabajo, la humedad de la misma fue 21%, como promedio (valor obtenido a través de mediciones siguiendo la norma ASTM D4442-07) entonces, la masa de leña empleada $m_{comb} = 7300 * 0,79 / 48600$ kg/s. Por lo tanto, $Q_{dis}^a = 1720,6$ kW

III.I.II Calor aprovechado para la cocción

Con el fin de determinar el porcentaje de humedad de los ladrillos se realizó un pesaje de una muestra de ladrillos húmedos (antes del proceso de cocido) y secos (luego del proceso de cocido) que son procesados en la ladrillera. La cantidad de humedad promedio de los ladrillos fue 13%. Para el cálculo del calor aprovechado para la cocción de los ladrillos se emplea el peso sin humedad, mediante la Ec. 5, tomando en cuenta que el $C_{p\ arcilla}$ del material de los ladrillos es 0,84 kJ/(kg K), que la temperatura de cocción es 800°C y que la temperatura ambiente durante las horas de cocción (es decir, 10°C, que es típica durante la noche) para la masa de ladrillos seca:

$$Q_1 = m_{ladrillos} * C_{p\ arcilla} * \Delta T \quad (5)$$

$$Q_1 = 344,5 \text{ kW}$$

A su vez, es posible relacionar este resultado con el valor de la energía contenida en el combustible, usando la Ec. 6.

$$q'1 = (Q_1 * 100) / Q_{dis}^a \quad (6)$$

$$q'1 = 20\%$$

Este valor constituye, a su vez, la eficiencia del horno

III.I.III Pérdidas de calor en el horno

III.I.III.I Pérdidas de calor con los gases de combustión que salen por la chimenea

La pérdida de energía con los gases de escape en la chimenea del horno de tiro invertido (q_2) depende de la temperatura y volumen de los mismos (Ec. 7). Para el cálculo se emplea la metodología de Pankratov (1986) y Erojin y Majankó (1986).

$$q_2 = I_{g.e} \cdot \epsilon - (\alpha_{g.e} \cdot I_{a.f}) \cdot \left(\frac{100 - q_4}{100} \right) \quad (7)$$

Donde:

$I_{g.e}$ - Entalpía de los gases [kJ/kg]

$\alpha_{g.e}$ - Coeficiente de exceso de aire del horno

$I_{a.f}$ - Entalpía del aire que entra al horno [kJ/kg]

q_4 - Porcentaje de pérdida por combustión mecánicamente incompleta

Para proceder con el cálculo se determina primero el volumen teórico (V°) de gases de combustión. Para ello se usa la Ec. 8.

$$V^\circ = 0,089C + 0,266H + 0,033(S_{vol} - O) \quad (8)$$

Para la composición elemental de la leña se tiene que C = 50%, H = 6%, N = 0,2% y O = 43,8% (González, 2014). Además, S=0. Por lo tanto, $S_{vol} = 0$.

Entonces:

$$V^\circ = 4,66 \text{ m}^3/\text{kg}$$

El volumen de gases triatómicos V_{RO_2} en los gases es (ecuación 9):

$$V_{RO_2} = 0,0187 \cdot (C + (0,3755S \cdot S_{vol})) \quad (9)$$

$$V_{RO_2} = 0,935 \text{ m}^3/\text{kg}$$

El volumen teórico de nitrógeno en los gases (ecuación 10):

$$V^{\circ}_{N_2} = 0,79 V^{\circ} + (0,8 N/100) \quad (10)$$

Entonces, $V^{\circ}_{N_2} = 3,68 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Volumen teórico del vapor de agua en los gases de combustión ($V^{\circ}_{H_2O}$) (Ec. 11)

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0,0124 * (9*H+W) + (0,0161 * V^{\circ}) \quad (11)$$

$$V^{\circ}_{H_2O} = 1,01 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Por lo tanto, la entalpía de los gases de combustión es:

$$I_g = (V_{RO_2} * (c\vartheta)CO_2 + (V^{\circ}_{N_2} * (c\vartheta)N_2) + (V^{\circ}_{H_2O} + (c\vartheta)H_2O) \quad (12)$$

Donde:

I_g es la entalpía de los productos de combustión cuando el coeficiente de exceso de aire es ϑ ; CO_2 es la entalpía de 1 m^3 para CO_2 ; N_2 es la entalpía de 1 m^3 para N_2 ; H_2O es la entalpía de 1 m^3 para el vapor de agua. De acuerdo con la literatura (Pankratov, 1986), para una temperatura de los gases de combustión de 190°C (que es la temperatura en la chimenea, inmediatamente a la salida del horno):

$$(c\vartheta)CO_2 = 338,2$$

$$(c\vartheta)N_2 = 247$$

$$(c\vartheta)H_2O = 288,7$$

Por lo tanto, $I_g = 1504,2 \text{ kJ/kg}$

A su vez, la entalpía del aire (I_a)

$$I_a = V^{\circ} * (c\vartheta)a \quad (13)$$

Donde:

I_a es la entalpía del aire; $(c\vartheta)a$ es la entalpía para 1 m^3 del aire a la temperatura de 190°C ,

$$(c\vartheta)a = 256,6 \text{ kJ/kg}$$

Por lo tanto, $I_a = 1180,5 \text{ kJ/kg}$

Debido a que no existe una medición exacta de la cantidad de aire que entra al horno, en nuestro caso se asume que $\varphi_{g,e} = 1,4$ (futuros trabajos deben medir flujos de aire). Entonces:

$$\begin{aligned} I_{g,e} &= 1755,22 \text{ kJ/kg} \\ I_{af} &= V^\circ C_{pa} * t_a \\ C_{pa} &= 1,297 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_a &= T_{amb} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \\ I_{af} &= 71,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad (14)$$

Tomando en cuenta el tiempo de cocción y la masa de ladrillos, se tiene que $Q_2 = 281,8 \text{ kW}$, que en porcentaje de pérdida representa 16,4% de la energía disponible en el combustible.

III.I.III.II Pérdida debido a reacciones químicamente incompletas

En el caso de las ladrilleras, donde se emplea leña, la cantidad de azufre (S) es nulo o al menos fuera del rango de detección de los instrumentos usados para su determinación, por lo que su valor no es considerado relevante para el cálculo. El contenido de S en el combustible repercute en que los gases de escape no poseerán SO_2 , por lo que solo trabajaremos con CO_2 en los gases de escape en la Ec. 15:

$$q_3 = 237 (C + 0,375 S_{vol}) \text{ CO} / (\text{RO}_2 + \text{CO}) \quad (15).$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{RO}_2 &= \text{CO}_2 + \text{SO}_2 \\ \text{RO}_2 &= \text{CO}_2 \end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$q_3 = 237(C) * \text{CO} / (\text{CO}_2 + \text{CO})$$

CO gases 0,35 % (Ver Resultados del análisis de los gases en el horno, Sección 3.2)

CO₂ 10,19 % (Ver Sección 3.2)

q₃ 393,50 kJ/kg.

Considerando el tiempo de operación y la carga en el horno, Q₃ 59,11 kW, que representa un 3,2% de la energía en el combustible.

III.I.III.III Pérdidas de calor debido a la combustión mecánicamente incompleta

Para el presente estudio se toma en consideración la forma del horno, en donde el combustible se coloca en el suelo y no existen pérdidas por caída de combustible, lo que provocaría pérdidas de calor por arrastre de cenizas. Asimismo, por el tipo de combustible que se trabaja (leña) no existen pérdidas por escorias. Adicionalmente, no existen pérdidas por arrastre debido a que los resultados de material particulado representan una concentración muy baja (Ver Sección 3.2). Por lo tanto, se concluye que no existen las pérdidas de calor debido a la combustión mecánicamente incompleta (Q₄ = 0 kW).

III.I.III.IV Pérdidas al medio ambiente por las paredes del horno

Estas pérdidas dependen de calor disponible suministrado para el sistema, menos la sumatoria de las pérdidas de calor de todo proceso de cocción que se dan en el sistema, como se muestra en la Ec. 16. El cálculo de este valor se efectúa al final, con los resultados de los otros tipos de pérdidas.

$$Q_5 = Q_{dis} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9) \quad (16)$$

III.I.III.V Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas

La determinación del calor requerido para la deshidratación de la arcilla (Q₆) se efectuó a partir de la masa total de ladrillos en una quema y el calor de deshidratación de la arcilla, cuyo valor es de 4 kcal/kg (16,75 kJ/kg) (Hinojosa y Velasco, 2005). El cálculo emplea la Ec. 17.

$$Q_6 = m \cdot C_d \quad (17)$$

Por lo tanto, Q₆ = 9,90 kW, que representa 0,5% de la energía contenida en el combustible utilizado.

III.I.III.VI Calor perdido por la descomposición del carbonato

El calor requerido para la descomposición del carbonato de calcio (CaCO_3) depende del porcentaje de carbonato en la arcilla empleada en la zona de estudio, que en nuestro caso llega a 1% (Álvarez y Chacho, 2015). Partiendo de la ecuación de balance $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ y sabiendo que el calor de reacción (C_{desc}) correspondiente es 177,9 kJ/kg, el valor respectivo se obtiene mediante la Ec. 18 (Hinojosa & Velasco, 2005):

$$Q_7 = m_{\text{CaCO}_3} * C_{desc} \quad (18)$$

En las condiciones de este estudio, $Q_7 = 10,6$ kW, que representa 0,62% de la energía ingresada al horno en el combustible.

III.I.III.VII Calor perdido en la evaporación de la humedad

El cálculo de este valor depende de la masa total de humedad en los ladrillos y el calor de evaporación del agua, cuyo valor (C_e) es 2261 kJ/kg. La humedad de los ladrillos es de 13%, empleando la Ec. 19.

$$Q_8 = m_{\text{H}_2\text{O}} * C_e \quad (19)$$

Se obtiene que $Q_8 = 173,48$ kW, que equivale a 10,08% de la energía en el combustible.

III.I.III.VIII Calor perdido por conducción en el suelo

En este estudio se considera que calor perdido por conducción del suelo del horno es relativamente bajo y equivalente, aproximadamente, al valor determinado en el estudio de Velasco e Hinojosa (2004), para un horno de aproximadamente iguales dimensiones. En el referido estudio se determinó que el porcentaje de pérdidas por este concepto es 0,9% del contenido energético del combustible.

Con los valores obtenidos es posible estimar las pérdidas al medio ambiente por las paredes del horno (Q_5). Es decir, $Q_5 = 843,54$ kW, que equivale a 49,03% de la energía suministrada al horno en el combustible.

III.I.IV Eficiencia energética de hornos tradicionales

En el caso de los hornos tradicionales, los datos de producción y consumo de combustible fueron obtenidos a través de las encuestas realizadas a los artesanos.

Para calcular (Q_{dis}^a) se empleó la Ec. 3, tomando en cuenta que la masa de combustible (leña) usado, para estos hornos, es 5840 kg y que el tiempo de cocción de los ladrillos es 15,5 horas. En el cálculo se toma igual contenido de humedad y densidad del combustible que en los hornos de tiro invertido. Consecuentemente, $Q_{dis}^a = 1198,87$ kW. El calor aprovechado para la cocción de los ladrillos (Ec. 5) es 115,06 kW. Este resultado implica que el calor aprovechado para la cocción de los ladrillos es 9,7% de la energía suministrada en el combustible; es decir, esta es la eficiencia de este tipo de hornos.

III.II Análisis de emisiones y propuesta de normativa referencial

Los resultados de la composición de los gases de combustión en cuatro hornos de tiro invertido se muestran en la Tabla 1. Se observa que, de acuerdo con las normativas vigentes actualmente en el país, los parámetros evaluados están, en su mayoría, dentro de los rangos permitidos. Sin embargo, es importante notar que, por ejemplo, el CO es mayor a los permitidos en la norma ecuatoriana en dos de los hornos. Este aspecto requiere un análisis más detallado porque, al parecer, las pérdidas por combustión químicamente incompleta son mayores que en los otros hornos, algo que se puede corregir de manera relativamente simple mediante el incremento del coeficiente de exceso de aire.

Tabla 1. Composición de los gases en los hornos de tiro invertido evaluados

Parámetro (mg/Nm ³)	Horno				Valores permitidos*
	1	2	3	4	
MP	0	0	49	0	100
CO	2944	1008	1450	2343	1650
NO _x	69	20	24	28	650
SO ₂	13	7	7	8	NA

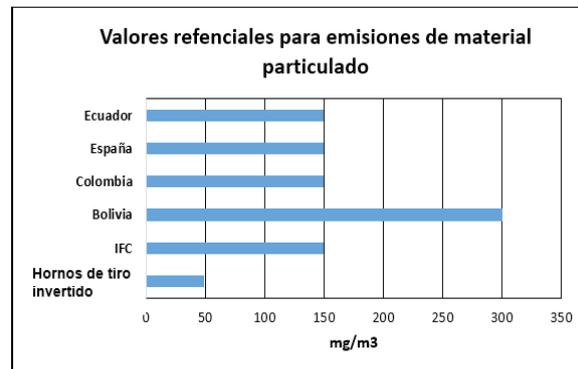
* De acuerdo con la norma vigente en el país.

Elaboración propia.

Para establecer una propuesta de los valores permisibles en los hornos de la actividad ladrillera se evaluaron las normativas correspondientes de otros países y se compararon los valores de las emisiones de cada contaminante con los resultados obtenidos en el presente estudio. Las Fig. 2, 3, 4 y 5 muestran el límite máximo permisible para cada parámetro en varios países y el valor medio determinado en los hornos de

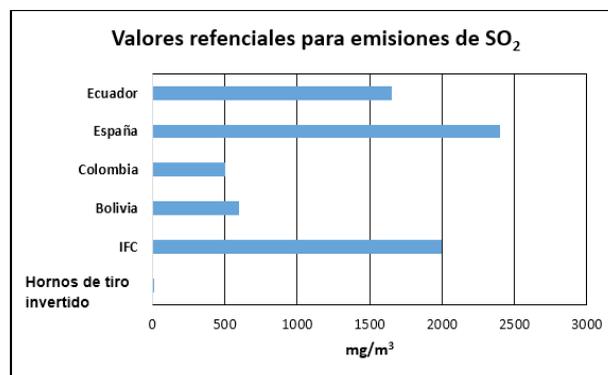
tiro invertido. Los valores referenciales de las figuras han sido tomados de AMBIENTE (1999) (para España), Ministerio del Ambiente (2008) (para Colombia), RASIM (2002) (para Bolivia) y ECUADOR (2015) (para Ecuador). Se incluyen, además, valores referenciales de la Corporación Financiera Internacional (IFC), misma que ha establecido estos valores para industrias o proyectos que financia esta institución (IFC, 2007).

Figura 2. Comparación de límites permisibles para material particulado



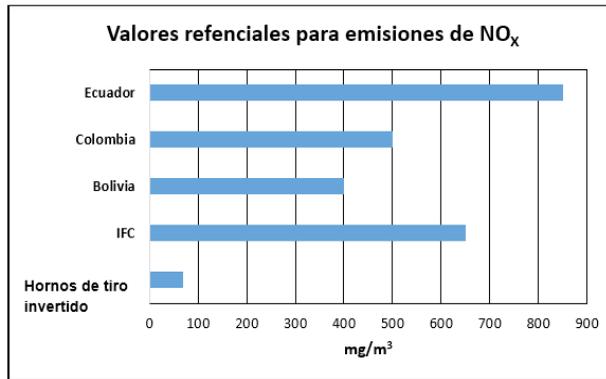
Elaboración propia.

Figura 3. Comparación de límites permisibles para SO₂



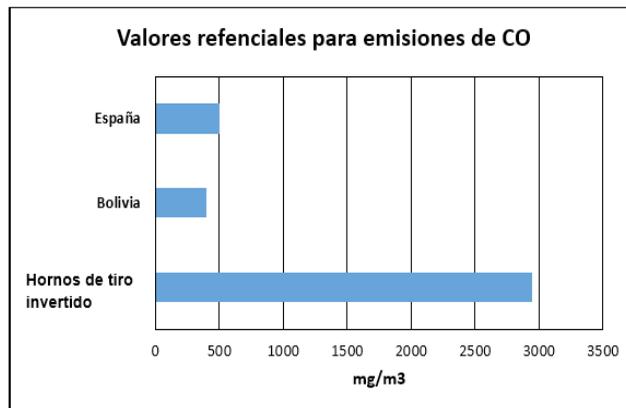
Elaboración propia.

Figura 4. Comparación de límites permisibles para NO_x .



Elaboración propia.

Figura 5. Comparación de límites permisibles para CO .



Elaboración propia.

III.III Análisis de resultados

Se observa que la eficiencia energética de los hornos de tiro invertido, en las condiciones indicadas en este trabajo, es de alrededor de 20%, mientras que la eficiencia energética de los hornos artesanales es aproximadamente 10% (que es la mitad de la eficiencia de los hornos de tiro invertido). Este resultado se explica en parte porque los hornos de tiro invertido poseen una mejor circulación de aire, gracias a la presencia de un ventilador que incrementa la cantidad de aire que ingresa al sistema y mejora su

distribución dentro del horno. Los hornos tradicionales artesanales cuentan con ventiladores que no han sido calculados de acuerdo a los requerimientos del horno y no suministran aire suficiente. Por otro lado, el combustible empleado es, en su mayoría, madera en forma de troncos de dimensiones grandes (con frecuencia de más de 1 m de longitud) y los operarios alimentan la leña en cantidades muy grandes. La acumulación de mucho combustible cerca de la puerta de alimentación restringe la entrada de aire y, al parecer, no existe oxígeno suficiente para la combustión (es decir, el oxígeno en el horno es menor al estequiométricamente requerido para la combustión de la leña).

Un factor adicional es la falta de uniformidad en el suministro del combustible en los hornos tradicionales, en parte debido a las dimensiones de los troncos de leña, ya que los operarios, luego de introducirlos en el horno, esperan a que se combustionen dichos materiales para iniciar con una nueva carga de combustible. Se ha identificado, asimismo, que se requiere de un ventilador con parámetros de suministro de aire conocidos y que sean capaces de inyectar aire en exceso (por ejemplo, un 30% en exceso), respecto al estequiométricamente necesario para la combustión. Finalmente, un tema que reduce la eficiencia de los hornos tradicionales es la pérdida de calor a través de los gases de combustión, debido a que estos no cuentan con chimenea (es decir, son abiertos en la parte superior).

Un aspecto relevante que se ha observado, y que se debe tomar en cuenta en la operación de los hornos, es que la humedad de los ladrillos que entran en el horno tiene un alto impacto en la eficiencia. La reducción de un punto porcentual en la humedad de los ladrillos va a permitir un incremento de aproximadamente igual valor en la eficiencia de los hornos. Por lo tanto, es necesario buscar estrategias para mejorar el secado de los ladrillos antes de la cocción aprovechando, por ejemplo, los gases de combustión calientes.

Este trabajo constituye un primer paso en realizar un análisis detallado de los hornos de las ladrilleras de nuestro país y abre las puertas para profundizar en estudios cuantitativos que muestren el comportamiento de estos hornos desde el punto de vista energético. Mientras países como Colombia (Guerrero Gómez, 2018) o Bolivia (Hinojosa y Velasco, 2004), por mencionar dos ejemplos en América del Sur, han avanzado en este tema, Ecuador necesita también poner más atención al comportamiento de los hornos, partiendo de un análisis energético en las condiciones de operación reales, para tomar acciones que permitan mejorar la eficiencia de los mismos.

Respecto a las emisiones de los hornos de tiro invertido, se observa que los mismos cumplen, en la mayoría de los indicadores, con la normativa vigente en nuestro país y que están incluso por debajo de las normas de otros países. Por lo tanto, se podría pensar en que los límites permisibles para material particulado pueden ser 100 mg/m³, 50 mg/m³ para SO_x, 100 mg/m³ para NO_x y 2500 mg/m³ para CO. Los valores propuestos se sugieren como punto inicial para establecer una normativa específica para los hornos de tiro invertido. Sin embargo, estos valores deben ser revisados con nuevas mediciones en condiciones de trabajo continuas. Sin embargo, se aclara que

esta situación es distinta en los hornos artesanales, donde incluso resulta complejo realizar mediciones de contaminantes en los gases, debido a que, como se ha mencionado antes, los mismos no cuentan con chimeneas y resulta difícil decidirse por un punto en el cual la composición de los gases es representativa de todo el volumen de gases. Por lo tanto, una de las tareas urgentes es, como ya se ha discutido con la CGA, efectuar remodelaciones urgentes a estos hornos.

IV. Conclusiones

Se ha identificado que la eficiencia de los hornos de tiro invertido es más del doble de los hornos tradicionales. Los resultados sugieren que, en el horno de tiro invertido, las pérdidas de calor al medio ambiente por las paredes son altas respecto a los otros tipos de pérdidas energéticas. Un aspecto importante a señalar es que los cálculos, en algunos casos, asumen situaciones que requieren revisión posterior. Por ejemplo, se asume que las temperaturas de los gases son constantes a lo largo de todo el ciclo de trabajo, lo que no siempre ocurre. Asimismo, debido a la falta de información, se ha asumido, en el caso de los hornos de tiro invertido, que existe en el horno aire suficiente para la combustión completa de la leña. Es más, se ha asumido que existe aire en exceso suficiente para garantizar una buena combustión, aspecto que necesita ser verificado. Por otro lado, se observa una necesidad urgente de adoptar mejoras en los hornos tradicionales para incrementar su eficiencia debido a que un mayor consumo de combustible, como resultado de la baja eficiencia, provoca mayor contaminación ambiental y, al mismo tiempo, repercute en la economía de los artesanos, quienes deben comprar más leña para el proceso. Se espera que estos resultados permitan llevar a cabo actividades con las personas involucradas en la industria ladrillera para fomentar estrategias que permitan mejorar dicha eficiencia. Finalmente, se espera que futuros estudios permitan confirmar que el comportamiento de los hornos, en cuanto a emisiones ambientales, es similar a lo largo de todos los meses del año.

V. Referencias

- Afh Services (2019). *Informe de emisiones gaseosas en fuentes fijas de combustión*. Quito.
- Altior (2013, 02 14). *Estudio de mercado sector ladrillero artesanal en Ecuador*. Recuperado de Estudio de mercado sector ladrillero artesanal en Ecuador.
- Álvarez Delgado, N., Chacho Uyaguari, G. (2015). *Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar*, Tesis Carrera de Ingeniería Química, Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ambiente, D. D. (1999). *Decreto oficial de la generalidad de Cataluña*. Cataluña, España. Retrieved 03 26, 2019
- CGA (2013). *Proyecto: Eficiencia energética en ladrilleras artesanales*. Recuperado de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/05am11-0101.pdf>
- EELA (2015, 09). *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*. Recuperado de http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf
- EELA (2017). *Red de intercambio de conocimientos para el sector ladrillero*. Recuperado de <http://www.redladrilleras.net/>
- EPA (1995). *United States Environmental Protection Agency, Air Clearing House for Inventories and Emissions Factors*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn-catc1/cica/files/technic3.pdf>
- Erojin, V.G., Majanko, M.G. (1986). *Problemas de Fundamentos de hidráulica y termotecnia*, Moscú: Ed. MIR.
- Francescato, V., & Antonini, E. (2012). *Manual de combustibles de madera*. Madrid: AVERIOM. Recuperado de http://www.biomassstradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/Handbook/Handbook_E.pdf.
- González, A. (2013). "Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros y su utilización como combustible en hornos ladrilleros". *Scielo*, 70.
- González, A. (2014). "Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros

y su utilización como combustible en hornos ladrilleros". *Revista Tecnura*, 18 (70), 70. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a05

Guerrero Gómez, G., Acevedo Peñaloza, C.H., Escobar Mora, N., (2018). *Eficiencia Energética En Hornos De Producción De Materiales Cerámicos*, Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Hernández, P. (2014). *Características térmicas de los materiales*. Recuperado de <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>

Hinojosa , O., & Velasco, C. (2004). "Diagnóstico del trabajo de las ladrilleras artesanales en la Ciudad de Oruro". *Revista Metalúrgica N° 25*, 42.

Hinojosa , O., & Velasco, C. (2005). "Cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de Ladrillo Artesanal". *Revista Metalúrgica UTO*, 10. Recuperado de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932005000100003&script=sci_arttext.

IFC, W. B. (2007). *Guías Generales sobre Medio Ambiente, Emisiones al Aire y Calidad del Aire*. Banco Mundial, Corporación Financiera Internacional.

Ministerio De Ambiente (2008). *Estándares De Emisión Admisibles De Contaminantes Al Aire Para Fuentes Fijas Puntuales De Actividades Industriales*, Resolución Número (909). Bogotá, Colombia.

Pankratov, G. (1986). *Problemas de termotecnia*. Moscú: Mir.

Rasim, R. A. (2002). *Reglamento ambiental del sector industrial manufacturero*. La Paz, Bolivia.

Ecuador (2015). *Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI, Anexo 4. Técnica Ambiental Ecuatoriana*. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>

Análisis de la Eficiencia de Sistemas de Almacenamiento de Energía Electroquímicos

Análisis de la Eficiencia de Sistemas de Almacenamiento de Energía Electroquímicos

Analysis of the Efficiency of Electrochemical Energy Storage Systems

Eddy Bravo, Héctor Sumba, Fernando Delgado

Facultad de Ingeniería / Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Cuenca
eddybravop@gmail.com , inghector.1988@gmail.com, ferde574@gmail.com

Resumen: La presente investigación se enfoca en el análisis de los datos de energía activa máxima obtenidos de los ciclos de carga/descarga de los sistemas de almacenamiento de Ion-Litio, plomo ácido, flujo de vanadio redox y supercondensadores existentes en el laboratorio de Microrredes del Centro de Energía del Campus Balzay de la Universidad de Cuenca, con el objetivo de determinar su eficiencia energética y establecer los tiempos de duración de los ciclos.

Palabras clave: Eficiencia energética del almacenamiento, ion-litio, flujo de vanadio redox, supercondensadores, plomo ácido.

Abstract: The present investigation focuses on the analysis of the maximum active energy data obtained from the charge/discharge cycles of the storage systems of lithium ion, acid lead, redox vanadium flow and supercapacitors existing in the Micro-grid laboratory of the Energy Center of the Balzay Campus of the University of Cuenca, with the objective of determining its energy efficiency and establishing the duration of the cycles.

Keywords: Energy efficiency of storage, ion-lithium, vanadium redox flow, supercapacitors, lead acid.

I. Introducción

La electricidad es una de las formas más versátiles de energía, ya que se puede convertir de manera eficiente en otras formas de energía. Sin embargo, una de sus desventajas es que no puede ser almacenada fácilmente a gran escala puesto que, por lo general, toda la energía eléctrica se consume a medida que se genera. Existe un balance adecuado entre generación y demanda, cuando esta es abastecida por centrales eléctricas convencionales, pero cuando se incorpora fuentes de energía no convencionales a los sistemas eléctricos, como por ejemplo la energía fotovoltaica o la eólica a una micro-red o sistema con generación distribuida, no se puede suplir la

demanda en todo momento, por ser fuentes de energía intermitentes, que dependen de la disponibilidad del recurso primario para la generación.

El almacenamiento de energía, para su posterior inyección a la red, cuando se lo requiera, es una de las características que se desea incorporar a los sistemas eléctricos de potencia, micro-redes y sistemas de generación distribuida, particularmente a aquellas que operan en modo “isla” ya que de esa manera se mejora la calidad de la energía, se estabiliza el voltaje y la frecuencia suministrada y se suple la demanda durante las horas pico (Patel, 1999). Hasta mediados de 2017, la capacidad total de energía almacenada a nivel mundial llegó a los 176 gigavatios (GW), de los cuales el 96,1% corresponde a almacenamiento hidráulico. Sin embargo, existen otras tecnologías de almacenamiento energético que ya cuentan con un uso importante en todo el mundo, tales como el almacenamiento térmico, con 3.3 GW (1.9%); baterías electroquímicas, con 1.9 GW (1.1%) y otras de almacenamiento mecánico con 1.6 GW (0.9%) (International Renewable Energy Agency (IRENA), octubre 2017).

Una de las tecnologías de almacenamiento de energía con mayor proyección y utilidad son los bancos de baterías electroquímicas de tipo secundario; que consiste en una combinación de electrodos sumergidos en una solución electrolítica que facilita el intercambio de iones que conducen la electricidad. Esta tecnología tiene la capacidad de transformar la energía química en energía eléctrica en su ciclo de descarga o entrega de energía a la red, y de energía eléctrica a energía química en su ciclo de carga o absorción de energía de la red. De las distintas baterías electroquímicas que existen en la actualidad, la que cuenta con un gran potencial de desarrollo es el conformado por baterías de ion-litio, que aportó el 59% de la capacidad instalada operativa a mediados de 2017, seguido por las baterías de plomo-ácido que, si bien ha sido una de las tecnologías de almacenamiento más comunes, en la actualidad ha perdido terreno frente a otro tipo de tecnologías, con un aporte de apenas el 3% de capacidad instalada; y, las baterías de flujo de vanadio redox y los supercondensadores, que no superan el 1% cada una (International Renewable Energy Agency (IRENA), octubre 2017). Se está empezando a utilizar, con mayor frecuencia, los supercondensadores en aplicaciones como fuentes intermitentes de generación distribuida y en las relacionadas a la afirmación de la potencia y mejoramiento de la calidad de la energía suministrada. Al incorporarse, cada vez más, las micro-redes y la generación distribuida a los sistemas eléctricos de potencia, los sistemas de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) adquieren mayor relevancia, razón por la que éstos deben poseer alta eficiencia energética al menor costo posible, de manera que resulte atractivo su utilización en diversas aplicaciones, principalmente en las micro-redes y en la industria.

Este trabajo tiene como objetivo determinar la eficiencia energética de cada una de las tecnologías de almacenamiento energético disponibles en el Laboratorio de Micro-redes del Campus Balzay de la Universidad de Cuenca. Para ello, en la sección II se describen los sistemas de almacenamiento de energía electroquímicos analizados. En la sección III se determina experimentalmente la eficiencia energética de cada uno de los sistemas de almacenamiento descritos en la sección anterior para posteriormente realizar una comparación de las eficiencias energéticas y tiempos empleados en el proceso de carga/descarga en la sección IV.

II. Descripción de los sistemas de almacenamiento

Los sistemas de almacenamiento existente en el laboratorio de Microrredes, descritos en Espinoza, González, y Sempértégui, (2017), son capaces de interactuar, de forma dinámica, en los ciclos de carga/descarga de energía, entre los diferentes elementos de generación y consumo, ya que están conectados a través de distintos convertidores de potencia bidireccionales y transformadores de aislamiento.

Los sistemas de almacenamiento electroquímico (batería e inversor) con los que cuenta el laboratorio son:

- A. Baterías de Plomo-Ácido (PB)
- B. Batería de Flujo de Vanadio Redox (VRFB)
- C. Baterías de Ion-Litio (Ion-Li)
- D. Banco de Supercondensadores (SC)

A continuación, se describen las principales características de cada uno de estos sistemas.

A. Baterías de plomo-ácido (PB)

Las baterías de plomo ácido son las más comunes y difundidas en los sistemas de almacenamiento electroquímico, aunque presenten muchas limitaciones, especialmente por su ciclo de vida y costos para determinadas aplicaciones estacionarias. Están constituidos por placas de plomo y dióxido de plomo inmersas en una solución electrolítica de ácido sulfúrico y agua. Su desempeño depende, en gran medida, de la temperatura ambiente en la que opera y de la tasa de descarga, la cual es controlada por los inversores bidireccionales del sistema. A pesar de sus limitaciones, es aún una de las opciones más comunes en los sistemas de almacenamiento de energía (Espinoza, González, & Sempértégui, 2017). El laboratorio cuenta con un banco de baterías controlado por válvula (VRLA) de gel, compuesto por 84 celdas colocadas en serie, A600/Solar (USA), con voltaje de 2V y capacidad de 1.130 A·h cada una, con lo que se obtiene 168V DC. A partir de este voltaje, un convertidor de potencia, con capacidad de 50 kW y su respectivo transformador de aislamiento, permite realizar las tareas de carga y descarga al banco de baterías.

B. Baterías de flujo de vanadio redox (VRFB)

El mecanismo de almacenamiento de este tipo de batería implica reacciones independientes redox en la celda, que son alimentadas por materiales activos de vanadio iónico desde los tanques, lo que produce una transferencia de electrones en el circui-

to. Como afirman Espinoza, González, y Sempértegui, (2017), el laboratorio dispone de una batería recargable que emplea el principio químico de intercambio de iones en diferentes estados de reducción-oxidación del vanadio “redox”. Esta batería, modelo “Cellcube FB 20-100”, tiene una potencia de salida de 20 kW; desde la parte química hasta los inversores está dividida en 2 áreas de 10 kW cada una, con una capacidad de almacenamiento de 100 kW·h. Los tanques electroquímicos almacenan 5 mil litros de vanadio líquido que circula por un conjunto de 12 módulos de celdas, proporcionando energía a un bus de 48V DC. A partir de este bus se alimenta un conjunto de inversores DC/AC (marca SMA) acoplados a un transformador de aislamiento trifásico que permite inyectar energía a la red.

C. Baterías de ion-litio (ION-LI)

Las baterías de ion-litio son ampliamente utilizadas en micro-redes y generación distribuida. La batería tradicional consta de una celda recargable en la que los iones de litio se mueven, a través de un electrolito a base de una sal de litio, desde el electrodo negativo o ánodo, compuesto de carbón, al electrodo positivo o cátodo, compuesto típicamente de un óxido de metal litiado o fosfato de metal litiado, durante el ciclo de descarga y en sentido contrario durante el ciclo de carga. Según Espinoza, González, y Sempértegui, (2017), el laboratorio cuenta con un sistema de almacenamiento de energía mediante un banco de baterías recargable compuesto de 11 celdas en serie, marca Samsung y modelo de celda ELPT392-0002, que alcanzan, en conjunto, un voltaje nominal de 642V DC, con una potencia nominal de 88 kW y una energía de 44 kW·h. Este banco es manejado por un convertidor de potencia bidireccional de dos niveles, el cual permite la gestión de carga y descarga a cualquiera de los buses AC de la micro-red.

D. Banco de Supercondensadores (SC)

Un supercondensador es un dispositivo electroquímico que consiste en dos electrodos sumergidos en una solución de electrolito que almacena la carga electrostáticamente. Por lo general, su funcionamiento obedece a la misma física que un condensador convencional; es decir, la capacitancia está determinada por el área efectiva, la distancia de separación de las placas y la constante dieléctrica del medio de separación. Sin embargo, la diferencia del supercondensador es que, debido a su estructura electrolítica líquida y sus electrodos porosos, su área de superficie efectiva es muy alta y su distancia entre “placas” es mínima. Estos dos factores conducen a una capacitancia muy elevada en relación a un condensador electrolítico convencional (Barker, 2002). En Espinoza, González, y Sempértegui, (2017) se especifica que el sistema de supercondensadores del laboratorio tiene la finalidad de realizar compensación de energía en transitorios y está compuesto por 10 condensadores modelo BMOD0130, fabricados por Maxwell (USA), colocados en serie, con una capacidad de 130 F cada uno, formando un condensador equivalente de 13 F, con un voltaje nominal de 560 VDC. Este banco emplea un convertidor de potencia bidireccional de 15 kW controlado mediante el sistema SCADA.

III. Determinación experimental de la eficiencia energética de los sistemas de almacenamiento del laboratorio de microrredes

Según el manual de pruebas de baterías Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) (INEEL, February 2001), para las condiciones de carga/descarga, a potencia activa constante, la eficiencia energética, expresada en porcentaje, del sistema de almacenamiento energético, se define como la relación entre la energía de descarga y la energía de carga, medidas en [kW·h], mediante la siguiente expresión:

$$\eta_E = \frac{E_{DESCARGA}}{E_{CARGA}} \times 100\% \quad (1)$$

Para determinar las energías de carga/descarga de los sistemas de baterías y supercondensadores se tomaron y registraron medidas de potencia activa promedio, en tiempo real, mediante el sistema SCADA del laboratorio y el Analizador FLUKE 435, durante un período de tiempo establecido que va desde los 30 segundos hasta las 6 horas aproximadamente dependiendo del tipo de tecnología, tomando muestras cada segundo, con la finalidad de obtener suficientes datos y asegurar la confiabilidad de la información obtenida, hasta alcanzar niveles seguros, máximo y mínimo, de SOC, de los bancos de baterías y supercapacitores, para no deteriorar la vida útil del dispositivo, según las recomendaciones de los fabricantes para este tipo de experimentos. De acuerdo a las especificaciones del experimento, se considera que, para cargar el sistema de almacenamiento se extrae energía de la red, mientras que para descargar el sistema se inyecta energía a la red. La energía extraída/inyectada de/hacia la red en [kW·h] por el sistema se determina a través de la ecuación (2), como el producto de la potencia activa promedio extraída/inyectada en [kW] por el tiempo en [h] que le toma al banco realizar su ciclo de carga/descarga hasta el nivel de SOC especificado.

$$E_{CARGA/DESCARGA} = P_{EXTRAÍDA/INYECTADA} \times \text{Tiempo} \quad (2)$$

El proceso de carga/descarga de los distintos sistemas de almacenamiento de energía se realizará a diferentes niveles de potencia activa de acuerdo al nivel que pueden manejar los convertidores de potencia bidireccionales, en este caso, una potencia máxima de ± 20 kW para los bancos de Pb-Ácido, Ion-Li y Flujo de Vanadio Redox, mientras que para el banco de supercapacitores se lo realizará con una potencia máxima de ± 30 kW sin que se inflencie o se vea afectada la eficiencia energética de los bancos de baterías.

A. Determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de plomo-ácido (PB-Ácido)

El proceso de carga/descarga del sistema de baterías de PB-Ácido para determinar su eficiencia energética, expresión (1), se realizó extrayendo/inyectando potencia activa constante de/hacia la red a un nivel de ± 20 kW y ± 5 kW, en donde el signo (+) indica que el banco de baterías inyecta energía a la red para su descarga hasta un nivel mínimo del SOC del 40%, mientras que el signo (-) indica que se extrae energía de la red para su carga hasta un nivel máximo del SOC del 95%, según las recomendaciones del fabricante para mantener la salud de la batería y no deteriorar su vida útil. Analizando los datos registrados por el sistema SCADA y el analizador FLUKE 435, cuyos resultados se resumen en la Tabla 1, se ha determinado que el sistema tiene una eficiencia del 81% cuando su ciclo de carga/descarga se la realiza a ± 20 kW y de 80% cuando su ciclo de carga/descarga se la realiza a ± 5 kW. En consecuencia, al existir una diferencia mínima de eficiencia entre los dos niveles de potencia de carga/descarga, se puede concluir que la eficiencia del sistema de baterías de plomo-ácido esta alrededor del 80%.

Tabla 1. Resultados de la determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de pb-ácido

CICLO	SOC inicial [%]	SOC final [%]	POTENCIA [KW]	TIEMPO [h]	ENERGÍA [KWh]	EFICIENCIA
CARGA	39.6	96.3	-19.30	0.38	-7.42	81%
DESCARGA	96.3	39.6	19.64	0.31	6.02	
CARGA	36.4	89.51	-4.81	4.20	-20.22	80%
DESCARGA	89.51	36.4	5.15	3.14	16.17	

Elaboración propia.

B. Determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de ion-litio

De la misma manera que en el caso anterior, el ciclo de carga/descarga del sistema de baterías de ion-litio, para determinar la eficiencia energética a partir de la ecuación (1), se realizó extrayendo/inyectando potencia activa constante de/hacia la red a un nivel de ± 20 kW y ± 5 kW, en donde, su descarga se ha establecido hasta un nivel mínimo del SOC del 18%, mientras que para su carga se ha establecido hasta un nivel máximo del SOC del 95%, aproximadamente. Analizando los datos registrados por el sistema SCADA y el analizador FLUKE 435, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2, se ha determinado que el sistema tiene una eficiencia del 89% cuando su ciclo de carga/descarga se realiza a ± 20 kW y de 87% cuando su ciclo de carga/descarga se la realiza a ± 5 kW. Se evidencia que existe una diferencia mínima entre las eficiencias para los dos niveles de potencia de carga/descarga, por lo tanto, se puede concluir que la eficiencia del sistema de baterías de ion-litio está en el orden del 88%.

Tabla 2. Resultados de la determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de ion-litio

CICLO	SOC INICIAL [%]	SOC FINAL [%]	POTENCIA [KW]	TIEMPO [h]	ENERGÍA [KWh]	EFICIENCIA
CARGA	18.21	91	-19.89	2.09	-41.47	89%
DESCARGA	91	18.21	19.91	1.85	36.80	
CARGA	18.6	97	-4.97	7.64	-37.98	87%
DESCARGA	97	18.6	4.92	6.68	32.88	

Elaboración propia.

C. Determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de flujo de vanadio redox “cell cube fb 20-100”

El ciclo de carga/descarga del sistema de baterías de Flujo de Vanadio Redox, para determinar la eficiencia energética a partir de la ecuación (1), se realizó de la misma forma que en los casos anteriores, extrayendo/inyectando potencia activa constante de/hacia la red a un nivel de ± 20 kW y ± 10 kW, en donde su descarga se ha establecido hasta un nivel mínimo del SOC del 10% y máximo del 85%, valores establecidos por el fabricante como típicos recomendados. Analizando los datos registrados por el sistema SCADA y Analizador FLUKE 435, en la Tabla 3, se determina que el sistema de baterías tiene una eficiencia del 75% cuando su ciclo de carga/descarga se realiza a ± 20 kW y de 71% cuando su ciclo de carga/descarga se la realiza a ± 10 kW. En este caso, existe diferencia entre las eficiencias a distintos niveles de potencia de carga/descarga, por lo tanto, se puede concluir que la eficiencia del sistema de baterías de Flujo de Vanadio Redox está entre el 71% y el 75%.

Tabla 3. Resultados de la determinación de la eficiencia energética del sistema de baterías de flujo de vanadio redox

CICLO	SOC inicial [%]	SOC final [%]	POTENCIA [KW]	TIEMPO [h]	ENERGÍA [KWh]	EFICIENCIA
CARGA	11.5	81.5	-19,116	6.18	-118,135	75%
DESCARGA	81.5	11.5	18,717	4.73	88,530	
CARGA	11.5	84.5	-9,154	12.37	-113,229	71%
DESCARGA	84.5	11.5	9,965	8.12	80,913	

Elaboración propia.

D. Determinación de la eficiencia energética del sistema de supercondensadores

Para determinar la eficiencia energética, a partir de la ecuación (1), se ha considerado un ciclo de carga/descarga de los supercondensadores, extrayendo/inyectando potencia activa constante de/hacia la red a niveles de ± 30 kW, ± 20 kW, ± 10 kW y ± 5

kW ya que los ciclos son de corta duración (algunos segundos). Además, el sistema limita el estado de carga SOC entre 6% y 95% por recomendaciones del fabricante, para preservar la salud del supercondensador y no deteriorar su vida útil. Analizando los datos registrados por el sistema SCADA y el analizador FLUKE 435, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 4, se determina que el sistema presenta eficiencias del 95%, 93%, 92% y 92% cuando su ciclo de carga/descarga se realiza a ± 30 kW, ± 20 kW, ± 10 kW y ± 5 kW, respectivamente.

Tabla 4. Resultados de la determinación de la eficiencia energética del sistema de supercondensadores

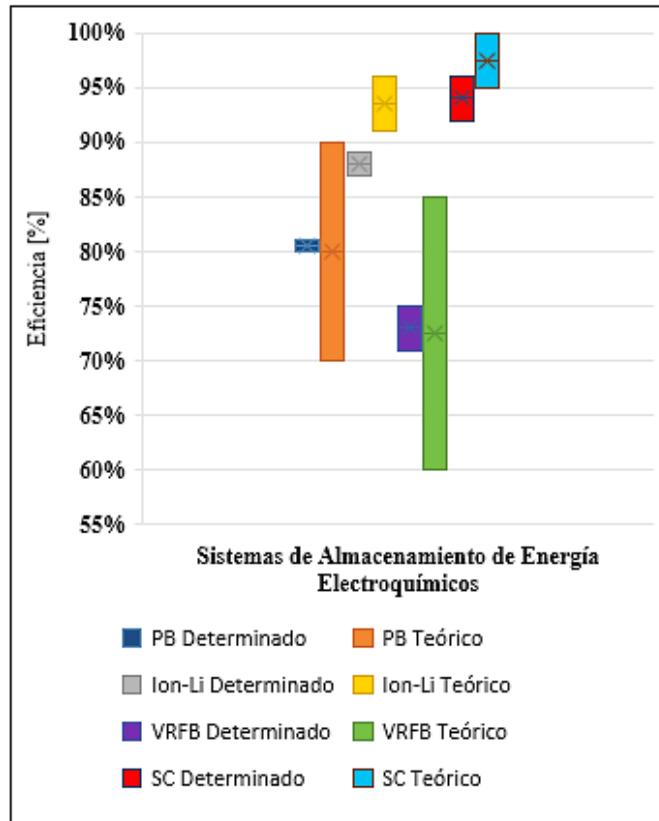
CICLO	SOC inicial [%]	SOC final [%]	TENSIÓN inicial [V]	TENSIÓN final [V]	POTENCIA [KW]	TIEMPO [h]	ENERGÍA [KWh]	EFICIENCIA
DESCARGA	94	6.4	600	439	29.19	0.011	0.321	95%
CARGA	6.8	94	440	604	-28.06	0.012	-0.337	
DESCARGA	94	6.9	601	440	19.77	0.016	0.316	93%
CARGA	6.8	94	440	602	-20.10	0.017	-0.342	
DESCARGA	94	6.8	601	440	9.61	0.032	0.308	92%
CARGA	6.8	94	440	601	-10.17	0.033	-0.336	
DESCARGA	94	7.6	601	442	4.72	0.077	0.363	92%
CARGA	7.5	94	442	601	-4.88	0.081	-0.395	

Elaboración propia.

IV. Comparación de la eficiencia entre los diferentes sistemas de almacenamiento de energía

Comparando los resultados obtenidos del análisis de los ciclos de carga/descarga, de los sistemas de almacenamiento de energía existentes en el laboratorio, con aquellos valores referenciales proporcionados por la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA (International Renewable Energy Agency (IRENA), October 2017), se puede observar en la Figura 1 los rangos denominados “Teóricos” que corresponden a los proporcionados por la Referencia y los marcados con “Determinado” a los rangos de valores determinados en laboratorio. Se puede apreciar que para los sistemas de PB-Ácido, VRFB y SC los rangos de eficiencia están dentro de los valores teóricos referenciales, mientras que para la batería de Ion-Li los valores medidos están ligeramente por debajo que el rango teórico.

Figura 1. Comparación de eficiencia energética de los diferentes sistemas de almacenamiento de energía electroquímicos



Elaboración propia.

De forma general se puede establecer que, los valores de eficiencia energética determinados experimentalmente, para los distintos sistemas de almacenamiento existentes en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca, están dentro de los rangos referenciales establecidos por (International Renewable Energy Agency (IRENA), October 2017) y, por lo tanto, se pueden usar dichos datos como referenciales, a excepción de la de Ion-Li que en el análisis de los datos obtenido no se encuentra dentro del rango sugerido pero es una muy buena aproximación.

Los rangos de eficiencia obtenidos corresponden al sistema de almacenamiento conformado por el conjunto batería más inversor. La potencia en el proceso de carga/descarga, para cada uno de los sistemas de almacenamiento, la establece el inversor, en función de la potencia máxima que éste pueda manejar. Para determinar la eficiencia energética del banco de baterías y supercondensadores sin considerar el inversor asociado, se debe dividir la eficiencia del sistema para el producto de las eficiencias de

carga/descarga del inversor bidireccional asociado a cada banco. En el caso particular de este estudio, los inversores son idénticos con una eficiencia de carga/descarga del 95%, por lo tanto, para cada banco de baterías y el supercondensador, su eficiencia se muestra en la Tabla 5.

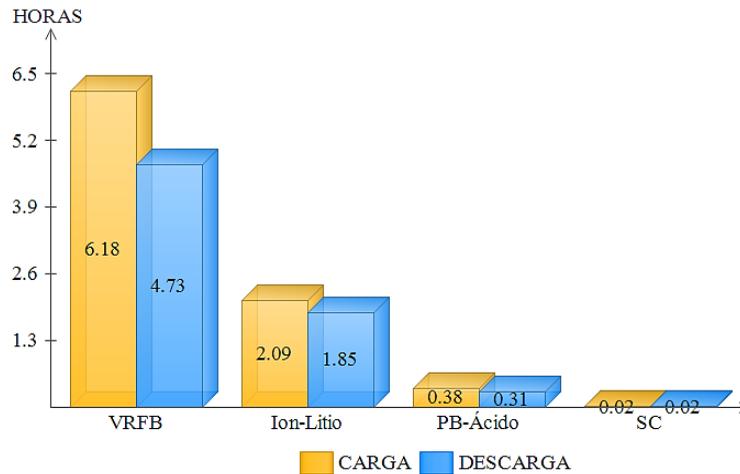
Tabla 5. Resultados de la determinación de la eficiencia energética de los bancos de baterías y supercondensadores del laboratorio

Banco	Rango de Eficiencia	
Pb-ácido	80%	81%
Ion-li	87%	89%
Vrfb	71%	75%
Sc	92%	95%

Elaboración propia.

El tiempo que le toma realizar un ciclo de carga/descarga a cada uno de los bancos analizados depende de: a) el nivel de SOC inicial y final del banco, b) la potencia activa de carga/descarga que pueden manejar los inversores de potencia y c) el tipo de tecnología de los sistemas de almacenamiento. Así se puede observar en la Figura 2, una aproximación del tiempo que le toma a cada sistema realizar un ciclo de carga/descarga a potencia activa constante (± 20 kW), determinándose que el proceso se lleva a cabo con mayor agilidad en los bancos de supercondensadores y baterías PB-Ácido, con duración de algunos minutos, en tanto que en los bancos ion-litio y flujo de vanadio redox el proceso tarda horas. Dependiendo del tiempo de respuesta que se requiera en una aplicación para entregar (descarga) o extraer (carga) potencia de la red, se escogerá determinada tecnología de almacenamiento.

Figura 2. Tiempos referenciales de carga/descarga para los distintos sistemas de almacenamiento energético a ± 20 kW de Potencia Activa



Elaboración propia.

V. Conclusiones

El artículo muestra el proceso experimental llevado a cabo para determinar la eficiencia energética de los diferentes sistemas de almacenamiento de energía electroquímicos del laboratorio de Microrredes de la Universidad de Cuenca. Los valores de eficiencia energética obtenidos son aproximadamente del 81% para el PB-Ácido, 88% para el de Ion-Li, 75% para el VRFB y del 95% para los supercapacitores, que corresponden al conjunto conformando por la batería más el inversor de potencia asociado, obteniendo valores muy similares a los establecidos por la referencia para este tipo de tecnologías de almacenamiento de energía por lo que se pueden considerar como válidos. El tiempo que toman los ciclos de carga/descarga de los sistemas de almacenamiento varían de acuerdo al tipo de tecnología y la potencia activa con la que se lleva a cabo el proceso, así, el sistema que requiere mayor tiempo es el VRFB, con una duración de algunas horas, al igual que el de Ion-Li pero en menor proporción; mientras que en los sistemas de PB-Ácido algunos minutos y en los supercapacitores, de segundos a minutos. Es por ello que cada tecnología de almacenamiento energético puede ser aprovechada para determinadas aplicaciones en función de sus características operativas, técnicas y económicas.

VI. Referencias

- Barker, P. P. (2002). *"Ultracapacitores for Use in Power Quality and Distributed Resources Applications"*.
- Espinoza, J. L., González, L. G., & Sempértégui, R. (2017). *"Micro grid Laboratory as a Tool for Research on Non-Conventional Energy Sources in Ecuador"*, Departamento de Ingeniería. Electrónica y Telecomunicaciones (DEET), Universidad de Cuenca. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- INEEL. (February 2001). *"USA PNGV Battery Test Manual"*. doi:DPE/ID-10597
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (october 2017). *"ELECTRICITY STORAGE AND RENEWABLES: COST AND MARKETS TO 2030"*.
- Junior, A. (2014). *Análisis del funcionamiento del sistema de frenos regenerativos para la carga de supercapacitores en vehículos automotrices*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Patel, M. R. (1999). *"Wind and Solar Power Systems"*. CRC Press LLC.

Análisis Comparativo de
Consumo de Energía entre
Propulsión Eléctrica y
Motor de Combustión de un
Vehículo que Circula por una
Ruta Específica

Análisis Comparativo de Consumo de Energía entre Propulsión Eléctrica y Motor de Combustión de un Vehículo que Circula por una Ruta Específica

Francisco Torres^a, Andrés López^a, Mateo Coello^a, Daniel Cordero-Moreno^a

^aERGON/Facultad de Ciencia y Tecnología/Esuela de Ingeniería Automotriz
Universidad del Azuay

ftorres@uazuay.edu.ec, alopezh@uazuay.edu.ec, mfcoello@uazuay.edu.ec, dacorderom@uazuay.edu.ec

Resumen: Este trabajo consiste en el análisis de consumo de energía de un vehículo liviano con motor de combustión interna alternativo a gasolina que se desplaza por rutas definidas. Las rutas analizadas son las que tienen mayor demanda en la ciudad de Cuenca. Los datos de consumo de energía obtenidos son comparados con los de un vehículo liviano modificado a propulsión eléctrica y que carga sus baterías de un sistema proveniente de la carretera. De esta manera se determinó cuál de las tecnologías aplicadas genera menor consumo de energía para una misma ruta. Los datos de velocidad y posición fueron obtenidos mediante GPS y los datos de altitud para determinar la pendiente de la vía fueron validados mediante el uso de una estación total. Con los parámetros obtenidos más las características dinámicas de los vehículos, se determinaron las fuerzas necesarias para desplazar el vehículo y con ello la energía de desplazamiento. Como resultado se obtuvo que el vehículo con propulsión eléctrica consume 82% menos de energía que el de motor de gasolina, por lo que la movilidad eléctrica es conveniente para el transporte privado.

Palabras clave: Consumo, energía, eléctrico, gasolina, propulsión, ruta.

Abstract: This work consists in the analysis of energy consumption of a vehicle with an internal combustion engine, which travels along defined routes. These analyzed routes are the ones with the highest demand in the city of Cuenca. These data are compared with those of a light vehicle modified to electric propulsion and that charges its batteries from a system coming from the road. In this way you can compare and determine which of the applied technologies generates less energy consumption for the same route. The data for the calculations were obtained from GPS and the altitude data were validated through the use of a total station. With the parameters obtained plus the dynamic characteristics of the vehicles, the forces necessary to move the vehicle were determined and thus the travel energy. As a result, it was obtained that the vehicle with electric propulsion consumes 82% less energy than the petrol engine, so that electric mobility is convenient for private transport.

Keywords: Consumption, energy, electricity, gasoline, propulsion, route.

I. Introducción

El consumo energético mundial aumenta considerablemente, principalmente para satisfacer la demanda de fábricas, transporte y viviendas. El transporte es el principal consumidor de energía no renovable; en Ecuador por ejemplo, más del 95% de la energía consumida en transporte, proviene de combustibles fósiles (Castro Verdezoto, Vidoza, & Gallo, 2019). De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), el transporte terrestre aporta cerca de un cuarto de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (Agency, 2017). Por esta razón, es importante ofrecer una alternativa energética para el transporte, como puede ser el uso de la energía eléctrica, proveniente de fuentes renovables como las centrales hidroeléctricas.

Numerosos estudios científicos señalan que la mayor parte del calentamiento global de las últimas décadas se debe a la gran concentración de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y otros) emitidos sobre todo a causa de la actividad humana. Al concentrarse en la atmósfera, impiden que el calor producido por los rayos solares sobre la superficie de la tierra se disperse en el espacio. Esto se ve potenciado especialmente por el patrón de desarrollo basado en el uso intensivo de combustibles fósiles, que forman el corazón del sistema energético mundial. Por eso se ha vuelto urgente e imperioso el desarrollo de políticas para que en los próximos años la emisión de dióxido de carbono y de otros gases altamente contaminantes sea reducida drásticamente, por ejemplo, reemplazando la utilización de combustibles fósiles y desarrollando fuentes de energía renovable (Francisco, 2015).

La aplicación de nuevas tecnologías para el transporte terrestre, incluye la disminución del consumo de combustibles fósiles y con ello la disminución de emisión de gases contaminantes a la atmósfera, y mediante la introducción de vehículos híbridos y eléctricos se intenta reducir el impacto ambiental del automóvil, es por ello que se realizan análisis para determinar el consumo de combustible en vehículos híbridos; por lo que, mediante una prueba de desempeño realizada en la ciudad de Ambato, se analizó a los vehículos híbridos *Toyota Prius* y *Ford Escape*; las pruebas fueron en ciudad, con una velocidad promedio de 40 km/h y una distancia recorrida de 20 km, y en una prueba en carretera (Latacunga-Ambato) con velocidad promedio de 80 km/h, una distancia recorrida de 47 km. En estas pruebas se determinó que el *Toyota Prius* es más eficiente en cuanto al consumo de combustible, logrando reducir en un 60% la cantidad de combustible consumido. Esta tecnología ha permitido conseguir que el consumo de combustible sea de un 20% hasta un 60% menor que en vehículos comparables de tipo convencional (Castillo & Torres, 2011)

En los vehículos eléctricos con baterías (BEV), la propulsión o tracción se realiza únicamente mediante un motor eléctrico, que es abastecido por baterías que pueden ser de plomo - ácido, níquel - hidruro metálico y de ion - litio. A través de un sistema de generación o almacenamiento de energía, las baterías pueden ser cargadas por una fuente estática de electricidad, como son, estaciones de servicio o al tomacorriente de las viviendas. El consumo de combustible se reduce al 100% considerando un análisis

Tank to Wheel; es decir, sin considerar la generación de energía eléctrica (Unnasch & Chan, 2007).

En la Universidad de *Stanford* (EE.UU.) han desarrollado una tecnología con la que se podría recargar las baterías, sin necesidad de que los vehículos se detengan. Esto es, mediante autopistas o carriles especiales. Estas carreteras estarían equipadas con mecanismos que transfieren energía, de forma inalámbrica, a las bobinas receptoras de los vehículos que circulan por estas vías (RTVE.es, 2012)

El Reino Unido ha empezado a realizar las primeras pruebas para recargar baterías de vehículos eléctricos mientras circulan por carreteras. El objetivo es crear una red de carga inalámbrica por debajo del asfalto. De esta forma, los conductores de los vehículos eléctricos no necesitarán realizar una parada para recargar sus baterías, sumado a una considerable reducción de las emisiones de gases que genera el parque automotor. La política del gobierno pretende establecer puntos de recarga en autopistas cada 32 kilómetros. No es la primera iniciativa que se lleva a cabo en el mundo. En Corea del Sur, por ejemplo, se implementó esta modalidad para que el transporte público pueda cargar sus baterías de forma inalámbrica, mientras circulan por una ruta de 12 kilómetros acondicionada con este sistema. El sistema de carga inalámbrica en movimiento está basado en un cableado especial ubicado debajo del asfalto, que emite un campo electromagnético que es recibido por un receptor ubicado en la parte inferior de los vehículos eléctricos (ABC, 2015).

El objetivo de esta investigación es determinar y comparar el consumo de energía que se produce en rutas establecidas debido al comercio y transporte en la ciudad de Cuenca. Se analizan dos parámetros: el primero, es el consumo de energía de un vehículo liviano dotado de un motor de combustión interna alternativo (MCIA) y el segundo, un análisis del consumo de energía de un vehículo liviano dotado de propulsión eléctrica y que recibe corriente desde la carretera para recargar sus baterías.

El método utilizado fue calcular, mediante las ecuaciones de la dinámica del automóvil, la fuerza necesaria para desplazar el vehículo en una ruta específica. Es importante considerar el perfil de elevación de la vía, para esto se utilizó el modelo digital del terreno (MDT) y también se utilizaron mediciones con la estación total para validar los datos del MDT. Las variables que se utilizan son la altitud, la distancia y el tiempo; mismas que se determinan mediante sistema de posición global (GPS). Con estos datos se analiza la energía necesaria para el desplazamiento del vehículo en dos posibles escenarios: un vehículo con MCIA y otro vehículo de similares características, con motor eléctrico.

II. Materiales y Métodos

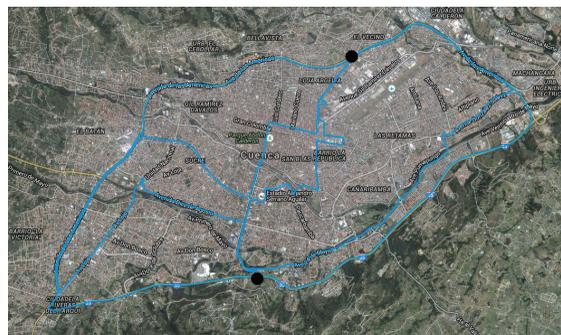
Determinación de las rutas

Para la selección de la vía se consideraron las siguientes características: a) que fuera representativa, es decir que la mayor cantidad de vehículos utilicen esta vía; b) alto nivel de servicio de vía, donde las características geométricas sean las adecuadas, su direccionalidad permita la circulación en dos sentidos; c) el estado de la vía, que su capa de rodadura sea favorable (asfalto, hormigón, adoquín); d) Ancho de vía, que el número de carriles permita una circulación ágil y segura.

Las vías colectoras y arteriales en la ciudad de Cuenca, tienen la capacidad y condiciones de satisfacer dichos requerimientos. Es importante, además, considerar que a dichas vías se puede acceder fácilmente desde las carreteras expresas que rodean la ciudad y desde las vías locales. La ruta que se seleccionó asegura una conexión vial que facilita la distribución del tráfico y permite el acceso a puntos importantes de trabajo y comercio en la ciudad.

Los destinos de la mayor cantidad de viajes en Cuenca son su Centro Histórico y un sector conocido como “El Ejido” (GAD_Municipal_Cuenca, 2015); por lo que, las rutas consideraron estos destinos. Esta ruta trató de llegar a los puntos donde existe mayor flujo de vehículos y en consecuencia mayor concentración de sitios comerciales. La ruta incluyó rutas de acceso, vías arteriales, ejes viales que se alimentan de vías locales y vías colectoras. Bajo estos criterios, se propusieron siete rutas, cada una de ellas fueron evaluadas mediante un GPS para recolectar los datos de velocidad, altura y tiempo, con una frecuencia de 1 Hz. A partir de estos datos, se calcularon otros como la distancia y aceleración. En la figura 1 se indica la ruta número seis, que incluye algunas de las zonas de mayor movilidad de la ciudad y es la ruta con mayor demanda de energía.

Figura 1. Ruta número seis



Elaboración propia.

En la tabla 1 se muestra la información obtenida de cada una de las rutas propuestas.

Tabla 1. Valores obtenidos de cada ruta

Ruta #	Velocidad Promedio	Tiempo Promedio	Distancia Promedio	Pendiente +	Pendiente -
	[km/h]	[s]	[km]	[°]	[°]
1	18.81	3 262.90	16.84	13.46 ± 1.32	13.59 ± 2.29
2	19.91	3 006.70	16.75	14.07 ± 1.02	14.81 ± 1.21
3	19.08	3 254.60	17.73	13.20 ± 0.95	13.89 ± 1.14
4	34.65	2 377.90	23.05	8.50 ± 0.87	11.53 ± 2.38
5	16.30	4 240.80	18.77	15.5 ± 1.06	16.62 ± 1.59
6	26.13	7 674.00	55.16	17.02 ± 0.95	19.88 ± 1.67
7	26.86	4 391.80	31.67	16.65 ± 0.86	14.94 ± 1.11

Elaboración propia.

Consumo de energía

Para determinar la energía necesaria para la movilidad de un vehículo liviano en la ciudad de Cuenca, es necesario considerar que las características del vehículo pueden variar dependiendo de la marca y del modelo; por lo que, los cálculos de energía se basaron en los parámetros dinámicos de un vehículo liviano, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Valores para cálculo de energía necesaria

Parámetro máximo de un vehículo liviano	Valor o medida
Peso – masa	1.2 t – 1 200 kg
Coefficiente de la resistencia al aire (C_d)	0.3
Área frontal	1.8 m ²
Coefficiente de resistencia a la rodadura (ρ)	0.015
Radio dinámico de la rueda (r_d)	283 mm
Densidad del aire (2 500 msnm)	0.957 kg/m ³
Gravedad (2 500 msnm)	9.72m/s ²

Elaboración propia.

Análisis de la demanda energética en las rutas

Para determinar la demanda energética que tiene el vehículo en las rutas propuestas, se realizó un análisis de la dinámica longitudinal del vehículo, utilizando los datos antes indicados referentes a las características del vehículo liviano que circula por la ruta del sistema, tabla I.

La energía obtenida en cada ruta se determina mediante el análisis dinámico del vehículo; además, se consideran la pendiente en la ruta medida cada 20 metros, la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración.

Los parámetros que intervinieron en el análisis de la demanda energética fueron (Izquierdo, Alvarez, López, & Industriales, 1995):

- Aceleración:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

Dónde:

-a es la aceleración [m/s²]

ΔV es la velocidad [m/s]

Δt es el tiempo [s]

- Fuerza de arrastre [N], F_d (Drag Force), que es la fuerza que ejerce el aire sobre el vehículo en la dirección opuesta al movimiento.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \quad (2)$$

Dónde:

C_d es el coeficiente de la resistencia al arrastre [-]

ρ es la densidad del aire [kg/m^3]

A es el área frontal del vehículo [m^2]

v es la velocidad [m/s]

- Resistencia a la rodadura [N], R_x (Rolling Resistance), es la resistencia que tiene el neumático a rodar, producida por la deformación del mismo, y R_i la inercia.

$$R_x = f_r M g \cos \theta \quad (3)$$

Dónde:

f_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

M es la masa [kg]

g es la fuerza de la gravedad [m/s^2]

θ es el ángulo de la pendiente [rad].

$$R_i = M a \quad (4)$$

- Resistencia gravitatoria [N], R_g es la componente del peso en dirección paralela a la superficie de rodadura.

$$R_g = M g \sin \theta \quad (5)$$

- Demanda del vehículo, es la fuerza necesaria para el desplazamiento del vehículo (F_x) en [N].

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad (6)$$

- Torque necesario (T) en [Nm]

$$T = F_x r_d \quad (7)$$

Dónde:

r_d es el radio dinámico de la rueda [m].

- Potencia necesaria (P) en [W].

$$P = F_x V \quad (8)$$

- Consumo energético (E) en [Wh].

$$E = P \Delta t \quad (9)$$

Determinación del tamaño muestral

Para obtener una energía significativa con el 95% de intervalo de confianza entre cada ruta y determinando la varianza entre los diez valores de energía obtenidos, se obtuvo el número de repeticiones que se debían medir con el GPS en cada ruta. Para esto se utilizó la ecuación 10, donde se asume un error de 0,5 y un nivel de confianza del 99%.

$$n = \frac{z^2 s^2}{E^2} \quad (10)$$

Dónde:

n es el tamaño de la muestra.

z es 2,58 (nivel de confianza de 99%).

s es la varianza.

E es el error.

Después de haber realizado el análisis del tamaño de la muestra, se obtuvo un valor de 8 muestras por cada ciclo, sin embargo, se realizaron diez muestras para garantizar que los resultados de la demanda energética sean significativos. En la tabla 3 se muestra el análisis del tamaño muestral.

Tabla 3. Tamaño muestral.

Tamaño muestral			
Ruta 1			
Prueba #	Energía + [kWh]		
1	3.46	Mediana	3.29
2	2.75	Varianza	0.29
3	2.76	Promedio	3.27
4	2.68	Desviación estándar	0.54
5	3.63	Intervalo 95%	0.39
6	3.99	Límite inferior	2.89
7	2.74	Límite superior	3.66
8	4.11		
9	3.12		
10	3.5		
Distribución	Z	2.58	99.02
		Confianza del 99% (según tablas)	
Varianza	S	0.29	
Error	E	0.5	
Tamaño de la muestra	n	7.72	≈ 8

Elaboración propia.

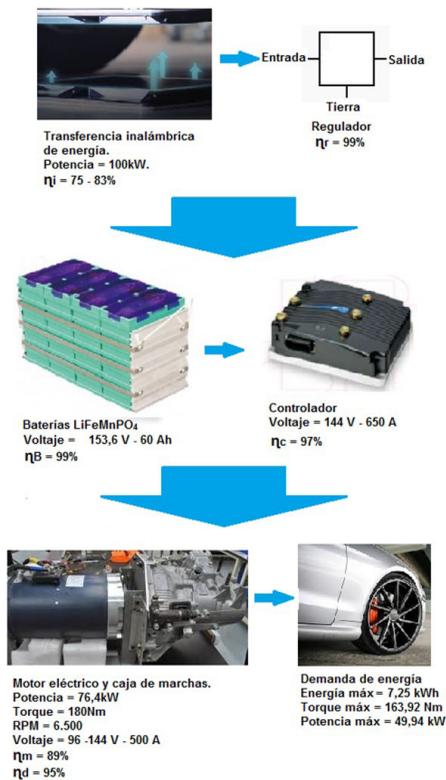
Configuración del sistema motriz del vehículo eléctrico

La configuración del vehículo eléctrico se determinó por la energía necesaria para impulsar el vehículo. Como se indica en la figura 2 la alimentación de energía inicia con el sistema de transmisión inalámbrica de energía, que genera una potencia de 100 kW; luego pasa por un regulador que permite la alimentación y carga de las baterías de Litio, las mismas generan una potencia de 9,2 kW; luego circula por un transformador

de corriente, para pasar al controlador que permite la aceleración y deceleración del vehículo; luego pasa al motor eléctrico que tiene un voltaje de 144 V – 500 A y finalmente, pasa a la caja de marchas para poder girar las ruedas motrices.

La cadena para el movimiento del vehículo en el sistema, donde η es rendimiento indicado de transferencia de electricidad, en este caso tiene un valor de 75%; el regulador de voltaje (η_r) con un 99%; las baterías tienen un 99% y el controlador de un 97%; el rendimiento del motor eléctrico es del 89% y de la caja de marchas es el 95%. Con estos datos se puede desplazar el vehículo por el sistema, cubriendo todas las exigencias que presenta la ruta.

Figura 2. Cadena para el movimiento del vehículo en el sistema



Elaboración propia.

Energía transmitida al sistema de movilidad

Las subestaciones y los alimentadores de energía eléctrica al sistema y que se encuentran dentro o cercanos a las rutas se indican en la tabla IV, donde se observa la potencia de la subestación (S/E). El consumo en los alimentadores y la potencia disponible, los valores expresados son mediciones de consumo en el mes de diciembre de

2015, puesto que existe la mayor demanda de electricidad y están sobrevalorados en un 40%, debido a que en caso de emergencia por la salida eventual de una subestación las otras deberán satisfacer la demanda.

Tabla 4. Valores de potencia en las subestaciones

Subestaciones (S/E)				
S/E	Ubicación	Potencia [kVA]	Alimentadores [kW]	Disponible [kW]
01	Sector Luis Cordero y Rafael María Arizaga.	12 000	6 630	5 370
02	Sector Centro Histórico. Calle Benigno Malo y Calle Larga.	12 000	7 781	4 219
03	Sector Monay. Av. Máx Uhle y Pumapungo.	34 000	18 536	15 464
04	Sector El Vecino. Calle Barrial Blanco.	34 000	33 140	860
05	Sector Feria Libre. Calle Tarquino Cordero.	34 000	34 287	-287
07	Sector Ricaurte.	20 000	12 057	7 943
08	Sector Turi.	24 000	12 597	11 403
12	Sector El Descanso.	20 000	6 309	13 691
	TOTAL	190 000	131 337	58 663

Elaboración propia.

Soporte del número de vehículos que funcionan en sistema

En cada subestación existen transformadores y alimentadores conectados en anillo, que distribuyen la energía a los consumidores. Para el sistema se utilizan alimentadores autorizados por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A., basados en las normas INEN 2110, con capacidades de 30 hasta 500 kVA.

Se considera la disponibilidad de energía existente entre todas las subestaciones que se encuentran en el sector de las rutas, que tiene un valor de 58 663 kW.

La potencia necesaria para el funcionamiento de carga sin cables mediante inducción necesita 100 kW con una eficiencia del 75% si el vehículo está en movimiento y del 83% si está estático (BAE, 2013).

Para determinar la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema es necesario determinar la potencia de carga, que puede entregar el sistema considerando las pérdidas; tanto en la entrega de energía, como en la transmisión de energía. Se considera también la capacidad de las baterías y la demanda de energía de la ruta.

La potencia disponible para el sistema de movilidad alternativo está dada por:

$$Pd = Pt * n \quad (11)$$

Dónde:

Pd es la potencia entregada [kW].

Pt es la potencia disponible [kW].

n es el 60% de la potencia disponible.

Potencia efectiva del sistema de transmisión de energía inalámbrica está dado por:

$$PI = Po * \eta_i * \eta_r \quad (12)$$

Dónde:

PI es la potencia en la transferencia inalámbrica de energía [kW].

Po es la potencia inicial [kW].

η_i es rendimiento indicado transferencia de electricidad.

η_r es rendimiento del regulador.

En la tabla 5 se indica la potencia entregada al sistema, y los posibles alimentadores que se deberían utilizar dependiendo de su potencia.

Tabla 5. Valores de potencia entregada y disponible y potencia en las subestaciones

Potencia disponible (Pt) [kW]		58 663				
Potencia entregada (Pd) [kW]		35 198				
Potencia inicial (Po) [kW]		100				
Potencia en la transferencia inalámbrica de energía (PI) [kW]		74 25				
Potencia de los alimentadores [kW]	50	150	200	300	400	500
Número de alimentadores para la ruta	1 173	391	293	196	147	117
Número de alimentadores por S/E	147	37	29	24	18	15

Elaboración propia.

Para calcular el número de vehículos que pueden funcionar en el sistema se consideró la energía que pueden tener las baterías, cuantos vehículos pueden ser abastecidos con una potencia de 74.25 kW y a cuantos vehículos abastece la potencia de 35 198 kW, se realizó una aproximación con medidas típicas del vehículo utilizado y medidas típicas de intersecciones y espacios entre vehículos. Se consideró una longitud de cada vehículo de 4 m y una distancia entre ellos de 2 m. También se consideró que cada 100 m existe una intersección con un ancho de 8 m; por lo que, se generó una longitud total de vehículos de 33.83 km,

El número de vehículos en el sistema está determinado por:

Energía de las baterías:

$$Eb = \frac{V \cdot C}{1.000} \quad (13)$$

Dónde:

E_b es la energía en las baterías [kWh].

V es el voltaje de las baterías [V].

C es la capacidad de las baterías [Ah].

Cantidad de vehículos en el sistema está determinada por:

$$N1 = \frac{PI}{Eb} \quad (14)$$

$$N2 = \frac{Pd}{PI} * N1 \quad (15)$$

Dónde:

N1 es el número de vehículos según la potencia en la transferencia de energía inalámbrica.

N2 es el número de vehículos en el sistema por hora.

III. Resultados y Discusión

Energía positiva necesaria para el sistema

En la tabla 6, se indican las energías obtenidas en las 7 rutas seleccionadas.

Tabla 6. Energía positiva obtenida en cada recorrido

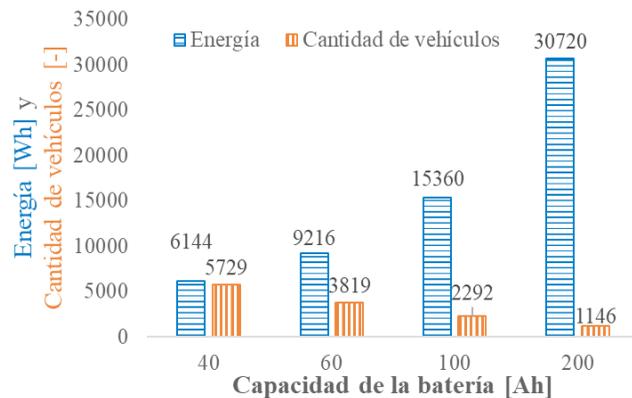
Repetición Ruta	Energía Positiva por repetición (E) (kWh)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.24	1.71	2.09	1.82	2.04	2.20	2.07	2.37	2.14	2.17
2	1.67	2.06	1.89	2.32	2.28	2.36	2.46	2.30	2.16	2.05
3	1.91	2.32	2.29	2.36	2.30	2.24	2.16	2.29	2.17	2.30
4	2.66	2.90	2.98	3.04	3.02	3.00	3.06	3.48	2.80	3.15
5	2.00	2.52	2.39	2.04	2.11	2.23	2.05	2.04	2.11	2.15
6	6.76	6.57	7.25	6.91	7.16	6.87	6.55	6.17	6.66	6.83
7	3.86	3.86	3.85	3.76	3.89	3.30	3.94	3.56	3.78	3.43

Elaboración propia.

El sistema eléctrico según la longitud de 55.16 km de la ruta con mayor demanda de energía (ruta 6) puede satisfacer a 8458 vehículos, entonces al aplicar la distancia máxima en la ruta y con la capacidad de las baterías de 60 Ah dentro del sistema caben desde 3.819 vehículos en la ruta.

En la figura 3 se indica en las barras de color naranja la cantidad de vehículos livianos que circulan en el sistema durante una hora y en las barras de color azul la energía necesaria, dependiendo de la capacidad de la batería, puesto que se pueden utilizar distintos tipos de baterías, donde a mayor demanda de energía es menor la cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema.

Figura 3. Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema, según la capacidad de la batería



Elaboración propia.

Consumo de energía

Con el propósito de determinar la máxima demanda de energía que genera el sistema, se considera la ruta con mayor distancia, en este caso fue 55.16 km y con mayor energía consumida, que según los datos obtenidos es de 7.25 kWh. La cantidad de vehículos en el sistema depende de la capacidad de las baterías y se consideraron también parámetros como: el tiempo que el sistema funciona al 100%, el porcentaje de viajes que se efectúan desde y hacia al Centro Histórico de la ciudad y a El Ejido, que es un 33%.

Análisis de la demanda de energía en el sistema funcionando con el 100% de demanda y durante 6 horas. Para esto, se consideraron las horas con mayor demanda en la ciudad, estas son de 07h00 a 9h00, de 12h00 a 14h00 y de 18h00 a 20h00. Estas son las horas características de entrada y salida de trabajos, así como también de centros educativos.

Consumo de energía en el sistema al 100% durante 6 horas está determinado por:

Cantidad de vehículos durante 6 horas:

$$N3 = N2 * t \quad (16)$$

Dónde:

N3 es la cantidad de vehículos.

t es tiempo [h]

$$E1 = \frac{E * N3}{1.000} \quad (17)$$

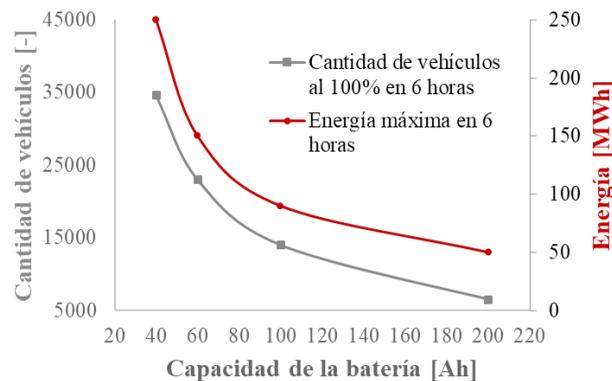
Dónde:

E1 es la demanda de energía [MWh]

E es la demanda de energía máxima en la ruta [kWh]

En la figura 4 se indica la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema al 100% de demanda y durante 6 horas. La disminución de consumo de energía se debe a la menor cantidad de vehículos que puede soportar el sistema, puesto que la demanda de energía de las baterías aumenta desde 6.14 kWh hasta 30.72 kWh. La demanda de energía de la ruta es de 7.25 kWh por vehículo, al disminuir la cantidad de vehículos que soporta el sistema disminuye la demanda de energía total.

Figura 4. Demanda de energía en 6 horas y cantidad de vehículos en el sistema



Elaboración propia.

Análisis de la cantidad de vehículos y la demanda de energía durante 24 horas, funcionando al 100%:

$$N4 = N2 * t1 \quad (18)$$

Dónde:

N4 es la cantidad de vehículos

t1 es el tiempo

$$E2 = \frac{E * N4}{1000} \quad (19)$$

Dónde:

E2 es la demanda de energía en 24 horas [MWh]

En la tabla 7 se indica los valores obtenidos de la demanda de energía según la capacidad de la batería y la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema durante 24 horas al 100%, siendo éste un caso crítico de funcionamiento del sistema y anómalo.

Tabla 7. Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema durante 24 horas.

Capacidad de la batería (C) [Ah]	Demanda de Energía (E2) [MWh]	Número de vehículos en el sistema (N4)
40	996.81	137 491
60	664.54	91 661
100	398.73	54 997
200	199.36	27 498

Elaboración propia.

Ahorro energético

La demanda de energía en el sistema se considera según el rendimiento que existe en el sistema de inducción de energía (75%), en el regulador (99%), en las baterías (99%), en el controlador (97%), en el motor eléctrico (89%) y en la caja de cambios (95%). Finalmente, en el sistema se obtiene un rendimiento del sistema eléctrico (EV) de 60% y con el MCIA y la caja de marchas el rendimiento es de 33%. (González & Fernández, 2011)

Demanda de energía del sistema eléctrico (EV) y del MCIA está determinado por:

$$E_v = \frac{E_1 * 100}{60} \quad (20)$$

$$E_M = \frac{E_1 * 100}{33} \quad (21)$$

Dónde:

E_v es la energía necesaria para el sistema eléctrico.

E_M es la energía necesaria para el MCIA.

Ahorro energético:

$$AE = 100 - \left(\frac{E_M * 100}{E_v} \right) \quad (22)$$

Dónde:

AE es el ahorro energético del sistema eléctrico E_v .

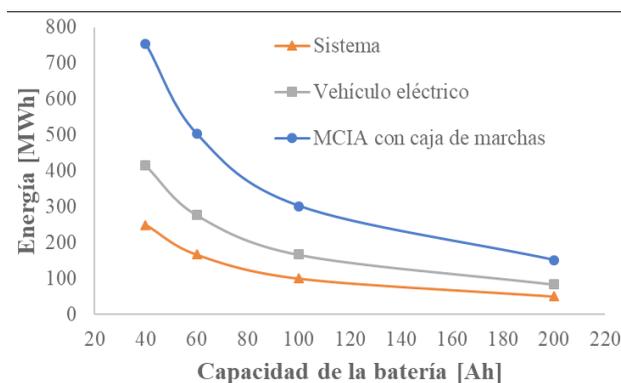
En la tabla 8, y en la figura 5 se indican los valores de la demanda de energía considerando la demanda energética de la ruta funcionando al 100% durante 6 horas, la demanda energética para satisfacer el sistema con propulsión eléctrica (E_v) es desde 415,34 MWh y con el MCIA es de 755,16 MWh; por lo tanto, el ahorro energético utilizando un sistema eléctrico para movilizarse es del 82%.

Tabla 8. Demanda de energética según el sistema de propulsión al 100% durante 6 horas

Capacidad de la batería [Ah]	40	60	100	200
Demanda energética de la ruta (E1). [MWh]	249.20	166.14	99.68	49.84
Demanda energética del EV. [MWh]	415.34	276.89	166.14	83.07
Demanda energética del EM. [MWh]	755.16	503.44	302.06	151.03
Ahorro energético entre EV y MCIA (AE). [%]	82	82	82	82

Elaboración propia.

Figura 5. Demanda de energía durante 6 horas según el tipo de vehículo



Elaboración propia.

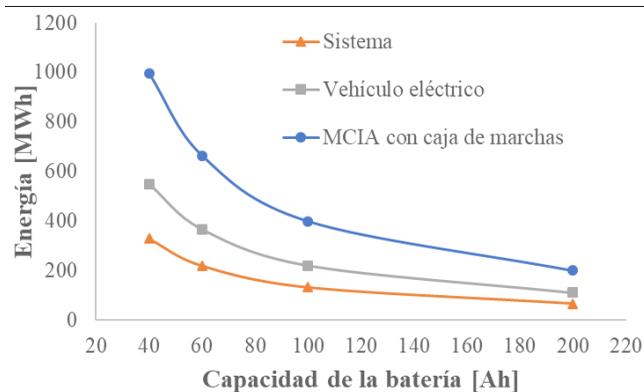
Considerando el funcionamiento del sistema durante 24 horas con el 33% de viajes dentro de la ciudad, en la tabla 9, y en la figura 6, se indican los valores de la demanda de energía considerando la demanda energética de la ruta. Donde, la demanda energética para satisfacer el sistema con propulsión eléctrica (EV) es desde 548,25 MWh y con el MCIA es de 996,81 MWh; por lo tanto, el ahorro energético utilizando un sistema eléctrico para movilizarse es del 82%.

Tabla 9. Demanda de energética según el sistema de propulsión al día con el 33% de viajes

Capacidad de la batería [Ah]	40	60	100	200
Demanda energética de la ruta (E3). [MWh]	328.95	219.30	131.58	65.79
Demanda energética del EV. [MWh]	548.25	365.50	219.30	109.65
Demanda energética del MCIA. [MWh]	996.81	664.54	398.73	199.36
Ahorro energético entre EV y MCIA [%]	82	82	82	82
Ahorro energético entre EV y MCIA (AE). [%]	82	82	82	82

Elaboración propia.

Figura 6. Demanda de energía en el día considerando el 33% de viajes

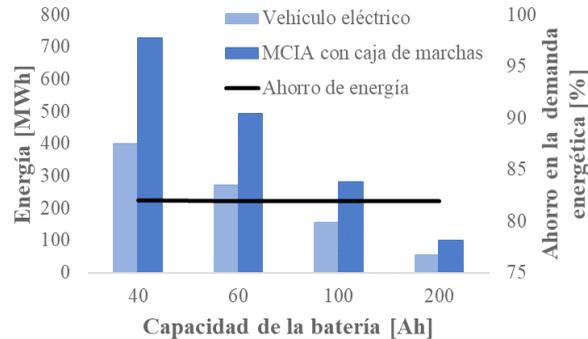


Elaboración propia.

En la figura 7 se indica que la demanda de energía del sistema con un vehículo eléctrico de 276.89 MWh y la demanda de energía del sistema con un vehículo que funciona con el MCIA y caja de marchas es de 503.44 MWh. Donde, existe un ahorro de energía del 82% en caso de utilizar el sistema de movilidad eléctrica. Además, se indican 4 grupos de columnas, cada una representa la demanda de energía con VE y

con MCIA. El ahorro energético según la capacidad de la batería se representa con la línea negra, en este caso el ahorro es el mismo para cualquier capacidad de la batería.

Figura 7. Ahorro energético



Elaboración propia.

IV. Conclusiones

Las características de las rutas propuestas se basaron en el modo de viaje más utilizado en la ciudad de Cuenca que correspondió al traslado privado con un 33%. La tendencia de uso de vehículos privados y las zonas que generan la mayor cantidad de viajes privados fueron: el Centro Histórico y El Ejido.

Los viajes con destino Centro Histórico por día en modo de transporte privado fueron 33274; los viajes hacia El Ejido fueron de 45030 por día en modo privado, también se analizó la cantidad de viajes que se realizaron desde el Centro Histórico hacia la periferia de la ciudad, en donde se generaron 48 797 viajes por día y la zona de El Ejido como punto de partida se originaron 60809 viajes por día, esto debido a que son centros de comercio, y el motivo principal para transportarse en la ciudad es el trabajo con un 33%.

En la ciudad de Cuenca la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A es la encargada de abastecer de energía eléctrica a su población, mediante la red de distribución que consta de subestaciones y alimentadores. En el caso de instalarse el sistema de movilidad alternativo, la empresa debería abastecer de energía al carril por donde circularán los vehículos, para el caso y considerando que en las rutas propuestas existen ocho subestaciones que pueden trabajar aportando 58663 kW, de los cuales el 60% se utilizan para el sistema 35198kW de potencia, que permite circular desde 1146 a 5729 vehículos, considerando que la carga de energía es inalámbrica mediante inducción y que tiene un consumo de 100kWh y la batería tiene una capacidad de 200 Ah y 40Ah.

Se utilizaron en los vehículos paquetes de baterías de Litio que tienen una capacidad de 40 Ah, 60 Ah, 100 Ah y 200 Ah, y con un voltaje de 153.6 V. De dicha capacidad depende la cantidad de vehículos en el sistema, debido a que menor capacidad de la batería mayor cantidad de vehículos y a mayor capacidad menor cantidad de vehículos.

De la demanda de energía que genera el MCIA con caja de marchas y de la demanda de energía que genera el sistema de eléctrico se determinó que al utilizar un sistema de movilidad eléctrico se obtuvo un ahorro energético del 82%.

V. Referencias

- ABC. (2015). *Llegan los primeros carriles de recarga inalámbrica para coches eléctricos*. Recuperado de <https://www.abc.es/tecnologia/noticias/20150819/abci-car-ril-recarga-inalambrica-coches-201508191846.html>
- Agency, I. E. (2017). *CO2 emissions from fuel combustion*. Recuperado de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>
- BAE, J. (2013). *Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system*. Recuperado de <http://itersnews.com/?p=44874>
- Castillo, F., & Torres, A. (2011). *Análisis de rendimiento, consumo y emisiones generadas por los vehículos híbridos*. (Ingeniería en Mecánica Automotriz), Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Latacunga. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4572>
- Castro Verdezoto, P. L., Vidoza, J. A., & Gallo, W. L. R. (2019). "Analysis and projection of energy consumption in Ecuador: Energy efficiency policies in the transportation sector". *Energy Policy*, 134, 110948. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110948>
- Francisco. (2015). *Carta Encíclica Laudato si, del Santo Padre Francisco sobre el cuidado de la casa común*. Roma: Libreria Editrice Vaticana Recuperado de http://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_sp.pdf.
- GAD_Municipal_Cuenca. (2015). *Plan de movilidad y espacios públicos*. Recuperado de Cuenca:
- González, F. P., & Fernández, J. M. D. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*: Universitat Politècnica de València.
- Izquierdo, F. A., Alvarez, C. V., López, V. D., & Industriales, U. P. D. M. E. T. S. d. I. (1995). *Teoría de los vehículos automóviles*: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- RTVE.es. (2012). *Crean una tecnología inalámbrica para recargar coches eléctricos que circulan por la autopista*. Recuperado de <http://www.rtve.es/noticias/20120215/crean-tecnologia-inalambrica-para-recargar-coches-electricos-circulan-autopista/498088.shtml>



Organizadores del I Congreso Internacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética 2019

