



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

75

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez

Gálvez

Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bériz Pérez

M.Sc. Madelaine Vázquez

Gálvez

Ing. Otto Escalona Pérez

Ing. Miguel González Royo

Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

Omar Dieppa

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vigil Santos

Dr. Conrado Moreno Figueredo

Dr. José Guardado Chacón

Dr. Deny Oliva Merrecio

Dra. Dania González Couret

Lic. Bruno Henríquez Pérez

Lic. Ricardo Bériz Valle

M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

Eco Solar, no. 75 / 2021

Revista científica de las
fuentes renovables de energía

enero-marzo, 2021

ISSN-1028-6004

RNPS-2220



CETER



CUBAENERGÍA
Centro de Gestión de la Información
y Desarrollo de la Energía

DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47

Playa, La Habana, Cuba

TEL.: (53) 72062061

E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu

HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

RED DE APRENDIZAJE PARA LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA (SGEN) Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS ENTIDADES PERTENECIENTES AL MINTUR EN PINAR DEL RÍO.....3

Alian Trujillo García

OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BUSCA DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS A PARTIR DE UN ESTUDIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FV CONECTADOS A LA RED.....14

Vladimir Rodríguez Jiménez y Martha Pedroso Nodarse

COMUNIDADES RURALES ECOTURÍSTICAS. EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL HOTEL MOKA EN LA COMUNIDAD LAS TERRAZAS.....26

Román Alejandro Pérez-Rosales, Dania González-Couret, Natalí Collado-Baldoquin y Luis Alberto Rueda-Guzmán

PROCEDIMIENTO PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS: CASO DE ESTUDIO PARQUES DE GIBARA, HOLGUÍN.....35

Ángel Infante Haynes, Mailén Hernández Jorge, Orlando Belete Fuentes y Yoel Estupiñan Ricardo

FACTIBILIDAD DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH).....41

Noidys Quirós Martín y Jorge M. Fernández Infante

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN CUBA.....47

Roberto Ricardo Sánchez Concepción, Yamir de María Almaguer Madeley, Teóduca Crespo Santos, Lina Batista Blanco y María de los Ángeles Zayas

editorial
cubasolar

RED DE APRENDIZAJE PARA LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA (SGEN) Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS ENTIDADES PERTENECIENTES AL MINTUR EN PINAR DEL RÍO

Por Lic. **Alian Trujillo García***

* Especialista en Normalización y Evaluación Energética, Onure de Pinar del Río, Cuba.

E-mail: alian@elecpri.une.cu; alitotruji@gmail.com

Resumen

A partir de las necesidades de generalizar de forma eficaz la aplicación de los Sistemas de Gestión de la Energía en las principales empresas consumidoras de portadores energéticos, la Onure comenzó a aplicar las Redes de Aprendizaje (RdA) como herramienta orientada a la canalización del conocimiento tácito y explícito en materia de Eficiencia Energética entre las entidades, en el caso de estudio, de la Empresa Hoteles Viñales. Durante prácticamente un año se realizó en dichas el diagnóstico energético necesario para determinar la Línea Base Energética y las Potencialidades Energéticas existentes para comenzar a homogenizar a través de la RdA la metodología vigente según la ISO 50001. El siguiente artículo detalla el desarrollo de las primeras etapas de la RdA, algunos de sus logros y la proyección futura donde se incluye un aprovechamiento y aplicación óptima de las nuevas tecnologías y las fuentes renovables de energía.

Palabras clave: : Energía, redes, aprendizaje, eficiencia, ahorro, portadores.

LEARNING NETWORK FOR ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS (ENMS) AND ENERGY EFFICIENCY IN THE ENTITIES BELONGING TO THE MINTUR IN PINAR DEL RÍO

Abstract

Based on the needs to effectively generalize the application of Energy Management Systems in the main companies that consume energy carriers, ONURE began to apply Learning Networks (LN) as a tool aimed at channeling tacit knowledge and explicit in the matter of Energy Efficiency among the entities, in the case of study, of the Viñales Hotels Company. During practically a year, the energy diagnosis necessary to determine the Energy Base Line and the existing Energy Potentialities was carried out in these to begin to homogenize the current methodology according to ISO 50001 through the LN. The following article details the development of the first stages of the LN, some of its achievements and the future projection, which includes an optimal use, and application of new technologies and renewable sources of energy.

Keywords: Electrical characterization, photovoltaic modules, curve I-V.

Introducción

Centroamérica está identificada como la región tropical más sensible al cambio climático, y en consecuencia, su población enfrenta una amplia exposición ante las amenazas naturales climatológicas e hidrometeorológicas. Lo anterior repercute en el ámbito económico y social, generando daños y pérdidas cuantiosas, en detrimento del crecimiento económico y de la esperanza y calidad de vida de la población. Cada uno de los países de la región, en concordancia a sus políticas y circunstancias, está tomando medidas para mitigar la vulnerabilidad y los impactos sobre el desarrollo socioeconómico ante el cambio climático.

Los Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) han demostrado su éxito como una metodología para mejorar el desempeño energético de las empresas, independientemente de su tamaño o actividad. Dado que los gastos asociados al uso de la energía representan una parte importante de los costos operativos de las empresas, resulta evidente que su reducción contribuye de forma importante a su competitividad.

Los SGEn se basan en un modelo de mejora continua Planear/Hacer/Verificar/Actuar (PHVA), que ya está asimilado e implementado por las empresas del mundo para reducir costos e incrementar su competitividad.

Con el establecimiento de la política energética en Cuba se definieron acciones para avanzar a la independencia energética y la reducción del consumo de combustibles fósiles. Aparejado a ello se trabaja en la actualización del marco regulatorio, siendo el Decreto- Ley de ECE y el desarrollo de las fuentes renovables de energía (FRE) su principal herramienta. En uno de sus artículos mandata la elaboración de un Programa que contenga las medidas y los aseguramientos para un desarrollo energético sostenible, todo ello derivado de los diagnósticos que se realicen en esas entidades.

El turismo está llamado a ser el motor impulsor de la economía cubana, además de estar dentro de los cuatro organismos mayores consumidores de energía del sector estatal.

Objetivo general

Implementar una red de aprendizaje basada en la eficiencia energética para la gestión efectiva del conocimiento y la tecnología, con enfoque de intercambio interactivo a todos los niveles de toma de decisión en las entidades del Mintur en Pinar del Río.

Objetivos específicos:

- Establecer los fundamentos teórico-metodológicos de la implementación de los sistemas de gestión de la energía y las redes de conocimiento y aprendizaje en empresas del turismo.
- Caracterizar la situación de la gestión del conocimiento energético en las UEB de la empresa.
- Identificar actores, motivaciones, objetivos, beneficios, mecanismos para la conformación de la red.
- Diseñar una red de aprendizaje entre los actores de energéticos de las entidades de la Empresa Hoteles Viñales.

- Validar la red de aprendizaje basada en la Eficiencia Energética en la Empresa Hoteles Viñales.

Desarrollo

1. Antecedentes

Los principales impulsores para incorporar a la gestión de la energía como parte de la política pública son, principalmente, la seguridad energética, el desarrollo económico, la competitividad, el cambio climático y la salud pública.

Por otra parte, de manera general, los sistemas de gestión han sido ampliamente recibidos por las organizaciones para administrar mejor sus actividades y operaciones, con el fin de mejorar su productividad y competitividad, representando una ventaja ante sus competidores y un beneficio para la propia organización cuando estos son aplicados adecuadamente.

En este sentido, los SGEn implican también una búsqueda de mejorar la gestión de los recursos energéticos con diversos fines, que pueden ser aumentar la eficiencia energética, disminuir costos de energía como parte de una mejora en el enfoque de sustentabilidad de la empresa, para cumplir con algún requisito corporativo, etc.

La energía es un recurso que se puede gestionar. Al hacerlo, se obtienen múltiples beneficios, entre los que destacan la reducción de costos y el incremento de la competitividad.

1.1. Surgimiento de los SGEn

El surgimiento de los SGEn es parte del proceso que en el ámbito internacional se da a partir de la década de los 70's, la cual se caracterizó por una crisis de los energéticos, de tal forma que los SGEn surgen como una herramienta esencial que ha impulsado el desempeño energético a nivel mundial.

La norma ISO 50001, publicada en junio de 2011, establece los requisitos que debe tener un SGEn en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético.

Un SGEn tiene la ventaja de poder ser fácilmente integrado a cualquier sistema de gestión ya existente en una organización. La nueva estructura de alto nivel (HLS, por sus siglas en inglés) facilita la incorporación al generar más elementos en común, así como tener una visión de planeación y evaluación del riesgo.

1.2. Redes de aprendizaje para el funcionamiento de los SGEn en Cuba

La metodología para la aplicación de las redes de aprendizaje de Eficiencia Energética o de Sistemas de Gestión de la Energía, se comenzó a introducir en el país, en el marco del Proyecto de Cooperación Triangular entre Alemania, México y Cuba para el «Fortalecimiento de capacidades institucionales para la implementación de acciones de la política de fuentes renovables de energía y eficiencia energética en Cuba», en octubre de 2018. Se celebraron en la ciudad de La Habana, los talleres de planeación para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) y de sistemas de cogeneración, trigeneración y eficiencia energética en sistemas generadores de vapor en la industria.

Dicha metodología está sustentada en la NC. ISO 50001: 2018, Sistemas de Gestión de la Energía—Requisitos con orientación para su uso, enfocada su aplicación para la mejora continua en la Eficiencia Energética.

Las Redes de Aprendizaje han demostrado ser un instrumento altamente eficiente para mejorar el Desempeño Energético de las organizaciones. Las evaluaciones entusiastas y positivas de las redes piloto implementadas en México por parte de los participantes, ha motivado a compilar y difundir las principales lecciones aprendidas.

Por estas razones se comenzó a implementar la primera red de aprendizaje sobre Eficiencia Energética en la provincia Matanzas a nivel nacional, particularmente en los hoteles de Varadero, materializando y poniendo a prueba la incidencia de las redes, obteniéndose resultados satisfactorios.

En el entorno territorial, y seguido a la realización del diagnóstico energético a las entidades del Mintur en la provincia Pinar del Río, se detectó que no se dispone de un sistema de gestión eficaz entre sus entidades, de ahí la necesidad de crear redes de aprendizaje en Eficiencia Energética.

2. Redes de aprendizaje

Una Red de Aprendizaje es una metodología que implica un espacio de colaboración donde se reúnen diferentes actores que persiguen un objetivo común, valiéndose para lograrlo del intercambio de experiencias, así como del acompañamiento técnico brindado por expertos(as) en la materia. Las Redes de Aprendizaje de Eficiencia Energética, o de Sistemas de Gestión de la Energía (Redes-EE o Redes-SGEn) tienen por objetivo mejorar el desempeño energético de las organizaciones participantes. Están conformadas por 10 a 15 organizaciones que analizan su desempeño energético al momento de iniciar la red, fijan una meta conjunta con base en los potenciales de mejora identificados, y se reúnen periódicamente para intercambiar experiencias y avances en talleres moderados por un(a) profesional (Fig. 1).



Fig. 1. Pilares de una Red de Aprendizaje de EE o SGEn.

Las Redes de Aprendizaje se estructuran en cuatro fases fundamentales:

Fase 1 - Creación:

En esta fase se identifican las organizaciones participantes y actores de la red. Se organiza un taller informativo en el que se explica a los(as) participantes potenciales el concepto de la red y las ventajas de trabajar en conjunto para mejorar su desempeño energético. Una vez identificados, las organizaciones participantes firman un convenio de colaboración o memorando de entendimiento que demuestra su compromiso. En esta fase también se planifica el presupuesto de la red y se eligen las personas que tomarán el rol de acompañamiento técnico y moderación.

Fase 2 - Diagnóstico:

Esta fase marca el inicio oficial de la red. El taller de arranque es particularmente importante, ya que en él se definen las reglas de trabajo de la red (puntualidad, confidencialidad, reglas de respeto y convivencia). Además, se define el cronograma de trabajo de la red, incluyendo fechas para realizar los diagnósticos iniciales, la frecuencia de los talleres y los temas prioritarios de capacitación. Durante esta fase se elaboran y/o revisan los diagnósticos energéticos y/o los análisis de brecha (en el caso de las Red-SGEn) que permitan determinar la línea de base. Esta fase concluye con la definición de las metas voluntarias de las organizaciones participantes y la meta global de la red.

Fase 3 - Desarrollo:

En esta fase se llevan a cabo talleres periódicos para compartir experiencias y avances. Estos talleres van acompañados de visitas técnicas a las instalaciones de cada organización participante, por lo que la sede es rotativa. Los talleres incluyen ponencias de personas expertas, capacitaciones, intercambio y retroalimentación de los avances de los(as) participantes. Desde un inicio las personas a cargo de la coordinación, acompañamiento técnico y moderación de la red deberán sensibilizar a quienes participan sobre el carácter estructurado que implica trabajar en red.

Fase 4 - Cierre:

Una vez transcurrido el tiempo previsto para la duración de la red, todas las organizaciones participantes y actores involucrados dan su retroalimentación sobre el proceso completo, tratando temas como la metodología de la red, los avances individuales y el cumplimiento de las metas. Toda esta información es procesada y analizada para elaborar un reporte final. También en esta fase todos los actores deciden en conjunto si la red continuará y —de ser así— bajo qué condiciones y con cuáles objetivos.

La duración de una Red de Aprendizaje puede variar dependiendo de los objetivos que se pretendan alcanzar y los recursos de los que se disponga.

Las Redes de Aprendizaje permiten desarrollar conexiones y flujos donde no los había. Sus materias de intercambio son la información, las experiencias y el conocimiento, que contribuyen al desarrollo de capacidades en tres niveles: individual, organizacional y a nivel de la red.

A nivel de las personas, las redes permiten:

- Desarrollar capacidades y habilidades técnicas, generando confianza para resolver problemas y mejorando sus contribuciones dentro de la organización a la que pertenecen.
- Generar sentido de pertenencia dentro de un espacio que les permite expandir sus habilidades y adquirir experiencias valiosas.
- Desarrollar una red de contactos sobre un campo de conocimiento.
- Mejorar su reputación profesional, incrementando su empleabilidad.

Por otra parte, a nivel de las organizaciones:

- Se reducen los costos asociados a la implementación de un SGEn, o de medidas de EE.
- Se enriquecen las acciones y propuestas con base en la experiencia de los actores, aumentando la calidad de las decisiones, logrando la implementación de mejores prácticas de forma más eficiente y obteniendo mejores resultados.
- Se incrementan las capacidades técnicas del personal, desarrollando incluso capacidades que no se tenían contempladas o visualizadas.
- Se generan procesos que hacen que los aprendizajes obtenidos permanezcan en las organizaciones.
- En algunos casos, las redes facilitan la obtención de recursos para lograr mejoras.
- Se cuenta con un espacio para resolver problemas y preguntas rápidamente.
- Se ve favorecida la coordinación, estandarización y creación de sinergias entre unidades o áreas.
- Se incrementa su habilidad para prever desarrollos tecnológicos e identificar oportunidades de mercado.

3. Implementación de las Redes de Aprendizaje en las entidades de la Empresa Hoteles Viñales, perteneciente al Grupo Hotelero Cubanacán

Para comenzar la implementación de las Redes de Aprendizaje en las entidades de la Empresa Hoteles Viñales se comenzó por la primera etapa antes expuesta, es decir, se identificaron las organizaciones participantes y actores de la red. Se organizó un taller informativo en el que se explicó a los(as) participantes el concepto de la red y las ventajas de trabajar en conjunto para mejorar su desempeño energético. Se firmó un convenio de colaboración que demuestra su compromiso.

Posteriormente a esto se pasó a la etapa 2, en la que una vez coordinado el cronograma de visitas a cada uno de los hoteles se inició el diagnóstico energético en cada uno durante un año. Esta etapa permitió determinar la línea base, las debilidades energéticas y potencialidades para un eficaz desempeño del SGEn existentes.

3.1. Caracterización general de los hoteles que conforman el grupo hotelero

3.1.1. Estructura general de la entidad

El grupo empresarial Hoteles Viñales de Pinar del Río, perteneciente a la cadena hotelera Cubanacán, actualmente cuenta con un total de cuatro Hoteles, Los Jazmines, La Ermita, Rancho San Vicente y uno de nueva puesta en

explotación dentro del casco urbano llamado Hotel Central. El estudio que solo se le realizó a los tres más emblemáticos, los cuales tienen similitud en referencia a su objeto social.

A continuación se muestra la estructura de cada uno de ellos:

Hotel Los Jazmines

- Área administrativa: Se encuentran las oficinas de la dirección del complejo y las del hotel propiamente, economía, contabilidad y finanzas, capital humano, comercial, mantenimiento, compras e informática.
- Áreas habitacionales: Es donde se hospedan los turistas y está conformada por tres módulos que se reparten en: ocho cabañas independientes, catorce habitaciones en el bloque más antiguo del hotel y cuarenta y ocho en el mayor bloque del hotel, el cual es independiente en cuanto a estructura constructiva y posee tres pisos, para un total de 70 habitaciones; cada una cuenta con agua caliente, climatización y otros servicios de confort.
- Cocina: En la cocina se elaboran los alimentos para desayuno, almuerzo y comida del restaurant y los pedidos del Snack Bar.
- Restaurante: Presta su servicio en la modalidad de bufet y pedido por carta.
- Almacén: Aquí se encuentran todos los productos para garantizar la logística del hotel.
- Cámaras frías: Se encuentran al lado del almacén, con dos de congelación y dos de mantenimiento.
- Otras áreas: También cuenta con piscina, bar con vista al valle, discoteca, mirador con parrillada y tienda.

La Ermita

- Área administrativa: Se encuentran en la zona de carpeta y lobby del hotel, donde están las oficinas de la dirección del hotel, economía, tienda, telecable e informática.
- Áreas habitacionales: Es donde se hospedan los turistas y está conformada por dos módulos que se reparten en: veinte cabañas independientes a la izquierda de la piscina, y cuarenta y cuatro habitaciones a la derecha de la piscina, para un total de 64 habitaciones, cada una con agua caliente, climatización y otros servicios de confort.
- Cocina: En la cocina se elaboran los alimentos para desayuno, almuerzo y comida del restaurant.
- Restaurante: Presta su servicio en la modalidad de bufet y pedido por carta.
- Almacén: Aquí se encuentran los productos necesarios para garantizar la logística del hotel.
- Cámaras frías: Se encuentran al lado del almacén, cuentan con dos de congelación y dos de mantenimiento.
- Otras áreas: También cuenta con piscina y snack bar con parrillada a un costado de la misma.

Rancho San Vicente

- Área administrativa: Se encuentran en el edificio principal del recién reinaugurado Hotel Rancho San Vicente, la parte más antigua y que le da nombre al complejo.

- Área habitacional: Donde se alojan los turistas y está conformada por dos módulos que se reparten en: 22 habitaciones en el edificio principal y 54 cabañas independientes en la ampliación Rancho San Vicente, para un total de 76 habitaciones con diversidad de servicios y preparadas con confort.
- Cocina: En la cocina se elaboran los alimentos para desayuno, almuerzo y comida del restaurant, la misma está en el edificio principal y brinda servicio a los dos hoteles.
- Restaurante: Presta su servicio en la modalidad de bufet y pedidos por carta.
- Almacén: Aquí se encuentran los productos necesarios para garantizar la logística de los dos hoteles.
- Cámaras frías: Se encuentran al lado del almacén, son dos de congelación y tres de mantenimiento.
- Otras áreas: También cuentan con dos piscinas y tres snack bar con parrillada. También un local de masajes y baños medicinales.

3.2. Caracterización energética

Los Jazmines

Caracterización de fuentes de suministro de energía eléctrica

El servicio se alimenta del sistema electro energético nacional (SEN), cuenta con un banco de transformadores de uso exclusivo, caracterizado por tener tres transformadores monofásicos con capacidad 75 kVA c/u para un total de 225 kVA instalados. Servicio alto consumidor de energía eléctrica promedio mensual 48 450 kWh.

En su contratación con la Empresa Eléctrica Pinar del Río poseen una tarifa eléctrica M1A y realizan una contratación de demanda dos veces al año por las características propias del servicio que prestan (110 y 130 kW).

Además, poseen tres grupos electrógenos de emergencia PELKIN de 175 kVA, un HIMOINSA 75 kVA y un DAEWO 60 kVA.

La Ermita

Caracterización de fuentes de suministro de energía eléctrica

El servicio se alimenta del sistema electro energético nacional (SEN), cuenta con un banco de transformadores de uso exclusivo, caracterizado por transformadores monofásicos con capacidad 100 kVA c/u para un total de 300 kVA instalados. Servicio alto consumidor de energía eléctrica con promedio mensual de 43 614 kWh.

En su contratación con la Empresa Eléctrica Pinar del Río poseen una tarifa eléctrica M1A y con una demanda contratada de 120 kW mensuales.

Además, poseen un Grupo Electrónico de Emergencia HIMOINSA de 224 kVA.

Rancho San Vicente

Caracterización de fuentes de suministro de energía eléctrica

Estos servicios se alimentan del sistema electro energético nacional (SEN), cuentan con bancos de transfor-

madores de uso exclusivo, caracterizado por tener tres transformadores monofásicos con capacidad 50 kVA c/u para un total de 150 kVA instalados en el caso de Rancho San Vicente 2 y dos transformadores, uno de 75 kVA y otro de 100 kVA para una capacidad de 175 kVA en la Ampliación Rancho San Vicente.

Son servicios altos consumidores de energía eléctrica con un promedio mensual de:

- Ampliación Rancho San Vicente 23 073 kWh.
- Rancho San Vicente 235 007 kWh.

En su contratación con la Empresa Eléctrica Pinar del Río poseen una tarifa eléctrica M1A y con una demanda contratada de 90 kW en la ampliación y 98 kW en RSV 2.

Además, poseen dos grupos electrógenos de emergencia, uno HIMOINSA de 220 kVA y otro Mercedes Benz de 180 kVA.

3.3. Estratificación del consumo de energía eléctrica por usos y áreas

El levantamiento de las cargas eléctricas es una herramienta fundamental para identificar por usos y áreas la estructura de consumo, lo que permite una orientación precisa hacia el cumplimiento de los objetivos del SGen. A continuación se describen por instalaciones en las Tablas 1-8, y en las Figs. 2-9:

La Ermita

Tabla 1. Relación de consumo por usos

	Usos	kWh promedio mensual	%	kWh (Acum.)	% (Acum.)
1	Refrigeración	34 591,5	75,48 %	34 591,5	75,48 %
2	Motores tecnológicos	5 048,1	11,02 %	39 639,7	86,50 %
3	Climatización	3 659,8	7,99 %	43 299,5	94,49 %
4	Iluminación	637,6	1,39 %	43 937,0	95,88 %
5	Bombeo de fluidos	527,7	1,15 %	44 464,7	97,03 %
6	Ventiladores	502,0	1,10 %	44 966,7	98,12 %
7	Otros equipos	409,4	0,89 %	45 376,1	99,02 %
8	Hornos y similares	284,1	0,62 %	45 660,2	99,64 %
9	Ofimática	98,1	0,21 %	45 758,3	99,85 %
10	Compresores	68,3	0,15 %	45 826,6	100,00 %
		45 826,6	100,00 %		

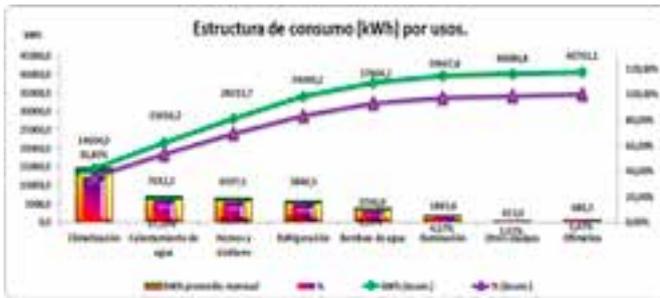


Fig. 2. Estructura de consumo (kWh) por usos.

Tabla 2. Relación de consumo por áreas

	Áreas	kWh promedio mensual	%	kWh (Acum.)	% (Acum.)
1	Área de producción	42 377,0	92,47 %	42 377,0	92,47 %
2	Área Admón. y servicios	1327,4	2,90 %	43704,4	95,37 %
3	Área de mantenimiento	1223,7	2,67 %	44 928,2	98,04 %
4	Área de calderas	568,4	1,24 %	45 496,6	99,28 %
5	Local de bombeo	330,0	0,72 %	45 826,6	100,00 %
		45 826,6	100,00 %		

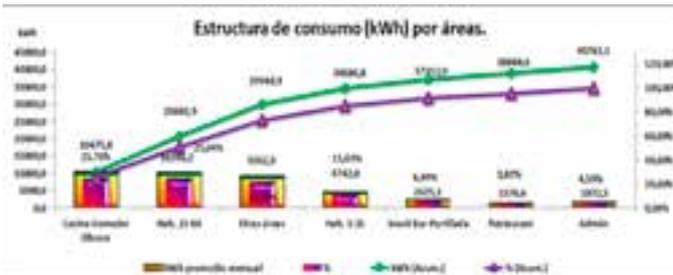


Fig. 3. Estructura de consumo (kWh) por áreas.

Los Jazmines

Tabla 3. Relación de consumo por uso

	Usos	kWh promedio mensual	%	kWh acum.	% (Acum.)
1	Climatización	26 451,60	56,34 %	26 451,60	56,34 %
2	Refrigeración	7104,81	15,13 %	33 556,41	71,47 %
3	Calentamiento de agua	4686,66	9,98 %	38 243,07	81,45 %
4	Bombeo de agua	2846,16	6,06 %	41 089,23	87,51 %
5	Hornos y similares	2353,97	5,01 %	43 443,20	92,52 %
6	Iluminación	2226,74	4,74 %	45 669,93	97,27 %
7	Otros equipos	860,55	1,83 %	46 530,48	99,10 %
8	Ofimática	423,57	0,90 %	46 954,05	100,00 %
		46 954,05	100,00 %		



Fig. 4. Estructura de consumo (kWh) por usos.

Tabla 4. Relación de consumo por áreas

	Áreas	kWh promedio mensual	%	kWh acum.	% (Acum.)
1	Edificio Principal	17 489,87	37,25 %	17 489,87	37,25 %
2	Bloque 48 HAB.	16 064,09	34,21 %	33 553,95	71,46 %
3	Zona Admón. Empresa	4008,23	8,54 %	37 562,18	80,00 %
4	Área Admón. hotel y piscina	3696,45	7,87 %	41 258,63	87,87 %
5	Mirador	2870,88	6,11 %	44 129,51	93,98 %
6	Cabañas	2706,85	5,76 %	46 836,36	99,75 %
7	Exterior hotel	117,69	0,25 %	46 954,05	100,00 %
		46 954,05	100,00 %		

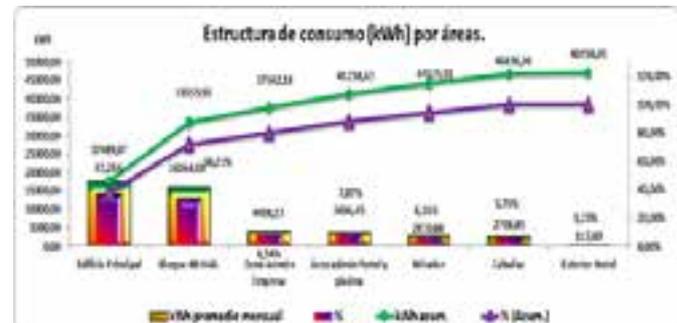


Fig. 5. Estructura de consumo (kWh) por áreas.

**Rancho San Vicente
Hotel Rancho San Vicente 2 (RSV 2)**

Tabla 5. Relación de consumo por uso

	Usos	kWh promedio mensual	%	kWh (acum.)	% (Acum.)
1	Climatización	10 618,0	30,92 %	10 618,0	30,92 %
2	Hornos y similares	10 416,3	30,34 %	21 034,3	61,26 %

3	Refrigeración	8150,6	23,74 %	29 185,0	85,00 %
4	Calentamiento de agua	2423,3	7,06 %	31 608,2	92,06 %
5	Otros equipos	1307,0	3,81 %	32 915,2	95,86 %
6	Bombeo de agua	832,3	2,42 %	33 747,5	98,29 %
7	Equipos de cómputo	381,6	1,11 %	34 129,1	99,40 %
8	Iluminación	206,8	0,60 %	34 335,9	100,00 %
		34 335,9	100,00 %		

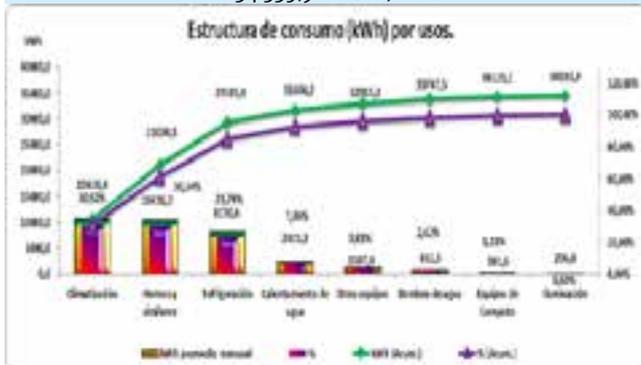


Fig. 6. Estructura de consumo (kWh) por usos.

Tabla 6. Relación de consumo por áreas

Áreas	kWh promedio mensual	%	kWh (acum.)	% (Acum.)	
1	Cocina-Restaurante	15 422,0	44,92 %	15 422,0	44,92 %
2	Almacenes	6096,2	17,75 %	21 518,2	62,67 %
3	Habitaciones	5469,1	15,93 %	26 987,3	78,60 %
4	Administración	2548,7	7,42 %	29 536,0	86,02 %
5	Otros	1758,1	5,12 %	31 294,1	91,14 %
6	Bares	1541,8	4,49 %	32 835,9	95,63 %
7	Cuarto de calentadores	1500,0	4,37 %	34 335,9	100,00 %
		34 335,9	100,00 %		

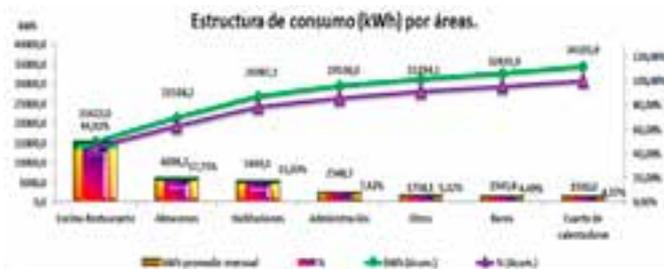


Fig. 7. Estructura de consumo (kWh) por áreas.

Hotel Rancho San Vicente Ampliación (RSV Ampliación)

Tabla 7. Relación de consumo por usos

Usos	kWh promedio mensual	%	kWh (acum.)	% (Acum.)	
1	Climatización	10 981,8	47,47 %	10 981,8	47,47 %

2	Calentamiento de agua	38 14,1	16,49 %	14 795,9	63,96 %
3	Hornos y similares	3350,4	14,48 %	18 146,3	78,44 %
4	Bombeo de agua	1736,4	7,51 %	19 882,7	85,95 %
5	Refrigeración	1257,4	5,44 %	21 140,2	91,39 %
6	Iluminación	1223,2	5,29 %	22 363,4	96,67 %
7	Otros equipos	769,5	3,33 %	23 132,9	100,00 %
		23 132,9	100,00 %		

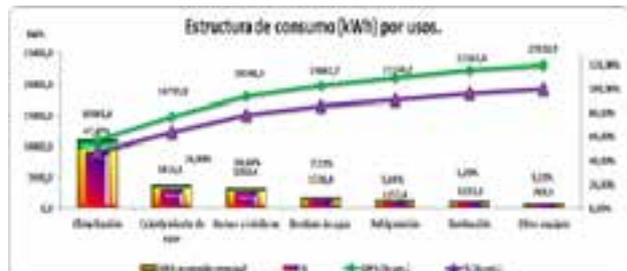


Fig. 8. Estructura de consumo (kWh) por usos.

Tabla 8. Relación de consumo por áreas

Áreas	kWh promedio mensual	%	kWh (acum.)	% (Acum.)	
1	Cabañas	13 203,8	57,08 %	13 203,8	57,08 %
2	Cocina-Restaurante	5124,2	22,15 %	18 328,1	79,23 %
3	Otras	3291,7	14,23 %	21 619,8	93,46 %
4	Bar piscina	584,1	2,52 %	22 203,8	95,98 %
5	Alumbrado ext.	489,0	2,11 %	22 692,8	98,10 %
6	Tienda	352,5	1,52 %	23 045,4	99,62 %
7	Cuarto de calentadores	87,5	0,38 %	23 132,9	100,00 %
		23 132,9	100,00 %		

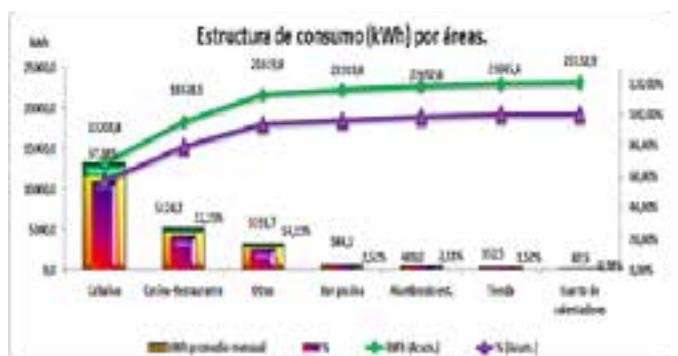


Fig. 9. Estructura de consumo (kWh) por áreas.

3.4. Análisis de los índices de consumo

Referido a la eficiencia energética los tres hoteles se manifiestan de forma similar. Se constató que el tipo de actividad medida, las habitaciones días ocupados (HDO), no ofrece una información veraz al compararlo con la energía empleada para ofrecer el servicio en las mismas. El coeficiente de correlación (R^2), en el período en análisis, queda de la forma siguiente (Figs. 10-13):

La Ermita

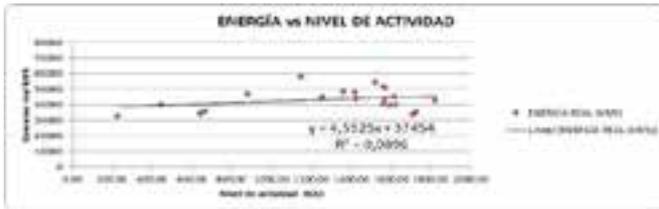


Fig. 10. Energía vs. nivel de actividad.

Los Jazmines



Fig. 11. Energía vs. nivel de actividad.

Rancho San Vicente

Parte vieja

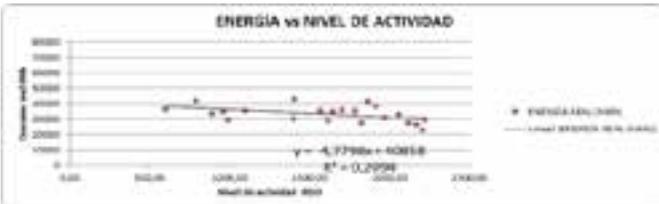


Fig. 12. Energía vs. nivel de actividad.

Ampliación

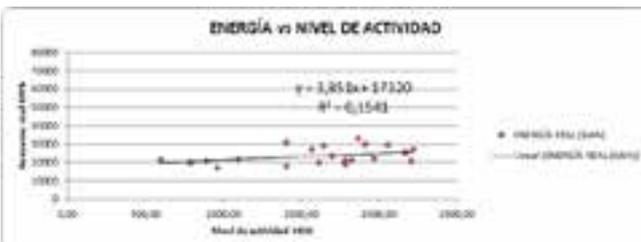


Fig. 13. Energía vs. nivel de actividad.

Tal resultado es debido a que existen áreas que representan un consumo importante de energía y no dependen directamente de la ocupación de las habitaciones, por ejemplo: el área administrativa, las tiendas y los servicios de pasadías que implica una explotación importante, del Snack Bar y la cocina con toda la carga que implica y el área de piscina. Lo anterior representa una cantidad importante de energía no asociada al proceso productivo.

El sistema de medición actual con que cuentan los hoteles es únicamente la que propicia la Empresa Eléctrica, es decir, una medición centralizada que ofrece variables eléctricas globales de cada centro. Como es demostrado, el índice de eficiencia utilizado en el presente (HDO) no ofrece información veraz del desempeño energético, por lo que se propone colocar mediciones internas de los pro-

cesos según lo permita la estructura eléctrica, de modo que los HDO queden con una correlación aceptable y poder emplear otros índices de eficiencia secundarios, como es el caso de Turistas Días.

3.5. Debilidades energéticas comunes detectadas

1. Desaprovechamiento de las áreas soleadas, incluyendo techos para la colocación de paneles solares fotovoltaicos.
2. Ausencia de plantas de tratamiento de residuales para la reutilización del agua en la jardinería.
3. Utilización de tecnología de climatización ineficiente.
4. Empleo de carpintería no apta para locales climatizados.
5. Falta de mantenimiento a los sistemas de calentamiento de agua solares.
6. Falta de mantenimiento a los sistemas de bombeo y filtrado para la reutilización de las aguas en las piscinas.
7. Desaprovechamiento de la luz natural para la iluminación de ciertos espacios.
8. Empleo de tecnología menos eficiente en la iluminación.
9. Ausencia de mediciones eléctricas internas que delimiten las principales áreas para un correcto monitoreo del comportamiento energético.

Tales debilidades manifiestan potencialidades que de resolverse incorporan ahorros importantes en cuanto al consumo de portadores energéticos.

3.6. Potenciales globales de ahorro de la Empresa Hoteles Viñales

La Empresa Hoteles Viñales tiene un potencial de ahorro identificado y cuantificado que a continuación se muestra por hoteles:

La Ermita

Sustitución tecnológica

- a. Sustitución de iluminación menos eficiente fluorescente y fluorescente compacta (Ahorradores) por LED. El Hotel cuenta con, según levantamiento de cargas, 1065 emisores de luz por electricidad. Con tal sustitución se lograría una disminución del consumo promedio mensual de 59 % que representan 598,24 kWh; en el año serían 7178,88 kWh que al precio del kWh (0,15 CUC) estaría dejando de pagar anualmente 1076,83 CUC.
- b. Sustitución de la climatización del área habitacional por tecnología Inverter. El sistema de climatización de las 64 habitaciones del hotel está repartido de la forma siguiente:
 - 10 Aire Acondicionados de Ventana (AAV) con un consumo promedio mensual de 2052 kWh.

- 58 Split con un consumo promedio mensual de 10662,6 kWh.

Los sistemas de climatización Inverter están diseñados para reducir el consumo de energía eléctrica entre 50 y 60 %. Si se implementara cualquiera de los sistemas Inverter se dejarían de consumir 7628,76 kWh como promedio mensual, al año 91545,12 kWh, y multiplicándolo por el precio promedio del kWh (0,15 CUC) se dejarían de pagar 13 731,76 CUC en el año.

Cubrir con material termoaislante el tanque de respaldo del calentador solar del bloque de 44 habitaciones

En el hotel existen dos locales donde funcionan los depósitos de agua proveniente de los calentadores solares. En cada uno hay dos tanques, uno que recepciona el agua caliente directamente de los calentadores y otro que tiene en su interior las resistencias de respaldo; si las condiciones de aislamiento térmico son correctas, cuando recibe agua por debajo de los 50 °C, se accionan para lograr una temperatura óptima del agua (70 °C) para ser trasladada a las habitaciones. En el local de calentadores que suministra el agua caliente al bloque de 44 habitaciones se encuentra el tanque de las resistencias de respaldo totalmente despojado del aislamiento térmico, lo que provoca una pérdida de calor equivalente aproximadamente a 7,213 kW, calculado a través de software para obtener pérdidas de calor en cilindros verticales, usando como datos los siguientes:

- Emisividad del metal usado = 0,74
- Temperatura de la superficie °K = 343,15
- Temperatura del aire °K = 303,15
- Áreas del cilindro = 16,08 m²

Esta pérdida hace que las resistencias eléctricas (3) trabajen aproximadamente tres horas más de lo que trabajaría en condiciones normales de aislamiento térmico, esto multiplicado por la potencia de las tres (15 kW) significa que se están consumiendo 45 kWh de más diarios, al mes 2700 kWh y en el año 32 400 kWh que a 0,15 CUC como precio del kWh están pagando de más 480 CUC al año.

Los Jazmines

Sustitución tecnológica

- a. Iluminación menos eficiente fluorescente y fluorescente compacta (ahorradores) por LED. El hotel cuenta con, según levantamiento de cargas, 1050 emisores de luz por electricidad. Con tal sustitución se lograría una disminución del consumo promedio mensual de 56 % que representan 1247,43 kWh, en el año serían 14 969,16 kWh que al precio del kWh (0,15 CUC) estaría dejando de pagar anualmente 2245,3 CUC.
- b. Sustitución de la climatización del área habitacional por tecnología Inverter.
El sistema de climatización de las 70 habitaciones del hotel está repartido de la forma siguiente:

- 24 Aires Acondicionados de Ventana (AAV) con un consumo promedio mensual de 8659,2 kWh.
- 46 Split con un consumo promedio mensual de 9807 kWh.

Los sistemas de climatización Inverter están diseñados para reducir el consumo de energía eléctrica entre 50 y 60 %. Si se implementara cualquiera de los sistemas Inverter se dejarían de consumir 11 079,72 kWh como promedio mensual, al año 13 2956,64 kWh y multiplicándolo por el precio promedio del kWh (0,15 CUC) se estarían dejando de pagar 19 943,5 CUC en el año.

Generalización del sistema solar de calentamiento de agua para el resto de las habitaciones

En mediciones realizadas durante el diagnóstico se determinó que las habitaciones del bloque 48 son las únicas que se sirven del agua caliente proveniente de los calentadores solares, los mismos garantizan una temperatura óptima de alrededor de 70 °C en días soleados; cuando la temperatura del agua está por debajo de los 50 °C por días nublados se activan las tres resistencias de respaldo que son de 5 kW cada una. Esto provoca que como promedio mensual una habitación consuma solo en calentar el agua 28,1 kWh.

El resto de las 22 habitaciones, repartidas en las cabañas y el edificio principal del hotel, cuentan con nueve calentadores de agua netamente eléctricos, los que provocan un consumo en cada una como promedio mensual de 60,1 kWh.

Por lo tanto, si en estas 22 habitaciones se servirían de un nuevo módulo de calentadores solares estarían consumiendo como promedio mensual solo en calentamiento de agua 618,75 kWh, lo que quiere decir 703,45 kWh menos mensualmente, o 8441,4 kWh menos anualmente, que representarían 1266,21 CUC dejados de pagar.

Eliminar aberturas en la carpintería metálica de las 14 habitaciones del edificio central del hotel

Haciendo uso de un método de cálculo rápido (herramienta Excel), usando como variables las temperaturas del interior de la habitación y del exterior, área de las aberturas, velocidad del viento, horas de uso de la climatización, etc. Según las mediciones se obtuvo que las aberturas provocadas por las características irregulares de la carpintería metálica suman un total aproximado de 0,882 m², tal defecto relacionado con 248 horas aproximadas de explotación mensual de la climatización, arroja una pérdida de energía de 898,4 kWh y al año 10 780,8 kWh, que representan 1617,12 CUC.

Rancho San Vicente

Sustitución tecnológica

- a. Sustitución de iluminación menos eficiente fluorescente y fluorescente compacta (Ahorradores) por LED. Los hoteles RSV 2 y RSV Ampliación cuentan con, según levantamiento de cargas, 938 emisores de luz por electricidad. Con tal sustitución se lograría una disminución del consumo promedio mensual de 59 %, que representan 612,3 kWh,

en el año serían 7347,64 kWh, que al precio del kWh (0,15 CUC) estarían dejando de pagar anualmente 1102,14 CUC.

- b. Sustitución de la climatización que usa AAV. Entre los dos hoteles aún continúan 21 AAV ineficientes por el tiempo de explotación, repartidos fundamentalmente en habitaciones.

Los sistemas de climatización Inverter están diseñados para reducir el consumo de energía eléctrica entre 50 y 60 %. Si se implementaran cualquiera de los sistemas Inverter se dejarían de consumir 4631,7 kWh como promedio mensual, al año 33 348,24 kWh y multiplicándolo por el precio promedio del kWh (0,15 CUC) se estarían dejando de pagar 5002,236 CUC en el año.

Fuentes renovables de energía y mantenimiento

- a. Rescate del sistema de agua caliente por calentadores solares en RSV Ampliación. Una cabaña con asistencia complementaria de calentadores solares consume como promedio mensual 62,5 kWh solo para calentar agua, y sin tal asistencia 70,62 kWh; la diferencia, 8,13 kWh es lo que una habitación deja de consumir de la red nacional si se emplean los calentadores solares. Esta energía dejada de consumir en las 54 habitaciones del Hotel RSV Ampliación representan 5268,24 kWh, al año o lo que es lo mismo 790,23 CUC.
- b. Uso del agua caliente de los calentadores solares en RSV 2 para mesa caliente con el fin de mantenerla a temperatura de consumo y no con el horno eléctrico. Como promedio, la energía empleada para el uso del horno es de 245,3 kWh por día a razón de 11 horas de explotación; de ellas, tres se emplean para mantener caliente el servicio, estas tres horas representan 66,9 kWh diarios o 24 418,5 kWh al año. Si se emplea agua caliente proveniente de los calentadores solares en el Hotel RSV 2 ello sería de ahorro absoluto, lo que a su vez representan 3662,7 CUC.
- c. Colocación de cubiertas de acrílico u otro material en la carpintería metálica de las 14 habitaciones pequeñas del Hotel RSV Ampliación, que presentan mala hermeticidad.

Haciendo uso de un método de cálculo rápido (herramienta Excel), usando como variables las temperaturas del interior de la habitación y del exterior, área de las aberturas, velocidad del viento, horas de uso de la climatización, etc. Según las mediciones se obtuvo que las aberturas provocadas por las características irregulares de la carpintería de madera suman un total aproximado de 10,08 m²; tal defecto relacionado con 124 horas aproximadas de explotación mensual de la climatización arroja una pérdida de energía de 61 601,21 kWh al año, que representan 9240,12 CUC.

4. Compromiso de la alta dirección en la aplicación del Sistema de Gestión de la Energía (SGEn)

La implementación de las Redes de Aprendizaje para la eficacia del SGEn requiere compromiso y tiempo de dedicación al proyecto. También, asignar recursos humanos y financieros. Se trata de incorporar el factor energía en las conversaciones diarias y en el proceso de toma de decisiones.

Resulta sencillo manifestar interés; sin embargo es necesario que la alta dirección demuestre su compromiso de apoyar el SGEn y su mejora continua. En ese sentido, algunas de las responsabilidades básicas que se identifican en la Empresa Hoteles Viñales de Cubanacán son:

Apoyo en:

- La creación, implementación y comunicación de una política energética.
- La aprobación de un equipo de gestión de la energía.
- La toma de decisiones para la mejora del SGEn y del desempeño energético.
- La incorporación del desempeño energético como planificación a largo plazo.
- El cumplimiento de los requisitos del SGEn.

Aseguramiento a:

- El establecimiento de los objetivos y metas energéticas.
- La calidad y pertinencia de los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) para la organización.
- La medición y comunicación de los resultados del SGEn mensualmente.

Suministro de:

- Los recursos necesarios para cada una de las etapas del SGEn y de la mejora del desempeño energético.
- Estos incluyen los recursos humanos, tecnológicos y financieros, además de competencias especializadas.

Designación de:

- Un representante con la autoridad y competencia para la implementación, mantenimiento y mejora del SGEn y del desempeño energético.

Toda esta estrategia está debidamente elaborada y puesta en práctica, su cumplimiento de la misma es controlado mensualmente en los consejos de dirección y, además, a través de los diagnósticos energéticos por parte de la Onure.

5. Alineación de estrategias para la aplicación y mejora continua del SGEn en la Empresa Hoteles Viñales de Cubanacán una vez puesto en funcionamiento la parte inicial de las Redes de Aprendizaje

En la Empresa se realiza el análisis del compromiso de los jefes de áreas y especialistas como mandos intermedios a través de sistemas y procedimientos en el conocimiento, adecuado uso y control de los portadores energéticos en las diferentes áreas.

Se involucra principalmente al personal relacionado con los equipos y áreas de uso significativo de energía y se exige que este personal sea competente para cumplir los requisitos del SGEN relacionados con su labor, para cumplir con las funciones, responsabilidades y autoridades que le sean asignadas dentro del sistema. Siendo para ello necesario identificar el personal involucrado, las funciones, necesidades de educación, formación, habilidades y experiencia requerida; realizando los planes de formación y entrenamiento que se requieran.

En la Empresa están establecidos los procedimientos y resoluciones para el manejo y control del uso del combustible mediante el uso de tarjetas magnéticas prepagadas, cuestión que es responsabilidad del Técnico de transporte del grupo que hace las funciones de energético de este portador, en el que también intervienen técnicos del área económica. Este técnico además es el encargado de velar por el estado del parque vehicular y hacer cumplir los procedimientos establecidos para el control de combustible mediante las hojas de ruta de los vehículos o Anexo único según corresponda; la determinación de los índices de consumo de los equipos y su correcta explotación y estado técnico. Además, es el responsable de programar los mantenimientos y revisiones técnicas en dependencia del nivel de actividad de los equipos.

Los portadores energéticos electricidad, gas licuado, lubricantes y agua también son controlados por esta área y existe compromiso y responsabilidad del personal de servicio.

El tamaño, composición y responsabilidades del equipo de gestión de la energía varía acorde a cada área en términos del uso y consumo de energía. También se recomienda establecer un organigrama del equipo con las responsabilidades claras y establecidas.

Conclusiones

Con la evaluación de estas dos primeras etapas de implementación las Redes de Aprendizaje para los SGEN en la Empresa Hoteles Viñales perteneciente al Grupo Hotelero Cubanacán, se concluye que aún se pueden incorporar elementos que complementan la excelencia y buenos resultados en cuanto al uso eficiente de los portadores energéticos, entre ellos podemos mencionar:

Aprobación de cronogramas para la divulgación y capacitación a todos los involucrados (desde la alta dirección hasta los jardineros) sobre la importancia del SGEN, haciendo uso de las propias redes.

Una mayor gestión en la asignación de recursos, haciendo partícipe del SGEN a la Inmobiliaria del Turismo como ente fundamental de suministro de recursos.

Consolidación del centro de costo energético existente, donde además de los portadores energéticos típicos se analice el uso del agua.

Aún es pronto para demostrar con resultados cuantitativos la eficacia de la aplicación de las Redes de Aprendizaje, pero ya adentrándonos en la tercera etapa, cuando se comenzarán a paliar las debilidades energéticas a partir de las experiencias y conocimientos de los expertos, apostamos por una disminución importante del consumo de portadores, fundamentalmente con el empleo de nuevas tecnologías y fuentes renovables de energía, todo ello alineado por un fin común.

Bibliografía

- «Documentos del VII Congreso del Partido aprobados por el Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017 y respaldados por La Asamblea del Poder Popular de junio de 2017». La Habana, Cuba.
- COLECTIVO DE AUTORES (2002). *Gestión Energética Empresarial*. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- COLECTIVO DE AUTORES (2006). «Gestión Energética en el Sector Productivo y de Servicios. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente». Cienfuegos, Cuba.
- COMITÉ EJECUTIVO DEL CONSEJO DE MINISTROS (1998). «Decreto No. 260 Contravenciones personales de las Regulaciones del Servicio Eléctrico. La Habana, Cuba».
- DE LAIRE, MICHEL Y OTROS (2017). «Beneficio de los Sistemas de Gestión de Energías basados en la ISO 50001 y caso exitoso AChEE». Agencia de Eficiencia Energética, Chile.
- GONZÁLEZ, P. F Y OTROS (2006). *Energía y desarrollo sostenible*. La Habana: Ed. Política. Cuba.
- GUERRA HUICA, KARLA BELÉN (2017). «Modelo de Gestión de la Energía según la Norma ISO 50001:2011 de la Empresa Alboriente SA Pastaza-Ecuador». Barcelona: Ed. Uniba.
- LEY NO 1287. LEY ELÉCTRICA (1974). *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (2001). «Resolución No. 311-2001 Tarifas eléctricas, Cuba».
- PÉREZ, DARÍO (2016). «Caso práctico de implementación de un sistema de gestión de energía en la Industria». VII Seminario Latinoamericano y del Caribe de Eficiencia Energética., Montevideo, Uruguay.
- PRÍAS CAICEDO, OMAR FREDY Y OTROS (2013). «Implementación de un Sistema de Gestión de Energía», Universidad Nacional Colombia y Universidad del Atlántico Bogotá, Colombia.
- UNIÓN NACIONAL ELÉCTRICA (2012). *Manual de Consumidores*. La Habana, Cuba.
- VIEGO, F. P Y OTROS (2007). «Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Centro de Estudios de Energía y Medioambiente». Universidad de Cienfuegos, Cuba.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.

OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BUSCA DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS A PARTIR DE UN ESTUDIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FV CONECTADOS A LA RED

Por Lic. **Vladimir Rodríguez Jiménez*** e Ing. **Martha Pedroso Nodarse***.

* Empresa de Servicios Técnicos y Especializados, Cienfuegos.

E-mail: vrjimenez@estec.une.cu; marthap@estec.une.cu

Resumen

El presente trabajo muestra la oportunidad de mejora que representa para el desempeño energético de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados Cienfuegos (ESTEC), la realización de un estudio preliminar para la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red, que sea capaz de generar por lo menos 30 % del consumo de la energía eléctrica que consume y el dimensionamiento de los principales equipos y componentes que necesita el sistema fotovoltaico.

Los módulos fotovoltaicos que se proponen instalar en las diferentes áreas de la empresa serán de 250 Wp, de 60 celdas y con dimensiones de 1660x990 mm, los inversores serán de diferentes potencias, acorde a la cantidad de módulos de cada local, pero todos serán trifásicos para facilitar el balance de las líneas eléctricas internas de los edificios.

De llevarse a vías de hecho la instalación de este sistema fotovoltaico en los locales estudiados pudieran aportar 77 % de la energía eléctrica que actualmente consume la empresa. Por este concepto se ahorran 151,80 Ton de combustible al año; representando, para el país un ahorro de \$ 121,42 CUC (MP), y se deja de emitir a la atmosfera 326,0 Ton de CO₂ al año.

Palabras clave: Oportunidad de mejora, sistema fotovoltaico de inyección a red; consumo de energía eléctrica, desempeño energético, oportunidad de mejora.

OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT IN SEARCH OF CLEANER PRODUCTIONS FROM A STUDY FOR THE DIMENSIONING OF PV SYSTEMS CONNECTED TO THE GRID

Abstract

This work shows the opportunity for improvement, which represents for the energy performance of the Company of Technical and Specialized Services Cienfuegos (ESTEC), conducting a preliminary study for the installation of a photovoltaic system of grid injection, which are capable of generating at least 30 % of the consumption of the electrical energy it consumes and the sizing of the main equipment and components that the photovoltaic system needs.

The photovoltaic modules that are proposed to be installed in the different facilities of the company will be 250 Wp, 60 cells and with dimensions of 1660x990 mm, the inverters will be of different powers, according to the number of modules of each premises, but all will be three-phase to facilitate the balance of the internal power lines of the buildings.

If the installation of this photovoltaic system is actually carried on the premises studied, they could contribute 77 % of the electricity currently consumed by the company. For this concept, 151,80 tons of fuel are saved per year; representing, for the country, a saving of \$ 121,42 CUC (MP), so it stops emitting 326,0 tons of CO₂ per year into the atmosphere.

Keywords: Opportunity for improvement, grid injection photovoltaic system; electricity consumption, energy performance.

I. Introducción

En mayo de 2004 el Sistema Electro-Energético Nacional se vio seriamente afectado, al producirse una avería durante un mantenimiento planificado de la termoeléctrica Antonio Guiteras. En ese contexto surge, como iniciativa de Fidel Castro, la Revolución Energética. Lo que comenzó como solución a un problema crítico se convirtió en una estrategia de uso racional de la energía.

La publicación de la Norma Internacional ISO 50001, el 15 de junio de 2011, adoptada en nuestro país en diciembre del propio año, proporcionó los requisitos que debe tener un Sistema de Gestión de la Energía, en una organización, para ayudarle a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia y reducir los impactos ambientales, como resultado de un enfoque integral en el que se combinen acciones y medidas técnico organizativas con proyectos de inversión; estableciendo objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso de la energía, incluyendo la medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y la adquisición de equipos, sistemas, procesos y el personal que contribuye a su desempeño energético.

Con la implantación de la NC-ISO 50001:2011, la empresa dispone de flexibilidad para aplicar su SGEN, es decir, determina el ritmo de avance, la extensión y la duración del proceso de mejora continua y define en su alcance y límites, lo que se incluye en su Sistema de Gestión.

La gestión del consumo y planes operativos de electricidad se han enfocado en dos direcciones fundamentales: la gestión eficiente de los planes de electricidad de cada uno de los servicios y la participación consciente de todo el personal de la organización, incluido el personal externo que trabaja para ella; acciones que permitan lograr un cambio de hábitos en el uso y consumo de la energía eléctrica y contribuyan a fortalecer la cultura energética de la empresa.

Como política energética de la empresa, la sistemática identificación y priorización de las oportunidades de mejora en el desempeño energético, representa uno de los aspectos más relevantes del sistema de gestión de la energía.

En virtud de lo anterior, la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red, le proporciona a la empresa las ventajas siguientes:

- Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión y de distribución de la energía eléctrica.
- Son sistemas modulares, lo que facilita su flexibilidad para adaptarse a diferentes tipos de aplicaciones y su instalación es relativamente sencilla.
- Tienen una larga duración. La vida útil de una planta fotovoltaica, la define la vida útil de sus componentes, principalmente el generador o módulo fotovoltaico, que constituye más de 50 % del valor de la instalación. Los módulos tienen una vida esperada de más de 25 años, y existen módulos de instalaciones aisladas de red que llevan funcionando más de 30 años sin problemas.

- No requieren apenas mantenimiento. El mantenimiento es escaso y no solo es conveniente hacerlo en las horas nocturnas para tener una disponibilidad diurna máxima, sino que es necesario para evitar que existan tensiones en los generadores.
- Las instalaciones fotovoltaicas son de una alta fiabilidad y disponibilidad operativa, del orden de 95 %.
- La producción eléctrica fotovoltaica ocurre sin combustión y a un nivel de temperatura comparativamente bajo. Los componentes, por consiguiente, no sufren carga térmica, tal y como es habitual, por ejemplo, en las calderas de calefacción.
- La obtención de energía eléctrica a partir de una fuente de energía solar fotovoltaica, contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂ y en menor medida de SOx. Cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1 kg de CO₂, en el caso de comparar con generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 400 g de CO₂ al comparar con generación eléctrica de gas natural.

II. Desarrollo

Para el éxito del SGEN, además de lograr el nivel de competencia requerido en el personal asociado a los usos significativos de energía, la identificación e implementación de oportunidades de mejora constituye un elemento fundamental para el SGEN diseñado; pues se necesita de la participación consciente de todo el personal de la organización, incluido el personal externo que trabaja para ella.

En este sentido, durante la identificación de oportunidades de mejora el foco de atención se centra en las prácticas operacionales; es decir, en identificar las buenas prácticas de operación y potenciarlas en un futuro; en los aspectos tecnológicos, en detectar potenciales de ahorro a través de inversiones, remodelaciones o introducción de nuevos equipos y tecnología y en las ideas del personal asociado a los USEn y Auditorías Energéticas. Siempre teniendo como premisas que la elevación de la eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí: adquisición de nuevos equipos y tecnologías de alta eficiencia (inversión) lo cual requiere de mayores inversiones, pero el potencial de ahorro es más alto y mejor gestión energética, y a través de buenas prácticas de consumo, de operación y mantenimiento (administración de energía-medidas técnico organizativas) a menor costo, pero los resultados son más difíciles de conseguir y mantener.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de las especificaciones de adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía, para la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red que sea capaz de generar el consumo eléctrico total de la empresa, y el dimensionamiento de los principales equipos y componentes que componen el sistema fotovoltaico.

En dicho sistema se dispondrá de todo el equipamiento para el monitoreo total de la instalación, permitiendo visualizar todos los parámetros del sistema fotovoltaico y el de la red nacional en tiempo real.

Parte 1. Descripción integral de la empresa de servicios técnicos y especializados Cienfuegos y su contorno

Nombre, dirección y breve descripción de su misión

La Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos, pertenece a la Unión Eléctrica (UNE), y define como política: prestar servicios técnicos y especializados de montaje, mantenimiento, modernización y reparación a equipos de manera segura, eficaz, y a demanda de su tecnología con equipos que garanticen la exactitud y confiabilidad requeridas, mediante un proceso de innovación y producción más limpia que satisfaga las necesidades y expectativas de los clientes; con un enfoque global de pensamiento basado en riesgos para aprovechar oportunidades y prevenir resultados no deseados; promoviendo el desarrollo y bienestar de los recursos humanos, la creación colectiva y la participación de los trabajadores con un profundo respecto al medio ambiente a través de la prevención de la contaminación y la reducción del consumo de portadores energéticos.

Está ubicada en Carretera Castillo de Jagua km 4 1/2, Ciudad Nuclear, Cienfuegos, en los locales que ocupaba la Planta Electro Nuclear de Juraguá, en las coordenadas 22,06302 latitud norte y los 80,46872 de Latitud oeste, a unos 15 km al suroeste de la ciudad de Cienfuegos con la bahía entre los dos lugares, en un terreno llano y con pocos árboles que en algunos casos proyectan sombra sobre las áreas donde se prevé montar paneles, en cuyos casos habrá que tomar alguna decisión al respecto; no obstante durante el estudio se verá si hay que podar algún árbol o si las áreas que no tendrán sombra son suficientes para colocar la cantidad de paneles cuya generación abastezca las necesidades eléctricas de la Empresa.

Características de la radiación solar en la zona donde está ubicada la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos ESTEC

La Empresa se encuentra situada en un lugar privilegiado con relación a la energía solar que recibe. En la tabla 1 se puede apreciar que el valor promedio anual de la energía solar que se recibe en la superficie horizontal es de 5,32 kilowatt-hora por metro cuadrado en un día, lo que es mayor que el promedio anual de Cuba de 5. También se puede apreciar que el valor del coeficiente de transparencia de la atmósfera es siempre mayor que 0,5 y en abril, julio y agosto es superior a 0,6.

La Empresa está situada en el meridiano 80° 46' y sin embargo, el meridiano de referencia horaria para Cuba es el de Yateras, o sea, el 75°, de ahí que la diferencia entre el horario solar y el horario oficial sea como valor promedio en invierno de 22 minutos. A esa diferencia se le suma el horario de verano que es de una hora y da un valor promedio de una hora con 20 minutos.

En la tabla 2 se puede apreciar que en verano la diferencia entre el horario solar y el oficial es de aproximadamente una hora y veinte minutos en los meses de verano, y de 20 minutos en los de invierno, valor que depende del día del año.

También en la tabla 2 se puede apreciar la duración del día solar en dependencia del día del año. El día más largo es el solsticio de verano (21 de junio) y en Cienfuegos dura 13 horas con 22 minutos, mientras que el más corto, el solsticio de invierno (21 de diciembre), dura 10 horas con 38 minutos.

Cienfuegos, como toda Cuba se caracteriza por tener una alta nubosidad. Cuando hay poca nubosidad hay mucha radiación directa, y cuando hay mucha nubosidad hay poca radiación directa y mucha difusa. No obstante, los paneles fotovoltaicos aprovechan tanto la radiación difusa como la directa. La alta nubosidad es uno de los factores que influyen en la importancia o no de los sistemas de seguimiento solar para los paneles fotovoltaicos en el aumento de la eficiencia. Es precisamente por la alta nubosidad de Cuba que se recomienda poner los paneles fotovoltaicos en una posición fija, orientada hacia el Sur en la mayoría de los casos.

En la tabla 3 se puede determinar la composición de la radiación en Cienfuegos entre la directa y la difusa y se hace evidente la alta composición de la radiación difusa. Se aprecia que en febrero, en junio y en noviembre, la radiación difusa es superior a 40 %.

Para los efectos del cálculo de una instalación fotovoltaica se hace necesario conocer no solamente la radiación en el plano horizontal sino la que recibe el plano del panel en dependencia de su inclinación. También es necesario conocer la temperatura del aire, pues la eficiencia del panel depende de esa temperatura, cuando el panel se calienta, baja la eficiencia de generación.

Cuando los sistemas fotovoltaicos son conectados a la red nacional el ángulo de inclinación debe ser alrededor o inferior al ángulo de la latitud del lugar, siempre que se garantice la limpieza de los paneles; en el caso que nos ocupa el ángulo de inclinación de los paneles será de 15 grados respecto a la horizontal.

Tabla 1. Intensidad solar y transparencia atmosférica

Meses	Ho	Kt	Es
	Radiación sin atmósfera kWh/m ² .día	Coefficiente de transparencia atmosférica	Energía solar sobre el plano horizontal kWh/m ² .día
Enero	7,03	0,56	3,96
Febrero	8,10	0,56	4,55
Marzo	9,44	0,61	5,8
Abril	10,42	0,60	6,26
Mayo	10,89	0,58	6,3
Junio	11,00	0,53	5,78
Julio	10,90	0,62	6,78
Agosto	10,53	0,61	6,39
Septiembre	9,72	0,54	5,29
Octubre	8,51	0,54	4,6
Noviembre	7,30	0,59	4,31
Diciembre	6,71	0,58	3,86
Promedio	9,21	0,58	5,32

Tabla 2. Duración del día solar

Mes	Salida		Puesta		Salida		Puesta		Duración del día solar
	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	
ene-01	6	39	17	21	7	04	17	47	10,71
ene-21	6	34	17	26	7	07	17	59	10,86
feb-01	6	29	17	31	7	04	18	07	11,05
feb-21	6	16	17	44	6	52	18	19	11,45
mar-01	6	11	17	49	6	46	18	23	11,62
mar-21	6	00	18	00	7	29	19	29	12,00
abr-01	5	53	18	07	7	20	19	33	12,22
abr-21	5	42	18	18	7	02	19	39	12,61
may-01	5	37	18	23	6	56	19	42	12,78
may-21	5	26	18	34	6	44	19	52	13,14
jun-01	5	24	18	36	6	44	19	56	13,20
jun-21	5	19	18	41	6	43	20	04	13,36
jul-01	5	21	18	39	6	47	20	04	13,29
jul-21	5	25	18	35	6	53	20	04	13,17
ago-01	5	29	18	31	6	58	19	59	13,01
ago-21	5	40	18	20	7	05	19	45	12,66
sep-01	5	47	18	13	7	09	19	35	12,44
sep-21	5	58	18	02	7	13	19	16	12,05
oct-01	6	03	17	57	7	14	19	08	11,89
oct-21	6	16	17	44	6	23	17	50	11,45
nov-01	6	23	17	37	6	29	17	43	11,22
nov-21	6	32	17	28	6	41	17	36	10,93
dic-01	6	36	17	24	6	47	17	35	10,80
dic-21	6	41	17	19	7	01	17	40	10,64

Tabla 3. Composición de la radiación solar sobre el plano horizontal

Mes	Radiación directa %	Radiación difusa %
Enero	60,6	39,4
Febrero	59,7	40,3
Marzo	64,4	35,6
Abril	68,8	31,2
Mayo	65,0	35,0
Junio	58,9	41,1
Julio	60,5	39,5
Agosto	62,1	37,9
Septiembre	60,5	39,5
Octubre	65,4	34,6
Noviembre	57,2	42,8
Diciembre	62,7	37,3

Sobre las áreas disponibles para la ubicación de los paneles solares

En la tabla 4 se muestra el listado de los locales estudiados con las áreas disponibles.

Los paneles se colocarán en los techos de los edificios y en el suelo con un ángulo de inclinación de 15 grados respecto al plano horizontal, con esto se logra que se puedan instalar hasta con 30 grados de azimut sin perder en la generación eléctrica de los mismos, y habrá que tenerlo en cuenta para que las filas de paneles no proyecten sombra unas a otras. Los locales objeto de estudio, todos están orientados con 30 grados de azimut, excepto el comedor de fertilizante que tiene 15 grados.

Como se puede apreciar en la tabla 5 el consumo de la Empresa en 2017 fue de 431,3 MWh, 2018 de 445,37 MWh, y en 2019 402,19 MWh, por lo que se necesita una gran cantidad de áreas disponibles en los techos y otros lugares para colocar la cantidad de módulos fotovoltaicos que generen la energía eléctrica necesaria.

Estudio de la sombra de diferentes obstáculos sobre el terreno

Para la selección de los lugares donde se van a colocar los paneles solares fotovoltaicos, así como para la

determinación de la separación entre paneles para que no se den sombra entre ellos, es necesario conocer la trayectoria solar durante el día y en todos los días del año. La sombra de edificaciones altas como las chimeneas y arboles pueden ser muy perjudiciales y limitar el área útil de las azoteas.

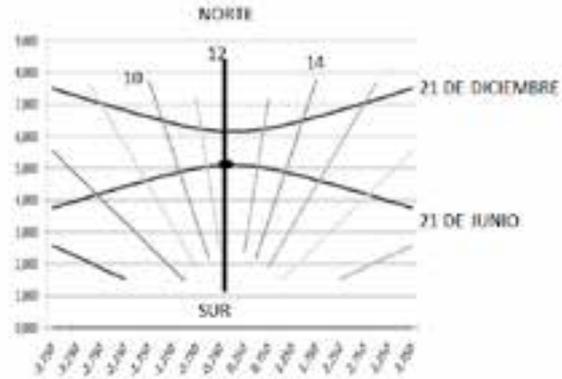


Fig. 1. Trayectoria de una sombra en dependencia de la hora del día y del año.

Tabla 4. Áreas disponibles para la colocación de paneles solares en los locales estudiados

Local	Dimensiones (m)		Área (m ²)		Observaciones
	Largo	Ancho	Áreas bruta	Área útil a ocupar por los paneles	
Administración complejo 1 (dos torres)	50	10	500	792	
	35	10	350		
Comedor central	36	15	540	396	Hay partes del techo con sombra
Administración complejo 2 más esquina	24	18	432	480	
	12	6	72		
Cámara fría	18	10	180	144	
Área frente al parqueo 2	40	18	720	648	
	70	10	700		
Comedor fertilizante más otra parte	56	15	840	792	Hay partes del techo con sombra
	25	6	150		
Totales			4484	3708	

Tabla 5. Consumos de energía eléctrica en laESTEC Cienfuegos

Consumos de energía eléctrica en laESTEC Cienfuegos													
Año	E (kWh)	F (kWh)	M (kWh)	A (kWh)	M (kWh)	J (kWh)	J (kWh)	A (kWh)	S (kWh)	O (kWh)	N (kWh)	D (kWh)	Total (MWh)
2017	27 550	29 229	35 045	39 564	42 791	38 984	39 226	38 219	33 981	38 119	37 259	31 927	431,3
2018	28 053	30 228	33 722	37 717	39 727	44 032	40 569	33 998	39 220	42 937	40 468	34 696	445,37
2019	29 261	31 564	37 764	37 409	34 123	37 313	36 178	36 850	32 570	28 910	31 280	28 964	402,19

En los techos de los locales estudiados se tuvo en cuenta este fenómeno y se realizaron los cálculos para que las filas de paneles no se dieran sombra unas a otras, resultando que con 2,4 m entre el comienzo de filas no se proyectará dicha sombra en los horarios de 8 a 4 de la tarde.

Parte 2. Descripción de la instalación

Los módulos fotovoltaicos que se proponen instalar en todos los lugares serán de 250Wp, de 60 celdas y con dimensiones de 1660x990mm; los inversores serán de diferentes potencias acorde a la cantidad de módulos de cada local, pero todos serán trifásicos para facilitar el balance de las líneas eléctricas internas de los edificios.

En todos los lugares los paneles solares se colocarán con 15 grados de inclinación y orientados según el edificio, por lo que todos los que están en los techos tendrán un azimut de desviación respecto al sur.

Una vez que se conecten los sistemas fotovoltaicos a las redes de la Empresa, los transformadores que la alimentan trabajarán más descargados, de igual forma se mejorará el factor de potencia, pues los sistemas fotovoltaicos trabajan con factor de potencia uno, e incluso los inversores pueden programarse para que entreguen reactivo a la línea en que se conecten (Tabla 6).

En las Figs. 2-8, los módulos fotovoltaicos están colocados con la parte más larga en la vertical.

Tabla 6. Relación de áreas disponibles y equipos a instalar

Local	Áreas ocupada por los paneles(m²)	Capacidad en el techo (kWp)	Módulos (250 Wp)	Inversores Pot. (kW)	Azimut	Observaciones
Administración Complejo No. 1	792	66	264	3X20 kW	30º S-E	En todos los locales, tanto los módulos como los inversores pudieran modificarse cuando se realice el proyecto ejecutivo
Comedor central	372	31	124	2X15 kW	30º S-E	
Administración Complejo No. 2	480	40	160	1X20y 1X15 kW	30º S-O	
Cámara fría	144	12	48	1X10 kW	30º S-E	
Área frente al parqueo 2	648	54	216	2X25 kW	30º S-E	
Hotelera 19	456	38	152	1X20 y 1X15 kW	30º S-E	
Comedor Fertilizante	792	66	264	3X20 kW	15ºS-E	
Totales	3684	307	1228	2 de 25 kW, 8 de 20 kW, 4 de 15 kW 1 de 10 kW		



Fig. 2. Comedor central.

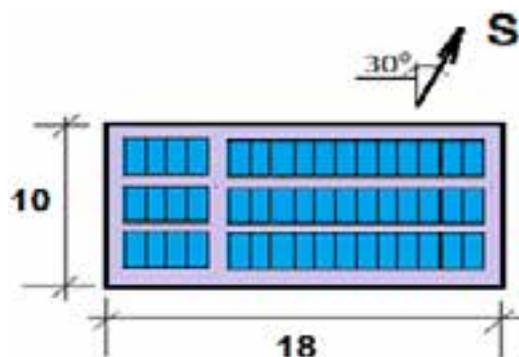


Fig. 3. Cámara fría.

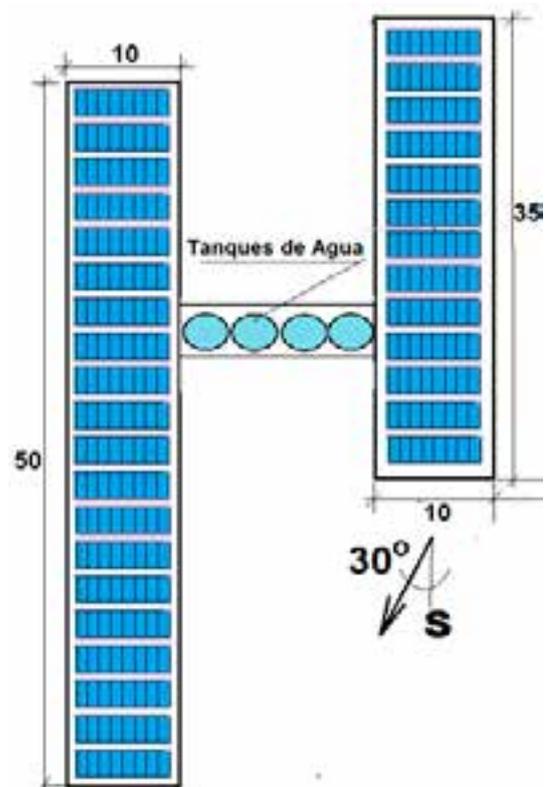


Fig. 4. Administración, Complejo 1.

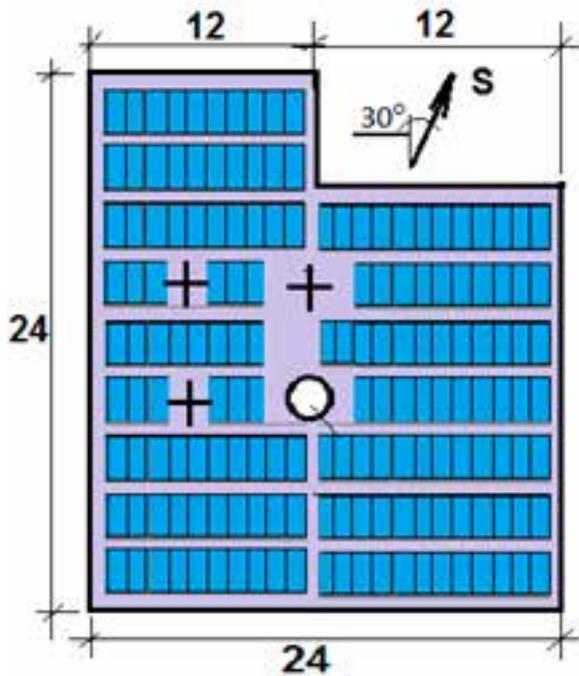


Fig. 5. Administración, Complejo 2.

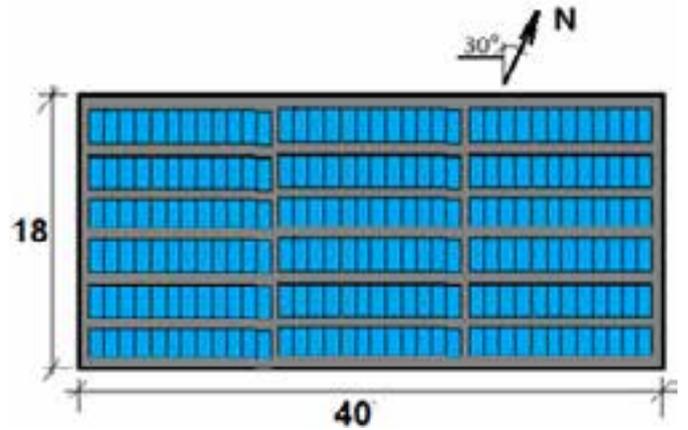


Fig. 6. Área frente al parqueo 2.

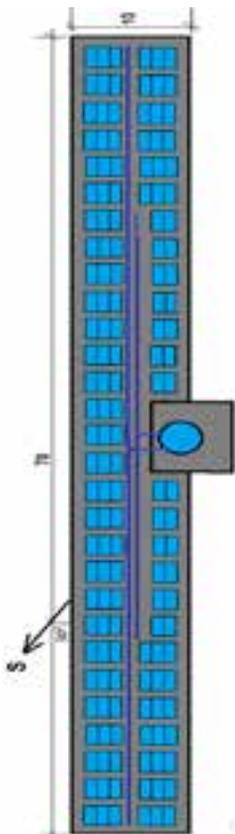


Fig. 7. Hotelera.

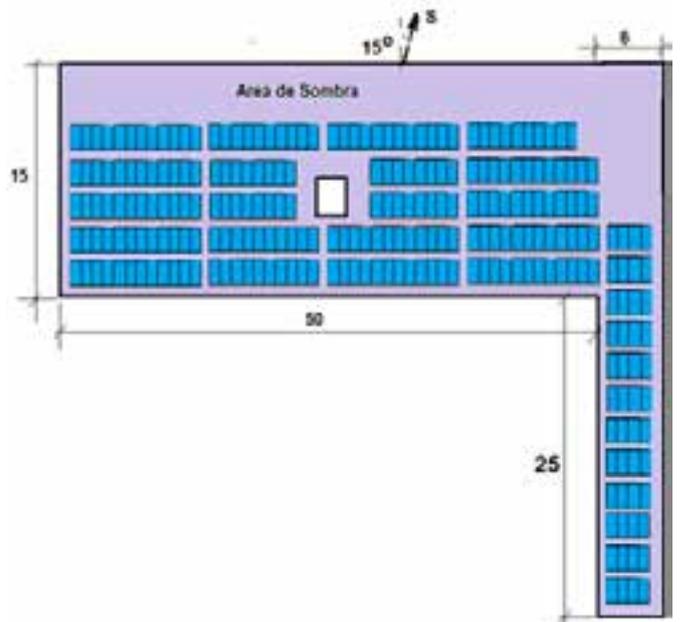


Fig. 8. Comedor fertilizante.

Análisis de la producción de energía

Como se expuso antes para realizar los cálculos de la producción de energía de la central fotovoltaica a proyectar, se hace necesario disponer de los datos de radiación solar de cada sitio donde se instalaran dichas centrales. A

partir de los valores de radiación solar, eficiencias de los diferentes equipos, ángulo de inclinación de los paneles y temperatura ambiente, con esta información podemos calcular la energía generada por la instalación para cada día, cada mes y la del año en (kWh/día), (kWh/mes) (Tabla 7).

Tabla 7. Generación total ESTEC

Cálculo de la producción de energía, Mes	Días	T _{MEDIA} (°C)	Radiación solar	Potencia	Generación
			HSP	kWp	kWh/mes
Enero	31	23,1	4,38	307	31,60
Feb	28	23,4	5,84	307	38,05
Marzo	31	24,6	5,71	307	41,19
Abril	30	25,6	5,91	307	41,26
Mayo	31	25,7	5,81	307	41,91
Junio	30	26,6	5,61	307	39,16
Julio	31	26,9	5,84	307	42,13
Agosto	31	27,1	5,85	307	42,20
Septiembre	30	26,5	5,29	307	36,93
Octubre	31	25,5	4,98	307	35,93
Noviembre	30	24,6	4,55	307	31,76
Diciembre	31	22,6	4,39	307	31,67
Energía total generada (kWh/año)					453,80
Generación específica kWh/kWp					1478,16

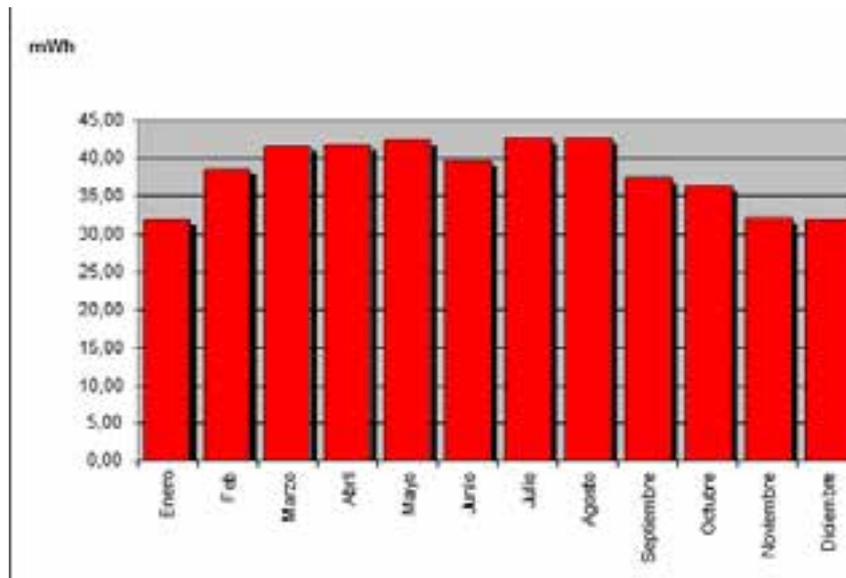


Fig. 9. Generación mensual.

Para estos cálculos, además de los valores que aparecen en esta tabla, como son temperatura media, la radiación, etc. Se utilizaron, los parámetros técnicos siguientes de los paneles (dados por los fabricantes):

1. Coeficiente de disminución de P vs. T del módulo: 0.45 %/°C
2. NOCT del módulo fotovoltaico: 46°C
3. Eficiencia del inversor inyección a red FV: 98 %
4. Eficiencia general del sistema: 95 %

5. Ángulo de inclinación del arreglo (óptimo): 15°
6. Coeficiente por envejecimiento y suciedad: 0,97

Para los cálculos de la energía generada se ha considerado, además,

- Que no existen sombras parciales o totales sobre la superficie de los módulos en ningún momento del día.
- Que no hay pérdidas de energía por disponibilidad de la red eléctrica.

- Que en invierno, en los días más cortos, los paneles puedan recibir ocho horas de sol.

A partir de los valores de radiación solar y temperatura ambiente para cada mes del año, y los otros valores de las tablas, podemos calcular la energía generada por la central para cada mes (MWh/mes). Si sumamos los valores, de todos los meses tendríamos la energía esperada por la instalación para todo el año (MWh/año).

Evaluación económica y ambiental

Tabla 8. Sistema Inyección a Red. Todos los locales Pot. 309 kWp

Parámetro	Valores	Unidades
Potencia del sistema fotovoltaico	307,00	kWp
Energía generada anualmente	453,80	MWh/año
Ahorro anual	117,99	miles CUC/año
Área que ocupan los paneles	3.684,00	m ²
Consumo actual, MWh/año	431,30	MWh/año
% del consumo actual que genera el sistema FV	105,22	%
Gases contaminantes CO ₂ que se dejan de emitir	317,66	toneladas/año
Cantidad de petróleo que no se quema	113,45	toneladas/año
Costo estimado de la inversión	614,00	miles de CUC
Generación específica	1478,16	kWh/año/kWp
Ciclo de Vida del Sistema (CV)	25,00	año
Energía generada en CV	11 344,88	MWh/CV
Costo kWh en el CV	0,054	CUC/kWh
Tiempo de recuperación(CUC)	5,20	año

III. Conclusiones

De llevarse a vías de hecho la instalación de este sistema fotovoltaico en los locales estudiados se podría generar 105,9 % del consumo total de electricidad de la ESTEC.

En caso de que no se pueda acometer la inversión completa por cualquier razón, se debería comenzar por la Administración del Complejo 1 y el Área Frente al Parqueo 2, pues estos dos sistemas pueden generar aproximadamente 44 % del consumo de la energía de la ESTEC y son de los más fáciles de instalar.

Si solo se pudiera realizar la instalación de un solo sistema este debería ser la Hotelera 19, pues ahí se puede generar 13 % del consumo total y 121 % del consumo de la instalación.

Se estima que el costo aproximado de estas instalaciones fotovoltaicas completas ya produciendo sea de unos 614 mil CUC, y que la recuperación de la divisa sea de alrededor de 5,2 años.



Fig. 10. Gráfico de consumo de electricidad. Facturación vs. Sistema FV de inyección a red.

Tabla 9. Cálculo de generación ESTEC por área

Nombre Servicio	Potencia Instalar (kW)	Generación (MWh/a)	Consumo 2017	% que cubre	Generación diaria
Complejo inmobiliario No. 1	70	100	150,00	100,74	148
Comedor central	30				0.410
Complejo inmobiliario No. 2	35	100	160,00	164,70	97
Cámara fría	15				0.438
Área frente parqueo	60				
Hotelera 19	45	67,00	60,00	110	0,183
Centro Alimentación fertilizante	62	90,00	85,00	100	0,246
Total	317	467,00	410,40	113	1,28

IV- Bibliografía

- BORROTO NORDELO, A. (2013). «Recomendaciones Metodológicas para la guía de implementación de sistemas de gestión de energía según la ISO 50001». Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Editorial Universo Sur. ISBN- 978-959-257-360-4.
- CARRETERO PEÑA, A. Y GARCÍA SÁNCHEZ, J. M. (2015). «Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora». Edición 2015. ISBN- 978-84-8143-885-7.
- ISO. 2011. ISO 50001 (2011). «Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso. Ginebra: Organización Internacional de Normalización».
- LEDÓN DÍAZ NILO (2018). «Estudio para un sistema de generación de electricidad con paneles fotovoltaicos de inyección a red, para el autoabastecimiento eléctrico de la Empresa Servicios Técnicos Especializados de Cienfuegos». GenSolar, 2018.
- MORENO C. (2017). «Cuba hacia 100 % con energías renovables». ISSN: 1028-9925. Disponible en: www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia62/HTML/articulo02.htm
- PARTIDO COMUNISTA DE CUBA (2012). «Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución». Política energética. 247-2012.

Anexo

Características técnicas de los principales equipos y componentes

Cada uno de los productos elegidos para la ejecución de sistemas fotovoltaicos de inyección a red, son rigurosamente seleccionados con la más probada confiabilidad en condiciones tan adversas como: humedad, temperatura, salinidad, entre otras.

Durante el diseño de la instalación descrita en este documento, se respetó cada una de las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados. Forman parte de este trabajo todas las fichas y manuales del equipamiento elegido, los cuales deben ser consultados a la hora de instalar o modificar los sistemas. A continuación se muestran algunas de las características principales del equipamiento propuesto.

Módulo solar Yingli. YL250 Wp



Fig. 1. Módulo solar Yingli. YL250 Wp.

Está compuesto por la conexión de 60 celdas de silicio poli-cristalino de 156x156 mm. Capaz de entregar una potencia de 250 W, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², TC=25 oC y AM=1.5), este módulo en su punto de máxima potencia trabaja a 30,2 VDC. Es el responsable de transformar la luz solar en electricidad. Entre las principales características del módulo solar propuesto se encuentran las siguientes:

- Módulos de silicio con potencia de 250Wp ± 5 %.
- 60 celdas de 156x156 mm conectados en serie.
- Cara frontal protegida con vidrio templado de alta transmisividad.
- Laminado con dos capas de EVA (Etilen-Vinil Acetato).
- Cara posterior protegida con varias capas.
- Cajas de conexión exterior IP 65 con diodo bypass.
- Toma exterior de tierra.
- Marco de aluminio anodizado.
- Dimensiones: 1650x990x50 mm.
- Peso: 19,8 kg.

Inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER 20 000 y 25000TL



Fig. 2. Inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER

20 000 y 25000TL.

Son los encargados de inyectar a la red la energía generada por el arreglo fotovoltaico, entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Tabla 1. Características de inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER 20 000 y 25 000TL

Datos técnicos	SunnyTripower 20000TL	SunnyTripower 25 000TL
Entrada (CC)		
Potencia máxima de CC (con cos = 1)/potencia asignada de CC	20 440 W/20 440 W	25 550 W/25 550 W
Tensión de entrada máx.	1000 V	1000 V
Rango de tensión MPP/ tensión asignada de entrada	320 V a 800 V/600 V	390 V a 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./ de inicio	150 V/188 V	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, estradas: A/B	33 A/33 A	33 A/33 A
Número de entradas de MPP independiente/ strings por entrada de MPP	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	20 000 W	25 000 W
Potencia máx. aparente de CA	20 000 VA	25 000 V
Frecuencia de red de CA/rango	60 Hz/54 Hz a 65 HZ	

Inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER 15 000 TL)



Fig. 3. Inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER

15 000 TL).

Tabla 2. Datos técnicos de inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER 15 000 TL)

Datos técnicos Inversor 15 kW	
Entrada (CC)	
Potencia máxima de CC (con $\cos \phi = 1$)/ potencia asignada de CC	15 330 W/15 330 W
Tensión de entrada máx.	1000 V
Rango de tensión MPP/ tensión asignada de entrada	240 V a 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./de inicio	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	33 A/33 A
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP	2/A:3, B:3
Salida (CA)	
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	15 000 W
Potencia máx. aparente de CA	15 000 VA
Tensión nominal de CA	3 / N / PE, 220 V / 380 V
	3 / N / PE, 230 V / 400 V
	3 / N / PE, 240 V / 415 V
Rango de tensión de CA	180 V a 280 V
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz/44 Hz a 55 Hz
	50 Hz/54 Hz a 65 Hz
Frecuencia asignada de red/tensión asignada de red	50 Hz/230 V
Corriente máx. de salida, corriente asignada de salida	29 A/21,7 A
Factor de potencia a potencia asignada/Factor de desfase ajustable	1/0 inductivo a 0 capacitivo
THD	≤ 3 %
Fases de inyección/conexión	3/3
Rendimiento	

Rendimiento máx./europeo

Equipo de comunicación Cluster Controller

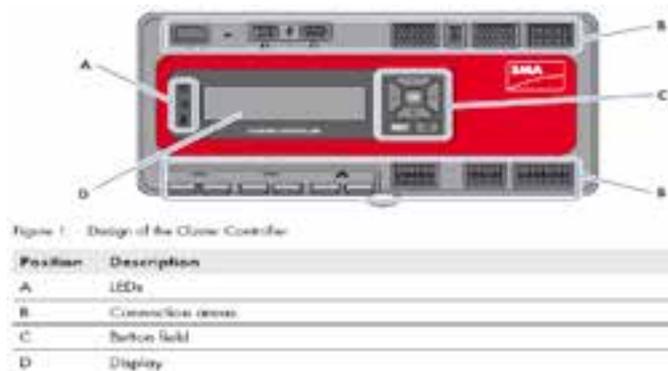


Fig. 4. Equipo de comunicación Cluster Controller.

Es el encargado de recoger continuamente los datos de los inversores, permitiendo informar del estado de la instalación. Este equipo multifuncional ofrece diversas posibilidades para la visualización de parámetros, archivo y procesamiento de los datos de la instalación. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Comunicación RS 485, hasta 50 inversores, 1200 m de cable.
- Conexión de internet.

98.4 %/98.0 %

Conexión a una red local.

- Tarjeta de memoria a partir de 16 MB.
- Indicadores del estado mediante LEDs.
- Tensión de alimentación: 115 -230 Vac 50/60 Hz.
- Consumo de potencia típico 4 W, máximo 12 W.
- Permite el control de todos los parámetros de la instalación.

Sensor de radiación y temperatura. SunnySensorBox



Fig. 5. Sensor de radiación y temperatura. SunnySensorBox.

Es el encargado de medir la irradiación solar. Se monta en intemperie junto a los paneles solares. La medición de la temperatura del módulo se realiza mediante un sensor de temperatura, también incluido en la entrega. A través

de la medición de la irradiación solar y la temperatura del módulo se puede calcular la potencia teórica y compararla con la potencia real del inversor. De esta forma se pueden detectar fácilmente los fallos del generador solar. Este sensor se conecta junto con los inversores al Web Box a través de la línea de datos RS 485. Desde el Web Box los datos pueden ser transferidos a una PC para su análisis. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Comunicación RS 485, hacia el Web Box.

- Sensor interno de radiación solar ASI, exactitud +/- 8%
- Sensor de temperatura (Pt 1000) adherible para temperatura del módulo.
- Dimensiones: 120x90x50 mm
- Peso 500 g

Cables y conectores MC para sistema fotovoltaico (DC)



Fig. 6. Cables y conectores MC para sistema fotovoltaico (DC).

Los cables y conectores son elementos indispensables para el transporte de la energía eléctrica; en el caso de los conectores de DC para los módulos fotovoltaicos, estos deben cumplir requerimientos adicionales. Basta solo mencionar que los módulos se encuentran en la intemperie, en sitios privilegiados por la radiación solar, por lo que los accesorios para el transporte de energía deben ser aptos para estas condiciones. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Cables Flex-sol

- Cables clase-5, estañados.
- Doble aislamiento, con material aislante TPE-U.
- Libres de alógeno.
- Alta resistencia a agentes derivados del petróleo, grasas, oxígeno y ozono.

- Resistente a microbios.
- Resistente al UV.
- Alta resistencia a la abrasión y erosión.
- Rango de temperatura de trabajo: -40 °C hasta +110 °C.

Conectores MC-4



Fig. 7. Conectores MC-4.

- Sistema de cierre incorporado. Se necesita para desconectar y liberar el sistema.
- Protección eléctrica de los contactos ante el manejo.
- Alta estabilidad térmica.
- Resistente al UV, con IP-67
- Categoría II, deaislamiento.
 - Normativas IEC (61215 y 61646)
 - Rango de temperatura de trabajo: -40 °C hasta +90 °C.

Cables o conductores para AC

Como planteamos anteriormente los cables son elementos indispensables para el transporte de la energía eléctrica, para el caso de AC hemos elegidos conductores que presentan las siguientes características:

Cables RV-K

- Apto para todo tipo de instalaciones industriales de baja tensión.
- Alta flexibilidad.
- Pueden ser enterrados, instalados en tuberías o a la intemperie.
- Resistente a agentes minerales y hidrocarburos.
- Resistente al agua, incluye total inmersión.
- No propaga las llamas.
- Resistente a los impactos, AG-2.
- Rango de temperatura de trabajo: hasta +90 °C.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.

COMUNIDADES RURALES ECOTURÍSTICAS. EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL HOTEL MOKA EN LA COMUNIDAD LAS TERRAZAS

Por Arq. Román Alejandro Pérez-Rosales*, Dra. C. Arq. Dania González-Couret**, M. Sc. Arq. Natalí Collado-Baldoquin*** y Dr. C. Arq. Luis Alberto Rueda-Guzmán****

* Universidad Tecnológica de La Habana.

E-mail: romanalejandroperezrosales95@gmail.com

** Profesora Titular. Universidad Tecnológica de La Habana.

E-mail: daniagcouret@gmail.com

*** Máster en Vivienda Social. Profesora Auxiliar. Universidad Tecnológica de La Habana.

E-mail: colladobaldoquin@gmail.com

**** Profesor Titular. Universidad Tecnológica de La Habana.

E-mail: ruedaguz72@gmail.com

Resumen

A pesar de que son numerosos los métodos para evaluar la sustentabilidad arquitectónica y urbana, pocos se han desarrollado para América Latina y El Caribe. Las comunidades rurales vinculadas al ecoturismo requieren de una especial atención. En este artículo se exponen las bases teóricas para la propuesta de un sistema de evaluación de la sustentabilidad en comunidades rurales ecoturísticas, tomando como objeto de estudio la Comunidad Las Terrazas en la Sierra del Rosario los Órganos, al occidente de Cuba, y se discuten los resultados de su aplicación al Hotel Moka, localizado en ese asentamiento.

El procedimiento propone criterios de evaluación, pero los indicadores de referencia deberán ser ajustados a escala local. Se diferencian los impactos ambientales, económicos, sociales e integrales de las variables y parámetros a evaluar. El Hotel Moka fue evaluado de bien, con los mejores resultados en la variable «Arquitectura» y los peores en «Materiales».

Palabras clave: Ecoturismo; comunidades rurales; evaluación de sustentabilidad; Hotel Moka.

ECOTOURISM RURAL COMMUNITIES. EVALUATION OF THE SUSTAINABILITY OF THE HOTEL MOKA IN THE LAS TERRAZAS COMMUNITY

Abstract

Although there are numerous methods to assess architectural and urban sustainability, few have been developed for Latin America and the Caribbean. Rural communities linked to ecotourism require special attention. In this article, the theoretical bases for the proposal of a system for evaluating sustainability in rural ecotourism communities are exposed, taking the Las Terrazas Community in the Sierra del Rosario los Órganos as an object of study, in western Cuba, and the results of its application to the Hotel Moka, located in that settlement.

The procedure proposes evaluation criteria, but the benchmarks will have to be adjusted locally. The environmental, economic, social and comprehensive impacts of the variables and parameters to be evaluated are differentiated. The Hotel Moka was evaluated as good, with the best results in the variable "Architecture" and the worst in "Materials".

Keywords: Ecotourism; rural communities; sustainability assessment; Hotel Moka.

1. Introducción

Son numerosos los métodos, procedimientos e indicadores elaborados durante los últimos treinta años con vistas a evaluar la sustentabilidad a escala arquitectónica y urbana, aunque estos han tenido su origen principalmente en países desarrollados y en zonas con climas no tropicales. La mayoría han sido creados para ser aplicados en una determinada región, y la necesidad de un enfoque local propio fue defendida por el continente africano hace ya 10 años [UN-HABITAT, 2010]. Sin embargo, son pocos los métodos desarrollados para América Latina y El Caribe, donde tampoco se registran, hasta ahora, intentos de sistemas con validez continental o regional.

Las comunidades rurales vinculadas al ecoturismo requieren de una especial atención con vistas a preservar el equilibrio de los ecosistemas que constituyen su principal atracción, en lo cual la existencia de principios e indicadores que sirvan de referencia resultaría de gran utilidad. Ese es uno de los objetivos formulados en el proyecto internacional que actualmente desarrollan la Universidad de Gante y la Universidad Tecnológica de La Habana con vistas a mejorar la sustentabilidad en la Comunidad Las Terrazas, ubicada en la Sierra del Rosario, al occidente de Cuba [Rueda Guzmán *et al.*, 2018].

En el presente artículo se exponen las bases teóricas para la propuesta de un sistema de evaluación de la sustentabilidad en comunidades rurales ecoturísticas, tomando Las Terrazas como objeto de estudio y se discuten los resultados de su aplicación al Hotel Moka, localizado en ese asentamiento.

2. Materiales y métodos

La investigación comenzó con una etapa teórica, a partir de la recopilación de información sobre métodos y sistemas de evaluación de la sustentabilidad, variables, parámetros e indicadores considerados. En el procesamiento y valoración de la documentación consultada, se otorgó prioridad a los procedimientos provenientes de regiones geográficas con condiciones más cercanas a Cuba, en cuanto a nivel de desarrollo económico-social y condiciones climático-ambientales. También se consideraron los criterios e indicadores específicamente elaborados para el turismo en Cuba y en el área de El Caribe.

Se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos de variables, parámetros e indicadores propuestos en las investigaciones precedentes, que tienden a caracterizar el objeto de estudio con vistas a su evaluación comparativa en relación con valores de referencia establecidos. Sin embargo, partiendo de las dimensiones de la sustentabilidad, se decidió diferenciar los impactos, de manera que fuera posible evaluar las consecuencias ambientales, económicas y sociales, así como integrales, de los parámetros y variables a considerar. La integración quedó resumida en una Matriz (Fig. 1).

El procedimiento resultante propone criterios de evaluación, pero los indicadores de referencia deberán ser

ajustados a escala local, como fue hecho para el objeto de estudio, que en este caso correspondió al hotel Moka del Complejo Turístico Las Terrazas. Una vez determinados los indicadores locales, se recopiló la información requerida para el proceso de evaluación y se aplicó el procedimiento de Pareto, con vistas a determinar acciones prioritarias a acometer.

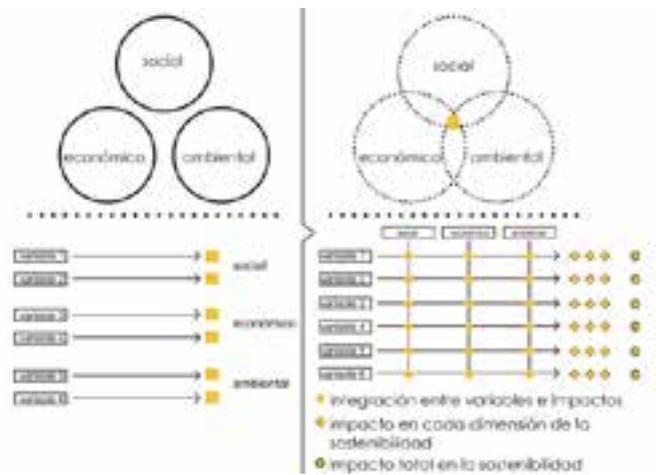


Fig. 1. Integración de Variables e Impactos. Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

3.1. Concepción y evolución de los métodos y procedimientos para evaluar la sustentabilidad

Las diversas formas de evaluar la sustentabilidad referidas en la literatura internacional se pueden clasificar en tres tipos: las herramientas, los estándares y los sistemas de evaluación de edificios.

Las herramientas de evaluación son software o programas informáticos que no se han desarrollado con el fin de otorgar una certificación, sino como ayuda práctica al proyectista. Los estándares son habitualmente aceptados como sinónimo de «buenas prácticas», mientras que los sistemas de evaluación establecen una gradación con respecto al cumplimiento de los indicadores de sustentabilidad [IHOBE, 2010].

Los primeros sistemas de evaluación aparecieron en 1989, y ya hoy se registran unos 330 a escala global. En la presente investigación fueron identificados 27 desarrollados en América, África, Europa, Asia y Australia (Fig. 2), y solo 30 % de ellos se pudo contar con un Manual o Guía Técnica de Requerimientos, de público acceso. El primer sistema de certificación aplicable a la industria de la construcción fue el inglés BREEAM, creado en 1990 y considerado como el más aceptado a escala internacional, fundamentalmente en Europa. Inspirado por BREEAM, el sistema LEED comenzó a desarrollarse en Estados Unidos de América en 1996 y fue publicado en 1999 [IHOBE, 2010]. Las certificaciones más actuales son MyCrest (2010) [Mustaffa Kamal *et al.*, 2019], AQUA (2008) [Tavares Iantorno, 2016] y GBI (2006) [Zainol, 2017].



Fig. 2. Principales sistemas de evaluación de la sustentabilidad. En rojo los países considerados con condiciones más similares a Cuba. Elaboración Propia.

3.2. Enfoques para el turismo en Cuba y el Caribe

La Organización Mundial del Turismo reconoce que los profesionales del turismo usan con más frecuencia indicadores económicos como ingresos, gastos, arribos y capacidades de alojamiento, entre otros, razón por la cual ha propuesto añadir la evaluación del impacto ambiental del destino turístico, mediante «Criterios Básicos» e «Indicadores Básicos» [Blanco Ríos, 2016], elaborados desde 1992.

La Asociación de Estados del Caribe (AEC) creó el proyecto «Desarrollo e Implementación de los Indicadores de Sostenibilidad en el Gran Caribe», con el fin de hacer realidad el establecimiento de la Zona de Turismo Sustentable del Caribe (ZTSC). El método propuesto para manejar el turismo sustentable se manifiesta mediante la identificación, implantación y evaluación de indicadores, y se organiza en nueve etapas o fases, concebidas como partes de un proceso de mejora continua que encamina al destino hacia la sustentabilidad [Saeteros Hernández, 2019].

El Ministerio de Turismo (Mintur) de conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma) desarrollaron una propuesta de referencia para el destino Cuba, que abarca todos los indicadores de sostenibilidad turística de la Asociación de Estados del Caribe (AEC), y comprende otros que resultan de importancia para el logro de los objetivos y metas del desarrollo turístico, además de su correspondencia con las acciones que se realizan en materia ambiental en Cuba [Blanco Ríos, 2016].

3.3. Procedimiento propuesto para comunidades ecoturísticas

En la documentación consultada, el impacto de las variables a evaluar es generalmente considerado en una de las dimensiones de la sustentabilidad (ambiental, económica o social), pero el procedimiento propuesto ha pretendido tener en cuenta el impacto de cada variable en las tres dimensiones de la sustentabilidad, de forma tal que cada aspecto se evalúa de manera integral. Por tanto, se han identificado las variables a evaluar y sus impactos (Figs. 3 y 4).



Fig. 3. Variables. Elaboración propia.

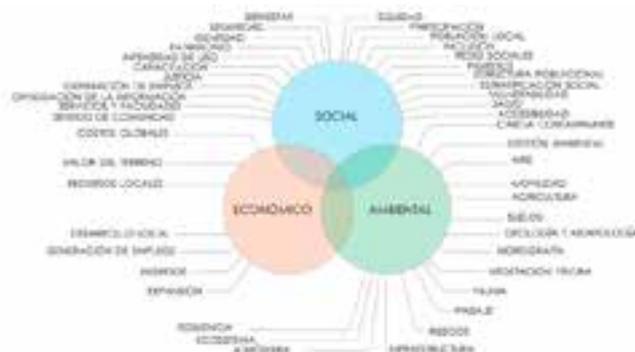


Fig. 4. Impactos. Elaboración propia.

En la presente investigación se han asumido los términos siguientes:

- Variables: Aspectos independientes a través de los cuales se evalúa un objeto de estudio.
- Parámetros: Aspectos dependientes de las variables, que constituyen acciones o formas de medirlas.
- Indicadores: Valores de referencia mediante los cuales se mide el nivel de cumplimiento de un parámetro.

- Impactos: Efectos positivos o negativos que ejerce un parámetro en cualquiera de las dimensiones de la sostenibilidad.
- Ponderaciones: Valor que altera el resultado de la evaluación de una variable o parámetro, según su importancia o prioridad.
- Categorías: Niveles de evaluación según un porcentaje de cumplimiento respecto a un total.

De los 27 sistemas de evaluación identificados, se otorgó prioridad a los que provienen de países con un contexto similar al cubano en cuanto a nivel de desarrollo y clima: EEWH (Taiwán, 1999) [Chuang, 2011], LEED-India (India, 2001) [Sabapathy *et al.*, 2010], TERI - GRIHA (India, 2015) [Smith, 2015], AQUA (Brasil, 2008) [Tavares Iantorno, 2016], MyCrest (Malasia, 2010) [Mustaffa Kamal *et al.*, 2019], PCES (México) [Ramírez Berumen *et al.*, 2013], LOTUS (Vietnam, 2017) [Hong-Trang *et al.*, 2016] y GBI (Malasia) [Zainol *et al.*, 2017]. La información tomada de las certificaciones que poseen un manual de evaluación disponible de acceso público, o al menos alguna información relacionada con aspectos que evalúan, corresponde a los parámetros de las variables energía, agua, materiales, residuos, calidad ambiental y plan general, así como a impactos económicos, sociales y ambientales.

El resto de los impactos fueron tomados de los lineamientos metodológicos elaborados para incorporar la variable ambiental en las decisiones que afectan el proceso de inversión en áreas turísticas rurales [Rivas, 1998], clasificados en «Componentes ambientales», «Aspectos socioeconómicos y calidad de vida», «Patrimonio cultural, histórico y arqueológico» y «Aspectos étnicos».

Sobre esta base fue elaborado el procedimiento para la evaluación de comunidades ecoturísticas vinculadas al turismo, que considera 126 aspectos:

- Energía: consumo total; generación de energía alternativa; monitoreo.
- Agua: consumo total; fuentes alternativas; eficiencia del equipamiento; monitoreo; calidad del agua.
- Residuos: sólidos (sistema de gestión); líquidos (sistema de tratamiento).
- Materiales: origen; mantenimiento y durabilidad; desmontables o reusables; energía embebida; sanos.
- Calidad Ambiental – Arquitectura: acústica; visual; térmica; olfativa; calidad del aire.
- Plan general: conectividad; transporte no contaminante; restauración y protección de la parcela; mitigación del efecto de isla de calor.
- Tecnologías: eficiencia; luminarias.

A partir de las fuentes consultadas se conformó un sistema de 272 impactos sociales, económicos y ambientales en los que pueden influir las variables y parámetros definidos. No obstante, se requiere de un trabajo interdisciplinario con vistas a su precisión futura.

Indicadores

Para definir los indicadores a tomar como referencia con vistas a evaluar las variables y parámetros conteni-

dos en el procedimiento elaborado, se tuvieron en cuenta, entre otras fuentes consultadas, las certificaciones que poseen un manual de evaluación disponible de acceso público, o al menos alguna información relacionada con los indicadores: BREEAM (Reino Unido, 1990) [Aspinall *et al.*, 2012], PRS (Emiratos Árabes, 2010) [Alobaidi *et al.*, 2015], LEED (Estados Unidos, 1996) [Portela *et al.*, 2010], GBI (Malasia, 2006) [Zainol *et al.*, 2017], Green Mark (Singapur, 2005) [Yuan *et al.*, 2011], LEED-India (India, 2001) [Smith, 2015], PCES (México) [Ramírez Berumen *et al.*, 2013] y LOTUS (Vietnam, 2017) [Hong-Trang *et al.*, 2016]. Especial atención también se brindó a las Normas Cubanas, que contienen estrategias de diseño y requisitos necesarios.

Como las certificaciones consultadas poseen diversas escalas, denominaciones y formas de evaluar, en el presente trabajo se optó por establecer tres niveles de cumplimiento de los indicadores (Aceptable, Bien y Excelente), tomando siempre como base para el valor de cumplimiento «Aceptable», los indicadores propuestos en países con un contexto similar al cubano. La propuesta de indicadores puede contener valores cuantitativos o un sistema de acciones o requisitos cualitativos (Fig. 5).



Fig. 5. Esquema del procedimiento seguido para definir los indicadores. Elaboración propia.

Ponderación

Los valores de ponderación deben partir del estudio de condiciones políticas, económicas, sociales y ambientales particulares del sitio donde se aplique la evaluación. De manera general, las ponderaciones se elaboran a partir de la interrelación de los pares: Variable-Contexto y Variable-Impacto. La elaboración de valores de ponderación respecto al primer par no está al alcance del presente trabajo, pero se define su lugar en la estructura del procedimiento. A partir de la relación establecida entre variables e impactos, se determina un coeficiente que expresa el impacto relativo de cada parámetro respecto a uno total de referencia.

Categorías

Para determinar la base porcentual sobre la que se establecen las tres categorías de evaluación definidas, se consultaron los métodos que establecían una escala de tres (PCES (México) [Ramírez Berumen *et al.*, 2013], CES (Chile) [Rojas Guzmán, 2018] y Asociación de Estados del Caribe (AEC) [Cardoso Jiménez, 2020]). Para establecer cada uno de los niveles de cumplimiento del procedimiento, se tomó el mayor valor porcentual exigido en las fuentes consultadas. El mayor valor mínimo corresponde al mé-

todo CES (30 %) y los mayores valores medios y máximos pertenecen al método AEC, 60 % y 90 %, respectivamente. Sobre esta base, los rangos de niveles de cumplimiento determinados fueron:

- No certificado: 0 - 29 %
- Aceptable: 30 % - 59 %
- Bien: 60 % - 89 %
- Excelente: 90 % - 100 %

3.4. Operación del proceso

El principal objetivo del procedimiento propuesto es mejorar la sustentabilidad de los destinos ecoturísticos vinculados a comunidades rurales, para lo cual se realiza la evaluación (diagnóstico) con vistas a implementar un plan de mejoras. A partir de ahí, el sistema está compuesto por los elementos siguientes:

- Variables, que constituyen la base del contenido a evaluar.
- Parámetros, que son la unidad básica evaluación, divididos en principales y secundarios.
- Valores de referencia, que responden a tres niveles de cumplimiento de los indicadores («Aceptable», «Bien» y «Excelente»), y que pueden tener una expresión cuantitativa o cualitativa.
- Valores de diagnóstico, que se detectan en el objeto de evaluación y se comparan con los de referencia.
- Rangos de puntuación. Existen cuatro rangos correspondientes al cumplimiento de cada uno de los valores de referencia: Aceptable (3 puntos); Bien (4 puntos), y Excelente (5 puntos). El incumplimiento del valor mínimo de referencia otorga 1 punto (No Aceptable), y en caso de no disponer de información para la evaluación de un parámetro, este no se tendrá en cuenta en el proceso de cálculo de la evaluación.
- Promedio: Constituye la media aritmética de los puntos obtenidos por cada variable.
- Promedio ponderado: Es el resultado del promedio afectado por su valor de ponderación, empleado en gráficos de barras y radar.
- Impactos: Contiene valores relativos por dimensiones de la sustentabilidad.
- Impacto total de cada parámetro: Es la sumatoria de los impactos de un parámetro en todas las dimensiones.
- Prioridad de cada parámetro: Es la relación entre el impacto total de cada parámetro y la evaluación obtenida, directamente proporcional al impacto total de cada variable e inversamente proporcional a la evaluación. Este valor se utiliza para la elaboración del Diagrama de Pareto.
- Ponderación de cada variable: Constituye el valor que afecta la evaluación de una variable en dependencia de su nivel de importancia.
- Sumatoria de puntos obtenidos por parámetros: Es la suma de los puntos obtenidos en los parámetros evaluados.
- Valoración máxima alcanzable: Se determina mediante la relación entre la cantidad de parámetros evaluados y el máximo de puntos de los rangos de puntuación.

- Porcentaje de cumplimiento: Constituye la relación entre la Sumatoria de puntos obtenidos por parámetros y la valoración máxima alcanzable.
- Categoría alcanzada: Depende del Porcentaje de cumplimiento.

El procedimiento cuenta con una parte objetiva determinada por los rangos de puntuación en promedio y la categoría, y otra subjetiva dada por la prioridad otorgada a cada parámetro, encaminado a la implementación de un plan de mejoras. Para su funcionamiento solo se requiere de la introducción manual de los datos del diagnóstico e impactos por dimensiones correspondientes a cada parámetro, a partir de lo cual se realizan de forma automática, sobre la base de una programación en Excel, las operaciones siguientes:

- Comparación del dato de diagnóstico con los valores de referencia para expresar el nivel de cumplimiento.
- Cálculo del promedio de puntos del rango de puntuación por variables, y ponderación, para expresar el valor promedio ponderado.
- Sumatoria del impacto por dimensiones, expresado en el impacto total de cada parámetro, el cual se divide entre los puntos obtenidos en el rango de puntuación de uno para obtener su resultado en términos de prioridad.

Se ha desarrollado un sistema de gráficos del tipo barras, radar y Pareto, que permiten visualizar resultados. Los dos primeros se basan en el promedio ponderado de cada variable, mientras que el de Vilfredo Pareto [Valdiviezo Márquez *et al.*, 2010], conocido también como la regla del 80-20, ley de los pocos vitales o principio de escasez del factor, expresa la prioridad de cada parámetro (Fig. 6).

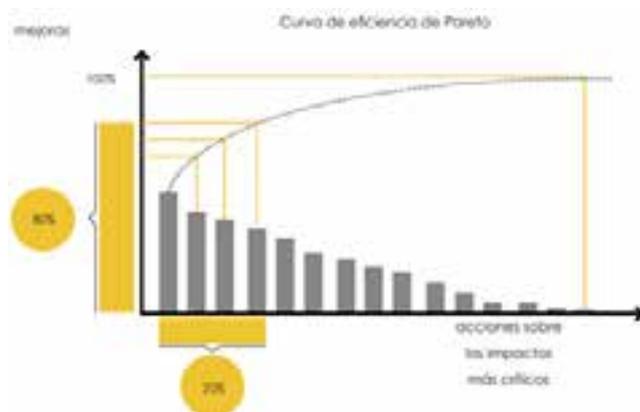


Fig. 6. Diagrama de Pareto. Elaboración propia.

3.5. Aplicación en la evaluación del Hotel Moka

El Plan Sierra del Rosario, iniciado en 1968, fue un proyecto de reforestación en 5000 hectáreas de esa zona montañosa, mediante un sistema de terrazas, que contribuyó a la preservación de un importante ecosistema maderero y reunió en una comunidad a familias que vivían dispersas en esa región montañosa. En 1985 la Unesco declaró Reserva de la Biosfera veinticinco mil hectáreas de la Sierra del Rosario, que incluye a la comunidad Las Terrazas, a la cual se le ha otorgado a inicios de 2020 la categoría nacional de «paisaje cultural». Una pieza fundamental de este

sitio es el Hotel Moka (Fig. 7), tomado como objeto de estudio para aplicar el procedimiento de evaluación elaborado, y que obtuvo en 2018 el «Aval Ambiental» del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma).

El hotel, inaugurado el 28 de septiembre de 1994 y comercializado con la categoría 4 estrellas, cuenta con 42 habitaciones, un restaurante, un lobby bar, un bar parrillada en el área de la piscina, y una tienda. Por tratarse de un edificio, no fue considerada la variable «Plan General». Para su evaluación, los espacios del hotel se clasificaron en habitables y de trabajo (aquellos donde el usuario tiene una mayor estancia, como las habitaciones, el lobby, el bar, el restaurante y las oficinas), y de apoyo (incluyen los locales técnicos, lavandería y cocina).



Fig. 7. Hotel Moka. Microlocalización, imagen y axonométrico. Elaboración propia.

Energía

El consumo total de energía de 99,41 kWh/m²/año se evaluó de «Excelente», y la generación de energía a partir de fuentes alternativas se consideró «Bien», al representar 10,09 % del consumo total. Sin embargo, el monitoreo resultó «No Aceptable», al realizarse de forma global, sin diferenciar las principales fuentes (Fig. 8).

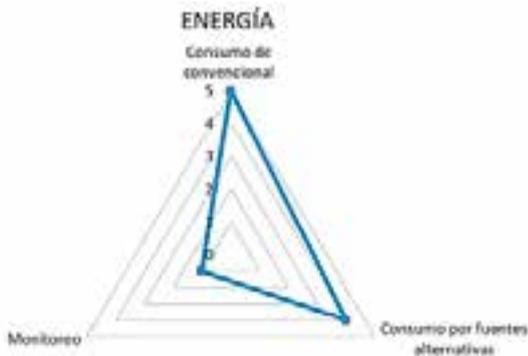


Fig. 8. Evaluación de la variable Energía. Elaboración propia.

Agua

Como «No Aceptable» también fueron evaluados el consumo total de agua, que representa sólo una reducción de 9,04 % con respecto al valor de referencia, y la eficiencia del equipamiento, con inodoros de más de 6 litros por descarga. A pesar de que el riego de las áreas verdes exteriores se realiza con agua del lago más próximo, impulsada por una bomba solar, no fue posible evaluar el consumo por fuentes alternativas, por falta de información sobre el volumen de almacenaje y la frecuencia de uso. No obstante, se calificaron de «Excelente» la calidad del agua y el monitoreo del consumo (Fig. 9).

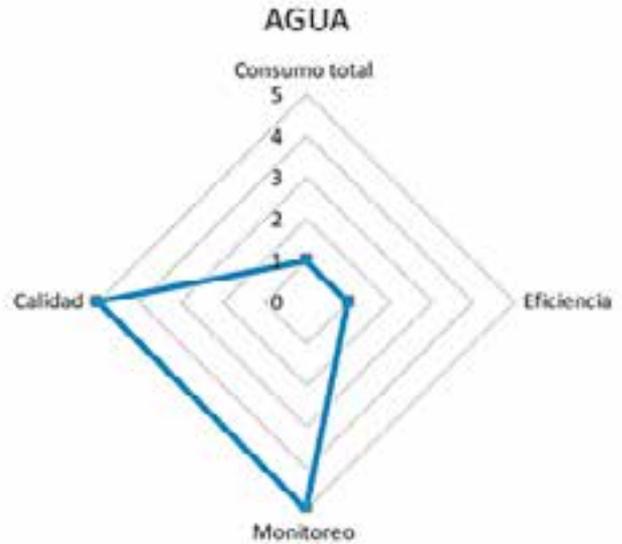


Fig. 9. Evaluación de la variable Agua. Elaboración propia.

Residuos

En cuando a los residuales líquidos, se consideró «Aceptable» el sistema de tratamiento colectivo primario y secundario, y «No Aceptable» el monitoreo, ya que no se realiza. Sin embargo, resulta «Excelente» el monitoreo de los residuales sólidos reciclables, entregados y controlados semanalmente, y «Aceptable» el sistema de gestión, ya que se clasifican y evacuan sistemáticamente (Fig. 10).



Fig. 10. Evaluación de la variable Residuos. Elaboración propia.

Materiales

La estructura del hotel es de hormigón armado in situ, con entrepiso de viguetas y bovedillas, y cubierta a dos y cuatro aguas, de entablado de madera recubierto con tejas de cerámica. La carpintería, en general, es de madera y cristal, y se emplearon maderas preciosas importadas en las barandas de las galerías, las terrazas de las habitaciones y el restaurante, así como en la carpintería que protege los vanos de las habitaciones hacia los espacios de circulación. Los muros son de bloques de hormigón de 200 mm de espesor y los pisos están terminados con mosaicos.



Fig. 11. Evaluación de la variable Materiales. Elaboración propia.

De acuerdo con esto, resulta «Excelente» el empleo de materiales de origen regional, que representan 51,93 % del costo total de materiales, y «Bien» los de origen renovable para 8,9 % del costo total. Sin embargo, son «No Aceptable» diversos parámetros como el uso de materiales de origen reusados, reciclados y reciclables, que no se reportan, o los reusables, que representan 47,74 %, e incluso, de baja energía embebida, que solo constituyen 5,56 % del costo total. Por último, se carece de información para evaluar los materiales sanos (Fig. 11).

Tecnologías

Aunque el Hotel Moka presenta equipamiento de alta eficiencia en áreas de la cocina, lavandería y climatización de las habitaciones, dado por las marcas Domus Eco-Energy (lavandería) y High Prestige-R410A-Ecológico (climatización de habitaciones), aún existe equipamiento ineficiente por su antigüedad, que sobrepasa en muchos casos los 20 años de explotación. Por tanto, este parámetro resultó «No Aceptable», ya que ninguna de las áreas posee 100% de equipamiento eficiente. Sin embargo, todas las luminarias fueron sustituidas por dispositivos tipo LED en el año 2018, están bien distribuidas, y las habitaciones poseen el sistema de cierre «Centinela», por lo que este parámetro fue evaluado de «Excelente» (Fig. 12).

TECNOLOGÍAS

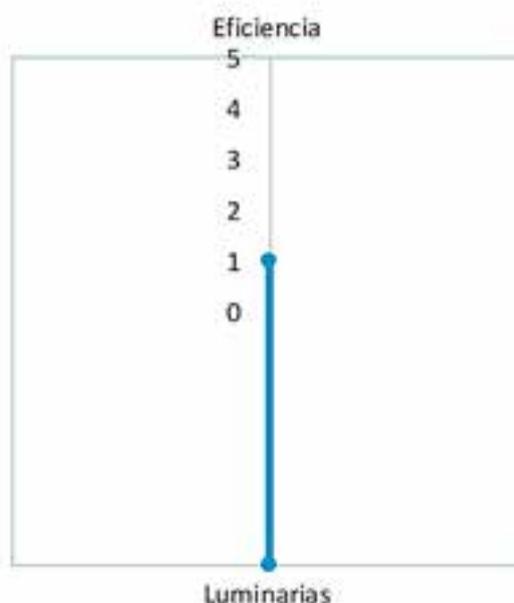


Fig. 12: Evaluación de la variable Tecnologías. Elaboración propia.

Arquitectura

La orientación de los espacios al oeste se considera desfavorable por la ganancia térmica en horas de la tarde, cuando más altas son las temperaturas, por lo que se incrementa la demanda energética por climatización artificial. No obstante, 86,51 % de los espacios están orientados en el entorno norte, por lo que se otorga la categoría «Bien».

En cuando al diseño de vanos, todos los espacios poseen algún tipo de protección solar, por la propia volumetría de la edificación y la presencia de vegetación, pero no se cumplen los ángulos de protección requeridos de acuerdo con la orientación, por lo que se otorga la categoría «Aceptable». Según el tipo de vanos, con excepción del vidrio fijo de las oficinas, todos están provistos de ventanas abrideras que permiten visuales al exterior a la vez que es posible regular la ventilación y mantener el espacio iluminado, aun cuando las ventanas permanezcan cerradas. Este parámetro obtiene evaluación «Excelente». De manera general, los cierres de los vanos en los espacios climatizados no presentan juntas que garanticen una elevada hermeticidad, por tanto, esto se considera «Aceptable».

La envolvente se evalúa a partir del cumplimiento de la norma de eficiencia energética (NC 220.1) en los cierres sin protección solar, es decir, la cubierta, conformada por un tablero contrachapado de madera, una capa de impermeabilización y tejas criollas, cuyo sistema posee un valor $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{°C}$, menor que $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$, valor normado para cubiertas, por lo que alcanza la categoría «Excelente».

Con respecto a la protección acústica, la instalación se encuentra emplazada en una zona alejada de fuentes de ruido exterior como vehículos, aviones, trenes, acciones

constructivas o industriales, y las actividades urbanas comunitarias no afectan el ambiente acústico, además, está rodeada de una gran masa verde que ayuda a amortiguar las fuentes de ruido externo. Sin embargo, una deficiencia detectada es que no tiene elementos que sirvan de barrera acústica interior para el control de fuentes de ruido externo, por lo cual, alcanza el nivel de evaluación «Bien». Sin embargo, el control de fuentes de ruido interno se considera «Excelente».



Fig. 13: Evaluación de la variable Arquitectura.

La calidad del aire fue evaluada de «Excelente» en los espacios de apoyo o técnicos, como lavandería, almacenes, servicios sanitarios, habitaciones de amas de llaves y cuarto de pizarra general de distribución, todos los cuales cumplen los recambios de aire por hora exigidos en las regulaciones de ventilación higiénica. También se consideró excelente la protección contra contaminantes, ya que el hotel se encuentra alejado de fuentes potenciales de contaminación del aire como industrias y autopistas, además, su emplazamiento lo constituye un ambiente predominantemente natural. Por otro lado, el diagnóstico realizado al Hotel Moka por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma) en el período 2017-2018, concluyó que las emisiones de gases a la atmósfera, generadas por las áreas de elaboración que emplean como combustible el gas licuado, son despreciables (Fig. 13).

Resumen

La evaluación del Hotel Moka incluyó seis variables compuestas por 29 parámetros, como resultado de lo cual obtuvo 89 puntos, que representan un 61,38 % del total posible (145 puntos), alcanzando el nivel de evaluación «Bien» (Fig. 14).

La variable con un mayor porcentaje de parámetros que cumplen los requerimientos mínimos, y por tanto, con mejores resultados integrales, fue la «Arquitectura», con 88,89 % de los parámetros, mientras que la variable «Materiales» ofrece los peores resultados, con un 28,57 %.

Los consumos energéticos resultan bajos con respecto a los valores de referencia, pero la ausencia de monitoreo dificulta una adecuada gestión. Lo contrario sucede con el agua, cuya calidad y monitoreo alcanza la más alta evaluación, lo cual constituye un importante potencial para una mejor gestión de la eficiencia del equipamiento con vistas

a reducir el consumo total, que ha sido uno de los principales problemas detectados.

Aunque los sistemas de gestión y tratamiento de los residuos se han considerado aceptables, hay diferencias entre el monitoreo de los residuos sólidos y los líquidos. También es insuficiente la eficiencia de los equipos tecnológicos en lavandería y cocina, así como en los sistemas de climatización de las habitaciones.

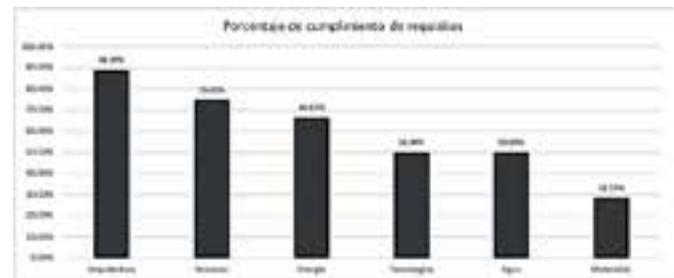


Fig. 14: Resumen de evaluación por variable.

Conclusiones

El procedimiento propuesto para evaluar la sostenibilidad de los destinos ecoturísticos vinculados a comunidades rurales integra variables, parámetros e indicadores de los sistemas internacionales de evaluación, sobre todo aquellos provenientes de países con condiciones similares a Cuba, y las experiencias cubanas de gestión de la sostenibilidad en el turismo.

El procedimiento propuesto incluye un sistema de ponderación que integra las dimensiones económica, social y ambiental de los impactos, establece una guía de acciones prioritarias y ofrece un programa automatizado que favorece su implementación.

La aplicación al Hotel Moka del procedimiento propuesto para evaluar la sostenibilidad de los destinos ecoturísticos vinculados a comunidades rurales arrojó una evaluación de «Bien», con los mejores resultados en la variable «Arquitectura», los peores en la variable «Materiales». Las acciones inmediatas deberán ir dirigidas a la reducción del consumo de agua.

Referencias bibliográficas

ALLOBAIDI, KHALED ALI; ABDRAHMAN BIN ABDUL RAHIM, ABDELGADIR MOHAMMED, SHADIYA BAQUTAYAN (2015). Sustainability Achievement and Estidama Green Building Regulations in Abu Dhabi Vision 2030. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol 6, No 4. <https://www.mcser.org/journal/index.php/mjss/article/view/7107> DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s2p509. (Último acceso 11 de marzo de 2020).

ASHWIN SABAPATHY, SANTHOSH K.V.RAGAVAN, MAHIMAVIJENDRA, ANJANA G. Nataraja (2010). «Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India». *Energy and Buildings*. Volume 42, Issue 11, November 2010, Pages 2206-2212. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.014>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).

ASPINALL, SARAH; BEGUM SERTYESILISIK, AMRSOURANI Y ASHLEY TUNSTALL (2012). «How Accurately Does Breeam Measure Sustainability?».

- Creative Education*, 2012. Vol., 3, Supplement, 1-8, published Online December 2012 in SciRes (<http://www.SciRP.org/journal/ce>)https://www.scirp.org/pdf/CE_2013010811010050.pdf. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- BLANCO RÍOS, A.A. (2016). Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad turística del destino Cuba. Tesis en opción al título de Licenciado en Turismo. Universidad de La Habana, 2016.
- CARDOSO JIMÉNEZ, C. (2020). «Turismo Sostenible: una revisión conceptual aplicada. El Periplo Sustentable [en línea]». 2006, (11), 5-21[fecha de Consulta 11 de Marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193420679001>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- CHUANG, H. W.; H. T. LIN Y M. C. Ho (2011). «The Eco-Community Evaluation System of Taiwan: An Introduction to EEWHEC». *Applied Mechanics and Materials* 2011; 71-78:3466-9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.71-78.3466>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- HONG-TRANG NGUYENA, MATTHEW GRAY (2016). «A Review on Green Building in Vietnam. Sustainable Development of Civil, Urban and Transportation Engineering Conference». *Procedia Engineering* 142(2016)314-321. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> doi:10.1016/j.proeng.2016.02.053. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- IHOBE (2010). «Contagiando ilusión por la innovación, por el desarrollo sostenible y por la excelencia. Informe Anual IHOBE, 2010». http://www.euskadi.eus/web01-a2aznscsp/es/k75aWebPublicacionesWar/k75aObtenerPublicacionDigitalServlet?Ro1HNoPortal=true&N_REVI=003985&N_FASC=0002&C_IDIOM=es&FORMATO=.pdf (último acceso 11 de marzo, 2020).
- MUSTAFA KAMAL, M. F.; MOHDAFFANDI, H. EIZZATY SOHIMI, N. ABDUL MUSID, H. MOHD, M. R. ALI, MAT NASHIR, I. MALASYAN (2019). «Carbon Reduction and Environmental Sustainability Tool (MYCREST) Qualified Professional Training Assesment». *Journal of Technical Education and Training*, 11 (4), 2019. Retrieved from <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/JTET/article/view/3142> (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- PORTELA, J. M.; J.L. VIGUERA, A. PASTOR, M.M. HUERTA, M. OTERO (2010). «La Certificación LEED, cómo cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería». XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Asociación Española de Ingeniería Mecánica, 2010. <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/6958/6959/81534.pdf>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- RAMÍREZ BERUMEN, T. F.; F. A. ESQUEDA TELLO, A. L. RAMÍREZ CUESTA, M. A. DE LA CRUZ ROMERO Y L.P. DELGADO LOZANO (2013). «Evaluación de dirección integrada de proyectos y riesgos de construcción de edificios sustentables en zonas metropolitanas del norte de México». Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering. CIDIP 2013 (Logroño), 2013. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/971> (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- RIVAS O., H. (1998). «Los impactos ambientales en áreas turísticas rurales y propuestas para la sustentabilidad». *Gestión Turística* No 3. Pp. 47 - 75. 1998- dialnet.unirioja.es. https://scholar.google.be/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=Rivas+O.%2C+H.%2C+n.d.+Los+Impactos+Ambientales+en+%C3%A1reas+Tur%C3%ADsticas+Rurales+y+propuestas+para+la+Sustentabilidad.&btnG= (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- ROJAS GUZMÁN, R. A. (2018). «Impacto en el consumo de energía del sector CPR al implementar Certificaciones Sustentables: LEED, CES y CEV». Tesis de Posgrado. Universidad Federico Santamaría, 2018. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/46280>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- RUEDA GUZMÁN, L. A.; N. COLLADO BALDOQUÍN; D. GONZÁLEZ COURET; O. SÁNCHEZ MARTÍNEZ; A. HANSSENS Y J. E. VAILLANT REBOLLAR (2018). «La colaboración internacional a través de proyectos. El desarrollo sostenible en la comunidad Las Terrazas». *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXXIX, no 2, mayo- agosto 2018, pp. 92-98. <http://docplayer.es/133314134-Arquitectura-y-urbanismo.html> (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- RUSSELL M. SMITH (2015). «“Green” building in India: a comparative and spatial analysis of the LEED-India and GRIHA rating systems». *Journal Asian Geographer*. Volume 32, 2015 - Issue 2. Pages 73-84. <https://doi.org/10.1080/10225706.2015.1020065>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- SAETEROS HERNÁNDEZ, A.; E. DA SILVA Y M. FLORES SÁNCHEZ (2019). «Turismo Sustentable y los diferentes enfoques, aproximaciones y herramientas para su medición». *PASOS Revista De Turismo y Patrimonio Cultural*, 17(5), 2019, 901-914. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2019.17.064>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- TAVARES IANTORNO, I. (2016). «Estudio comparativo de las certificaciones “Green Building” en edificios para la validación óptima del sistema de certificación “AQUA” de Brasil». Tesis de Master en Ingeniería de la Edificación. Ecola Politécnica Superior d’Edificació de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016. <https://core.ac.uk/download/pdf/46111551.pdf>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- UN-HABITAT (2010). «Conference on Promoting Green Building Rating in Africa. Nairobi: UN - Habitat». https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/7920_76265_Conference%20on%20Promoting%20Green%20Building%20Rating%20In%20Africa%20Report%202.pdf. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- VALDIVIEZO MÁRQUEZ, M. R. Y J. S. FERMÍN (2010). «Estimación de índices de capacidad de procesos usando la distribución generalizada de Pareto». *Ingeniería Industrial* - Año 9 Nº 2: 93-106, 2010. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/60/3300>. (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- YUAN YUAN LI; PO-HAN CHEN, DAVID AH SENG CHEW Y CHEE CHONG TEO (2011). «Critical Project Management Factors of AEC Firms for Delivering Green Building Projects in Singapore». *Journal of Construction Engineering and Management*/Volume 137 Issue 12 - December 2011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000370](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000370). (Último acceso 11 de marzo de 2020).
- ZAINOL, H.; K. ALAUDDIN Y N. SHUKRI (2017). «The Green Building Assessment Tools for Water Efficiency Criteria in Malaysia: An Analysis». *Malaysian Journal of Sustainable Environment*, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 161-176, June 2017. ISSN 0128-326X. Available at: <<http://103.8.145.246/index.php/myse/article/view/5589>>. Date accessed: 11 mar. 2020. doi: <https://doi.org/10.24191/myse.v2i1.5589>.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.

PROCEDIMIENTO PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS: CASO DE ESTUDIO PARQUES DE GIBARA, HOLGUÍN

Por M. Sc. Ángel Infante Haynes*, M. Sc. Mailén Hernández Jorge**, Dr. Orlando Belete Fuentes***
y Yoel Estupiñan Ricardo****

*Departamento Mecánica, Cuba.

E-mail: ehaynes@uho.edu.cu.

**Contabilidad. Facultad Ciencias Empresariales y de Administración.

E-mail: maylen@uho.edu.cu.

***Departamento Mecánica, Cuba.

E-mail: orlandobf@uho.edu.cu

****Economía y Planificación Municipal, Holguín, Cuba.

Resumen

Los parques eólicos de Gibara constituyen los primeros de su tipo en el país, y si bien demuestran su eficiencia, necesitan del perfeccionamiento, del control en categorías tales como disponibilidad, rentabilidad y costos, factores claves en la elevación de su efectividad. La investigación responde a la necesidad de evaluar si los resultados del proceso de generación de energía son técnica y económicamente factibles. El objetivo de la investigación se centra en elaborar y aplicar un procedimiento para evaluar la factibilidad técnica, económica y medioambiental del proceso de generación de energía, que permita a los directivos tomar decisiones que aseguren su rentabilidad. Durante la misma se hizo una revisión bibliográfica de los modelos existentes, que permite fundamentar el procedimiento.

Palabras clave: Energía eólica; factibilidad técnica; económica, medioambiental, parques eólicos.

PROCEDURE FOR THE STUDY OF TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF WIND FARMS: CASE STUDY OF THE GIBARA PARKS, HOLGUÍN

Abstract

The Gibara wind farms are the first of their kind in the country, and although they demonstrate their efficiency, they need improvement, and control in categories such as availability, profitability and costs, key factors in the increase of effectiveness. That is why the research responds to the need to assess whether the results of the energy generation process are technically and economically feasible. Therefore, the objective of this research is to develop and apply a procedure to assess the technical, economic and environmental feasibility of the energy generation process, which allows managers to make decisions that ensure profitability. During the same, a quite extensive bibliographical review was made, which has allowed theoretically to base the procedure.

Keywords: Wind energy, technical feasibility, economic, environmental, wind farms.

Introducción

La política energética cubana referida a la electricidad está dirigida a asegurar el suficiente suministro de esta energía acorde con el desarrollo energético esperado. En los últimos cinco años, el consumo energético en Cuba ha superado como promedio los 19 366 GWh en la demanda y por tanto en la generación [ONEI Cuba, 2015]. La producción de energía eléctrica el país depende mayoritariamente de combustibles fósiles, por lo cual es de prioridad nacional mejorar la eficiencia energética, maximizar la generación con el gas acompañante de petróleo nacional e incrementar la generación con fuentes renovables [Minem, 2015].

Por otro lado, potenciar la eficiencia, el ahorro, el desarrollo energético sostenible y las fuentes renovables de energía están enmarcadas como segunda prioridad nacional en las áreas temáticas, según datos suministrados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

En Cuba existen cuatro parques eólicos, desde mediados de febrero de 2008 comenzó a generar el parque eólico Gibara I y a partir del año 2010 comienza a funcionar el parque Gibara II, que complementa la generación e incrementa el potencial eólico del oriente del país [Montesinos, 2007; Moreno, 2008]. El parque eólico de Gibara constituye el primero de su tipo en el país, utiliza una tecnologías de punta, que si bien demuestra su eficiencia, necesita del perfeccionamiento del control en categorías tales como, ganancia, rentabilidad y precios, lo que no existía hasta el momento de esta investigación y que por supuesto son factores clave en la elevación de la efectividad de la producción social, ya que estas son las que reflejan el movimiento de la generación eléctrica y sus resultados económicos de manera más precisa.

En estudios previos realizados en la Empresa Eléctrica de Holguín y entrevistas a los especialistas tanto del grupo de energía renovable como del parque eólico, se ha podido detectar que aunque existe información sobre el desempeño del proceso de generación de energía, en el Parque Eólico de Gibara, no se conocen como estos resultados aportan a la recuperación del capital inicialmente invertido, por lo que sus directivos no cuentan con bases suficientes para tomar decisiones de corrección o mejora.

Materiales y métodos

Se utilizaron las bases de Datos SIOGEN y SISCOM del parque eólico de Gibara y la Empresa Eléctrica de Holguín, respectivamente, así como consulta a expertos de ambas instituciones.

El procedimiento propuesto para el estudio de viabilidad técnica, económica y medio ambiental del Parque Eólico de Gibara está compuesto por tres etapas que constituyen un sistema en función del análisis y la evaluación de resultados, a partir de la caracterización, diagnóstico y seguimiento de los resultados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Etapas para el estudio de viabilidad técnica, económica y medioambiental del Parque Eólico de Gibara

<p>Etapa I. Caracterización de la inversión realizada en la generación de energía a través de fuentes renovables en los Parques Eólicos Gibara I y II</p>	<p>Paso 1. Análisis de la inversión realizada para la generación de energía</p>
--	--

Etapa II. Diagnóstico del estado actual de la viabilidad de la generación de energía

Paso 1. Análisis del costo inicial de la inversión.
Paso 2. Determinación de los beneficios potenciales de la explotación.
Paso 3. Análisis de los costos y gastos durante la explotación de las capacidades generadas por la instalación de los parques

Etapa III. Cálculos de otros indicadores para el seguimiento de la viabilidad de la generación de energía

Paso 1. Diseñar indicadores para el análisis de la viabilidad técnicos, económicos y medio ambientales.
Paso 2. Establecer estrategias para revertir la situación económica en casos desfavorables

Análisis y discusión de los resultados

1. Etapa I. Caracterización de la inversión realizada en la generación de energía.

El rendimiento energético de un parque eólico depende las características de la tecnología instalada y de factores propios de su instalación, como el espaciamiento o distancia de un aerogenerador a otro, para no provocar pérdidas aerodinámicas. Para la caracterización se utilizarán aspectos técnicos de la tecnología instalada.

Paso 1: Análisis de la inversión realizada para la generación de energía en los Parques Eólicos Gibara I y II.

Se procede a realizar una caracterización de los aspectos técnicos y económicos fundamentales que permitan conocer aspectos relevantes para su posterior evaluación. Se consideran: el tipo de instalación, la clase y marca del aerogenerador, así como el país de fabricación, potencia, cantidad de aerogeneradores, diámetro del rotor, área de barrido, la relación que existe entre la potencia y el diámetro, la potencia específica, altura del buje, su rendimiento promedio y la velocidad del viento del lugar.

2. Etapa II. Diagnóstico del estado actual de la viabilidad de la generación de energía a través de fuentes renovables en los Parques Eólicos Gibara I y II.

Para determinar si un proyecto es factible o viable se debe demostrar que la inversión inicial será recuperada en un tiempo prudencial, para ello debe generarse un rendimiento durante la explotación superior al costo inicialmente invertido y al rendimiento mínimo exigido por los inversionistas o costo de oportunidad del capital.

Paso 1. Análisis del costo inicial de la inversión.

El valor actual de los activos puestos en explotación del parque o valor actual de la inversión se muestra a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Valor actual de activos

Descripción del activo	Fecha de puesta en explotación	Valor Inicial	Valor depreciado	Saldo en Libros
Parque Eólico I	2 – 2008	9.500.528,49	5.767.336,97	3.733.191,52
Parque Eólico II	12 – 2010	11.762.196,74	5.248.537,32	6.513.659,42
Totales		21.262.725,23	11.015.874,29	10.246.850,94

Fuente: elaboración propia a partir de datos aportados por la institución.

a) Desglose de la inversión inicial por componentes del Parque Gibara I

La inversión inicial del Parque Eólico de Gibara I se realizó en dos monedas, en moneda nacional (CUP), representando 64,73 % y moneda convertible (CUC), representando 35,27 % para un total de 9.500.528,49 en moneda total.

b) Desglose de la inversión inicial por componentes del Parque Gibara II

La inversión inicial del Parque Eólico de Gibara II se realizó en dos monedas, en moneda nacional representando 56,60 % y moneda convertible, representado 43,40 % para un total de 11.762.296,74 en moneda total.

La inversión en ambos parques fue con financiamiento propio de la Unión Nacional Eléctrica, los aerogeneradores pertenecen al grupo 4, maquinarias, con tasa de depreciación 6 % anual, el resto de equipos y edificaciones, cada cual según su clasificación.

Paso 2. Determinación de los beneficios potenciales de la explotación.

Para la determinación de la viabilidad se deben establecer los beneficios potenciales y los costos generados durante la explotación para verificar si los flujos generados aseguran el retorno de la inversión inicial y superan los criterios de rentabilidad exigidos; en función de ello se han determinado los beneficios generados como sigue:

Evaluar los beneficios potenciales de la generación de energía limpia.

Comportamiento del precio de los combustibles en el periodo de explotación de las capacidades generadas por los Parques Eólicos Gibara I y II (Tabla 2).

A partir de la obtención de los precios del combustible en el período de evaluación se pueden obtener los resultados del ahorro generado por la explotación de los parques.

Total de ahorro generado por la sustitución de combustibles por la generación de energía en los Parques Eólicos Gibara I y II (Tabla 3).

Tabla 2. Comportamiento de los precios del combustible en el período

Precio	UM	Años de explotación de las capacidades									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	USD/ton	193,6	267,2	266,6	620,6	782,9	782,9	787,0	595,9	265,5	265,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Ahorro de combustibles generado en el periodo de análisis

Indicadores	UM	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Combustible sustituido	ton	1496,8	459,5	2225,8	3681,2	4394,6	4552,1	5023,4	5559,6	5572,8	5360,0	5360,0
Precio	USD/ton	193,6	267,2	266,6	620,6	782,9	782,9	787,06	595,9	265,5	265,5	265,5
Ahorro	M USD	289,7	1228,0	593,3	2284,5	3440,6	3563,9	3953,7	3312,9	1479,5	14231	34.377,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Total de ingresos por generación de energía en los Parques Eólicos Gibara I y II

Indicadores	UM	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Generación bruta	M KWh	6736,6	2137,3	9990,8	16 638,1	19 917,8	20 772,8	17 979,3	19 898,4	19 945,4	19 184,0	15 3200,5
Precio de venta	MN	0,17	0,18	0,17	0,24	0,23	0,25	0,27	0,26	0,24	0,26	0,23
Ingresos por generación	M MN	1140,7	379,6	1727,7	3992,6	4534,4	5296,0	4766,4	5116,6	4863,4	4987,8	36805,7

Fuente: elaboración propia.

La generación bruta total por kW/h tuvo un comportamiento irregular, pero fue elevado en todos los años, el ingreso total generado ascendió a 36 805,74 miles de pesos en moneda nacional (Tabla 4).

Paso 3. Análisis de los costos y gastos durante la explotación de las capacidades generadas por la instalación de los parques.

En función de la determinación de la viabilidad de la inversión en el tiempo, se analizan los gastos incurridos desde la puesta en explotación hasta la actualidad en cada instalación. En este caso se calculan los gastos Incurridos en: gasto de operaciones, de administración, depreciación, reparaciones corrientes, generales, averías, mantenimiento constructivo y por último los gastos de seguridad y protección.

Los gastos vinculados a la generación incurridos en el Parque Gibara I fueron encabezados por la depreciación, seguido los gastos de operaciones y seguridad y protección, para un total de 8.475.502,0 pesos en moneda total. En los gastos incurridos por el Parque Gibara II asociados a la generación, los más elevados fueron la depreciación, seguido de los gastos de operación y de seguridad y protección, para un total de 6.334.106,02 pesos en moneda total.

Análisis de los resultados de la viabilidad, determinando los resultados y estableciendo una comparación con el costo inicial

Beneficio Gibara I + Gibara II (Tabla 5).

El beneficio total mantuvo un comportamiento irregular, pero solo se afectó en el año 2009 que generó pérdida, provocado porque fue el año que menos generó y los gastos incurridos fueron relativamente elevados. A partir de 2011 los beneficios oscilaron entre los dos y tres millones anualmente, para un monto total de beneficios desde su puesta en explotación ascendente a 21.995,9 miles de pesos en moneda total.

Análisis del costo por pesos. Costos por pesos Gibara I y II (Tabla 6).

A partir de los datos obtenidos en la investigación se realiza un análisis de la recuperación del capital inicialmente invertido, en base a los beneficios obtenidos de los cálculos anteriores,

para evidenciar si el comportamiento responde a los estándares generalmente aceptados para este tipo de proyectos que provienen de la revisión de literatura especializada¹; para ello se ha determinado a través del método de acumulación del período de recuperación con los resultados siguientes (Cuadro 2):

Cuadro 2. Tiempo de recuperación de la inversión

Parque	Años
Parque Eólico Gibara I	10 años
Parque Eólico Gibara II	12 años

El Parque Gibara I tiene 10 años de explotación en el período de análisis y de acuerdo a los datos analizados la recuperación se produce en ese último año de análisis, por lo que la recuperación se produce dos años después a la establecida por el estándar.

El Parque Gibara II tiene siete años de explotación en el período de análisis. Al realizar el cálculo del período de recuperación en el último año de análisis falta por recuperar una parte de la inversión, por lo que se ha estimado un comportamiento similar en los próximos años para establecer un tiempo de recuperación aproximado que se produciría en 12 años, cuatro años después del estándar generalmente aceptado. Este resultado es consecuente a los análisis realizados anteriormente a través de otros métodos.

3. Etapa III. Cálculos de otros indicadores para el seguimiento de la viabilidad de la generación de energía a través de fuentes.

Paso 1. Diseñar indicadores para el análisis de la viabilidad técnica.

A partir de los indicadores diseñados se realiza su cálculo en el período de evaluación y se muestra el comportamiento como sigue (Tabla 7):

Tabla 7. Indicadores técnicos, económico y ambientales de Gibara I y II

¹ De acuerdo a las investigaciones y reportes publicados por la Irena Working Paper la recuperación óptima de este tipo de proyectos debe ocurrir de 3 a 5 años, aunque esta depende de la cantidad de aerogeneradores; en parques pequeños como el del caso que se muestra es hasta 7 años.

Tabla 5. Beneficios obtenidos en Gibara I y II

Indicadores	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Ingresos por generación	1.140,7	379,6	1.727,7	3.992,6	4.534,4	5.296,0	4.766,4	5.116,6	4.863,4	4.987,84	36.805,74
Gastos incurridos	332,4	1.315	941,6	1.602,2	1.589,6	1.908,6	1.799,4	2.170,1	2.062,0	1.272,4	14.809,9
Beneficio	808,3	-751,8	786,0	2.390,4	2.944,8	3.387,3	2.967,0	2.946,5	2.801,4	3.715,44	21.995,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Costo por pesos obtenido

Años	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Gibara I + Gibara II	3,43	0,34	1,83	2,49	2,85	2,77	2,65	2,36	2,36	3,91	2,49

Fuente: elaboración propia.

Indicadores	UM	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total/Promedio
CO2 no emitido	Ton	7992,6	13 310,5	15 934,3	16 618,2	13 754,1	15 222,3	15 258,2	14 675,8	119 810,7
Ingresos no emisión	s	3356,8	5590,4	6692,4	6979,6	5776,7	6393,3	6408,4	6163,8	50 320,4
Factor de disponibilidad	%	95,0	79,9	84,3	88,6	79,8	79,6	91,3	87,3	83,771
Factor de capacidad	%	26,0	26,0	26,6	28,6	21,4	23,7	23,7	22,8	24,785
Participación eólica	%	28,2	51,0	33,1	30,0	24,7	27,2	26,4	25,3	28,613
Combustible sustituido	Ton	2225,7	3681,2	4394,6	4552,2	5023,4	5559,6	5572,7	5360,0	38 325,7
Velocidad de viento	m/s	6,17	6,12	6,20	6,58	6,42	6,80	6,55	6,4	6,39
Promedio generación diaria	kWh/días	27,4	45,6	54,4	56,9	49,3	54,5	54,5	52,6	43,71
Consumo esp. bruto	kW/h	222,5	221,1	220,8	219,2	279,4	279,4	279,4	279,4	244,526
Energía no producida	kW/h	11 874,1	5226,8	2451,7	3278,6	17,2	32,3	-14,6	-10,1	55 231,4
Importe ENP	s	2018,6	1254,4	563,8	819,6	4,6	8,4	-3,5	-2,6	10329,2
Rentabilidad	%	21,68	21,25	18,60	19,70	20,6	25,69	32,49	6,61	18,15
Punto equilibrio	kW/h	844 776,0897	1 408 321,342	1 476 660,047	1 506 913,64	1 571 520,249	1 602 655,216	1 608 856,269	5 502 758,987	16 492 088,14

Fuente: elaboración propia.

Realizando el análisis del comportamiento de los indicadores de forma general para ambos parques podemos ver como el 2013 fue el de mejores resultados, influyendo en el hecho de que este año fue el mejor año en el Gibara I, por lo que obtiene mejores resultados que el Gibara II.

Indicadores económicos Gibara I y II (Tabla 8)

De forma general para ambos parques los ingresos estuvieron en 0,14 ctvs.; en 2017 estuvieron por encima de la media; sin embargo, en este propio año los costos fueron los más bajos que en el resto de los años en plena explotación, comportándose por debajo de la media que estuvo en 0,09 ctvs. por kW de generación.

Paso 2. Establecer estrategias para revertir la situación técnica, económica y medioambiental en casos desfavorables.

A los efectos de esta investigación se proponen algunas recomendaciones específicas de las estrategias a seguir por los directivos de la empresa para la mejora continua del desempeño del parque eólico.

En primer lugar, realizar un análisis de los gastos de administración y los de seguridad y protección en función de disminuirlos o estabilizarlos. En segundo lugar, mantener la atención sobre el mantenimiento preventivo para evitar averías y fallas que incrementen estos costos, y en tercer lugar realizar comprobaciones sistemáticas de seguimiento a los indicadores propuestos.

Tabla 8. Indicadores económico de Gibara I y II

Indicadores	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio
Ingreso por kW de generación	0,11	-0,35	0,07	0,14	0,14	0,16	0,16	0,14	0,14	0,19	0,14
Costo por kWde generación	0,04	0,52	0,09	0,09	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,06	0,09

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El procedimiento propuesto demuestra su utilidad para evaluar el desempeño técnico, económico y ambiental. Puede aplicarse con sus adecuaciones en los parques fotovoltaicos.

La utilidad se comportó en 0,13 \$ por kW en el Parque Gibara I, y de 0,14 \$ por kW en Gibara II.

El factor de capacidad, indicador de eficiencia más relevante para este tipo de tecnología, para el caso de Gibara I alcanzó 25,2, (de 28, previsto) y 26 (22,6) para Gibara II.

El factor de disponibilidad, que según algunos autores; en dependencia de la tecnología y las regiones de instalación podría oscilar entre 90-98, se estimó en Gibara I y Gibara II, en 81,8 y 88,9 %, respectivamente.

La participación eólica (clientes conectados) prevista de 16, se cumple en ambos parques, Gibara I y II, con 18,9 y 16,3, en cada caso.

Combustible sustituido en dependencia de la generación: el país dejó de consumir 22 302,2 toneladas por el aporte de Gibara I, y 16 023,8, por Gibara II, lo que representa el ahorro de 19 067,0 y 14 205,4 miles de USD, respectivamente.

Todo lo anterior incidió en evitar que se dejara de emitir en Gibara I y Gibara II, 69 791 y 49 051,1 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

Recomendaciones

1. Aplicar acciones organizativas concretas que permitan reducir los gastos de administración, seguridad y protección.
2. Mejorar el mantenimiento preventivo para evitar averías y fallas imprevistas que incrementen la no disponibilidad.

Referencias bibliográficas

ALMONACID, B. A., & M. L. NAHUELHUAL (2009). «Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, sur de Chile».

ALONSO G, R. R. (2006). «Análisis de Costos Nivelados de la Generación de Electricidad en México».

ALONSO, J. A. (2005). «Ventajas Comerciales y Competitividad: Aspectos conceptuales y empíricos. ICE, Especialización Comercial y Competitividad».

ARRAÑA, I., & J. CEMES (2012). «Generación de energía eólica en Santa Fe, Pre estudio de Viabilidad Técnica».

BÉRRIZ PÉREZ, LUIS (2016). «La política energética cubana en el camino del desarrollo sostenible». En revista *Energía y Tú* No 75 (julio-septiembre, 2016). La Habana: Ed. Cubasolar. ISSN 1028-9925.

BEHRENS, W., & P. M. HAWANEK (1994). *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial*. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

BREALEY, R., & S. MYERS (1993). *Fundamentos de financiación empresarial*. México: Mc Grau Hill.

CARTA GONZÁLEZ, J. A.; R. CALERO PÉREZ, A. COLMENAR SANTOS Y M. A. CASTRO GIL (2009). *Centrales de energías renovables*.

CASTILLO JARA, E. (n.d.). *Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el istmo de Tehuantepec*.

DE ARMAS TEIRA, D. M., & I. E. MARTÍNEZ VILCHES (n.d.). «Uso eficiente de las fuentes renovables de energía. Mejoramiento económico mediante la sincronización a la red». En *Eco Solar* 19.

DEL CAMPO M., E. N. (2009). «La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad». DEWI: Instituto Alemán de Energía Eólica.

FERNÁNDEZ SALGADO, J. M. (2009). *Tecnologías de las energías renovables*.

GARCÍA DE SORIA, X.; C. VILLASANTE CABRERA Y E. MELOGNIO (2008). «Evaluación Económico - Financiera: Proyecto de Parque Eólico de 10 MW». Uruguay.

GIRALT, C. (2011). *Energía eólica en Argentina: un análisis económico del derecho*. Letras Verdes, 64-86.

HANSEN, A. & G. MICHALKE (2007). *Voltage Grid Support of DFIG Wind Turbines during Grid Faults*.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA) (2013). «Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview».

INFANTE HAYNES, A. Y C. TRINCHET VARELA (n/d). «Evaluación de los costos de operación, mantenimiento y parada de los parques eólicos de Gibara».

LEIVA VIAMONTE, G. (n/d). «Factores actuales de incertidumbres sobre la generación anual y riesgos para la factibilidad de los futuros parques eólicos en Cuba».

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (2015). «Información aportada por el Ministerio de Energía y Minas, 2015».

MOLINERO BENÍTEZ, A. (2009). «Proyecto fin de carrera: Proyecto de un Parque Eólico». Madrid.

MONTESINOS LARROSA, A. (2007). «Historia de la energía eólica en Cuba». La Habana: Ed. Cubasolar.

MORENO FIGUEREDO, C. (2008). «Parque Eólico Gibara 1». La Habana: Ed. Cubasolar.

MORENO FIGUEREDO, C. (n/d). *8 preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar.

MORENO FIGUEREDO, C. (n/d). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar.

MORENO FIGUEREDO, C. (2018). *Doce preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar.

MORENO FIGUEREDO Y OTROS (n/d). «Estado actual y desarrollo de la energía eólica en Cuba». La Habana: Ed. Cubasolar.

NAVARRETE PÉREZ, E. (2000). *Gestión e Ingeniería del Mantenimiento*. ONEI, CUBA (2015). «Inventario Nacional de FRE». Consultado en: <http://www.onei.gob.cu>

PAEC (n/d). «Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba».

PORK, J. (1981). *The wind power book*. California.

PRANDO, R. (1996). *Manual Gestión de Mantenimiento a la medida*. OLADE: Organización Latinoamericana de Energía.

RODRÍGUEZ BATISTA, A. (2019). «Conferencia Magistral, Las Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación en Cuba: retos y perspectivas». Citma (2019). Información.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.

FACTIBILIDAD DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH)

Por M. Sc. **Noidys Quirós Martín*** y Dr. C. **Jorge M. Fernández Infante****

*Profesora Auxiliar del Departamento de Mecánica Aplicada. Universidad de Ciego de Ávila
Máximo Gómez Báez

E-mail: noidys@unica.cu

**Profesor Titular. Decano de la Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila Máximo
Gómez Báez.

E-mail: jorgemfi@unica.cu

Resumen

Un recurso imprescindible para la vida es el agua, a ella están ligados cientos de necesidades humanas, a la vez que crece la demanda de recursos energéticos para cubrir necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables y no emiten gases de efecto invernadero, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible; dentro de estas energías se encuentra la hidráulica o hidroenergía que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas, por lo que toda agua en movimiento, ya sea para consumo poblacional, industrial o el riego, puede ser aprovechada en la producción de electricidad. Con el objetivo de mostrar la factibilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas mediante el estudio del origen de la hidroenergía y las tecnologías que se utilizan en aras de motivar la realización de proyectos encaminados a esta línea de investigación; siendo Cuba un país tropical con un amplio perfil agrícola hace que las PCH sean una respuesta factible en la producción de electricidad.

Palabras clave: Agua, energía, hidroeléctrica, factibilidad.

FEASIBILITY OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS (SHPP)

Abstract

The most essential resources for life is water, hundreds of human needs are linked to it, while the demand for energy resources to meet consumption and well-being needs grows. Renewable energies that come from inexhaustible sources and do not emit greenhouse gases are one of the key pieces in the construction of a sustainable development system; Within these energies is the hydraulic one or hydropower obtained from the use of the kinetic and potential energies of the water current, waterfalls or tides, so that all water in movement either for population consumption, industrial or irrigation, can be used in the production of electricity. With the aim of showing the feasibility of small hydroelectric power plants through the study of the origin of hydropower and the technologies that are used to motivate the implementation of projects aimed at this line of research, Cuba being a tropical country with a wide agricultural profile makes SHPPs a feasible answer in electricity production.

Keywords: : water, energy, hydroelectric, feasibility.

I. Introducción

La disponibilidad de la energía ha sido siempre esencial para la humanidad que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables como el Sol y no emiten gases de efecto invernadero, entre otros beneficios, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible.

Existe una concienciación cada vez mayor sobre los efectos medioambientales que conlleva el actual sistema de desarrollo económico, como son el cambio climático, la lluvia ácida o el agujero de la capa de ozono. Las sociedades modernas, que sustentan su crecimiento en un sistema energético basado principalmente en combustibles fósiles, se inclinan cada vez más hacia la adopción de medidas que protejan nuestro planeta. Así lo reflejan las actuales políticas nacionales y los acuerdos y tratados internacionales que incluyen como objetivo prioritario un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales de las futuras generaciones.

Actualmente las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces de cara a cubrir las necesidades de la demanda. Dentro de estas energías renovables se encuentra la hidroeléctrica, como principal aliado en la generación de energía limpia y autóctona [Castro, 2006].

La energía hidráulica o hidroenergía se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las corrientes del agua, saltos de agua o mareas. No solo se utiliza el agua para la producción de energía, y aunque en países como Rusia, España, Estados Unidos y algunos de América Latina se destinan grandes volúmenes de agua solo para la producción de electricidad, toda agua en movimiento ya sea para consumo poblacional, industrial o el riego, puede ser aprovechada en la producción de energía.

La falta de nuevos proyectos encaminados a potenciar la hidroenergía como respuesta a necesidades energéticas hace que se tenga como objetivo; mostrar la factibilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas con el estudio del origen de la hidroenergía y las tecnologías que se utilizan con aras de motivar la realización de proyectos encaminados a este fin.

Orígenes

La energía siempre ha sido imprescindible para el ser humano, y gracias a ella puede cocinar, obtener calor, desplazarse grandes distancias, emplear electrodomésticos, máquinas, etc. Al igual que la energía, el agua es un recurso indispensable para la vida en la Tierra, además de que el hombre ha aprovechado la escorrentía de los ríos desde tiempo inmemorial, como molinos de agua y norias.

Gracias al descubrimiento de la electricidad y su aplicación generalizada a finales del siglo XIX, el hombre empieza a considerar el agua como una de las fuentes más importantes de producción de energía eléctrica. Aquí comienza la carrera de la industria eléctrica mundial, que generó los primeros vatios en las centrales hidroeléctricas recién inventadas. Estas se encontraban cerca de los centros de consumo, debido a las dificultades que supo-

nía por aquel entonces el transporte efectivo de electricidad.

La rueda hidráulica, gran rueda montada sobre un eje horizontal provista de cangilones en la corona, se conoció en Egipto y Mesopotamia en torno al año 1000 a.C., por lo que se puede suponer que la energía hidráulica fue la primera forma de energía ajena a la de origen humano o animal.

Leonardo da Vinci (1452-1519) estableció diversos principios sobre el empleo de la energía hidráulica: la potencia depende de la altura, una parte se pierde por fricción y la mayor eficiencia de una rueda hidráulica se logra al chocar el agua con las paletas según un ángulo de 90°.

La central hidroeléctrica creada en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña, se puede considerar la primera instalación que transformó la energía del agua de un salto en electricidad.

Una de las primeras centrales del mundo, de producción hidroeléctrica a gran escala, la instaló George Westinghouse en las Cataratas del Niágara, cuya construcción comenzó en 1886, duró diez años y en 1896 transmitió electricidad a la ciudad de Buffalo a una distancia de 35 km.

La central hidroeléctrica mayor del mundo es la de Itaipú, situada sobre el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Paraguay. Esta central está compuesta por 18 unidades generadoras de 700 MW cada una, lo que significa una potencia instalada de 12,6 GW. Se inauguró en 1982.

La palabra Turbina la inventó el ingeniero francés Claude Burdin (1790-1873), viene del latín turbo-inem, que significa rotación o giro. Burdin fue un ingeniero teórico, pero su discípulo Fourneyron (1802-1867) fue un ingeniero práctico y logró en 1827 construir la primera turbina hidráulica experimental, a la que dio su nombre.

La utilización del agua en Cuba para generar electricidad, data de principios del siglo XX. El 17 de junio de 1909, en la provincia de Guantánamo se construye la primera Pequeña Central Hidroeléctrica en Cuba, llamada Guaso, nombre del río que la abastecía.

II. Desarrollo

Características de la energía hidroeléctrica

La superficie terrestre está cubierta 71 % de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, esta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

Se considera PCH como tal a las que no sobrepasen los 10 MW por la Comisión Europea, la Unipe de (Unión de Productores de Electricidad). Sin embargo, hay países en los que el límite puede ser tan bajo como 1,5 MW, mientras que en otros como China o los países de América Latina, el límite llega a los 30 MW.

En Cuba se clasifican como mini centrales hidroeléctricas aquellas cuya potencia instalada oscila entre 51 kW y 500 kW; asimismo se denominan microcentrales las de potencias en el rango 1-50 kW según la Organización Latinoamericana de Energía (Olade). Cuba cuenta con 144 centrales hidroeléctricas en funcionamiento, 107 de las cuales se encuentran en regiones montañosas, aisladas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) [Peña y Fariñas, 2020].

La provincia Ciego de Ávila cuenta con una pequeña central hidroeléctrica en el municipio de Florencia, inaugurada el 29 de junio del 2003, se nombra Alzamiento de Jagüecito, instalada aguas abajo del Conjunto Hidráulico Liberación de Florencia. El diseño de la instalación está concebido para producir 11 MWatt cada 24 horas por cada una de sus dos turbinas de generación tipo Francis conectadas en paralelo.

Una PCH no es una central convencional a escala reducida. Una turbina de unos cientos de kilovatios tiene un diseño completamente distinto del de otra de unos cientos de megavatios. Desde el punto de vista de obra civil, una PCH obedece a principios completamente distintos a las grandes centrales alimentadas por enormes embalses, la diferencia se encuentra en la turbina hidráulica a utilizar, dependiendo de características hidrológicas puntuales.

Turbinas hidráulicas

La turbina hidráulica es el elemento clave de la PCH. Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

En una turbina de acción la presión del agua se convierte primero en energía cinética. En una turbina de reacción la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

a) Turbinas de acción

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell.

Pelton. Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con álabes (cazoletas) de doble cuenco. El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de emergencia se emplea

un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada.

Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto, superior a 90 % en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior a 80 % para un caudal de 20 % del nominal.

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje horizontal o vertical, y con uno o varios inyectores, los que por lo general se combinan:

Eje horizontal en las máquinas con uno o dos inyectores.

Eje vertical en las máquinas con más de dos inyectores. Esta solución encarece el coste del generador.

Turbina de flujo cruzado, también conocida como de doble impulsión, Ossberger o Banki-Michell. Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales.

El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el álabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ya ha atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración. Este tipo de turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. Su potencia unitaria está limitada aproximadamente a 1 MW. El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente 85 %, pero tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal.

b) Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que el agua al salir del rotor tenga una presión por debajo de la atmosférica.

Las turbinas de reacción más utilizadas son las Francis y la Kaplan, y la mayoría se compone casi siempre de los elementos siguientes:

- Carcasa o caracol. Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
- Distribuidor. Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de álabes fijos) y el rotor (corona de álabes móviles).

- Rodete. Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
- Difusor. Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.

Francis. Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que esta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior a 90 % en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre 40 % y 105 % del caudal de diseño, y en saltos entre 60 % y 125 % del nominal.

Los elementos que componen este tipo de turbinas son los siguientes:

- Distribuidor. Contiene una serie de álabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete.
- Rodete formado por una corona de paletas fijas, con una forma que cambia la dirección del agua de radial a axial.
- Cámara de entrada. Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
- Tubo de aspiración o de salida de agua. Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan. Las instalaciones con turbina hélice se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración.

Las turbinas Kaplan y Semikaplan son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Ambas poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona la posibilidad de funcionar en un rango mayor de caudales.

La turbina Kaplan incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado. Su rendimiento es de aproximadamente 90 % para el caudal nominal y disminuye a medida que se aleja de él. Este tipo de turbinas se emplea generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.

En función de las características del aprovechamiento y de los aspectos técnicos y económicos se observa lo siguiente:

- Para una central de tipo fluyente, con un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o Semikaplan.
- La turbina de hélice se utiliza en centrales con regulación propia que funcionan con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo del embalse.

La variación admitida en el salto en estos tres tipos de turbina es de 60 % a 140 % del diseño, y en caudal, de 40 % a 105 % del caudal nominal para la hélice, de 15 % a 110 % para las Kaplan, situándose la Semikaplan entre ambas.

La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque en ocasiones es más conveniente otro tipo de instalación con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o de bulbo.

Tubular. Se denominan turbinas tubulares o en «S». Su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, y tiene un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara, de entre 1 % o 2 %.

Bulbo. El generador está inmerso en la conducción, protegido por una carcasa impermeable.

El rendimiento es aproximadamente 1 % superior al de la turbina tubular. Tiene la ventaja de que la obra civil necesaria se reduce, pero los equipos son más complejos y esto dificulta su mantenimiento.

Rangos de utilización y rendimientos de las distintas turbinas

En función del salto (grande o pequeño) y del caudal (variable o constante, alto o bajo), es más conveniente usar un tipo u otro de turbina. Esto es lo que nos indica el rango de utilización.

Hay que tener en cuenta la curva de rendimiento de cada turbina, que varía según sea el caudal de funcionamiento (Fig. 1). En general, la turbina a utilizar sería:

- Kaplan. Saltos pequeños y caudales variables.
- Francis. Saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas.
- Pelton. Grandes saltos, independientemente de la variación de caudal.

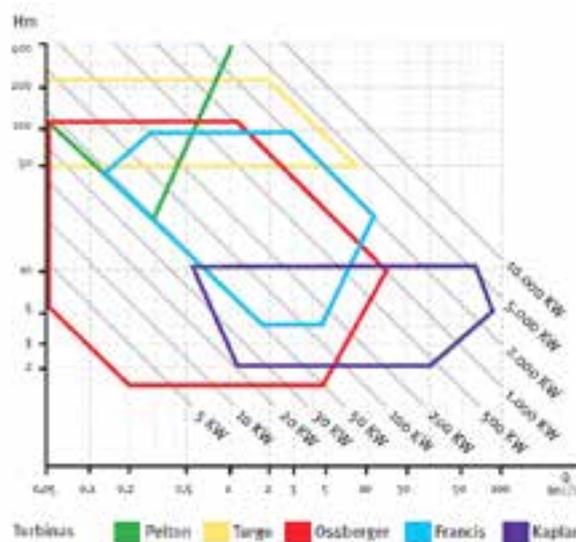


Fig. 1. Curva de rendimiento de cada turbina.

También varía el rendimiento en función del salto donde se vaya a instalar la PCH. Esta variación es menos acusada, pero conviene analizarla, ya que para obtener una

estimación correcta de la energía producida en un aprovechamiento hay que analizar el rendimiento de la turbina en cada régimen de funcionamiento.

Potencia nominal: es la máxima potencia producida por el generador en condiciones de diseño. Viene expresada por la fórmula siguiente:

$$P_n = 9,81 \cdot Q_n \cdot H_n \cdot R_t \cdot R_g$$

P_n = Potencia nominal en KW

Q_n = Caudal de equipamiento en m³/s

H_n = Salto neto de diseño en metros

R_t = Rendimiento de la turbina para H_n y Q_n de diseño

R_g = Rendimiento nominal del generador

Tipos de PCH

Las PCH están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la clasificación general siguiente:

Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado se devuelve al río.

Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

Centrales en canal de riego o de abastecimiento.

1. Central de agua fluyente

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río (Fig. 2).

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesario la construcción de todos o solo algunos de los elementos siguientes:

- Azud.
- Toma.
- Canal de derivación.
- Cámara de carga.
- Tubería forzada.
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico.
- Canal de descarga.
- Subestación y línea eléctrica.

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y este es muy variable.

Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río. En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para elevar el plano de

esta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central.

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto implica que en algunos casos, dependiendo de la orografía, la mejor solución sea optar por construir un túnel, acortando el recorrido horizontal.

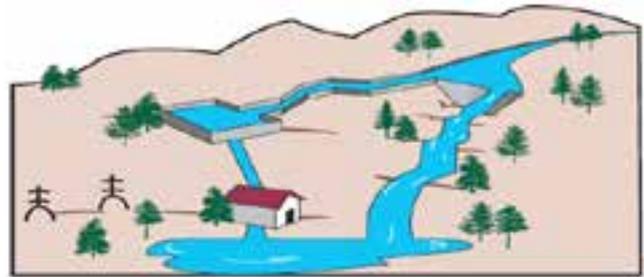


Fig. 2. Elementos claves de central de agua fluyente.

2. Central de pie de presa

Es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar sus aportaciones, además del agua procedente de las lluvias y del deshielo. La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida del agua, que será turbinada en los momentos en que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo (Fig. 3).

La toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena el agua no útil para turbinar

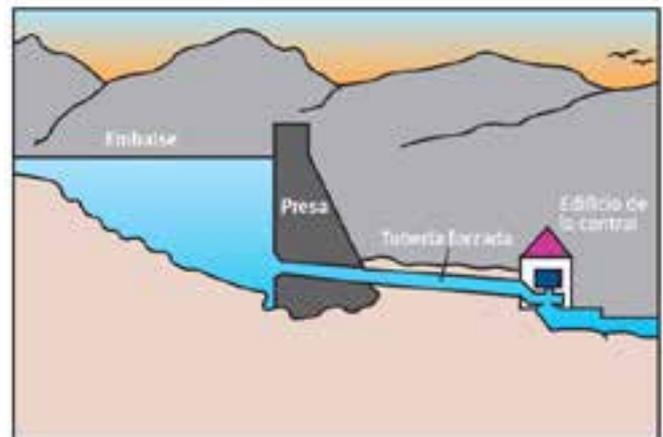


Fig. 3. Central de pie de presa.

Según la capacidad de agua que tenga la zona útil, la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las PCH

el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, y llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

También se incluyen en este grupo aquellas centrales situadas en embalses destinados a otros usos, como riego o abastecimiento de agua en poblaciones. Dependiendo de los fines para los que fue creada la presa, se turbinan los caudales excedentes, los caudales desembalsados para riego o abastecimiento, e incluso los caudales ecológicos.

3. Central hidroeléctrica en canal de riego (Fig. 4)

Se distinguen dos tipos de centrales dentro de este grupo:

- Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.
- Aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano.

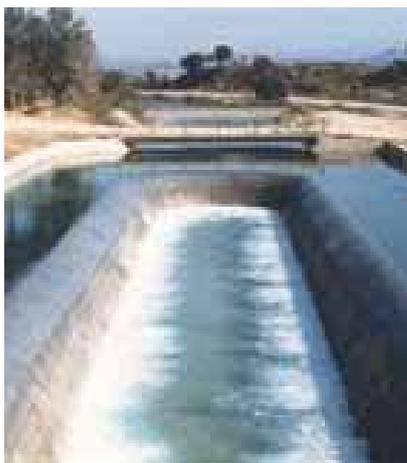


Fig. 4. Central hidroeléctrica en canal de riego.

La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

Las obras a realizar en estos tipos de centrales son las siguientes:

- Toma en el canal, con un aliviadero que habitualmente es en forma de pico de pato para aumentar así la longitud del aliviadero.
- Tubería forzada.
- Edificio de la central con el equipamiento electro-mecánico.
- Obra de incorporación al canal o al río, dependiendo del tipo de aprovechamiento.
- Subestación y línea eléctrica.

Conclusiones

El adecuado aprovechamiento de los recursos naturales es fundamental para la vida del Planeta Tierra, y el agua es uno de los recursos más preciados tanto para cubrir necesidades humanas como para el riego de plantas y la producción de alimentos.

La instalación de tecnologías para producir energía mediante fuentes renovables garantiza el futuro energético del país, escoger las adecuadas, con alto nivel de eficiencia, dependerá de estudios científicos que muestren las fortalezas de cada una de ellas localizadas según las características de nuestro país.

El campo de la Hidroenergía es fundamental en el camino de las energías renovables. Siendo Cuba un país tropical con un amplio perfil agrícola, hace que las PCH sean una respuesta factible en la producción de electricidad.

Bibliografía

- AGENCIA CUBANA DE NOTICIAS (2018). «Aporta energía pequeña central hidroeléctrica de Ciego de Ávila». Disponible en: <http://agenciacubanadenoticias.cu>. Revisado: diciembre del 2019.
- CASTRO, ADRIANA (2006). *Manuales de Energías Renovables, Volumen 6. «Minicentrales Hidroeléctricas»*. Confeccionado por IDEA y APIA, Madrid.
- «Energía hidroeléctrica». En *National geographic, medioambiente*. 2010. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>. Revisado: 27 de noviembre del 2018.
- FONG BARRIOS, J. ET AL. (2018). «Design of a regulator of frequency for small central hydroelectric in isolated operation»; *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 2018, Ed. 13, v. 4, pps. 140-148, ISSN: 2447-0228. Revisado: febrero 2020. Disponible: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20180021> [Links].
- HIDROENERGÍA (2018). «Estado de las Instalaciones actualizado 30-12-2018». Reporte Interno. Empresa de Hidroenergía: Unión Eléctrica; 2018. Revisado: febrero 2020.
- NEKRASOV (1985). *Hidráulica*. Editorial Pueblo y Educación, 1985.
- PEÑA PUPO, LEONARDO Y ERNESTO YOEL FARIÑAS WONG (2020). «Mejoras en la eficiencia energética de las mini-hidroeléctricas aisladas mediante la regulación combinada flujo-carga lastre». En revista *Ingeniería Energética* versión On-line ISSN 1815-5901. *Energética* vol.41 no.1 La Habana ene.-abr. 2020. Disponible en: <https://webstore.iea.org/download/tableofcontents/1173> [Links].
- SOUZA ZD, MOREIRA SAH, DA COSTA BE (2018). *Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento*. 3ra ed. Rio de Janeiro 2018. Disponible en: <https://www.amazon.es/Centrais-Hidrel%C3%A9tricas-Implanta%C3%A7%C3%A3o-Comissio-namento-Zulcy/dp/8571933782> [Links]. Revisado: febrero 2020.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN CUBA

Por Est. **Roberto Ricardo Sánchez Concepción***, M. Sc. **Yamir de María Almaguer Madeley***, Lic. **Teódula Crespo Santos***, Lic. **Lina Batista Blanco*** y Lic. **María de los Ángeles Zayas***

* Instituto Preuniversitario Urbano de Holguín, Enrique José Varona de la Pera.

E-mails: rigo@uho.edu.cu, yasmiralmaguer@nauta.cu, elrobert1305@gmail.com

Resumen

Esta investigación integra el conocimiento de los fenómenos geográficos, químicos, biológicos y físicos, que intervienen en el impacto negativo del hombre sobre el medioambiente, el cambio climático y la vida durante la producción de energía eléctrica, para dar solución al problema de ¿Cómo disminuir el impacto de la producción de energía eléctrica en el medio ambiente, que permita la protección y conservación de la naturaleza para el desarrollo sostenible? La investigación plantea como objetivo «Disminuir el impacto medioambiental con una propuesta de producción de energía renovable en Cuba», para lo cual se realiza una evaluación de los principios y fenómenos teóricos que permiten la generación eléctrica, el impacto ambiental que causa esta producción de energía y como novedad fundamenta la propuesta del uso de la energía eólica para la obtención de electricidad, con el manejo sostenible de los recursos naturales y el empleo de fuentes renovables de energías en Cuba.

Palabras clave: Impacto medioambiental, cambio climático, energía eólica.

PROPOSAL FOR THE PRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY IN CUBA

Abstract

This research integrates the knowledge of geographical, chemical, biological and physical phenomena, which intervene in the negative impact of man on the environment, climate change and life during the production of electrical energy, to solve the problem of How to reduce the impact of the production of electrical energy on the environment, which allows the protection and conservation of nature for sustainable development? The objective of the research is to “Reduce the environmental impact with a proposal for the production of renewable energy in Cuba”, For which an evaluation of the principles and theoretical phenomena that allow electricity generation, the environmental impact caused by this energy production is carried out and as a novelty it bases the proposal of the use of wind energy to obtain electricity, with sustainable management of natural resources and the use of renewable energy sources in Cuba.

Keywords: Environmental impact, climate change, wind energy.

Introducción

El hombre se ha convertido en el principal –y en rigor el único– depredador del planeta, al punto de amenazar su propia existencia. No es posible valorar el impacto negativo del hombre sobre el medio ambiente y la vida, sin el conocimiento integrado de la geografía, la química, la biología, y la física, debido a que todos los factores naturales están estrechamente relacionados entre sí.

Con la geografía se conoce la ubicación de las regiones significativas del planeta, la dinámica del mapa político del mundo y su mosaico de contrastes y la explicación de cómo el despilfarro, el consumismo engendrado por la sociedad capitalista, la industrialización y la modernización de la sociedad, ha generado un uso indiscriminado de los recursos naturales, provocando los fenómenos que influyen en el deterioro del medioambiente y los efectos del cambio climático.

El conocimiento de los principios científico-técnicos de la química sobre el equilibrio iónico, las reacciones de oxidación-reducción, los metales, y de la física sobre la electricidad, el magnetismo, la inducción y las oscilaciones electromagnéticas, permiten ser utilizados en la generación eléctrica y la explotación de las fuentes de energía por el hombre. Por su parte, la biología muestra los efectos del cambio climático en el deterioro del hábitat y su impacto negativo en la regulación, las funciones vegetativas y la reproducción de los seres vivos.

Esta integración multidisciplinaria también permite el manejo sostenible de los recursos naturales y el empleo de fuentes renovables de energías.

Teniendo en cuenta las particularidades antes citadas, se identifica como problema de la investigación ¿Cómo disminuir el impacto de la producción de energía eléctrica en el medio ambiente, que permita la protección y conservación de la naturaleza para el desarrollo sostenible? Así, la investigación tiene como objetivo «Disminuir el impacto medioambiental con una propuesta de producción de energía renovable en Cuba» y se definieron como tareas de investigación las siguientes:

1. Evaluación de los principios teóricos para la generación eléctrica,
2. Evaluación del impacto ambiental de la producción de energía,
3. Propuesta para la producción de energía renovable en Cuba.

Desarrollo

1. Evaluación de los principios teóricos para la generación eléctrica

Los descubrimientos realizados en el siglo XIX sobre el equilibrio iónico, los electrolitos, la celda electroquímica y la inducción electromagnética, constituyeron los principios teóricos para la producción de corriente eléctrica.

El equilibrio iónico es un tipo especial de equilibrio químico, caracterizado por la presencia de sustancias que en disolución acuosa producen iones y permiten la conducción de la corriente eléctrica, denominados electrolitos y se pueden clasificar en:

Electrolito fuerte: son aquellos donde su concentración predomina y cuando se disuelven en el agua se ionizan totalmente. Por ejemplo, NaCl, HCl, NaOH, KOH, $MgSO_4$.

Electrolito débil: son aquellos donde los dos componentes no se disocian por completo, es decir, se ionizan en baja proporción en solución diluida (NH_3 , CH_3COOH).

Conductividad eléctrica: Consiste en la atracción electrostática entre átomos con cargas eléctricas de signo contrario. La existencia de iones en medio del proceso, hace posible que los mismos tengan libertad para moverse y ser atraídos por el electrodo, cerrando así el circuito eléctrico [Mesa García F. M. *et al.*, 2004].

El físico y filósofo alemán Johann Wilhelm Ritter, construyó en 1802 la primera celda electroquímica, con 50 discos de cobre separados por discos de cartón humedecidos por una solución salina.

Una celda electro-química es un dispositivo capaz de obtener energía eléctrica a partir de reacciones químicas. Un ejemplo común de celda electroquímica es la batería eléctrica, que consta de varias celdas conectadas en serie o paralelo.

Los científicos Luigi Galvani y Alessandro Volta fabrican a finales del siglo XVIII, la celda galvánica o celda voltaica, que transforma una reacción química espontánea en una corriente eléctrica, como las pilas y baterías. Consta de dos semiceldas conectadas eléctricamente mediante un conductor metálico o un puente salino. Cada semicelda consta de un electrodo y un electrolito.

La batería de plomo-ácido es una celda electroquímica notable, ya que está compuesta por dos electrodos de PbO_2 y $PbSO_4$ en polvo y un armazón de Pb en un recipiente sellado, que contiene ácido sulfúrico concentrado como electrolito. Su bajo costo de fabricación y sus niveles de corriente justifican su utilización en la industria automovilística [Mesa García F. M. *et al.*, 2004].

En 1824 Michael Faraday descubre la inducción electromagnética, esta consiste en que la corriente eléctrica surge en un conductor en reposo dentro de un campo magnético variable con el tiempo, o en un conductor que se mueva dentro de un campo magnético estacionario (que no varía en el tiempo). De tal modo que siempre varíe el número de líneas de inducción magnética que atraviesa el circuito. Cuanto más rápidamente varíe, tanto mayor será la corriente inducida que surja, cualquiera que sea la causa que motive esta variación [Núñez Viera J. *et al.*, 2000].

La ley de inducción electromagnética y las leyes de la electrodinámica hicieron posible la creación de las potentes centrales electronucleares, termoeléctricas, hidroeléctricas, el uso desmedido de los combustibles fósiles y la conversión de los alimentos en biocombustibles, teniendo como desventaja la generación de flujos de sustancias tóxicas que se convierten, directa o indirectamente, en un daño potencial adicional para los ecosistemas terrestres.

2. Evaluación del Impacto ambiental de la producción de energía

Las centrales eléctricas provocan el deterioro del medioambiente y los efectos del cambio climático, con la emisión a la atmósfera de gases contaminantes que producen el efecto invernadero, disminuyen la capa de ozono, aumentan el calentamiento global, aparecen catástrofes y fenómenos naturales extremos cada vez más frecuentes, violentos e intensos, lluvias ácidas, sequías, desastres fitosanitarios, envenenamiento tóxico, destrucción del hábitat natural, escurrimiento y erosión del suelo, alteración del ciclo hídrico, cambios ecológicos, hambre, todo esto incrementa los riesgos de mortalidad, y extinción de especies [Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000].

El balance energético entre la energía recibida del sol y la irradiada de vuelta al espacio, debido a que el vapor de agua, el CO_2 , el metano, los CFC (clorofluorocarbonos) y los óxidos de nitrógeno, absorben la radiación emitida por la tierra., son llamados «gases de efecto invernadero». Los GEI son liberados a la atmósfera por procesos naturales, pero las actividades humanas están influyendo mucho en la velocidad y cantidad de esa liberación (Fig. 1).



Fig. 1. El balance energético entre la energía recibida del sol y la irradiada de vuelta al espacio.

Las centrales nucleares utilizan la energía nuclear para impulsar los generadores que producen electricidad, pero con el peligro de accidentes con emisiones térmicas y radiactivas, como los ocurridos en Chernóbil, Ucrania, y Fukushima en Japón, que causaron daños biológicos en la población humana, vegetal y animal.

La producción de biocombustibles a partir de maíz, trigo, girasol y soya ha aumentado los precios de los alimentos, el hambre y la desnutrición. Según datos de la FAO, se requieren 320 millones de toneladas de maíz para producir 35 000 millones de galones de etanol.

Esta cuestión se viene abordando en diversos encuentros a escala mundial: Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992), El Protocolo de Kioto (1997), la Declaración de Santo Domingo (1999), la Conferencia de Budapest (1999), Conferencia de Copenhague (2009), entre otros.

Las especies necesitan condiciones ambientales favorables para realizar sus funciones de nutrición, transporte de sustancias, respiración, excreción y reproducción, las cuales se coordinan por la función de regulación. Mediante estas los organismos utilizan la información recibida desde el exterior, y responden, en consecuencia, posibilitando la adaptación a las nuevas condiciones del medioambiente, afectado por el cambio climático [Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000; Malacalza L., 2003].

Con los desastres fitosanitarios se produce la introducción de materiales contaminantes del suelo, los alimentos y las aguas; intoxicaciones humanas y animales; pérdida de los enemigos naturales de las plagas; aumento de la resistencia de las plagas, cambios en la ecología de la rizosfera, que actúan de manera negativa en la función de regulación.

Los mecanismos reguladores les permiten a las plantas resistir las fluctuaciones que se producen, a causa de los estímulos que detectan. De esta forma mantienen el equilibrio dinámico interno. Entre los factores del medioambiente que actúan y pueden modificar el crecimiento y desarrollo de las plantas se encuentran la luz, la temperatura, la humedad, la presencia de iones minerales, el CO₂ y reguladores del crecimiento como: las vitaminas y las fitohormonas u hormonas vegetales.

Los desastres fitosanitarios afectan el balance fitohormonal, por ser la interrelación entre las diferentes concentraciones de hormonas, que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por ejemplo, al aumentar la concentración de Auxina y ácido abscísico trae como consecuencias la aceleración notable de los procesos degra-

dativos del metabolismo y provoca la caída de las hojas, flores, frutos y semillas sin germinar [Malacalza L., 2003].

Estos desastres afectan las respuestas adaptativas de la regulación nerviosa de los organismos, que reaccionan ante los estímulos debido a la irritabilidad, que constituye la base de los tejidos excitables del sistema nervioso, como uno de los sistemas de regulación y está especializado en detectar, conducir, transmitir, procesar y almacenar información, transformándola finalmente en respuestas adaptativas, formado además por el sistema neurovegetativo.

La regulación endocrina y neuroendocrina mantienen la estabilidad estructural y funcional del organismo, como el metabolismo, el crecimiento y la reproducción, para lo cual es fundamental el estado metabólico funcional de las células, que es afectada también por los desastres fitosanitarios, al atentar contra la existencia de las enzimas y la energía necesaria, así como las concentraciones adecuadas de O₂ y de los demás nutrientes [Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000].

Estos desastres fitosanitarios alteran la nutrición de los seres vivos, al tomar del medioambiente nutrientes contaminados que son utilizados como materia prima en la síntesis de sustancias, afectando el mantenimiento y la construcción de moléculas y estructuras, y en la obtención de energía utilizable por el organismo. La carencia de nutrientes causa desnutrición, que es hoy uno de los principales problemas de la humanidad. Como consecuencia, se reduce el tiempo de vida, las enfermedades proliferan y las capacidades intelectuales se afectan.

La reproducción también se afecta (Fig. 2), porque para que en los ovarios se produzcan óvulos y hormonas, en los folículos se secreten estrógenos y progesteronas y contribuyan al desarrollo y la función de los órganos sexuales. Se necesita del descanso, la alimentación adecuada y la atención médica para lograr un embarazo a término, así como un parto fisiológico normal. Cuando estas condiciones no existen, se produce el bajo peso del recién nacido, el embarazo precoz, retraso mental, un deficiente desarrollo y malformaciones congénitas, aumento de la mortalidad infantil y de la madre [EcuRed 2019; Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000; Malacalza L., 2003].



Fig. 2 . Daños biológicos.

Envenenamiento tóxico: Las sustancias tóxicas pueden acidificar los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los contaminantes de aire desencadenan enfermedades respira-

torias como el asma y generan dificultades para respirar e irritación de las vías respiratorias. Actúa negativamente en los mecanismos de ventilación o respiración, que están presentes en los seres vivos y les permite el movimiento del medio externo, ya sea aire o agua, sobre la superficie del organismo donde se produce el intercambio de gases.

La extracción, transportación, almacenamiento y explotación del petróleo propicia los derrames de hidrocarburos, provocando la contaminación de la corteza terrestre y de las aguas de los mares, océano, así como el envenenamiento tóxico del lecho marino y el impacto de incendios en las zonas boscosas, afectando la fecundación de los organismos y el desarrollo del huevo o cigoto que solo ocurren en condiciones ambientales adecuadas.

Afecta también la excreción, que es la separación y eliminación de las sustancias de desechos del metabolismo y de las sustancias que se encuentran en exceso en el organismo, lo que contribuye a mantener la estabilidad del medio interno.

Destrucción del hábitat natural: A la fauna silvestre le origina mortalidad (Fig. 3), modificación de su hábitat natural, escasez de alimentos, pérdida de sus refugios y migración de las especies, cambio de las condiciones de las estaciones anuales trastornando y perjudicando las cosechas y la reproducción, porque en muchos animales hay una estación del año definida de apareamiento, en la que existe un aumento evidente del tamaño de los testículos, que se corresponde con la espermatogénesis en los machos; en la mayoría de las hembras de los mamíferos la receptividad para el apareamiento solo es eficaz en cortos periodos de celo a lo largo del año, y se caracteriza por un aumento del impulso sexual y por cambios en los ovarios, el útero y la vagina.



Fig. 3. Mortalidad de la fauna silvestre.

Al destruirse la flora y la fauna se eliminan las condiciones necesarias para la polinización, ya que los insectos transportan el grano de polen desde las anteras hasta el estigma de la flor. Los pétalos y otras estructuras florales contribuyen a la polinización, debido a que su color, tamaño y olor atraen a los insectos y otros animales polinizadores.

Escurrimiento y erosión del suelo: El arrastre de minerales, alteración de las arcillas y pérdida de nutrientes causan trastornos de diversa complejidad. Por ejemplo,

las plantas necesitan para su desarrollo óptimo, además de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2), el hierro (Fe), el zinc (Zn) y el magnesio (Mg) y otros minerales en forma de sales disueltas en el agua. El nitrógeno (N), el potasio (K) y el fósforo (P) son vitales en el crecimiento, la formación de las raíces, la germinación de las semillas, las reacciones metabólicas y otras funciones.

Los síntomas de la desnutrición de las plantas se presentan en la forma, el color, la consistencia de las hojas, el tallo y el crecimiento pobre de las raíces, entre otros efectos. Por ejemplo, cuando falta el magnesio (Mg), no se sintetiza la clorofila y se presenta un color blanquecino conocido por hojas cloróticas y crecen delgadas. Cuando el agua no es suficiente se retarda el crecimiento y puede aparecer una coloración azulada en las hojas [Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000; Malacalza L., 2003; CEPECH S.A, 2018].

Alteración del ciclo hídrico: El arrastre de partículas en suspensión o materia orgánica, producto del escurrimiento del agua en suelos contaminados, afecta la calidad del agua de ríos y embalses, y las plantas, al obtener estas sustancias minerales disueltas en el agua del suelo, son afectadas porque al llegar los elementos contaminados a las diferentes células, alteran el metabolismo celular, por constituir las materias primas del proceso de síntesis de moléculas, que son utilizadas en el mantenimiento, construcción de estructuras y activación enzimática.

Cambios ecológicos: Las inundaciones, sequías y huracanes producen cambios ecológicos que aumentan el riesgo de enfermedades de transmisión vectorial e hídrica en la población vegetal, animal y humana; por ejemplo, en las plantas el transporte de sustancias en el organismo es el movimiento de sustancias nutritivas, sustancias de desechos, gases, hormonas por todas las partes del organismo, de acuerdo con sus requerimientos metabólicos, y al existir contaminación es transmitida a todo el organismo alterando su metabolismo.

La contaminación del carbono (C) procedente del dióxido de carbono (CO_2) contenido en la atmósfera, del hidrógeno (H_2), que se obtiene del agua (H_2O) absorbida y del oxígeno (O_2) atmosférico, actúa de manera deplorable, por ser los tres elementos químicos fundamentales que conforman las diferentes moléculas presentes en las células de las plantas.

3. Propuesta para la producción de energía renovable en Cuba

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. El término «eólico» proviene del latín *aeolicus*, es decir «perteneciente o relativo a Eolo», dios de los vientos en la mitología griega.

Esta investigación propone la energía eólica como una perspectiva novedosa de la electrificación en Cuba, por ser una fuente de energía renovable, sin emisiones contaminantes, autóctona, inagotable, reduce el uso de combustibles fósiles, los biocombustibles y las importaciones energéticas, contribuye al desarrollo sostenible, es com-

petitiva, genera riqueza y empleo local, está disponible en la totalidad del planeta, es la tecnología más eficiente para producir energía de forma segura y sostenible para América Latina y el Caribe, Cuba y Holguín .

Los aerogeneradores se emplean para transformar la energía cinética del viento (energía eólica) en energía eléctrica (Fig. 4). Los tres componentes principales para la conversión de la energía del viento son: el rotor o sistema de captación de viento, la caja multiplicadora y el generador eléctrico [Portela Falguerras R. J. *et al.*, 2000; Malacalza L., 2003; CEPECH S.A, 2018; Portal Cuba Educa, 2020].

En la parte delantera de la góndola se encuentra el rotor del aerogenerador. El viento hace girar sus palas en el sentido de las agujas del reloj, con velocidades de viento entre 3,5 m/s y 11 m/s, de esta manera es convertida la energía cinética del viento en energía mecánica.

La caja multiplicadora está formada por un sistema de engranajes que transforman la energía mecánica de baja velocidad de 13 revoluciones por minutos, en alta velocidad de 1500 revoluciones por minuto que llega a través del eje rápido al generador [Torres Sainz R., 2019].

El generador consta de rotor y estator con un funcionamiento basado en la inducción electromagnética, transforma la energía cinética de rotación procedente de la caja multiplicadora en energía eléctrica.

Al girar la espira alrededor de un eje horizontal el área efectiva «A» es la proyección de la espira sobre un plano horizontal. Cuando la espira gira separándose del plano horizontal, el flujo a través de ella disminuye y se induce una corriente. En el momento en que la espira ha girado un ángulo de 90° el flujo desciende a 0. Al continuar la rotación, el flujo vuelve a aumentar. Cuando la espira haya girado 180°, su plano es nuevamente horizontal, el flujo que la atraviesa es nuevamente máximo y la variación del flujo por unidad de tiempo es cero, en ese instante. Continuando la rotación, disminuye el flujo y se origina ahora una corriente inducida en sentido contrario. El generador produce energía de baja tensión, entre 480 V y 690 V [Torres Sainz R., 2019; Zamora Neyra R. E., 2019].

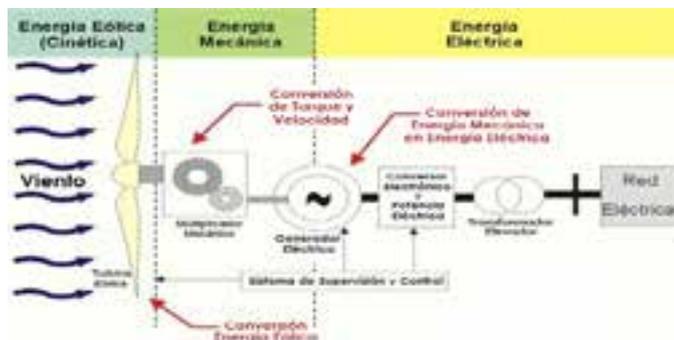


Fig. 4. Principio de funcionamiento de un aerogenerador.

Para intensificar el nivel de voltaje en el sitio de la generación de energía, antes de la distribución por el Sistema Energético Nacional se usa un transformador; este es una máquina eléctrica basada en el fenómeno de inducción electromagnética, constituido por un devanado primario (P), y otro secundario (S) enrollados en un núcleo magnético.

Cuando por el devanado primario pasa una corriente que varía con el tiempo, en el núcleo aparece un flujo magnético también variable en el tiempo, que provoca una fem inducida en cada enrollado. La función del núcleo de hierro en los transformadores es concentrar el campo magnético, de tal modo que el flujo de inducción magnética prácticamente solo exista dentro de dicho núcleo y sea igual en todas sus secciones. Por consiguiente, la variación del flujo de inducción magnética en cualquier espira del enrollado primario, o del secundario, es la misma.

La relación entre la fem en el primario y en el secundario, es igual a la relación entre los números de vueltas de los devanados respectivos.

El aumento de la intensidad de la corriente en el circuito del devanado primario, ocurre en correspondencia con la ley de conservación de la energía. El consumo de la energía eléctrica en el devanado secundario del transformador debe estar acompañado, como requisito, de una energía similar en el primario, la cual toma el transformador de la red del aerogenerador.

Todas las funciones críticas del aerogenerador del parque eólico de Gibara, están monitorizadas y se supervisan desde la subestación y el centro de control, para detectar y resolver cualquier incidencia.

Conclusiones

Esta investigación concluye que:

Existen cada vez mayores cantidades de especies en amenaza de extinción, entre ellas la humana. Se requiere tomar medidas urgentes y eficaces para detener el deterioro del medioambiente, para ello habrá que modificar la producción de energía y patrones de vida que son insostenibles.

La propuesta del uso de la energía eólica es viable para Cuba, porque disminuye el impacto negativo de la producción de energía eléctrica en el medioambiente, permite la protección y conservación de la naturaleza para el desarrollo sostenible, con lo cual se le da solución y cumplimiento al problema y el objetivo planteados por esta investigación.

La propuesta responde al «Decreto Presidencial No. 3», que dispuso la creación de una Comisión Gubernamental donde se diseña la política para el desarrollo prospectivo de las energías renovables y la eficiencia energética en el período comprendido del 2014 hasta el 2030 en Cuba.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación realizada es posible recomendar:

1. Investigar la influencia de la contaminación acústica, provocada por los aerogeneradores en el cambio de las rutas de las aves migratorias, que permita la ubicación acertada de los parques eólicos en Cuba.
2. Formar las nuevas generaciones con mesura hacia la protección y conservación de la naturaleza, para el desarrollo sostenible, siendo la escuela la institución social responsable de la formación de

las nuevas generaciones de cubanos y mediadora de un sistema de influencias sociales, que implica también a la familia y la comunidad, y está llamada a desempeñar el papel que le corresponde en la formación de motivaciones, valores, conocimientos y actitudes asociadas a la producción y uso racional de la energía.

Referencias bibliográficas

- CEPECH S.A (2018). *Biología Ciencias plan común. El Preuniversitario en Chile*. Editorial Cpech. N° de Inscripción 284.118 del 26 de octubre de 2017.
- GARCÍA MARRERO, L. E. (2019). «Herramienta de apoyo a la toma de decisiones bajo criterios múltiples en la planificación de parques solares-eólicos». Tesis presentada en opción al título de master en ciencias en diseño y fabricación asistidos por computadora. CE CAD CAM. FACING. Universidad de Holguín.
- MALACALZA, LEONARDO (2013). *Ecología y ambiente*. Versión electrónica de la Segunda Edición impresa, revisada y ampliada. Publicación del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable de la Universidad Nacional de Luján y de la Asociación Civil Instituto de Ecología de Luján, Luján, Provincia de Buenos Aires. ISBN 978-987-29821-0-2.
- MESA GARCÍA, F. M. Y COAUTORES (2004). *Química. Onceno Grado*. Editorial Pueblo y Educación. Quinta reimpresión. ISBN 959 – 13 – 0716 – 0.
- NÚÑEZ VIERA J. Y COAUTORES (2000). *Física. Onceno Grado. Parte 2*. Editorial Pueblo y Educación. Tercera reimpresión. ISBN 959 – 13 – 0715 - 2.
- PÉREZ CAPOTE M. Y COAUTORES (2012). *Geografía. Onceno Grado*. Editorial Pueblo y Educación. Quinta reimpresión. ISBN 978 - 959 - 13 - 2315 - 6.
- PORTELA FALGUERRAS, R. J. Y COAUTORES (2007). *Biología 4. Onceno Grado. Parte 2*. Editorial Pueblo y Educación. Tercera reimpresión. ISBN 959 – 13 – 0994.
- TORRES SAINZ, R. (2019). «Evaluación de las causas de fallas y sus soluciones, en la caja multiplicadora del aerogenerador Goldwind S50/750». Trabajo de diploma. Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín.
- ZAMORA NEYRA, R. E. (2019). «Modelación del comportamiento térmico del aerogenerador Goldwind S50/750». Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Mecánico. CE CAD CAM. FACING. Universidad de Holguín.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.