



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

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

63

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bérriez Pérez

EDITOR JEFE

M.Sc. Mario Alberto Arrastía Ávila

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bérriez 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

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vigil Santos
Dr. Conrado Moreno Figueredo
Dr. José Guardado Chacón
Dr. Deny Oliva Merecio
Dra. Dania González Couret
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Lic. Ricardo Bérriez Valle
M. Sc. Mario A. Arrastía Ávila

FOTO DE PORTADA

M. Sc. Mario A. Arrastía Ávila

Eco Solar, no. 63 / 2018

Revista Científica de las
fuentes renovables de energía
Enero-Marzo, 2018
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47
Playa, La Habana, Cuba
TEL.: (53) 72040010; 72062061
E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu
HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

Fabricación de briquetas de biomasa con diferentes mezclas y aglutinantes.....	3
M. Sc. Regino R Álvarez Cancio-Bello y M. Sc. Odalys Bello González	
Evaluación del recurso eólico con énfasis en las zonas montañosas.....	7
Dr. C. Ing. Conrado Moreno Figueredo, Ing. José Augusto Medrano Hernández e Ing. Armando Torres Durán	
Producción más limpia a partir de la mejora del desempeño energético de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras, acorde a la NC-ISO 50001: 2011.....	15
Ing. René Horta Serrano, Dr.C. Ing. Osvaldo García Morales, Ing. Yunior Guzmán Quintana e Ing. Raimel Rodríguez Ávila	
Climatización solar.....	23
Dr. C. M. Sc. Ing. José Luis Sánchez Ávila, Ing. Ángel Manuel Veliz Alonso y M. Sc. Ing. Marlene Oramas Ortega	
Caracterización del impacto en materia de salud del proyecto Biomás-Cuba en Las Tunas.....	32
Dr. Jorge Luis Rivero Pavón, Leydis Mariam Batista García y M. Sc. Ing. Jorge Luis Rivero Moreno	
Herramienta de ordenamiento habitacional para el control energético hotelero.....	42
M. Sc. Arnaldo Molina González, M. Sc. Celia Luvia Sánchez Borroto y M. Sc. Aleksandr González Dugarev	

editorial
cubasolar

Fabricación de briquetas de biomasa con diferentes mezclas y aglutinantes

Por **M. Sc. Regino R Álvarez Cancio-Bello*** y **M. Sc. Odalys Bello González****

*Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería.
Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba.
ralvarez@ucf.edu.cu

**Departamento de Educación Laboral, Facultad de Ciencias Pedagógicas.
Universidad Máximo Gómez. Ciego de Ávila. Cuba.
odalysbg@sma.unica.cu

Resumen

En este trabajo se exponen los resultados de una investigación referente al uso del carbón de paja de caña como fuente alternativa de energía en aplicaciones sociales. Se analiza su mezcla con diferentes tipos de aglutinantes y la compactación de las mezclas en forma de briquetas para su uso como combustible. En la investigación se utilizó el método de diseño experimental, partiendo de las propiedades a evaluar en las briquetas, y se realizaron las mediciones y cálculos correspondientes. Como resultado fundamental se lograron evaluar varios tipos de aglutinantes y distintas mezclas, y se determinó tanto la presión de compactación como el diámetro apropiado de las briquetas, evaluándose también su composición más adecuada, sus principales propiedades y el sistema de combustión adecuado.

Palabras clave: Aglutinantes, biomasa, briquetas, combustión, mezclas.

Manufacturing of biomass briquettes through different mixtures and binders

Abstract

In the current paper the results of an investigation referred to the use of sugarcane straws as an alternative source of energy in social applications, its mixing with different types of binders, the compaction of briquette mixtures for use as fuel are exposed; the experimental design method was used starting from the properties to be evaluated in the briquettes, and the necessary measurements and calculations. As fundamental results, it was possible to evaluate several types of binders, different mixtures, the compaction pressure and the appropriate diameter of the briquettes were determined, also evaluating the most suitable composition of the briquettes, their main properties and the adequate combustion system.

Key words: Binders, biomass, briquettes, combustion, mixtures.

Introducción

El descenso significativo en la importación de combustibles para la cocción de alimentos ha provocado la explotación indiscriminada del fondo verde por la población y las entidades mediante el incremento del consumo de energía

eléctrica (con la consecuente afectación al medioambiente y, en cierta medida con el empleo de portadores energéticos destinados a otros usos). Esto ha creado un problema medioambiental ya que el fondo verde del país está siendo sobre-explotado en un grado considerable, lo que ha

producido un incremento sensible del consumo de leña, agudizándose aún más la deforestación [Comisión Nacional de Energía, 1993].

La paja de caña transformada en carbón de paja de caña posee un alto valor calórico. El problema consiste en determinar los parámetros óptimos para la elaboración de briquetas de carbón de paja de caña con diferentes sistemas aglutinantes y mezclas, no existiendo una tecnología adecuada para la producción y utilización de estas briquetas como combustible en diferentes aplicaciones, como son hornillas domésticas, calentadores avícolas, hornos de pequeñas industrias, gasógenos, fraguas, etc.

Desarrollo

Materiales y métodos

Los recursos materiales utilizados son un prototipo de mezcladora, prensa hidráulica manual, dispositivo manual de compactación, balanza de barra triple, dinamómetro, hornilla eficiente, horno eléctrico, termómetro y prensa hidráulica eléctrica. Una parte de estos recursos se encuentran en la Universidad de Cienfuegos, y los restantes en talleres y laboratorios de otras entidades.

Los métodos empleados son la investigación experimental mediante el diseño de experimentos, métodos de procesamiento estadístico, técnicas de computación y métodos de análisis económico [Romero, 1986; Marín, 1995].

1. Propiedades a evaluar:

- Valor calórico.
- Contenido de cenizas.
- Desmoronabilidad húmeda.
- Desmoronabilidad seca.
- Resistencia a la compresión seca.
- Densidad de la briketa seca.

2. Factores influyentes en las propiedades de las briquetas.

Se definieron los factores que influyen en las propiedades de las briquetas, como son:

- a. Tipo de aglutinante.
- b. Composición de la mezcla.
- c. Presión de compactación.
- d. Diámetro de la briketa.

3. Tipos de aglutinantes.

Se decidió utilizar los aglutinantes siguientes:

- Miel final.
- Cachaza.
- Arcilla.

Composición de la mezcla

Se decidió hacer determinadas composiciones de mezclas para cada aglutinante, considerando estudios precedentes que han utilizado nuestros aglutinantes, teniendo en cuenta las composiciones empleadas, los resultados obtenidos en la evaluación de sus propiedades y los factores influyentes de las briquetas experimentales, así como el uso racional de los aglutinantes, buscando lograr una composición adecuada de la mezcla de carbón de paja de caña y el sistema

aglutinante [Betancourt, 1992; Donald, 1993; Menéndez, 1994]. Las composiciones de mezclas para cada aglutinante fueron las siguientes (Tablas 1, 2 y 3):

Tabla 1. Miel final

Composición No.	Carbón (%)	Aglutinante (%)	Agua (%)
1	70	10	20
2	65	15	20
3	60	20	20

Tabla 2. Cachaza

Composición No.	Carbón (%)	Aglutinante (%)	Agua (%)
1	70	20	10
2	65	15	20
3	60	10	30

Tabla 3. Arcilla

Composición No.	Carbón (%)	Aglutinante (%)	Agua (%)
1	70	20	10
2	65	15	20
3	60	10	30

Presión de compactación

Se seleccionaron las presiones de compactación siguientes:

$$P_1 = 14 \text{ MPa}$$

$$P_2 = 17 \text{ MPa}$$

$$P_3 = 20 \text{ MPa}$$

Diámetro de la briketa

Se seleccionaron los siguientes tres valores de diámetros de briquetas:

$$D_1 = 27 \text{ mm}$$

$$D_2 = 36 \text{ mm}$$

$$D_3 = 45 \text{ mm}$$

Resultados

En nuestra investigación se realizaron diferentes ensayos en los que se evaluaron las seis propiedades a evaluar planteadas a las briquetas de cada uno de los experimentos diseñados, teniendo en cuenta los factores influyentes. A continuación se expone un análisis de algunos de los resultados más importantes.

Resistencia a la compresión seca

Atendiendo a los resultados logrados en los experimentos de resistencia a la compresión realizados a las diferentes briquetas, ofrecemos los resultados principales (Tablas 4, 5, y 6).

Tabla 4. Resultados de aglutinantes y composiciones

Aglut./comp.	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Medio (MPa)
1/1	0,0150	0,0349	0,0249
1/2	0,0176	0,0349	0,0262
1/3	0,0172	0,0419	0,0295
2/1	0,0176	0,0419	0,0297
2/2	0,0188	0,0384	0,0286
2/3	0,0188	0,0373	0,0280
3/1	0,0150	0,0384	0,0267
3/2	0,0163	0,0314	0,0238
3/3	0,0150	0,0279	0,0214

Tabla 5. Resultados de las presiones

Presión (MPa)	Mínima	Máxima	Media
14	0,0150	0,0419	0,0284
17	0,0163	0,0394	0,0278
20	0,0150	0,0384	0,0267

Tabla 6. Resultados de los diámetros

Diámetro (mm)	Mínimo	Máximo	Medio
27	0,0209	0,0419	0,0314
36	0,0176	0,0373	0,0274
45	0,0150	0,0226	0,0188

Como se puede observar, los mejores resultados en los ensayos de resistencia a la compresión seca, se alcanzaron con el aglutinante cachaza en su primera composición (2/1), con un valor medio de 0,0297 MPa, en la presión de 14 MPa, con un valor medio de 0,0284 MPa y en el diámetro de 27 mm con un valor medio de 0,0314 MPa. Debemos señalar que la diferencia entre los valores medios obtenidos en las distintas variables es mínima, por lo que podemos plantear que en esta prueba los resultados más importantes se lograron con la cachaza como aglutinante en su primera composición, con el valor mínimo de presión de compactación (14 MPa), y con el valor mínimo de diámetro (27 mm) de las briquetas.

Densidad de la briketa seca

Considerando los resultados obtenidos en la determinación de la densidad de la briketa seca efectuadas a las distintas muestras, presentamos a continuación los resultados fundamentales (ver Tabla 7, 8 y 9, según Tablas 4, 5 y 6).

Tabla 7. Resultados de la densidad por aglutinantes

Aglut/Comp.	Mínima (kg/m³)	Máxima (kg/m³)	Media (kg /m³)
1/1	194	391	205
1/2	327	504	416
1/3	218	427	322
2/1	305	504	405
2/2	181	427	304
2/3	196	388	292
3/1	27	335	181
3/2	139	271	205
3/3	126	556	341

Tabla 8. Resultados de la densidad por presiones

Presión (MPa)	Mínima (kg/m³)	Máxima (kg/m³)	Media (kg/m³)
14	77	504	291
17	116	556	336
20	27	504	266

Tabla 9. Resultados de la densidad por diámetros

Diámetro (mm)	Mínimo (kg/m³)	Máximo (kg/m³)	Medio (kg/m³)
27	116	504	310
36	65	556	311
45	27	391	335

Como se puede apreciar, los mejores resultados en la evaluación de la densidad de la briketa seca se obtuvieron en el aglutinante miel final en su segunda composición (1/2), con un valor medio de 416 kg/m³, en la presión de 17 MPa con un valor medio de 336 kg/m³, y en el diámetro de 45 mm con un valor medio de 335kg/m³. Por esto podemos expresar que en esta propiedad los resultados fundamentales se lograron utilizando como aglutinante la miel final en su segunda composición, con el valor medio de presión de prensado (17 MPa) y con el valor máximo de diámetro (45 mm) de las briquetas evaluadas.

Contenido de ceniza

La prueba del contenido de ceniza se realizó tomando muestras de cada composición de las briquetas elaboradas con los distintos tipos de aglutinantes, en cuya prueba no influyen los factores como la presión de compactación y el diámetro. A continuación se muestran los resultados más significativos (Tabla 10, según Tablas 4, 5 y 6).

Tabla 10. Resultados del contenido de ceniza

Aglut./Comp.	% Medio
1/1	9,0
1/1	18,7
1/3	31,6
2/1	20,0
2/2	37,5
2/3	40,0
3/1	50,0
3/2	50,0
3/3	47,3

Como se puede observar, los mejores resultados en la prueba de contenido de ceniza se lograron con el aglutinante miel final en su primera composición (1/1), con un valor medio de 9,0 %. Esto significa que las briquetas elaboradas con esta composición son las de mayor masa combustible, y que más aprovechamiento tienen durante el proceso de combustión, al quemar 91 % de la masa total.

Valor calórico

La determinación del valor calórico se realizó mediante el método analítico. Primeramente se calculó el valor calórico inferior del carbón de paja de caña, con la ecuación (2.2). Posteriormente se determinó el valor calórico inferior total con la expresión (2.3) a cada composición de briquetas elaboradas con los aglutinantes miel final y con cachaza, no así a las fabricadas con arcilla por ser un aglutinante no combustible, siendo su valor calórico el del carbón de paja de caña. Se tomaron los porcentajes de aglutinante y de carbón expresados en fracción molar. A continuación se ofrecen los resultados más importantes (ver Tabla 11, según Tablas 4, 5 y 6).

Tabla 11. Resultados del valor calórico

Aglut./Comp.	Valor Cal. Inf.total (kcal/kg)
1/1	6270
1/2	6044
1/3	5818
2/1	1700
2/2	5969
2/3	6220

Para el cálculo de valor calórico inferior del carbón de paja de caña, se tomaron los valores promedios de la composición elemental de la masa combustible en base seca, los cuales fueron los siguientes:

Carbón - 70,9 % = 0,709 (fracción molar)
 Hidrógeno - 6,44 % = 0,644 (fracción molar)
 Oxígeno - 19,42 % = (fracción molar)
 Azufre - 0,20 % = 0,002 (fracción molar)
 Humedad - 6,29 % = 0,0629 (fracción molar)

Para el cálculo del valor calórico inferior total, se tomaron las magnitudes de valor calórico de la miel final de la cachaza, los porcentajes de aglutinante y de carbón de las diferentes composiciones de briquetas. Las magnitudes utilizadas de valores calóricos de los aglutinantes, fueron los siguientes:

Valor calórico de la miel final – 2200 kcal/kg
 Valor calórico de la cachaza – 1700 kcal/kg

Como se puede apreciar, los mejores resultados en la evaluación del valor calórico de las briquetas se alcanzaron en el aglutinante miel final en su primera composición (1/1), con un valor de 6270 kcal/kg. Entre los elementos que más influyen en esta propiedad están las proporciones de carbono y oxígeno, el valor calórico del aglutinante. No influyen en esta evaluación la presión de prensado ni el diámetro.

Conclusiones

La composición más adecuada para la briqueta de carbón de paja de caña es la 1/1 que tiene 70 % de carbón, 10 % de miel final y 20 % de agua, la cual arrojó los mejores resultados en las propiedades principales evaluadas.

En la composición seleccionada se obtuvieron las propiedades principales siguientes:

Valor calórico inferior total _____ 6270 kcal/kg
 Contenido de ceniza _____ 9,0 %
 Desmoronabilidad seca _____ 73,2 %
 Desmoronabilidad húmeda _____ 47,1 %
 Resistencia a la compresión seca _____ 0,0249 MPa
 Densidad de la briqueta seca _____ 205 kg/m³

La presión de compactación de 17 MPa fue la que aportó los resultados más importantes en las propiedades evaluadas, por lo que resultó la presión más apropiada de la investigación.

El diámetro de la briqueta de 27 mm fue el de mejores resultados en las propiedades evaluadas, siendo el diámetro más adecuado del trabajo desarrollado.

El diseño del experimento realizado permitió desarrollar adecuadamente los experimentos planificados.

Bibliografía

- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (1993). *Programa de Desarrollo de las fuentes nacionales de energía*. La Habana. Comisión Nacional de Energía. 1993. (78 p.)
- MINISTERIO DEL AZÚCAR (1995). *Situación actual y proyección del programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía en la agroindustria azucarera*. La Habana. Ministerio del Azúcar. 1995. (56 p.)
- BETANCOURT PINEDA, L. (1992). *Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio de combustión en las muestras de carbón de paja de caña*. Cienfuegos. Centro de tecnologías de combustión. 1992. (11p.)
- BRIQUETAS COMBUSTIBLES (1981). Patente No 4369042, E.U, 3-8-1981 (en inglés).
- DONALD J. DELL, SPEARFISH, S. DAK (1993). «Briquetas de carbón vegetal con un aglutinador orgánico y arcilla disuelta en agua y su método». Patente No. 5, 221, 290, E.U, 22-6-1993 (en inglés).
- ERIKSON, S(1990). «El briqueteado de los desechos de la agricultura para combustible», en *Energy and Environment* (1990): p. 8-11.
- MARÍN OLIVERA, J. (1995). «Proyecto de una planta típica para el aprovechamiento de la paja de caña con fines energéticos», Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos: (1995).
- MENÉNDEZ BLANCO, CARLOS A. (1994). «Carbón de la paja de caña». ATAC (Cuba) 5 (2), (1994): p. 22-25.
- MINFAR(1992). «Obtención de carbón vegetal a partir de la paja de caña y procesamiento del destilado piroleñoso. Informe al Consejo Científico del Centro de Investigaciones de Arma y técnica», MINFAR. La Habana, (1992): 45 p.
- COLECTIVO DE AUTORES (1994). «Obtención de carbón y otros derivados a partir de la paja de caña», en Informe de investigación ICINAZ-IMRE-MINFAR (1994): 54 p.
- ROMERO PERDOMO, CARLOS E. (1986). «Briquetas de desechos de coque», en *Construcción de Maquinaria* (1986): pp. 23-25.

Evaluación del recurso eólico con énfasis en las zonas montañosas

Por Dr. C. Ing. Conrado Moreno Figueredo*, Ing. José Augusto Medrano Hernández**
e Ing. Armando Torres Durán ***

* Profesor titular. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter).
Universidad Tecnológica de La Habana.
conrado@tesla.cujae.edu.cu

** Profesor instructor. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter).
Universidad Tecnológica de La Habana.
jmedrano@ceter.cujae.edu.cu

*** Asesor Poder Popular Municipio Habana del Este
armando@pphe.chi.gob.cu

Resumen

En este trabajo se enfatiza la importancia que toma la evaluación del potencial eólico desde el mismo momento en que se decide poner en funcionamiento una instalación eólica. Los recursos eólicos y sus características son también abordados en este artículo. El conocimiento del potencial eólico es necesario por varios aspectos: el diseño del sistema eólico, la evaluación de su comportamiento a lo largo de su vida útil, la localización de la instalación además de su operación durante la explotación de ésta. En el trabajo se exponen las características del viento y se justifica la necesidad de realizar la evaluación del potencial eólico, seguida de una metodología que ordena los pasos a dar para realizar una evaluación con la calidad requerida. Seguidamente se expone un ejemplo de una experiencia cubana en cuanto a este aspecto y se dan informaciones sobre las características del viento en regiones más complejas como en las montañas.

Palabras clave: Potencial eólico, optimización, micro localización, zonas montañosas.

Wind resource assessment with emphasis in mountain zones

Abstract

The present work emphasizes on the importance of wind potential assessment from the same moment in which the decision of putting in operation a wind energy installation has been taken. The wind resources and its characteristics are also explained in this article. The knowledge of the wind potential is necessary for several aspects: the wind systems design, the evaluation of its behavior in the course of its lifetime, the location of the installation in addition to its operation during its exploitation. This paper shows the necessity of organize and realize the assessment of wind potential followed of a methodology that describes the necessary steps to doing this important step with the required quality. Straightaway this work exposes an example of a Cuban experience regarding the assessment of the wind in an specific site. Finally the specific characteristics of the wind energy in a complex terrain of a mountain zone are presented.

Key words: Wind potential, Optimization, Micrositing, Mountain zones.

Introducción

La tecnología de la energía eólica se ha convertido en una de las energías renovables más prometedoras para la generación de electricidad en Cuba y en muchos países.

El conocimiento del potencial eólico de un país o una región es muy importante para el desarrollo de la energía eólica, y necesita del dominio de las características y comportamiento del viento en el área de estudio. El viento tiene una variabilidad

y aleatoriedad que lo hace un recurso sui géneris, diferente a otras fuentes de energía. Debido a esto se tiene que aplicar la estadística como herramienta fundamental.

Un aspecto básico para conocer la potencialidad del viento es la determinación de la distribución por frecuencias de la velocidad y por rumbos de las direcciones.

La evaluación de los recursos eólicos de un lugar, presenta los problemas siguientes:

- La necesidad de disponer de medidas de rapidez y dirección del viento durante un período de tiempo suficientemente representativo, por ejemplo, varios años.
- La variabilidad y aleatoriedad del viento.
- Los efectos locales, tales como la orografía, rugosidad del terreno y obstáculos.
- La extrapolación de las mediciones a partir de una altura determinada, en general 10 m, a diferentes alturas, respecto a ese nivel.

1. El viento.

El viento, a diferencia de los combustibles convencionales como el petróleo, es intermitente, varía a lo largo del día, a lo largo del año, e incluso de un año a otro.

El viento es el aire en movimiento en la atmósfera con relación a la superficie de la tierra. El aire se mueve debido a un calentamiento desigual de la atmósfera terrestre, aunque esta no se calienta directamente por la radiación solar incidente. La radiación es primeramente absorbida por la superficie de la tierra y entonces es transferida de varias formas al aire que se encuentra en contacto con esta. Como la superficie terrestre no es homogénea, la cantidad de energía que es absorbida varía tanto en el espacio como en el tiempo. Esto hace que la temperatura y la presión sean diferentes y por tanto la densidad, lo cual produce fuerzas que hacen que el aire se mueva de un lugar a otro. La fuerza de Coriolis es un factor adicional que incide en el movimiento del aire.

En términos energéticos, la energía cinética del aire y la potencia del aire constituyen el flujo de energía cinética pasando a través de secciones horizontales como el área de barrido del rotor de una turbina eólica [Clifton *et al.*, 2014; Janjreh *et al.*, 2011; Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2007; Shahid *et al.*, 2015].

La potencia del viento viene dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A u \cdot u^2 \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (2)$$

Donde $\rho A u$ es el flujo másico de aire, u es la velocidad del viento y A es el área a través de la cual pasa el viento en dirección normal.

La expresión (2) representa la potencia disponible del viento, pero cuando se trata de la potencia que puede extraer una máquina, esta solo es una fracción de la potencia

disponible. El físico Albert Betz, de la ciudad de Gottingen, demostró en 1927 que la fracción máxima de potencia del viento que puede ser extraída por un rotor eólico ideal no excede de $16/27$ o $0,593$ (59,3%) [Clifton *et al.*, 2013; Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2007].

Por otro lado, la densidad de potencia se define como el flujo de aire que se mueve a través de una sección transversal y viene dada por:

$$P_d = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho u^3 \text{ [watt/m}^2\text{]} \quad (3)$$

2 Características del viento.

2.1 Efectos de la topografía sobre el viento.

Con un adecuado tamaño, orientación y forma, la topografía del sitio puede incrementar la energía del viento hasta 100 %. Los terrenos más apreciados en cuanto al potencial eólico son aquellos sitios donde aparecen elevadas colinas, en las cuales el viento incide perpendicularmente con respecto a los vientos predominantes. Un terreno elevado tiende a causar fuerzas aceleradoras que incrementan las velocidades de viento locales. Las colinas interceptan los vientos, lo comprimen y aceleran en su movimiento hacia arriba, aumentando la velocidad del viento en la punta de la colina. Por lo tanto, las colinas son reconocidas como fuentes de altos vientos.

Otras áreas donde el viento se acelera son los valles, los cuales encierran el viento y aumentan su velocidad. A los efectos de la meteorología de la energía del viento a alturas entre 10 y 200 m sobre el nivel del mar, los efectos topográficos pueden dividirse en tres categorías:

Rugosidad: Los efectos simultáneos de la superficie del terreno y su rugosidad influyen en una desaceleración del viento cerca del suelo.

Obstáculo: Si en las cercanías aparecen obstáculos como edificios o arboledas, el viento se ve fuertemente influenciado por la presencia del obstáculo, el cual puede disminuir la velocidad del viento considerablemente.

Orografía: El término orografía representa la descripción de las variaciones de la altura del terreno, la cual se refiere con respecto al nivel medio del mar. Cerca de la cumbre o cresta de las colinas el viento se acelera, mientras que en la base y valles el viento se desacelera [Shahid *et al.*, 2015; Solute, 2014].

2.2 Variación de la velocidad con la altura.

La velocidad del viento es nominalmente cero a nivel del terreno, y aumenta gradualmente con la altura. El cambio de la velocidad del viento con la altura, es conocida como cizallamiento o perfil del viento. La razón de incremento con la altura depende fuertemente de la rugosidad del terreno y de los cambios de ésta. Esta variación depende también de las condiciones de la estabilidad atmosférica, incluso, en el transcurso del día el perfil del viento cambia entre el día y la noche, la salida y ocultamiento del sol. Esto puede ser descrito por el denominado perfil del viento logarítmico con corrección de la estabilidad. Esta expresión [Albers, 2010; Herrera, 2011; Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017],

obtenida a partir de consideraciones teóricas se escribe como sigue:

$$u(z) = \frac{u_x}{k} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \psi \right] \quad (4)$$

Donde u_x es la velocidad de fricción, k es la constante de Theodore von Karman, z_0 la longitud de la rugosidad, ψ es una función que depende de la estabilidad de la atmósfera, el positivo para la condición de inestabilidad, cero para el caso neutral y negativo para las condiciones inestables.

Otra opción es utilizando una ley de potencia aproximada. Esta expresión es como sigue:

$$\frac{u_{z_1}}{u_{z_2}} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^\alpha \quad (5)$$

Donde u_{z_1} y u_{z_2} son la velocidad del viento a las alturas z_1 y z_2 , respectivamente, y α es el exponente de la ley de potencia con un valor típico de 0,14 para la mayoría de los sitios homogéneos. Un problema sería con esta aproximación, que α varía con la altura, la rugosidad de la superficie y la estabilidad, lo que significa que esta ecuación tiene aplicaciones muy limitadas.

3. Evaluación del recurso eólico.

Para diseñar una instalación eólica o un parque eólico de manera satisfactoria, es importante la estimación del recurso eólico con la mayor exactitud posible en el sitio determinado. El potencial de producción de energía del viento varía con la velocidad del viento elevada a la tercera potencia, lo que significa que con 10 % más alta, la velocidad del viento, y el potencial de energía, se ven incrementados en 30 % [Chirinos *et al.*, 2016].

Por lo general, la evaluación del recurso eólico se realiza en varias fases, las cuales se pueden resumir como sigue:

- Estimación preliminar del potencial eólico o fase de exploración: análisis de la información disponible.
- Selección de los emplazamientos: para la instalación de la(s) torre(s) de medición.
- Medición de la velocidad del viento a través de la realización de una campaña de mediciones.
- Control de la calidad de los datos medidos, con objeto de detectar errores y corregirlos.
- Parámetros básicos de evaluación: ¿qué información es la más interesante?
- Tratamiento estadístico de los datos del viento: ¿cómo sintetizar la información?
- Determinación del potencial eólico del sitio o región.
- Micro localización y producción de energía de una turbina eólica en el sitio de emplazamiento.

La metodología general de la evaluación del recurso eólico con el fin de diseñar una instalación eólica, basada en las mediciones del viento en el sitio, se presenta de manera resumida en la figura 1.



Fig. 1. Metodología para la evaluación del recurso eólico. Fuente: Propia.

3.1. Identificación y selección del sitio para la implementación del proyecto.

Esta fase comienza con investigaciones de escritorio donde se observan los datos del viento existentes, cartas topográficas e imágenes de satélite; se continúa con el trabajo de campo, donde se realiza una visita a los sitios previamente definidos, observando la rugosidad, la presencia de construcciones y obstáculos, seleccionando finalmente el sitio para la implementación del proyecto.

Esta fase es adecuada si la región es grande y no se han realizado previamente campañas de mediciones de la velocidad del viento en el sitio. Una exploración preliminar de una gran área, comienza usualmente con la revisión de los mapas del recurso eólico y otras informaciones meteorológicas, además del análisis de las características meteorológicas de la región y los posibles efectos sobre las velocidades del viento para así llegar a criterios resultantes de la exploración, tales como forma del terreno, uso del suelo, vegetación y accesibilidad, carreteras, caminos y líneas de transmisión. Otra forma que se emplea en la exploración preliminar de grandes áreas son los sistemas de información geográficas (GIS por sus siglas en inglés), que es un mapeo computacional con herramientas de análisis para la exploración de sitios potenciales. Los mapas eólicos elaborados con modelos meso escala, se pueden emplear también para la exploración preliminar de grandes áreas [Herrera, 2011; Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2007].

Con un listado preliminar de lugares candidatos, el paso siguiente debe ser visitar el sitio. Un propósito de tales visitas es buscar las evidencias físicas que apoyen la valoración estimada del recurso eólico durante la exploración preliminar de una gran área. La deformación de los árboles y la vegetación es una señal segura de fuertes vientos. Otro objetivo es analizar las limitaciones potenciales del lugar para el desarrollo de instalaciones eólicas. Un tercer objetivo de la visita al sitio, es seleccionar una posible ubicación de la estación de medición de la velocidad del viento más cercana.

3.2. Mediciones y evaluación del recurso eólico.

La medición de la velocidad del viento comienza cuando concluye la primera fase. Este trabajo comienza con la selección del sistema de medición (anemómetros, sensores y *data*

logger), torre e instalación, continuando con una campaña de medición durante un año como mínimo.

La medición de la velocidad y dirección del viento y la temperatura del aire, son necesarias para la evaluación del recurso eólico. Generalmente, cada parámetro es registrado para 1 o 2 segundos y estos datos instantáneos son promediados por un sistema de adquisición de datos (*data logger*) instalado en el mástil de medición. Los datos son normalmente coleccionados en intervalos medios de 10 o 60 minutos.

Actualmente, se promedian cada 10 minutos en busca de mayor precisión. El sistema de adquisición de datos calcula y almacena la desviación típica, tanto de la rapidez del viento como de su dirección.

La velocidad del viento es el parámetro más importante. Un anemómetro de tres copas es el instrumento típico a través del cual se realizan las mediciones de la velocidad del viento. Varios fabricantes ofrecen estos equipos con bajo costo, y gran exactitud, los cuales han sido empleados para las mediciones de la velocidad del viento durante años [Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2007; Rodríguez, 2017]. El registro de la velocidad del viento a varias alturas es lo recomendable para evitar errores en la simulación del comportamiento de las turbinas eólicas por el cizallamiento del viento. Las mediciones a múltiples alturas también aseguran la calidad de la campaña de mediciones si uno de los sensores falla. Usualmente, se recomienda medir la velocidad del viento a tres alturas de la torre. Para una torre de 50 metros, las mediciones a 10, 25 y 50 metros. Para una torre de 80 metros, las mediciones deben ser a 10, 40 y 80 metros. Los datos a diez metros se corresponden con la altura típica para mediciones de la velocidad del viento [Janjreh *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2007; Rodríguez, 2017].

La altura aproximadamente más baja que alcanzan las palas de las turbinas eólicas en su posición vertical hacia abajo, es de 30-40 metros. El comportamiento de la turbina puede ser estimado de una manera mejor con estos datos. Los datos a 60 y 80 metros de altura representan los valores a la altura del buje de la turbina. Los modelos de comportamiento de la turbina requieren datos del viento a la altura del eje principal de la turbina eólica. Si se proponen turbinas con alturas de buje por encima de 60 metros, el costo del izaje y los instrumentos con una torre de medición más alta son significativos. Un sistema de medición del tipo Sodar ofrece una alternativa para la recolección de datos en estos casos. Para obtener la mayor exactitud de los datos del viento, es importante minimizar el efecto de la torre sobre los instrumentos.

Las direcciones del viento son colectadas a las mismas alturas que la velocidad del viento. Una veleta direccional es empelada para determinar la dirección. La configuración óptima de la instalación eólica, depende de una buena información sobre la dirección predominante del viento [Albers, 2010; Clifton *et al.*, 2013]. Las mediciones de la temperatura son necesarias para determinar la densidad del aire que se emplea para determinar la densidad de potencia y el comportamiento de la turbina. Esta medición puede ser realizada a 2 o 3 metros sobre el nivel del terreno. Las mediciones a estas alturas minimizan los efectos del calentamiento durante las

horas del día. Otros datos como la presión barométrica, la velocidad vertical y la precipitación es recomendable obtenerlos, pero no obligatorios.

El periodo de medición a corto plazo de la velocidad del viento en el sitio de medición debe ser lo suficientemente largo para cubrir todas las condiciones meteorológicas en la región con suficiente cantidad de datos. Un período de un año puede usualmente satisfacer este requerimiento. Para tener en cuenta las variaciones estacionales o de largo plazo del potencial eólico, las mediciones de corto tiempo deben ser correlacionadas con las mediciones instantáneas de la estación meteorológica de referencia que ha coleccionado los datos a largo plazo. Con las relaciones entre las mediciones locales y las mediciones en la estación de referencias ya conformadas, la distribución esperada a largo plazo de los datos del viento del sitio escogido se pronostica considerando las mediciones locales a corto plazo, de acuerdo con el histograma de frecuencias de la velocidad del viento a largo plazo. Este procedimiento es conocido usualmente como método de la Medición-Correlación-Predicción (MCP por sus siglas en inglés).

La medición de la velocidad del viento es uno de los aspectos más críticos en la evaluación del recurso eólico. Esto se confirma por el hecho de las incertidumbres que pudieran aparecer durante la campaña de mediciones, que se amplifican por un factor entre dos o tres en la predicción de la energía producida por la relación no lineal entre la potencia entregada por la turbina y la velocidad del viento [Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017].

Debido a la falta de experiencia en las mediciones de la velocidad del viento, puede aparecer una inaceptable incertidumbre, al no aplicarse las mejores prácticas en lo que respecta a la selección, calibración y montaje de los anemómetros, la selección del sitio de medición, así como la altura de medición y la duración de las mediciones. Con el nivel de desarrollo actual, una incertidumbre tan baja como 1-2 % en la determinación de la velocidad del viento y alrededor de 3 % en términos de producción de energía, puede ser admisible. En resumen, en el proyecto de una instalación eólica, debe garantizarse una alta calidad en las mediciones de la velocidad del viento en el área prevista para la instalación del sistema eólico, y con mayor énfasis en las regiones con terrenos complejos.

3.3. Micro localización y estimación de la producción anual de energía.

La micro localización (*micrositing*) se fundamenta en el empleo de herramientas basadas en la evaluación del recurso eólico para determinar con exactitud la posición de una o más turbinas eólicas en un área de tierra, las cuales maximizan la energía producida. Existen variados programas computacionales disponibles para la micro localización. El diseño de una instalación eólica y los programas computacionales que se emplean utilizan los datos del viento del sitio candidato, los datos técnicos de los aerogeneradores y la información de las restricciones existentes en el lugar para determinar la configuración o el posicionamiento óptimos de las turbinas. Las restricciones pueden ser áreas excluidas del estudio debido a problemas

geológicos o medioambientales, límites de ruido por zonas cercanas a la instalación, entre otras. La micro localización que resulta de estos programas son mapas digitales topográficos y de contorno.

Los mapas señalan la ubicación de las turbinas, las curvas de contorno del ruido y las curvas de contorno con las predicciones de la energía que se genera, la estimación de la energía producida por cada aerogenerador y de todo el sitio objeto de estudio, además de cálculos económicos. Algunos de estos programas presentan también los efectos del impacto visual para localidades cercanas y las formas de minimizar este impacto, tratando de maximizar la energía generada.

Como ya se ha señalado anteriormente, en esta etapa se seleccionan los modelos de turbinas que serán empleadas y las configuraciones de la instalación en proyecto (*micrositing* o micro localización). Se realiza entonces la estimación de la generación de energía. Al final de esta fase, se tienen los escenarios de producción de energía..

La colocación de las turbinas buscando la máxima producción de energía, pasa por un procedimiento muy cuidadoso. El sitio de instalación de cada turbina eólica, debe ser seleccionado sobre la base de la topografía y la colocación óptima, es decir, donde se pronostica que va a ocurrir la mayor densidad de potencia eólica.

Este paso crucial necesita ser realizado por personal experimentado, con un gran conocimiento de los efectos del terreno sobre el viento..

Otros elementos que deben ser considerados para la determinación de la configuración de una instalación eólica son el impacto visual y el ruido, entre otros. Finalmente, la energía estimada debe ajustarse teniendo en cuenta la generación a largo plazo (por lo general 20 años) de toda la instalación. El proceso de micro localización implica el monitoreo y modelación del flujo de viento en determinados sitios para cuantificar las variaciones a pequeña escala del recurso eólico sobre el área. En terrenos complejos, la micro localización puede implicar numerosas mediciones de la velocidad del viento combinado con la modelación computacional que pronostique las velocidades del viento en áreas donde no se realicen mediciones.

Algunos de estos modelos disponibles en el mercado son el Resoft Windfarm, WinPRO, WASP, GH WindFarmer, entre otros [Rodríguez, 2017]. Todos estos modelos tienen limitaciones debido a la linealización de las ecuaciones del modelo que restringe su aplicabilidad a terrenos con bajas inclinaciones ($< 3^\circ$). Estos modelos están limitados también por el hecho de que no tienen en cuenta los efectos térmicos como las brisas marinas o los vientos de valle-montaña. No obstante, a pesar de estos modelos presentar estas limitaciones, ellos proporcionan buenos resultados si se manejan correctamente y con experiencia.

3.4 Producción anual de energía.

El cálculo de la producción de energía y de las pérdidas aerodinámicas en una instalación eólica, debe ser realizado mediante el empleo de programas informáticos profesionales, donde se simule la interferencia aerodinámica entre los rotores de las turbinas. Algunos de esos programas

también optimizan iterativamente la posición de las turbinas maximizando la energía producida [Herrera, 2011; Janjreh *et al.*, 2011; Lundquist *et al.*, 2012; Manwell *et al.*, 2011; Rodríguez, 2017].

Una turbina que se encuentre a continuación de otra, podrá extraer menos energía del viento, por ser la velocidad del viento menor, debido a la estela que se forma, o dicho de otra manera, por la sombra aerodinámica de una turbina sobre la otra. Esto ocurre en las instalaciones eólicas con varias máquinas, donde existe interferencia aerodinámica de una turbina sobre otra. A esto se le conoce como las pérdidas aerodinámicas de la instalación eólica, las cuales dependen principalmente de los factores siguientes:

- a. Espaciamiento entre turbinas (corriente abajo o transversal).
- b. Características operativas de las turbinas eólicas.
- c. El número de turbinas y su tamaño.
- d. Intensidad de la turbulencia.
- e. Distribución de frecuencia de la dirección de los vientos (rosa de los vientos).

La geometría de la instalación y la intensidad de la turbulencia son los dos parámetros más importantes que afectan las pérdidas aerodinámicas. El diseño de una instalación eólica, requiere considerar cuidadosamente estos efectos para maximizar la energía captada. Un espaciamiento muy cercano de las turbinas permite instalar más turbinas en el sitio, pero reducirá la energía promedio captada por cada turbina eólica.

El cálculo de las pérdidas aerodinámicas de la instalación, necesita del conocimiento de la ubicación y características de las turbinas eólicas, del régimen de viento y poseer un modelo de las estelas de las turbinas, para determinar el efecto de las turbinas corriente arriba sobre las turbinas corriente abajo.

La energía calculada hasta este momento, es la energía bruta, pues considera solamente la interferencia aerodinámica entre los rotores de las turbinas. A esta energía bruta se le deben restar las pérdidas eléctricas internas de toda la instalación, las pérdidas por transmisión entre el punto de conexión y la instalación, y las pérdidas por indisponibilidad del sistema eléctrico y la indisponibilidad forzada o programada de los aerogeneradores.

Como se observó en la evaluación preliminar del recurso eólico, el mapeo eólico constituye un paso fundamental desde los inicios. El mapeo eólico, realizado con paquetes de computación de simulación numérica, proporciona los mapas digitales del terreno (relieve y rugosidad). Estos mapas y los datos del viento de superficie obtenidos con torres de medición o del método de reanálisis (datos atmosféricos globales—NCAR (National Center for Atmospheric Research)/NCEP (National Center for Environmental Prediction), se aplican a modelos numéricos de la capa límite atmosférica [Solute, 2014]. De aquí se va a los modelos de interferencia entre los rotores de las turbinas, y se puede determinar la generación bruta de energía y de ahí la configuración que mayor cantidad de energía aporta.

En la figura 2 se presentan a modo de resumen las etapas que contempla la micro localización de las turbinas de un parque eólico.

4. Influencia de la turbulencia.

La industria de la energía eólica cuantifica la turbulencia por la llamada *intensidad de la turbulencia* (I_u) [Clifton *et al.*, 2014; Janjreh *et al.*, 2011; Manwell *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2011; Shahid *et al.*, 2015], que no es más que la desviación típica de la velocidad horizontal dividida entre la velocidad media del viento en un período de tiempo, típicamente de 10 minutos. Si el viento fluctúa rápidamente, la intensidad de la turbulencia será mayor, e inversamente, los vientos estables tienen una menor intensidad de la turbulencia.

Los valores típicos de la intensidad de la turbulencia medidos con anemómetros de copa, se encuentran en el rango de 3 a 20 %.

Los remolinos convectivos se pueden propagar a través de la capa límite terrestre durante todo el día hasta una altura de 2 km o más, la determinación de los efectos de la turbulencia atmosférica sobre el comportamiento de la potencia de la turbina puede resultar difícil.

La curva de comportamiento o curva de potencia de una turbina, expresa la entrega de potencia de la turbina en

función de la velocidad del viento a la altura del buje y esto viene definido con un valor de la intensidad de la turbulencia, generalmente 10 %. Si la intensidad de la turbulencia sobrepasa este valor, la curva de potencia se verá disminuida en función de la forma de la curva y de la distribución de velocidades. La intensidad de la turbulencia influye sobre el cizallamiento del viento y su perfil de velocidad, por lo que influirá sobre la potencia generada por la máquina. Esta puede aumentarla o disminuirla [Albers, 2010; Clifton *et al.*, 2014; Lundquist *et al.*, 2012]. La producción de potencia cuando la velocidad del viento es de 8 m/s puede variar hasta un 20 % en dependencia de la intensidad de la turbulencia, como se observa en la figura 3.

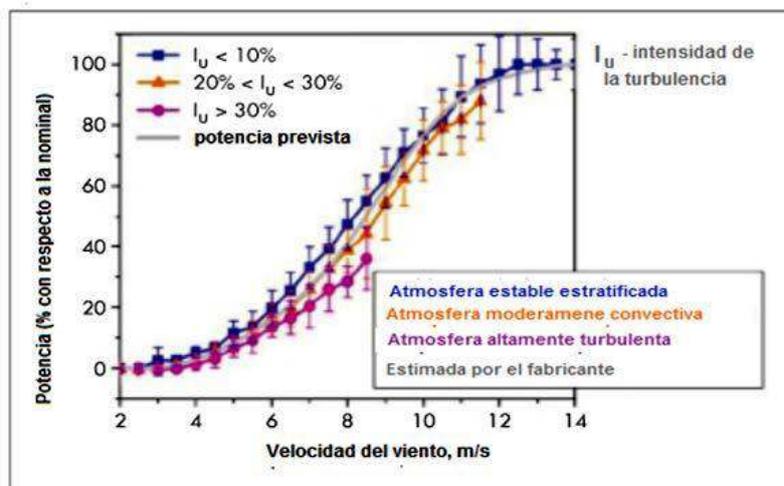
Existen varios modelos para predecir el comportamiento de las turbinas eólicas afectadas por la turbulencia: el método de la renormalización [Lundquist *et al.*, 2012; Shahid *et al.*, 2015], el método del bosque aleatorio (random forest) y el tradicional método de los intervalos (bin).

Se necesitan más investigaciones que obtengan modelos que combinen la flexibilidad de la modelación, empleando los efectos físicos con la habilidad del aprendizaje sobre la máquina, para analizar conjuntos mayores de datos.

Finalmente, la intensidad de la turbulencia puede afectar el comportamiento de las turbinas eólicas en cuanto a su resistividad, de aquí que la intensidad de la turbulencia influya sobre



Fig. 2. Proceso para el proyecto de una instalación eólica: mapeo eólico y optimización de la configuración de las turbinas dentro del parque eólico. Fuente: Propia.



Fuente: American Meteorological Society

Fig. 3. Curva de la variabilidad de la curva de potencia con la intensidad de la turbulencia. Fuente: American Meteorological Society.

la selección de la clase de turbina eólica. Como se conoce, la clase de turbina eólica expresa el comportamiento de la turbina en cuanto a la intensidad del viento y de la turbulencia. Cada clase de turbina viene dada por estos dos parámetros.

5. Ejemplo de evaluación del potencial eólico en un sitio con fines de emplazar una instalación eólica.

A modo de ejemplo se presenta una experiencia para Cuba, realizada con el objetivo instalar un parque eólico, la cual es aplicable a cualquier tipo de terreno, ya sea simple o complejo [Solute, 2014]. Una vez decidida la ubicación del parque eólico, se pasó a las etapas siguientes. Para estimar el potencial eólico de manera preliminar (prospección) se utilizaron mapas mesoescalares que proveen una idea aproximada del recurso eólico sin aun realizar mediciones del viento. Se han empleado los mapas mesoescalares con resolución 200 m de la empresa AWSTRUEPOWER, que es una empresa del sector eólico que provee información relativa a mapas de viento empleando mapas mesoescalares y series temporales de largo plazo para esta primera fase de prospección eólica. En otras aplicaciones, sus estimaciones han sido validadas con las mediciones hechas posteriormente, alcanzándose una alta precisión. En la figura 4 se muestra el esquema de cálculo utilizado por AWSTRUEPOWER que se conoce como MesoMapprocess. Este esquema es similar al de la figura anterior para el caso específico de la forma que lo hace la empresa AWSTRUEPOWER [Solute, 2014; Wagner, 2011].

En la figura 5 se muestran los valores obtenidos de la velocidad media mensual para el emplazamiento a 80 m de altura. Puede apreciarse que para la zona de estudio el

viento oscila entre 6,2 m/s, y 6,6 m/s, por lo que se puede considera 6,4 m/s la velocidad media. En esta figura se puede observar también la forma de la rosa de los vientos. Además, se obtuvo el mapa eólico de la zona.

Para realizar el mapeo eólico de la zona sin mediciones del viento en el sitio específico, se obtuvieron las series de velocidad y dirección del viento procedentes de las bases de datos del modelo de re-análisis ERA-Interim desarrollado por ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

La modelación del emplazamiento se realizó a partir de los datos de velocidad del viento de 35 años obtenidos como se explicó anteriormente. Con esos datos se realizó la modelación para una altura de 80 m empleando el software WASP para así determinar el mapa del recurso eólico y los datos finales de valores de velocidad y dirección

Para la configuración y ubicación de los aerogeneradores buscando la optimización del parque eólico se empleó el mapa eólico a 80 m de altura obtenido previamente con el modelo WASP y con turbinas eólicas previamente seleccionadas. Con el programa WindFarmer se optimizó la distribución de las turbinas eólicas en el terreno, teniendo en cuenta la interferencia aerodinámica acorde con este programa. Para el cálculo de la producción de energía bruta del parque, se empleó el programa WindFarmer donde se tienen en cuenta las pérdidas por estelas empleando el modelo Eddy Viscosity. Para la producción limpia (neta) se tuvieron en cuenta, además de las pérdidas por estelas, las pérdidas eléctricas por indisponibilidad de la subestación, por indisponibilidad de la red y por degradación de las palas.

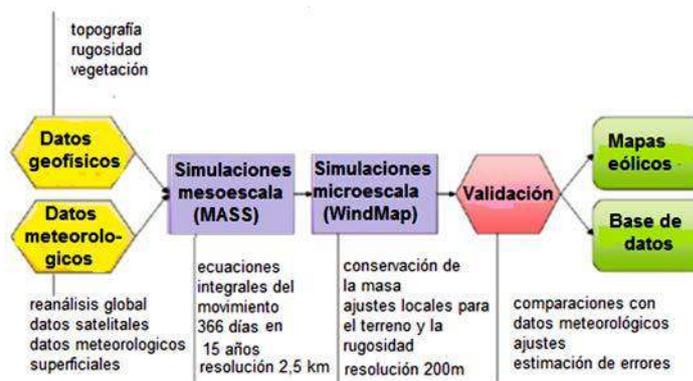


Fig. 4. Esquema del proceso MesoMap [Wagner *et al.*, 2011].

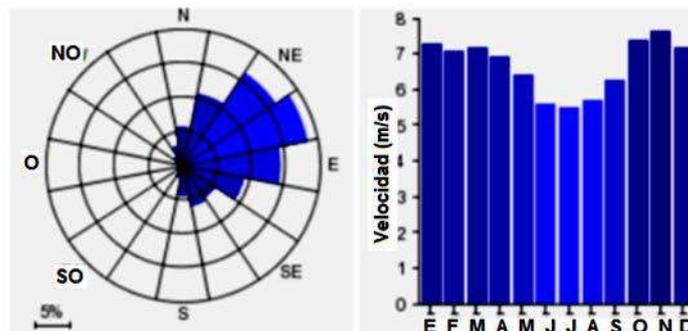


Fig. 5. Resultados de la evaluación preliminar del potencial eólico sin mediciones

Conclusión

Se ha presentado y demostrado la importancia de la evaluación del recurso eólico y se expone una metodología para estimar la energía producida por una turbina eólica en un sitio determinado. Esta evaluación se divide en varias fases que se presentan para entender este proceso. El pronóstico de la velocidad del viento y con ello la producción de energía, puede resultar imprescindible para la integración a la red eléctrica a lo largo de la vida útil de la instalación, e incluso en las próximas horas o en los próximos dos o tres días y para evitar riesgos en el momento de la inversión. El caso de una zona compleja como una zona montañosa tiene sus particularidades, pues el efecto de la turbulencia y los cambios de dirección se tornan importantes, por lo que se requiere un tratamiento algo diferente. La experiencia cubana confirma la necesidad de manejar diferentes programas computacionales para llevar a cabo esta evaluación previa a la inversión y el tiempo a emplear para llevar a cabo las mediciones.

Bibliografía

- ALBERS, A. (2010). «Turbulence and shear normalization of wind turbine power curves». European Wind Energy Conference Proceedings.
- CHIRINOS GARCÍA J. J., CONRADO MORENO FIGUEREDO Y J. MORALES SALAS (2016). «Modelo matemático para el diseño aerodinámico de los álabes de una turbina eólica de eje horizontal». En *Revista de Ingeniería Energética*, 2016. Vol. 37 No. UM.1
- CLIFTON A.; R. WAGNER (2014). «Accounting for the effect of turbulence on wind turbine power curves». The Science of Making Torque Proceedings; June 18-20, 2014. Copenhagen. Denmark.
- CLIFTON, A, ET AL. (2013). «Using machine learning to predict wind turbine power output». Environmental Research Letters.
- HERRERA, OMAR ET AL. (2011). «Modelo de optimización de parques eólicos». En *Revista de Ingeniería Mecánica*: Vol.14, No. 3, p.189-198. ISSN 1815-5944.
- JANREH, I., L. SU Y F. ALAN (2011). «Estimation of wind energy potential using different probability density functions», May 2011, Elsevier, Applied Energy, Volume 88, Issue 5, Pp. 1848-1856
- JANREH, I., L. SU Y F. ALAN F. (2013). «Wind energy assessment: Masdar City case study». Elsevier, Renewable Energy, Volume 52, April 2013, Pp. 8-15, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191000473>.
- LUNDQUIST, J., A. CLIFTON (2012). «How turbulence can impact power performance», September 2012, North American Windpower.
- MANWELL J.F., J. G. MC GOWAN Y A. L. ROGER (2011). «Wind Energy Explained». Editorial John Wiley & Sons Ltd., 689 p., 2011, ISBN 978-0-470-01500.
- MORENO FIGUEREDO, C. ET AL. (2017). *Doce preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar, 640 p., <http://www.cubasolar.cu> ISBN: 978-959-7113-51-5.
- MORENO FIGUEREDO, C. ET AL. (2007). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. Cubasolar, 335 p., <http://www.cubasolar.cu> ISBN: 978-959-7113-34-8.
- RODRÍGUEZ, C. A. (2017). «Caracterización y evaluación del potencial eólico del litoral oeste de Santa Cruz del Norte con fines energéticos». Tutor: Conrado Moreno Figueredo, Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (Cujae), La Habana, 2017. Disponible en <http://biblioteca.cujae.edu.cu/Tesis/Maestria.pdf>
- SHAHID I. ET AL. (2015). «Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach», Elsevier, Energy, April 2015, Volume 83, pages 447-461, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215001991>
- SOLUTE (2014). «Informe sobre Estudio de pre-factibilidad del parque eólico Mariel 8.25 MW», junio 2014, Madrid, España.
- Wagner R.; M. Courtney, J. Gottschall y P. Lindeow-Marsden (2011). «Accounting for the speed shear in wind turbine power performance measurement», Wind Energy.

Producción más limpia a partir de la mejora del desempeño energético de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras, acorde a la NC-ISO 50001: 2011

Por Ing. René Horta Serrano*, Dr.C. Ing. Osvaldo García Morales**, Ing. Yunior Guzmán Quintana*** e Ing. Raimel Rodríguez Ávila****

* Especialista en explotación, Grupo de Seguridad Operacional CTE Antonio Guiteras.
rene@cteag.une.cu

** Profesor Titular. Departamento de Mecánica. Universidad de Matanzas.
osvaldo.garcia@umcc.cu

*** Especialista principal del Grupo de Inversiones CTE Antonio Guiteras.
yunior@cteag.une.cu

**** Especialista principal del Grupo Técnico U.E.B. CTE Antonio Guiteras.
raimel@cteag.une.cu

Resumen

Las limitaciones económicas existentes en el país dejan pocas opciones a la alta dirección, restringiendo la toma de decisiones sobre los temas que afectan el medioambiente y el desarrollo sostenible de la economía; esta es la razón por la cual los esfuerzos no van totalmente encaminados hacia una política de ahorro energético. Reviste vital importancia la comprensión de los conceptos de Producción más Limpia en el sector industrial, y especialmente en la generación de energía eléctrica, cuyas materias primas fundamentales son los combustibles fósiles; de ahí que el Objetivo General del trabajo va dirigido a la necesidad de una política energética viable para mitigar los impactos ambientales, y especialmente las emisiones de gases de efecto invernadero de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras (CTE), a partir de una estrategia que no solo vaya dirigida al tratamiento de los residuales, sino también a la mejora continua de los indicadores de desempeño energético en armonía con la NC-ISO 50001: 2011.

Palabras clave: desarrollo sostenible, producción más limpia, política energética, efecto invernadero, tratamiento de residuales, desempeño energético.

Clean production of electricity from the improvement of energy performance of thermal power plant Antonio Guiteras, taking into account NC-ISO 50001: 2011

Abstract

The economic limitations in Cuba leave few options to the high management, restricting the decisions on the topics that affect the environment and the sustainable development of economy; this is the reason why the efforts don't guided toward a policy of energy saving. It has vital importance the understanding of the concepts of cleaner production in the industrial sector, and especially in the electric power generation whose ray materials are the fossil fuels. The General Objective of this study goes directed to the necessity to apply a viable energy policy to mitigate the environmental impacts, and especially the emissions of greenhouse gases of the thermal power station Antonio Guiteras. It starts from a strategy that not only goes directed to the treatment of the residual ones, but also to the continuous improvement of the energy performance indicators in harmony with the NC-ISO 50001: 2011.

Key words: sustainable development, cleaner production, energy policy, greenhouse gases effect, treatment of residual, energy performance.

Introducción

En la reglamentación de la protección medioambiental, los gases de la combustión constituyen el principal impacto negativo sobre el medioambiente y la salud humana; estas emisiones están sujetas a normas que establecen los límites máximos permisibles de emisiones y concentraciones en el aire. Se prevé que para el 2030 la matriz de generación eléctrica cubana tenga una dependencia de 76 % de los combustibles fósiles (ver Anexo 1). Según World Energy Outlook 2006 IEA, noviembre 2006, la estrategia propuesta por la Agencia Internacional de Energía para la reducción de las emisiones de CO₂ hasta el año 2030, pronostica que la eficiencia energética podría contribuir ese año a la reducción de más de las dos terceras partes de las emisiones de CO₂.

Teniendo en cuenta esos elementos, en este trabajo nos propusimos como objetivo, mitigar el impacto ambiental de las emisiones de gases de la CTE Antonio Guiteras, proponiendo un procedimiento de estrategia de Producción Más Limpia (PML), dirigida a la mejora continua de los indicadores de desempeño energético de conformidad con la NC-ISO 50001: 2011. Esto permitirá lograr un proceso más eco-eficiente de generación de electricidad. Nos proponemos, además, encaminarnos a la progresión de los requisitos del Sistema de Gestión Energética previstos en la NC-ISO 50001: 2011, poniendo énfasis en la planificación energética e incluyendo los siguientes aspectos:

1. La aplicación de los requisitos legales.
2. La revisión energética orientada a identificar los grandes consumidores y las oportunidades de mejora de la eficiencia del bloque energético.
3. Diseñar el sistema de indicadores del desempeño energético.
4. Plantear la estrategia de PML.

Desarrollo

Materiales y métodos

Se propone un procedimiento dirigido a la planificación energética del Sistema de Gestión de la Energía, que consta de cinco etapas; el mismo se ha esbozado teniendo en cuenta los requerimientos de la NC-ISO 50001: 2011 y otras normas a nivel mundial referentes a la gestión de la energía y de la calidad.

Procedimiento para la implementación de una estrategia de PML en la central termoeléctrica Antonio Guiteras

Etapas:
Etapa I: Reconocimiento del proceso de planificación energética.

Objetivo: Revisar el proceso de planificación energética actual, en correspondencia con la norma NC-ISO 50001: 2011.

Paso 1: Constituir el equipo de trabajo.

Estará integrado por un grupo de expertos conocedores del tema, con posibilidades de aportar información de utilidad y que participen en el desarrollo de la investigación. El equipo de trabajo propuesto se presentará a la alta dirección para su aprobación.

Paso 2: Revisión del proceso de planificación energética.

El equipo de trabajo aprobado evaluará la planificación de la energía actual de la central termoeléctrica y su correspondencia con la NC-ISO 50001: 2011. Se aplicarán las técnicas y herramientas que seleccionen el grupo de trabajo.

Etapas:
Etapa II: Establecimiento de requisitos legales y otros.

Objetivo: Recopilar la legislación internacional y nacional relacionados con la problemática de estudio, y que se aplican al alcance del sistema de gestión energética de la central termoeléctrica.

Etapas:
Etapa III: Revisión energética.

Objetivo: Analizar el uso y consumo de energía en la termoeléctrica.

Paso 1: Análisis del uso y consumo de energía.

Se realiza a partir de la creación de una base de datos con la información sobre los consumos de energía de los equipos de la CTE, y se obtiene del sistema Scada, de los libros de Control de incidencias de las operaciones, y las hojas de lecturas del consumo de energía de los equipos.

Paso 2: Identificar las áreas de uso significativo de la energía y el consumo.

Paso 3: Identificar las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Fuentes de oportunidades de mejora del desempeño energético orientadas a los sistemas del proceso de generación de energía eléctrica.

Etapas:
Etapa IV: Resultados del proceso de planificación energética. <http://www.biblioteca.ucf.edu.cu>

Objetivo: Desagregar y puntualizar los planes del Sistema de Gestión de la Energía.

Diseño del sistema de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) y determinación de la línea base y la línea meta para cada uno (Fig. 1). <http://www.smarkia.com>

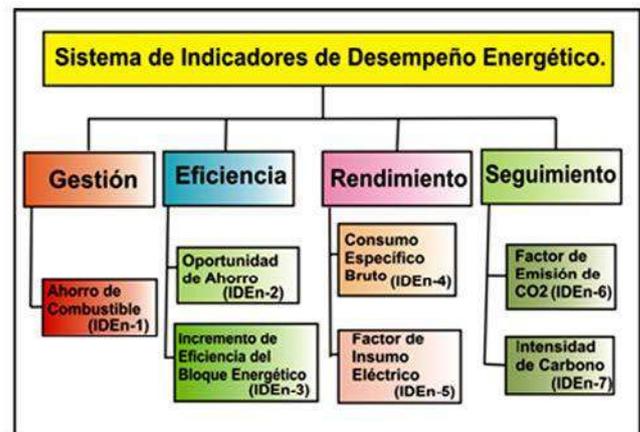


Fig. 1. Sistema de indicadores de desempeño energético.

IDEn1. Ahorro de combustible a partir de la aplicación de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Σ (DComb) con la evaluación de las fuentes de oportunidades de mejora del desempeño energético orientadas a los sistemas del proceso de generación de energía eléctrica.

Exergía por cada tonelada de combustible (Etc)

Etc = exergía/B (kW/t)

DComb_n = Ahorro de energía eléctrica n/Etc

IDEn₂. Oportunidad ahorro (%) [Barrera, 2016].

Oportunidad de ahorro (%) = $[1 - (\text{gasto combustible meta} / \text{gasto combustible base})] \times 100 \%$

IDEn₃. Incremento de la eficiencia del bloque energético (Dη_m)

Cálculo de la eficiencia energética base (η_b) del bloque térmico

Datos

VCI: valor calórico inferior del petróleo crudo según laboratorio (kcal/kg)

VCS: valor calórico superior del petróleo crudo según laboratorio (kcal/kg)

Bt: consumo de combustible (t/día)

Np: potencia activa en el generador (MW)

B: Flujo de combustible a caldera (t_{ep}/h)

$t_{ep} = Bt \times (VCS/10000)$

Exergía = $((VCI \times 4,187 \text{ kJ/kcal}) \times B \times 1000) / (3600 \text{ kJ/kW} \times 1000)$ (MW)

$\eta_b = (Np / \text{exergía combustible}) \times 100 \%$

Cálculo de la eficiencia energética meta (η_m) del bloque térmico a partir de la reducción del consumo de combustible

Datos

$\eta_m = (Np / \text{exergía combustible}) \times 100 (\%)$

Cálculo del Incremento de la eficiencia del bloque térmico (Dη_m)

$D\eta_m = \eta_b - \eta_m (\%)$

IDEn₄. Consumo específico bruto (toneladas equivalentes de petróleo consumido en el generador de vapor por energía eléctrica generada).

$CEB = (t_{ep} / GB) (t_{ep} / \text{MWh/día})$

Datos

GB: Generación bruta (MWh/día)

IDEn₅. Factor de insumo eléctrico (energía eléctrica consumida entre energía eléctrica generada).

$FE = (EEC / GB) \times 100 (\%)$

Datos

EEC: energía eléctrica consumida (MWh/día)

IDEn₆. Factor de emisión de CO₂ para el bloque térmico (FE CO₂)

Cálculo de las emisiones totales de CO₂ del bloque térmico (MCO₂)

$(MCO_2) = ((\%Ct/100) \times Bk \times 10^3 \times (100-q_4)/100 - (12/28) \times MCO) \times 3,67 (\text{g/s})$ [Landa, Vizcón, 2004].

donde,

Ct: concentración de carbono en el combustible

Bk: flujo de combustible a caldera equivalente(kg/s)

q₄: pérdidas de energía por incombustión mecánica: Se asume o

MCO: emisiones de CO: Se asume o

Cálculo del factor de emisión de CO₂ para del bloque térmico (FE CO₂)

Tiempo de servicio de la unidad (días/año)

Tiempo de mantenimiento (días/año)

Tiempo de averías (días/año)

Cálculo del consumo de combustible para n días de servicio al año (Btn)

$Btn = B \times 24 \text{ h/día} \times n \text{ días/año}$

$FE \text{ CO}_2 = MCO_2 / Btn (t \text{ CO}_2 / t \text{ combustible})$

IDEn₇. Intensidad de carbono.(I CO₂)

$ICO_2 = MCO_2 / Np (t \text{ CO}_2 / \text{MW})$

Etapa V: Planteamiento de la estrategia de Producción Más Limpia [Rigola, 1998].

Resultados

Etapa III: Revisión energética.

Paso 1. Análisis del uso y consumo de energía.

Gráfico de consumo específico bruto vs. tiempo (Fig. 2, Anexo 2).

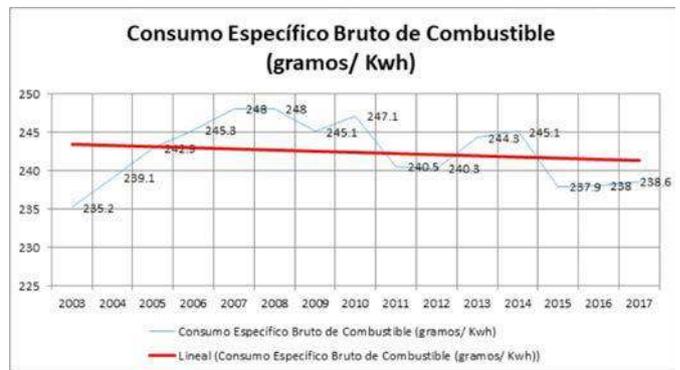


Fig. 2. Consumo específico bruto en función del tiempo.

La tendencia decreciente del consumo específico bruto refleja la propensión al incremento de la eficiencia energética del bloque, como expresión del resultado del trabajo dirigido al uso eficaz de la energía en el proceso tecnológico.

Paso 2. Identificar las áreas de uso significativo de la energía y el consumo.

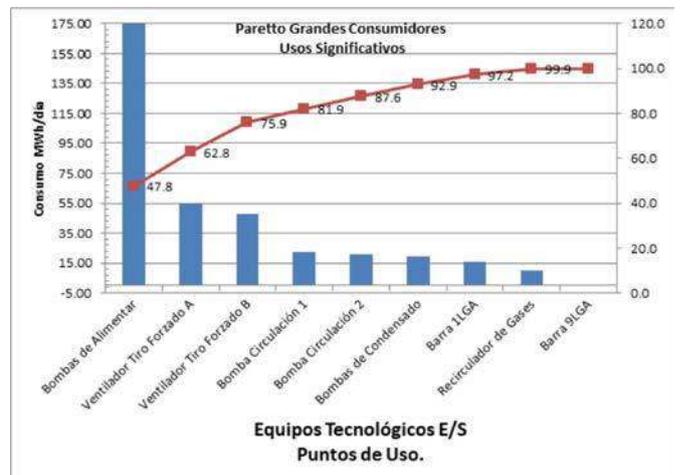


Fig. 3. Gráfico Pareto de grandes consumidores por usos significativos.

Al aplicar Pareto a los equipos tecnológicos de mayor consumo de energía eléctrica fueron identificadas las áreas de uso significativo, los que se corresponden con los equipos categoría «B» (6 kV) (Fig.3).

Paso 3. Análisis de las fuentes de oportunidades (reservas de eficiencia) para la mejora del desempeño energético orientadas a los sistemas del proceso de generación de energía eléctrica.

Innovaciones tecnológicas y organizacionales

Aplicación de resultados del trabajo de diploma «Distribución óptima de flujo en las bombas de alimentar caldera», estudio realizado en la CTE Antonio Guiteras de Matanzas [Zuaznabal, 2013].

Resultados:

Ahorro de energía eléctrica: 3521,62 MWh/ año.
 Ahorro de combustible: (DComb1).

Características del petróleo crudo (valores promedio anuales según laboratorio)

VCI = 9195 kcal/kg

VCS = 9600 kcal/kg

Bt = 1611,27t/día

Np = 281,24 MW

GB = 6749,76 MWh

$B = t_{ep}/24 \text{ h/día } (t_{ep}/h)$

$t_{ep} = Bt \times (VCS/10000)$

$B = 64,4508t_{ep}/h$

Exergía = 689,26 MWh

Tiempo de mantenimiento = 30 días/año

Tiempo de averías = 15 días/año

Tiempo en servicio del bloque = n = 320 días/año

Exergía por tonelada de combustible. (Etc)

Etc = 10 694 kWh/t

DComb1 = 329,3 t/año

Reducción de emisiones CO₂-1: 975 t/año

Aplicación de resultados de la tesis doctoral «Nuevos atomizadores para la pulverización eficiente de petróleos pesados». Estudio realizado en la CTE José Martí, de Matanzas. <https://www.researchgate.net>

Considerando disminución de 0,4 % del consumo anual de combustible petróleo crudo respecto a 1,4 % obtenido en el estudio en la CTE José Martí por tener la CTE Antonio Guiteras mayor eficiencia, obtenemos:

DComb 2 = consumo anual de combustible x 0,01

DComb 2 = 5 156 t/año

Reducción de emisiones CO₂-2: 15 282 t/año

Modernización tecnológica

Sustitución por obsolescencia de las bombas de circulación [Sulzer Pump France, 2011] «Bombas de circulación de agua de mar».

Reducción de potencia del motor = 1000 - 792 = 208 x 2 bombas = 416 kW

DComb3 = 298,8 t/año

Reducción de emisiones CO₂-3: 886 t/año

Regulación del flujo de aire de combustión con variador de frecuencia de los ventiladores de tiro forzado. <http://www.antechsv.com> [Bautista, Cano, 2003], [Pérez, 2007], [Rodríguez, 2016].

Reducción de potencia del motor = 2 300,85 - 1 083,30 = 1 217,56 x 2 motores = 2 435,12 kW

DComb4 = 1 684,2 t/año

Reducción de emisiones CO₂-4: 4 191 t/año

Mejoras en el sistema de alumbrado del bloque. Sustitución por luminarias LED [Rodríguez, 2016].

Reducción del consumo de energía eléctrica = 280,7 MWh/año

DComb5 = 26,2 t/año

Reducción de emisiones CO₂-5, 77 t/año

Disciplina tecnológica.

Falta de ajuste y control de la combustión [Guzmán, s/a].

Los estudios indican que de establecerse el ajuste permanente de la combustión, podrían obtenerse ahorros entre 2 y 4 % del consumo diario de combustible.

La instalación del equipo para realizar el monitoreo continuo de las emisiones gaseosas permitirá el ajuste permanente de la combustión, el lazo de regulación automática del ajuste existe y no está en servicio debido a que el equipo no se ha podido instalar por falta de asistencia técnica extranjera.

Cálculo del ahorro de 2 % del consumo de combustible anual.

DComb6 = Consumo anual de combustible x 0,02

DComb6 = 10 312,12 t/año.

Reducción de emisiones CO₂-6: 30 565 t/año

Mantenimiento centrado en la eficiencia energética

Reducción actual de las infiltraciones en los calentadores de aire regenerativos de 57 % al valor normativo 6,66 %, según diseño [Naranjo, 2018], (Tabla 1).

Tabla 1 Indicadores energéticos de los calentadores regenerativos

Indicador	U/M	Valor actual	Valor normativo
Infiltración	%	57	6,66
Consumo de combustible asociado	t/h	1,08	0,13
Reducción del consumo de combustible	t/h		0,95

DComb7 = 7296 t/año

Reducción emisiones CO₂-7: 21 625 t/año.

Pérdidas energéticas asociadas a las vías de asistencia del pre-calentador del aire de combustión [Rodríguez, 2016].

Al alimentar el pre-calentador de aire a través del cabezal auxiliar, disminuye el rendimiento del ciclo y aumenta el consumo de combustible, debido a que se está utilizando un vapor con mayores parámetros, es decir, con mayor energía que el tomado de la extracción 4 de turbina, como está concebido según el proyecto.

DComb8 = 1538 t/año

Reducción de emisiones CO₂ - 84 559 t/año.

Ahorro total de combustible.
 Σ DComb (1-8) = 26 640 t/año.
 Reducción de emisiones totales CO₂: 78 961 t/año.

Etapa IV: Resultados del proceso de planificación energética. <http://www.biblioteca.ucf.edu.cu>
 Determinación de la línea base y la línea meta (Figs. 4 y 5).



Fig. 4. Consumo de combustible vs. generación línea base.

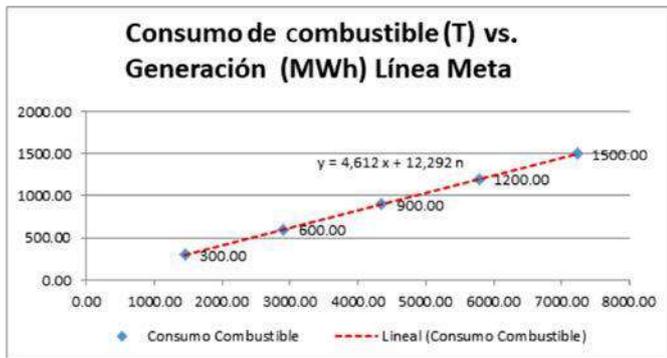


Fig. 5. Consumo de combustible vs. generación línea meta.

Sistema de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn)
 Resultados de los Indicadores de Desempeño Energético (Anexo 3).

Etapa V: Planteamiento de la estrategia de Producción más Limpia (Anexo 4).

Objetivo

Elevar la eficiencia económica y ambiental del proceso de generación de electricidad de la central termoeléctrica Antonio Guiteras, de modo que pueda ser declarado como un proceso eco-eficiente de producción, con la implementación de planes de acción que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y los riesgos; para su instalación, partir del uso eficaz de la energía.

Conclusiones

El presente trabajo plantea una estrategia de producción más limpia de generación de energía eléctrica, para dar cumplimiento al objetivo propuesto.

1. Se definen tres direcciones estratégicas de producción más limpia.
2. Se identifican cuatro fuentes de oportunidades de mejora del desempeño energético que se

erigen en los criterios de medida de la estrategia.

3. Sobre la base de los criterios de medida se focalizan siete planes de acción, cuya aplicación pueden mitigar en 78 961 t las emisiones de CO₂, un ahorro de combustible de 26 640 t con igual generación.

Recomendaciones

Establecer un proceso de mejora continua a partir del desarrollo de las nuevas mejoras tecnológicas y la modernización del equipamiento.

Aplicar la NC-ISO 50001: 2011 en la central termoeléctrica.

Bibliografía

ALPHA BAH, M. (2013). «Etapas de la planificación energética en correspondencia con la NC-ISO 50001: 2011 para empresas Metalmecánicas Cuba». Cienfuegos, 2013. 125 p. Disponible en: http://www.biblioteca.ucf.edu.cu/biblioteca/tesis/tesis-de-maestria/maestria-en-eficiencia-energetica/ano-2013/Tesis_Mamadou Alpha Bah.pdf/. Consultado 16 de marzo de 2013.

ANTECH (2016). «Ahorro de energía con variadores de frecuencia». <http://www.antechsv.com/2015/09/ahorro-de-energia-con-variadores-de.html>. Consultado: 10 de noviembre del 2016.

Barrera Hernández, J. C. (2016). «Diagnóstico del desempeño en consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio en Colombia».

BAUTISTA, G. Y CAMILO CANO (2003). «Selección de los variadores de frecuencia en el control de velocidad de motores eléctricos». Universidad de Veracruz.

GUZMÁN CHINEA, J. M. [s/a]. «Control de la combustión y determinación de la eficiencia de la caldera por método práctico». Cienfuegos.

LANDA J., ROBERTO VIZCÓN (2004). «Estimadores cuantitativos de la emisión de contaminantes atmosféricos por combustión del petróleo crudo cubano. Aplicaciones Industriales». Matanzas, 2004.

LINCHETA MESA, E. T. (2005). «Nuevos Atomizadores para la Pulverización eficiente de petróleos pesados. Matanzas», 2005. <https://www.researchgate.net/publication/269874650>. Consultado 22 de marzo 2018.

NARANJO MEDEROS, R. (2018). «Determinación y evaluación de costos termo-económicos y medioambientales en el sistema de aire y gases del generador de vapor de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras». Matanzas, 2018.

Pérez, J. (2007). «Variadores de Frecuencia: Ahorrando energía en aplicaciones de bombeo». <http://www.emb.cl/electroindustria.com>. Consultado: 10 de noviembre del 2016.

RIGOLA, M. (1998). *Producción + Limpia*. Barcelona: Ediciones Barcelona, 1998.

RODRÍGUEZ ÁVILA, RAIMEL (2016). «Medidas de Ahorro Energético en la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras». Matanzas, 2016. 27 p.

SULZER PUMP FRANCE (2011). «Bombas de circulación de agua de mar». Mayo, 2011.

«Top 10 de Indicadores de desempeño energético (IDEn) por sectores de actividad», Julio, 2014. <http://www.smarkia.com/.../top-10-de-indicadores-de-desempeño-energetico-idens-por-sect...> Consultado: 10 de noviembre de 2016.

ZUAZNÁBAL, Y. (2013). «Distribución óptima de flujo en las bombas de alimentar caldera en la CTE Antonio Guiteras». Matanzas, 2013.

Anexos

Anexo 1

Exposición del vicepresidente del Consejo de Ministros Marino Murillo Jorge, Sesión Plenaria de la Asamblea Nacional del Poder Popular. Julio de 2014

Fuente de energía	2013 (%)	2030 (%)
Petróleo crudo en centrales térmicas	48,35	42,00
Fuel oil en centrales térmicas	25,10	15,00
Fuel oil en motores	18,50	9,00
Gas acompañante	9,60	8,00
Diesel	4,20	1,00
GNL	0,00	1,00
Subtotal combustibles fósiles	95,75	76,00
Eólica	0,10	5,00
Solar	0,00	4,00
Biomasa	3,45	14,00
Hidráulica	0,70	1,00
Subtotal fuentes renovables de energía	4,25	24,00

Anexo 2

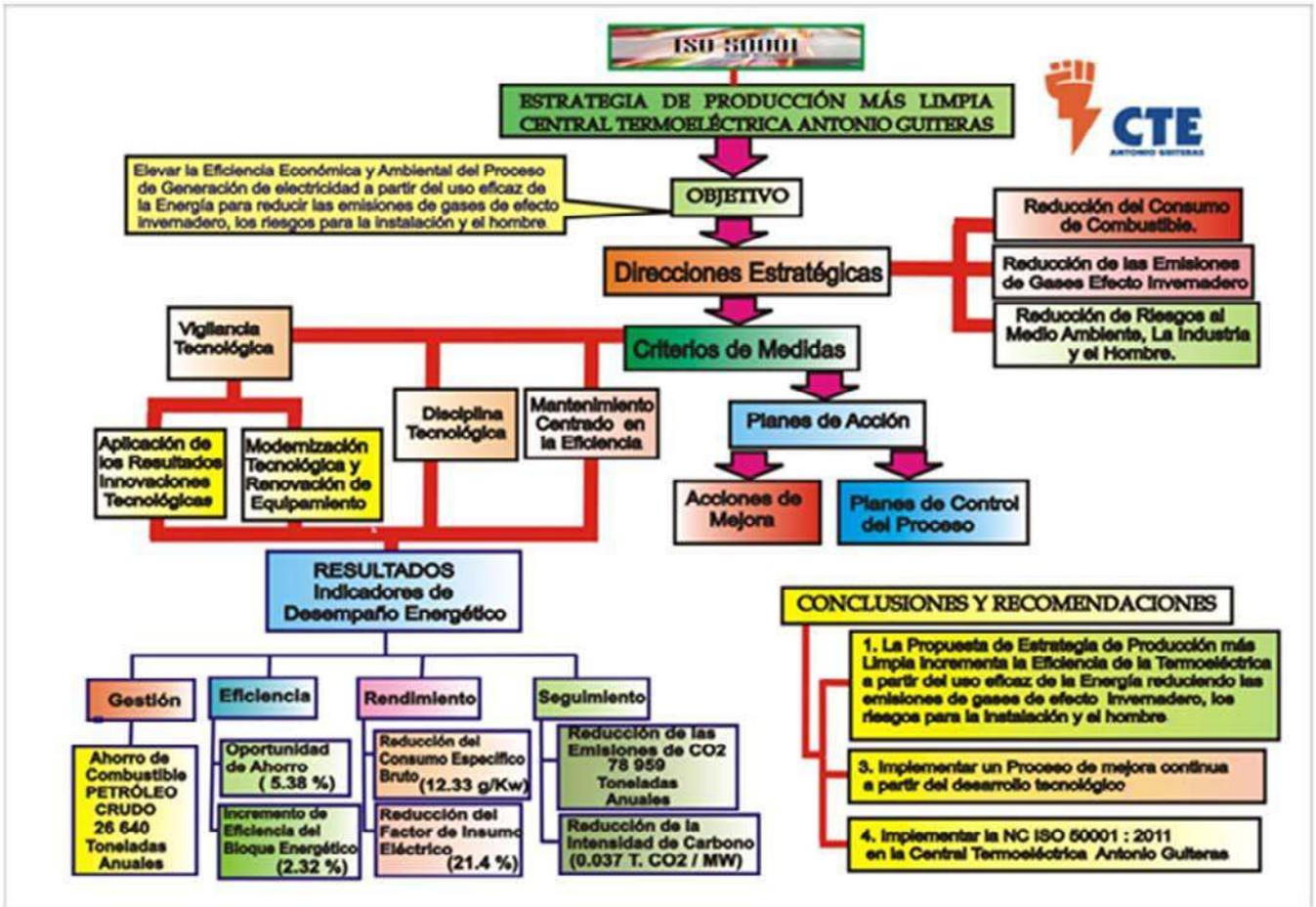
Principales indicadores productivos CTE Antonio Guiteras posteriores a la inversión para el cambio de combustible de fuel oil a crudo nacional

Años	Generación bruta	Insumo eléctrico	Generación neta	Factor de insumo eléctrico	Consumo de combustible equivalente	Consumo específico bruto
	MWh	MWh	MWh	%	tep	g/kWh
2003	2 078 404	117 252	1 961 152	5,64	488 807,50	235,2
2004	1 202 385	70 550	1 131 835	5,87	287 512,35	239,1
2005	1 860 153	110 565	1 749 588	5,94	451 919,12	242,9
2006	1 810 648	110 495	1 700 153	6,10	444 232,56	245,3
2007	1 895 860	110 370	1 785 490	5,82	467 512,84	248,0
2008	1 693 025	95 487	1 597 538	5,64	419 862,90	248,0
2009	1 797 340	104 066	1 693 274	5,79	440 587,60	245,1
2010	911 255	52 840	858 415	5,80	225 132,38	247,1
2011	1 782 610	98 656	1 683 954	5,53	428 897,28	240,5
2012	1 827 270	103 677	1 723 593	5,67	439 099,54	240,3
2013	1 325 475	79 917	1 245 558	6,03	323 876,32	244,3
2014	1 330 135	82 945	1 247 190	6,24	325 998,91	245,1
2015	1 903 473	115 797	1 787 676	6,08	452 742,57	237,9
2016	2 059 828	128 739	1 931 089	6,25	490 587,60	238,0
2017	1 889 912	112 828	1 777 084	5,97	450 933,00	238,6

Anexo 3
Tabla de resultados indicadores de desempeño energético

Descripción	Símbolo	U/M	BASE	META	Oportunidad de ahorro (IDEn2)	Dinámica (META-BASE)
Valor calórico superior	VCS	kcal/kg	9600	9600	0,00	0
Valor calórico inferior	VCI	kcal/kg	9195	9195	0,00	0
Consumo de combustible	Bt	t/día	1611,27	1524,55	5,38	-86,72
Potencia activa en el generador	Np	MW	281,24	281,24	0,00	0
Flujo de combustible a caldera	B	t _{ep} /h	64,4508	60,9820	5,38	-3,4688
Toneladas equivalentes	Tep	t _{ep} /día	1546,8192	1463,5680	5,38	-83,2512
Exergía en el combustible	Exergía	MW	689,2559	652,1595	5,38	-37,0964
Exergía por tonelada de combustible	Etc	kW/t	10 694,2958	10 694,2958	0,00	0,0000
Eficiencia energética (IDEn3)	η _p	%	40,8034	43,1244	-5,69	2,3210
Generación bruta	GB	MWh	6749,76	6749,76	0,00	0
Consumo específico bruto (IDEn4)	CEB	g equiv/Kw	229,1665	216,8326	5,38	-12,3339
Energía eléctrica consumida	EEC	MWh	375,31	295,00	21,40	-80,31
Factor de insumo eléctrico (IDEn5)	FE	%	5,5603	4,3705	21,40	-1,1898
Concentración de carbono en el combustible	Ct	%	80,76	80,76	0,00	0,0000
Flujo de combustible a caldera	Bk	kg/s	17,9030	16,9394	5,38	-0,9636
Emisiones de CO ₂	MCO ₂	g/s	53 062,56	50 206,68	5,38	-2855,87
Emisiones de CO ₂	MCO ₂	t/año	1 467 073,62	1 388 114,40	5,38	-78 959,22
Factor de emisión de CO ₂ (IDEn6)	FE CO ₂	%	2,9639	2,9639	0,00	0,0000
Consumo de combustible al año (IDEn1)	Btn	t/año	494 982,14	468 341,76	5,38	-26 640,38
Intensidad de carbono (IDEn7)	I CO ₂	tCO ₂ /MW	0,6792	0,6427	5,38	-0,0366

Anexo 4
Planteamiento de la estrategia de Producción Más Limpia



Climatización solar

Por Dr. C. M. Sc. Ing. José Luis Sánchez Ávila*, Ing. Ángel Manuel Veliz Alonso**
y M. Sc. Ing. Marlene Oramas Ortega***

* Vicepresidente Provincial de Cubasolar Matanzas.

joseluis@dpmt.bandec.cu

**Jefe de Departamento de Control Ingenieril. Delegación Provincial de Bandec Matanzas.

veliz@dpmt.bandec.cu

***Profesora de la Universidad de Matanzas.

marlene.oramas@dpmt.bandec.cu

Resumen

En la actualidad existen otros medios de climatizar locales, desde algunos completamente naturales (climatización adiabática) hasta artificiales (aires acondicionados), pero no es hasta los últimos años que se están empleando los sistemas de climatización mediante el aprovechamiento de la radiación solar, empleando para ello un sistema de absorción con amoníaco-agua ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$), o un sistema de adsorción de bromuro-litio (Br-Lt) y actividad térmica de baja temperatura, mediante un sistema híbrido que también incluye colectores fotovoltaicos que permitan garantizar la electricidad necesaria para los equipos rotodinámicos de estos sistemas (bombas y ventiladores).

Para realizar el diseño de estos sistemas de absorción se ha propuesto una metodología de acuerdo a las condiciones de Cuba para el cálculo del ciclo, con la finalidad de saber los parámetros termodinámicos de cada componente que forma parte del sistema, y de esa manera poder seleccionar o fabricar dichos componentes. Para lograr los objetivos del trabajo se ha realizado una investigación de las diferentes variantes que se podrían encontrar, como la búsqueda de bibliografía relacionada con la climatización por absorción. Como es lógico, se parte de la premisa que ya se conoce o en las que están calculadas las cargas térmicas del local o locales a climatizar, que proporciona los valores necesarios para la determinación del equipo a diseñar, de forma que el mismo garantice la temperatura y humedad adecuada para el confort humano y el equipamiento de trabajo.

Palabras clave: Climatización, energía solar, medioambiente.

Solar air conditioning

Abstract

At the present time different means exist on acclimatizing local, from some totally natural (adiabatic air conditioning) until artificial (air conditioning), but it is not until the last years that the air conditioning systems are using the solar radiation, using for it a system of absorption with ammonia-water ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$), or a system of adsorption of bromide-lithium (Br-Lt) and thermal activity of low temperature, by a hybrid system that also includes photovoltaic collectors that guarantee the necessary electricity for the dynamic equipments of these systems (pumps and fans).

To carry out the design of these systems of absorption, has been intended a methodology according to the conditions of Cuba for the calculation of the cycle, with the purpose of knowing the thermodynamic parameters of each component of the system, and in that way to be able to select or manufacture this components. To achieve the objectives of the work, it has been carried out a investigation of the different variants that could be implemented, as the bibliography search related with the air conditioning for absorption. As it is logical leaves of the premise that is already known or the thermal loads of the local are calculated or local to acclimatize that provides the necessary values for the determination the team to design, so that the same one guarantees the temperature and appropriate humidity for the human comfort and the work equipment.

Key words: Air conditioning, solar energy, environment.

Desarrollo

Introducción al sistema de climatización por absorción

Para el diseño del sistema se tuvieron en cuenta las condiciones de un local para impartir la Maestría en Termoenergética Industrial, en la ciudad de Matanzas. Por las condiciones del diseño existen componentes que consumirán corriente eléctrica. Para su funcionamiento, se puede seleccionar un sistema híbrido eólico fotovoltaico, ya que el equipamiento es de bajo consumo. El diseño consiste solamente en la parte esquemática y la parte constructiva puede ser llevada a cabo, porque los materiales y equipos, entre otros componentes, existen en el país.

En la figura 1 están representadas las cuatro sustancias de trabajo con los colores que se indican:

- Rojo: Concentración del amoníaco
- Verde oscuro: Solución fuerte de la mezcla
- Verde Claro: Solución débil de la mezcla
- Azul: Agua

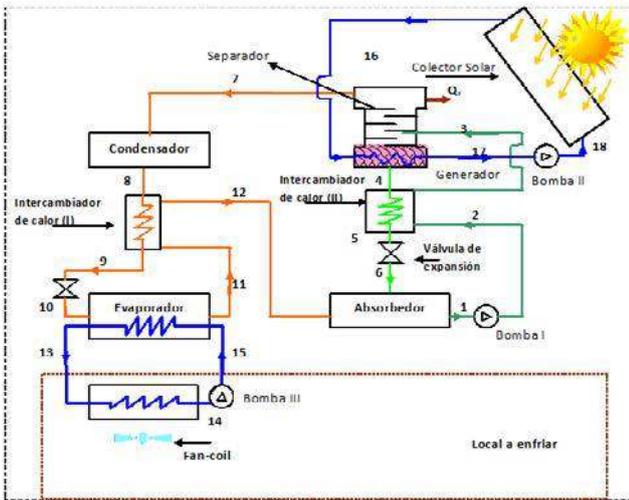


Fig. 1. Diagrama Esquemático del Sistema de absorción amoníaco+agua (NH₃+H₂O).

1. Consideraciones para el cálculo del sistema por absorción.

1.1. Para simplificar el modelo se consideraron los postulados siguientes:

- a. El sistema opera en régimen estacionario.
- b. Las corrientes de salida del absorbedor, generador, condensador y evaporador están en condiciones de equilibrio (saturación) para los puntos 1, 3, 4, 7, 8 y 12.
- c. No se consideran pérdidas o ganancias de calor a través de los diferentes componentes del sistema y de los conductos.
- d. No se consideran pérdidas de presión a lo largo de los conductos ni en otros componentes del sistema.
- e. El proceso en las válvulas se considera isoentálpico.

La bomba tiene un rendimiento isoentrópico de 0,75 en fracción [http..., 2016].

1.2. Balances de materia y energía.

Las ecuaciones de los balances de materia y de energía en cada uno de los componentes del ciclo, son indicadas en las ecuaciones descritas a continuación. El caudal másico y la entalpía de cada una de las corrientes se representa por las variables *m* y *h*, respectivamente. El número que aparece como subíndice corresponde a los estados de las corrientes según el esquema de la figura 1.

Absorbedor:

$$m_1 = m_{12} + m_6 \tag{1}$$

donde:

*m*₁: flujo de la mezcla que sale del absorbedor y entra a la succión de la bomba I

*m*₁₂: flujo de la mezcla que sale del evaporador y entra al absorbedor

*m*₆: flujo del fluido a la salida del intercambiador II y a la entrada del absorbedor

Balance de energía en el absorbedor:

$$h_1 \cdot m_1 = h_6 \cdot m_6 + h_{12} \cdot m_{12} \tag{2}$$

Donde la entalpía se puede calcular también como:

$$h = C_p \cdot T \tag{3}$$

donde:

C_p: Calor específico a presión constante

T: Temperatura en un punto específico del sistema en Kelvin

*h*₁: entalpía a la salida del absorbedor y en la succión de la bomba I

*h*₆: entalpía del fluido a la salida del intercambiador II y a la entrada del absorbedor

*h*₁₂: entalpía del fluido a la salida del evaporador y a la entrada del absorbedor

$$x_1 \cdot m_1 = x_6 \cdot m_6 + x_{12} \cdot m_{12} \tag{4}$$

donde:

*x*₁: mezcla del fluido a la salida del absorbedor y en la succión de la bomba I

*x*₆: mezcla del fluido a la salida del intercambiador II y a la entrada del absorbedor

*x*₁₂: mezcla del fluido a la salida del evaporador y a la entrada del absorbedor

$$m_6 = \frac{m_{12}(x_{12} - x_1)}{(x_1 - x_6)} \tag{5}$$

$$Q_{AB} = m_1 \cdot h_1 - m_{12} \cdot h_{12} + m_6 \cdot h_6 \tag{6}$$

donde: Q_{AB} : calor en el absorbedor

Generador:

$$Q_G = m_{16} \cdot h_6 + m_3 \cdot h_3 - m_4 \cdot h_4 - m_7 \cdot h_7 - m_{17} \cdot h_{17} - Q_r \quad (7)$$

donde:

Q_G : calor en el generador

m_{16} : flujo del agua a la salida del colector solar a la entrada del generador

h_{16} : entalpía del agua a la salida del colector solar a la entrada del generador

m_3 : flujo del fluido a la salida del intercambiador de calor II y a la entrada del generador

h_3 : entalpía del fluido a la salida del intercambiador de calor II y a la entrada del generador

m_4 : flujo del fluido a salida del generador y que entra al intercambiador de calor II

h_4 : entalpía del fluido a salida del generador y que entra al intercambiador de calor II

m_7 : flujo de la mezcla a la salida del generador y a la entrada del condensador

h_7 : entalpía de la mezcla a la salida del generador y a la entrada del condensador

m_{17} : flujo del agua a la salida del generador y succión de la bomba II

h_{17} : entalpía del agua a la salida del generador y succión de la bomba II

Q_r : calor en el rectificador

$$m_3 = m_7 + m_4 \quad (8)$$

$$m_3 \cdot h_3 = m_7 \cdot h_7 + m_4 \cdot h_4 \quad (9)$$

Condensador:

$$Q_C = m_{10} (h_7 - h_8) \quad (10)$$

Donde :

Q_C : calor en el condensador

m_{10} : flujo de la mezcla a la salida de la válvula expansión y que entra al evaporador

h_8 : entalpía de la mezcla que sale del condensador y que entra al intercambiador de calor I

$$m_7 = m_8 \quad (11)$$

m_8 : flujo de la mezcla que sale del condensador y entra al intercambiador de calor I

Evaporador:

$$Q_0 = m_{10} (h_{10} - h_{11}) \quad (12)$$

$$m_{10} = m_{11} \quad (13)$$

donde:

Q_0 : calor aportado en el local

h_{10} : entalpía de la mezcla que sale de la válvula expansión y entra al evaporador

h_{11} : entalpía de la mezcla que sale del evaporador y entra al intercambiador de calor I

m_{11} : flujo de la mezcla que sale del evaporador y entra al intercambiador de calor I

Intercambiador de calor (I):

$$Q_{Int-calor I} = m_8 \cdot (h_8 - h_9) \quad (14)$$

$$m_8 \cdot h_8 + m_{11} \cdot h_{11} = m_9 \cdot h_9 + m_{12} \cdot h_{12} \quad (15)$$

donde:

$Q_{Int-calor I}$: calor en el intercambiador (I)

m_9 : mezcla del fluido que sale intercambiador de calor I y entra en la válvula de expansión

h_9 : entalpía de mezcla que sale intercambiador de calor I y entra en la válvula de expansión

Intercambiador de calor (II):

$$Q_{Int-calor II} = m_4 \cdot (h_4 - h_5) \quad (16)$$

$$m_2 \cdot h_2 + m_4 \cdot h_4 = m_3 \cdot h_3 + m_5 \cdot h_5 \quad (17)$$

$$m_2 \cdot x_2 + m_4 \cdot x_4 = m_3 \cdot x_3 + m_5 \cdot x_5 \quad (18)$$

donde:

$Q_{Int-calor II}$: calor en intercambiador II

m_2 : mezcla del fluido a descarga de la bomba y entra al intercambiador de calor II

h_2 : entalpía del fluido a la descarga de la bomba y entra al intercambiador de calor II

m_5 : mezcla del fluido que sale del intercambiador de calor II y entra en la válvula de expansión

h_5 : entalpía del fluido que sale del intercambiador de calor II y entra en la válvula de expansión

Bomba I (en punto 1 y 2):

El consumo en potencia de las bombas se determina empleando la relación siguiente:

$$W_b = \frac{m_1 \cdot (h_2 - h_1)}{\eta \cdot 60} \quad (19)$$

$$h_2 = h_1 + (P_2 - P_1) \cdot V_1 \quad (20)$$

donde:

W_b : potencia de la bomba

η : eficiencia de la bomba I

P_2 : presión en la descarga de la bomba

P_1 : presión en la succión de la bomba

η : eficiencia de la bomba

V_1 : volumen de la mezcla en punto 1 y se calcula a través de la expresión:

$$V_1 = (1 - x_1) \cdot V_{H_2O} + (0,85) \cdot x_1 \cdot V_{NH_3} \quad (21)$$

donde:

V_{H_2O} : volumen específico del agua

V_{NH_3} : volumen específico del amoníaco

Colector Solar:

$$Q_{csolar} = m_{16} \cdot (h_{16} - h_{17}) \quad (22)$$

$$m_{16} = m_{18} \quad (23)$$

donde:

Q_{csolar} : calor en colector solar

Coefficiente de Operación o coeficiente de rendimiento (COP):

Por lo tanto, el coeficiente de efecto frigorífico (COP) del sistema se podrá obtener a partir de la relación siguiente:

$$COP = \frac{Q_o}{Q_g} \quad (24)$$

1.3. Cálculo del área necesaria para el fan-coil (ventilador de tiro forzado en el interior del local para el enfriamiento)

El flujo de agua necesario para lograr la climatización del local, se determinará realizando un balance térmico en el ventilador del local a climatizar (fan-coil), empleando las relaciones de calor absorbido y calor cedido, quedando la expresión de balance como:

$$Q_o = D_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot \Delta t_{aire} = \frac{(D_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot \Delta t_{agua})}{\zeta_{IT}} \quad (25)$$

donde:

D_{aire} : flujo del aire

$C_{p_{aire}}$: calor específico del aire

Δt_{aire} : variación de la temperatura del aire

Δt_{agua} : variación de la temperatura del agua

η_{IT} : eficiencia en el intercambiador de calor

El flujo de agua se calcula por la expresión siguiente:

$$D_{agua} = \frac{Q_o \cdot \zeta_{IT}}{C_{p_{agua}} \cdot \Delta t_{agua}} \quad (26)$$

Para realizar el cálculo del área necesaria para la transferencia del fan-coil, es necesario incluir expresiones que permitan determinar los coeficientes peliculares de transferencia de calor en el mismo, y emplear la ecuación general de la transferencia de calor, como:

$$F = \frac{Q_o}{K \cdot \dot{A} T_{log}} \quad (27)$$

El coeficiente global de transferencia de calor [http..., 2017; http..., 2017a; http..., 2017b; http..., 2016], se determina a partir de los coeficientes de transferencia de calor que rigen los procesos que se ponen de manifiesto en el intercambiador de calor que se utilizara como fan-coil; con tal objetivo se propone la metodología siguiente para su cálculo.

El número de Reynolds (Re):

$$Re1 = \frac{\omega 1 \cdot d_{ext}}{V_{aire}} \quad (28)$$

$$Re1 = \frac{\omega 2 \cdot d_{int}}{V_{H_2O}} \quad (29)$$

donde:

ω_1 : velocidad del aire fuera del tubo

ω_2 : velocidad del agua dentro del tubo

d_{ext} : diámetro exterior

d_{int} : diámetro interior

Coefficiente traspaso de calor:

$$\alpha 1 = Nuf1 \cdot \left[\frac{\lambda 1}{d_{ext}} \right] \quad (30)$$

donde:

α_1 : coeficiente traspaso de calor para aire

$Nuf1$: número de Nusselt utilizado para aire

λ_1 : coeficiente de conductividad del aire

$$\alpha 2 = Nuf2 \cdot \left[\frac{\lambda 2}{d_{int}} \right] \quad (31)$$

donde:

α_2 : coeficiente de traspaso de calor para el aire

$Nuf2$: número de Nusselt utilizado para el aire

λ_2 : coeficiente de conductividad del agua

Coefficiente de transmisión térmica (K):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha 1} + \frac{\delta t}{\lambda t} + \frac{1}{\alpha 2}} \quad (32)$$

donde:

δt : espesor del tubo

λt : coeficiente de conductividad térmica: cobre 384 W/m.^{°C} y acero 46,84 W/m.^{°C} [http..., 2017b]

El número de Nusselt (Nuf) para el régimen turbulento, se calcula haciendo uso de la ecuación siguiente:

$$Nuf1 = 0,021 \cdot Re1^{(0,8)} \cdot Prf1^{0,43} \cdot \left[\frac{Prf1}{Prw1} \right]^{0,25} \cdot el \quad (33)$$

$$Nuf2 = 0,021 \cdot Re2^{(0,8)} \cdot Prf2^{0,43} \cdot \left[\frac{Prf2}{Prw2} \right]^{0,25} \cdot el \quad (34)$$

2. Balance de energía para cada componente del sistema.

Este balance tiene como objetivo determinar y conocer las propiedades termodinámicas P, T, x, m, y h para todos los puntos del estado de un sistema, para un hipotético local, cuya carga térmica necesaria a vencer es de 5 toneladas de refrigeración.

2.1. Balance de energía para el evaporador.

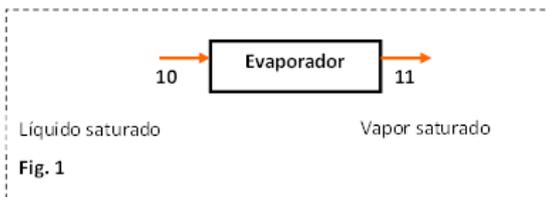


Fig. 1. Evaporador.

Datos iniciales:

$$T_{10} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{11} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_0 = 17,74 \text{ kJ/s} = 17,74 \text{ kW} = 60531 \text{ BTU/h} = 5 \text{ t/h}$$

Se busca en diagrama del amoníaco [Sánchez *et al.*, 2007], figura 1, con los valores de las temperaturas:

$$T_{10} = 2 \text{ } ^\circ\text{C y}$$

$T_{11} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$, se buscan los valores de las presiones y entalpías del punto 10 y 11 en la líneas del líquido saturado y vapor saturado.

$$P_{10} = 4,64 \text{ bar } h_{10} = 210,53 \text{ kJ/kg}$$

$$P_{11} = 4,64 \text{ bar } h_{11} = 1464,91 \text{ kJ/kg}$$

Empleando la ecuación 12 se puede despejar y obtener el valor del flujo en el punto 10.

$$m_{10} = \frac{Q_0}{(h_{10} - h_{11})} \quad m_{10} = \frac{17,74 \text{ kJ/s}}{(1467 - 214,91) \text{ kJ/kg}} \quad m_{10} = 0,014 \text{ kg/s}$$

y con los valores de T y P se busca en el diagrama de mezcla el valor correspondiente $x_{10} = 0,995$, significa que en ese punto hay alta concentración del amoníaco, de acuerdo a la característica del proceso.

2.2. Válvula de expansión.

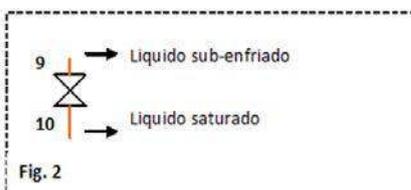


Fig. 2. Válvula de expansión.

$$h_9 = 210,53 \text{ kJ/kg}$$

Con la entalpía del punto 9 se buscan en la tabla de amoníaco, en la zona del líquido sub-enfriado los valores de las presiones y temperaturas, sabiendo las condiciones siguientes [Sánchez, *et al.*, 2007] Fig. 1:

$$h_{10} = h_9$$

$$P_9 > P_{10}$$

$$m_9 = m_{10}$$

$$P_9 = 10,4 \text{ bar}$$

$$T_9 = 26 \text{ } ^\circ\text{C de forma tal que } T_9 = T_8 - 6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.3. Balance energético del intercambiador de calor I.

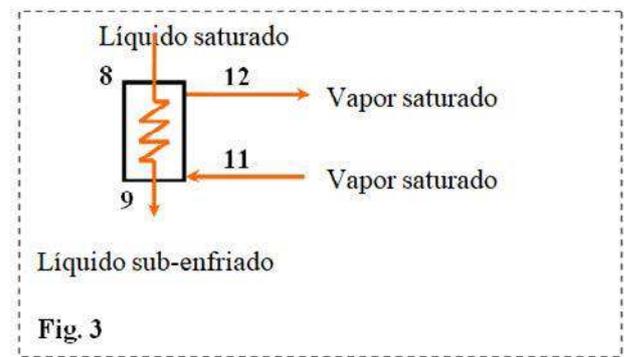


Fig. 3: Intercambiador de calor I.

Datos

$$T_9 = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_8 = T_9 + 6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_8 = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{11} = 1467, 11 \text{ kJ/kg}$$

$$P_9 = P_8 = 10,4 \text{ bar}$$

$$h_9 = 210,53 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{11} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{11} = P_{12} = 4, 64 \text{ ba}$$

Con el valor de la temperatura del punto 8 se busca en el diagrama del amoníaco la línea de líquido saturado, valor de la entalpía, y para el punto 12 con el valor de la $P_{12} = 4,64 \text{ bar}$ se buscan los valores de h_{12} y T_{12} en la línea de vapor saturado. [Sánchez *et al.*, 2007], figura: 1, o también se puede hallar por esta ecuación: $h_{12} = h_8 - h_9 + h_{11}$

$$T_8 = 32 \text{ } ^\circ\text{C } h_8 = 350, 88 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{12} = 13 \text{ } ^\circ\text{C } h_{12} = 1603, 08 \text{ kJ/kg}$$

Empleando la ecuación 3.13, se obtiene que:

$$Q_{\text{Int - calor}} = 0,014 \text{ kg/s} \cdot (350,88 - 210,53) \text{ kJ/kg} = 1,926 \text{ kJ/s}$$

Sabiendo que los flujos en los puntos, $m_7 = m_8 = m_9 = m_{10} = m_{11} = m_{12} = 0,016 \text{ kg/s}$

2.4. Balance energético del condensador.

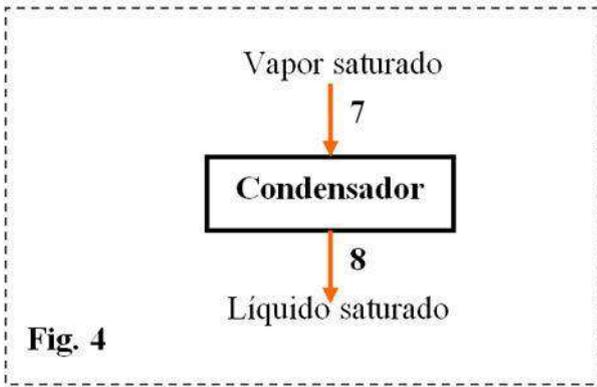


Fig. 4: Condensador.

Datos

$T_8=49,6^\circ\text{C}$
 $P_8 = P_7=10,4 \text{ bar}$
 $h_8=350,88 \text{ kJ/kg}$
 $T_7=?$ y $h_7=?$

En la tabla de amoníaco, con el valor de $P_7=10,4 \text{ bar}$, se buscan los valores de la temperatura y entalpía del punto 7 en la línea del vapor saturado; el porcentaje de la concentración (x) se busca en el diagrama (presión, mezcla y temperatura) de la mezcla amoníaco+agua (ver [Sánchez *et al.*, 2007], Fig. 2), sabiendo que en los puntos referidos la concentración de la mezcla es igual a: $x_7 = x_8 = x_9 = x_{10} = x_{11} = x_{12}=0,995$

$T_7=51^\circ\text{C}$, $h_7=1493,42 \text{ kJ/kg}$

Empleando la ecuación 9 se obtiene que:

$$Q_c = 0,014 \text{ kg/s} \cdot (1493,42 - 350,88) \text{ kJ/kg} =$$

$$Q_c = 16,18 \text{ kJ/s}$$

2.5. Balance energético del absorbedor.

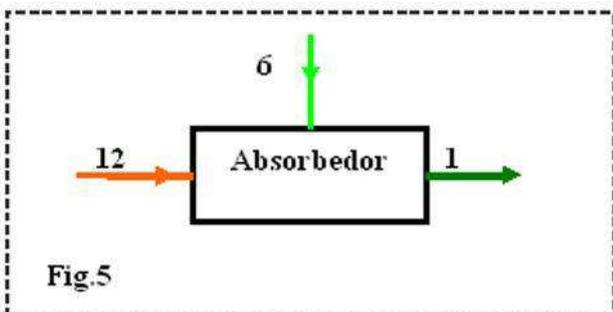


Fig.5. Absorbedor.

Datos

$T_{12}=13^\circ\text{C}$
 $P_{12} = P_6 = P_1=4,64 \text{ bar}$
 $h_{12}=1603,08 \text{ kJ/kg}$
 $m_{12}=0,014 \text{ kg/s}$
 $x_{12}=0,995$
 Datos obtenidos

$T_6=32^\circ\text{C}$
 $h_6=?$
 $m_6=?$
 $X_6=0,60$

Puesto que el $T_5=T_6=T_8$, condiciones asumidas para el sistema.

$T_1=19^\circ\text{C}$; $h_1=49 \text{ kJ/kg}$; $m_1=?$

$x_1 = 0,65$ corresponde al valor que se asumió para el cálculo.

Para obtener valores de presiones, temperaturas, la mezcla y la entalpía, fue necesario utilizar la hoja de cálculo por el Software TKSolver 5.0 para el procesamiento de los referidos valores, también utilizando tablas y los diagramas, ver [Sánchez *et al.*, 2007], Tablas 1 y 2.

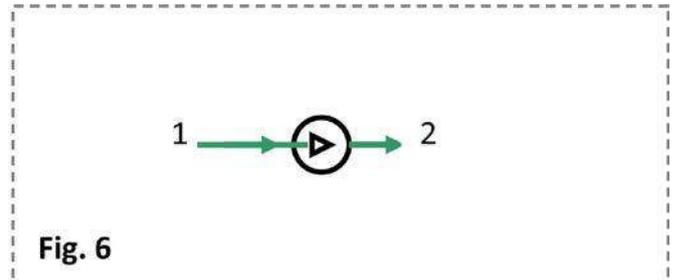


Fig. 6

Fig.6. Colector solar.

Para dar solución a estas ecuaciones es necesario hacer un balance previo al generador e intercambiador de calor II. Empleando la ecuación 1: $m_1=m_{12}+m_6$, se obtiene que $m_1=0,041 \text{ kg/s}$. Empleando la ecuación $h_1 \cdot m_1=h_6 \cdot m_6+h_{12} \cdot m_{12}$

Se ha calculado el valor de la entalpía: $h_6=-828,71 \text{ kJ/kg}$. Empleando la ecuación 5 se obtiene como resultado: $m_6=0,027 \text{ kg/s}$, y haciendo uso de la fórmula 6 calculamos el valor de: $Q_{AB}=45,42 \text{ kJ/s}$.

2.6. Cálculo de la bomba.

La potencia requerida por la bomba, suponiendo un rendimiento mecánico de 75 % (0,75 en fracción), el flujo y la mezcla de la entrada y salida en la bomba en 1 y 2 son los mismos, considerando que no hay cambio de temperatura.

Para obtener el valor de h_1 , con los valores de T_1, X_1 en la diagrama del amoníaco-agua [http..., 2016b], Fig. 1, y se obtiene el resultado $h_1=49 \text{ kJ/kg}$.

Datos

$T_1 = T_2=17^\circ\text{C}$
 $P_1=4,64 \text{ bar}$
 $h_1=?$
 $P_2=10,4 \text{ bar}$
 $h_2=?$
 $x_1=x_2$

$V_{H_2O}=0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $V_{NH_3}=0,00166 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $V_1=?$
 $\dot{W}_b=?$
 $m_1=m_2$
 $\eta=0,75$

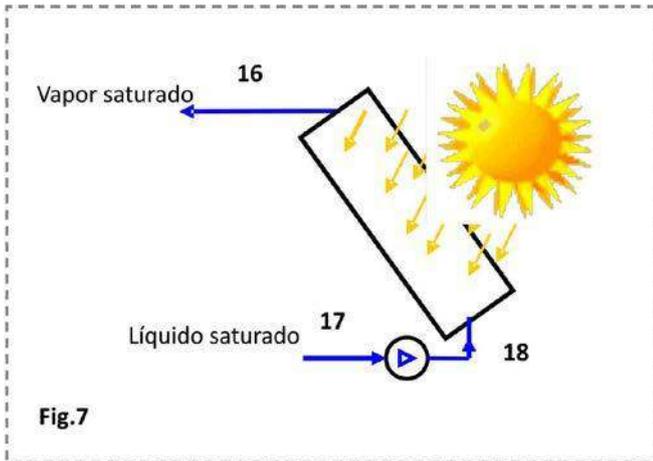


Fig. 7. Bomba de líquido.

Utilizando la ecuación 21 se halla el volumen específico con la relación empírica y tiene como resultado: $V_1 = 0,0013 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Con la fórmula 20 se calcula el valor de $h_2 = 49 \text{ kJ/kg}$

Utilizando la ecuación 19 se puede determinar la potencia de la bomba $W_b = 1,3 \text{ kW}$

2.7. Balance energético del colector solar.

La temperatura del agua en el calentador solar sale en forma de vapor saturado a 75°C intercambiando con la mezcla amoníaco-agua, en el generador sale a una temperatura de 65°C en forma de líquido saturado. El fluido circulará mediante una bomba.

Datos

$$P_{16} = P_{17} = P_{18} = ?$$

$$h_{16} = ?$$

$$m_{16} = m_{17} = m_{18} = 0,012 \text{ kg/s}$$

$$T_{17} = T_{18} = 65^\circ\text{C}$$

$$T_{16} = 75^\circ\text{C}$$

$$h_{17} = h_{18} = ?$$

Se busca en el diagrama agua (R718), ver [Sánchez *et al.*, 2007], figura 4; con los valores de las $T_{16} = 75^\circ\text{C}$ y $T_{17} = 65^\circ\text{C}$ se buscan los valores de la presión y entalpía de los puntos 16 y 17, que será la misma que en el punto 18 en la línea del líquido saturado y del vapor saturado.

Teniendo el valor de $h_{16} = 2829,65 \text{ kJ/kg}$ con la presión de $0,385 \text{ bar}$ y el $h_{17} = 480,92 \text{ kJ/kg}$

Con la ecuación 22 se obtiene la cantidad de calor en el colector solar: $Q_{\text{csolar}} = 28,23 \text{ kJ/s}$

2.8. Balance energético del generador.

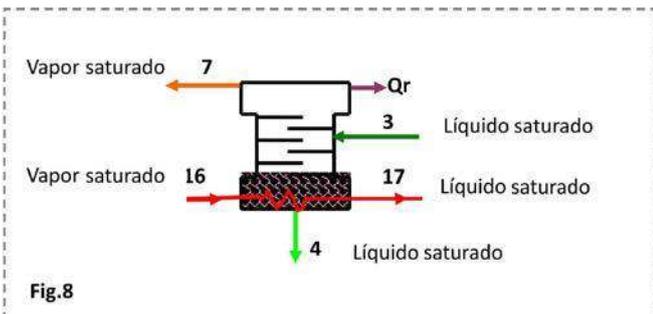


Fig.8. Generador.

A su vez, la solución débil de la concentración sale del generador a temperatura de 65°C (punto 4), pero la concentración de la solución fuerte que entra al generador es un dato a calcular, solamente se conoce el valor de la presión $4,64 \text{ bar}$, considerando que no hay pérdida en el rectificador:

Datos

$$T_{16} = 75^\circ\text{C}$$

$$P_{16} = P_{17} = 0,385 \text{ bar}$$

$$h_{16} = ?$$

$$m_{16} = m_{17} = 0,012 \text{ kg/s}$$

$$T_{17} = 65^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 65^\circ\text{C}$$

$$P_4 = P_7 = 10,4 \text{ bar}$$

$$h_4 = 993 \text{ kJ/kg}$$

$$m = ?$$

$$x_4 = ?$$

$$h_4 = ?$$

$$T_{17} = 65^\circ\text{C}$$

$$P_3 = P_2 = 10,4 \text{ bar}$$

$$h_3 = 1202,17 \text{ kJ/kg}$$

$$m_3 = m_2 = m_1$$

$$x_3 = x_2 = x_1$$

$$T_7 = 51^\circ\text{C}$$

$$P_7 = P_2 = 10,4 \text{ bar}$$

$$h_7 = 1493,42 \text{ kJ/kg}$$

$$m_7 = 0,014 \text{ kg/s}$$

$$x_7 = 0,995$$

Haciendo uso de la expresión de cálculo 2.6, se puede saber el valor de la cantidad de calor que aporta el generador:

$$Q_6 = 29,73 \text{ kJ/s}$$

2.9. Balance energético del intercambiador de calor II.

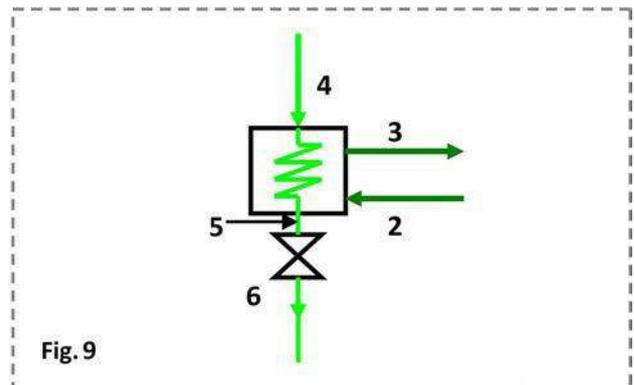


Fig. 9. Intercambiador de calor II.

En este caso las temperaturas en los puntos 5 y 6 permanecen constantes, iguales que el valor de las entalpías, mientras que hay un cambio de presión en los puntos 5 y 6.

Datos

$$T_3 = 45^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 1202,17 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 19^\circ\text{C}$$

$$x_2 = x_1 = x_3 = 0,65$$

$$P_2 = P_3 = 10,4 \text{ bar}$$

$$h_2 = 49 \text{ kJ/kg}$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = 0,041 \text{ kg/s}$$

$$x_4 = x_5 = x_6 = 0,47$$

$$T_5 = 32^\circ\text{C}$$

$$h_5 = -761,82 \text{ kJ/kg}$$

$$T_6 = 32^\circ\text{C}$$

$$P_6 = 4,64 \text{ bar}$$

$$h_6 = -761,82 \text{ kJ/kg}$$

A partir de las ecuaciones 17 y 18 se obtiene, con la fórmula 16, el calor en el intercambiador II:

$$Q_{\text{Int-calorII}} = 47,649 \text{ kJ/s}$$

Coefficiente de rendimiento (COP) del sistema

$$\text{COP} = \frac{Q_O}{Q_G} = 0,6$$

Tabla 1. Propiedades termodinámicas y flujos másicos del sistema

Puntos	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Mezcla	Entalpía (kJ/kg)	Flujo kg/s
1	4,64	19	0,65	49	0,041
2	10,4	19	0,65	42,49	0,041
3	10,4	45	0,65	1202,17	0,041
4	10,4	65	0,47	300	0,027
5	10,4	32	0,47	-761,82	0,027
6	4,64	32	0,47	-761,82	0,027
7	10,4	51	0,995	1493,42	0,014
8	10,4	32	0,995	350,88	0,014
9	10,4	26	0,995	210,53	0,014
10	4,64	2	0,995	210,53	0,014
11	4,64	7	0,995	1464,91	0,014
12	4,64	13	0,995	1605,24	0,014
13	0,010	7	0	234,84	0,0071
14	0,010	12	0	2714,04	0,0071
15	0,010	12	0	2714,04	0,0071
16	0,36	75	0	2829,65	0,012
17	0,36	65	0	480,92	0,012
18	0,36	65	0	480,92	0,012

En el diagrama de mezcla amoníaco+agua están representados los puntos que corresponden en cada proceso, ver [Sánchez *et al.*, 2007], tablas 1 y 2.

Tabla 2. Resumen de valores obtenidos en los balances de energía de cada componente

Componentes	Ganancias kJ/s	Pérdidas kJ/s
Colector solar	28,01	---
Generador	29,56	---
Condensador	---	16,18
Evaporador(dato)	17,74	---
Absorbedor	---	45,42
Bomba	1,2	---
Total	76,51	61,6

El resto de los resultados se programaron por el Revolver de ecuaciones TK Solver.

3. Cálculo económico y ahorro posible.

Para el análisis económico se tiene que calcular la potencia eléctrica NE, conociéndose:

$$Q_O = 17,74 \text{ kW} \text{ y el sistema tiene una eficiencia de}$$

$$\text{COP} = 0,6$$

$$N_e = \frac{Q_O}{\text{COP}} \tag{35}$$

Calculando por la ecuación 4.1 se obtiene una potencia eléctrica de:

$$N_e = 29,6 \text{ kW}$$

$$\text{Ahorro (kW)} = N_e (\text{kW}) \cdot 365 \left(\frac{\text{día}}{\text{año}}\right) \cdot \left(\frac{8 \text{hr}}{\text{día}}\right) \tag{36}$$

Haciendo uso de la ecuación 36 se calcula el ahorro eléctrico de la forma siguiente:

$$\text{Ahorro (kW)} = 29,6 (\text{kW}) \cdot 365 \left(\frac{\text{día}}{\text{año}}\right) \cdot \left(\frac{8 \text{hr}}{\text{día}}\right) = 86\,432 \text{ kW.hr/año}$$

$$\text{Ahorro(\$)} = \text{Ahorro (kW)} \cdot \text{Tarifa} \left(\frac{\$}{\text{kW.hr}}\right) \tag{37}$$

Se determina cuánto se ahorra al año por la ecuación 37:

$$\text{Ahorro(\$)} = 86432 \left(\frac{\text{kW.hr}}{\text{año}}\right) \cdot 0,24 \left(\frac{\$}{\text{kW.hr}}\right) = 20\,744 \text{ \$/año}$$

El tiempo de recuperación de la inversión (Tri), en el cual los precios se obtienen mediante [30] para el cálculo de la inversión, será:

$$\text{Tri (año)} = \frac{\text{Inversión (\$)}}{\text{Ahorro (\$)}} \tag{38}$$

$$\text{Tri(año)} = \frac{70000 \text{ CUC}}{20744 \frac{\text{CUC}}{\text{año}}} = 3,374 \text{ años} = 3 \text{ años y } 5 \text{ meses}$$

Conclusiones

El diseño expuesto en el presente trabajo puede garantizar la climatización de locales, empleando para ello la modalidad de ciclo de refrigeración de absorción con agua-amoníaco, el cual no utilizará energía eléctrica de la

red nacional, pues esta será suministrada por el sistema híbrido absorción fotovoltaico propuesto, lo cual garantiza la autonomía del dispositivo.

Para garantizar el confort del local es necesario que el sistema de absorción sea capaz de vencer la carga térmica del local, lo cual permite realizar el cálculo de cada uno de los componentes del dispositivo de enfriamiento por absorción.

El sistema propuesto, al no consumir energía eléctrica si se comparara con uno similar con la misma eficiencia, que empleara el método tradicional para la misma capacidad de enfriamiento, representaría un ahorro de 20 744 CUC/año, que se recuperaría en tres años y cinco meses.

La metodología propuesta para la evaluación del sistema de absorción se ajusta a las condiciones técnicas exigidas para este tipo de instalación, y aporta un considerable valor metodológico.

Recomendaciones

Seleccionar adecuadamente los materiales utilizar para la etapa constructiva, garantizando la seguridad de la instalación durante su funcionamiento.

Prever un sistema de detección de fugas y un dispositivo de alarma ante cualquier salidero de amoniaco.

Seleccionar instrumentos de control para la lectura de los parámetros termodinámicos, para la evaluación del equipamiento.

Establecer un adecuado sistema de protección anticorrosivo de la instalación, vinculado a un adecuado mantenimiento.

Valorar la posibilidad de utilizar el bromuro litio en vez del amoniaco.

Bibliografía

- BORROTO NORDELO, ANÍBAL; RUBIO GONZÁLEZ, ÁNGEL (2007): *Combustión y generación de vapor*. Editorial UNIVERSO SUR, 2007.
«Climatización mediante la tecnología de absorción». Consultado 2016. http://www.riraas.net/documentación/CD_02/ITallerRIRAAS_Pedro.pdf. Consultado 2016.
- COLECTIVOS DE AUTORES (1993). *Método de producción de frío*: Universidad Nacional Autónoma de México; México Primera Edición.
- DONALD Q. CERN (2015) *Proceso de transferencia de calor*. Trigésimo séptima reimpresión, México, 2015.
«Foro de Frío Industrial y Climatización». <http://www.foro-industrial.com/foros/viewforum.php?f=12>. Consultado septiembre 2015
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia19/HTML/articulo07.htm> (Revisado septiembre, 2018).
<http://www.caloryfrio.com/el-saber-hacer/energia-solar/refrigeracion-solar-la-paradoja-de-obtener-frio-con-calor.html> (Revisado septiembre, 2018).
http://www.solartermica.com/componentes/CAPTADOR_SOLAR (Revisado julio, 2016)
<http://energiasolar.11omb.com/?a=colector-solar.html>. (Revisado junio, 2016)
<http://www.refrigeracionindustrial.com/cgi-bin/RRI.pl?s=a&a=print&id=2>. (Revisado abril, 2018)
<http://www.fiqm.umcc.cu/dptos/cecyen/mait/refrigeracion/Tema%20III.htm>. (Revisado julio, 2017)
<http://www.xuemeiiberica.com/>. (Revisado octubre, 2017a)

- <http://www.xuemeiiberica.com/condensadores-pequenas-potencias>. (Revisado julio, 2017b)
- <http://www.xuemeiiberica.com/valvulas- evaporadores>. (Revisado junio, 2016)
- http://html.rincondelvago.com/evaporadores_valvulas-de-flotador-de-alta-y-baja-presion.html. Consultado junio 2016.
- http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/06/02/152590.php. Consultado 2016.
- <http://www.acpasion.net/foro/showthread.php?t=33999>. Consultado 2016.
- <http://www.ennovaenergia.com/Refrigeración-por-Absorción/Refrigeración-Solar.html>. Consultado 2016b.
- http://www.upcomillas.es/catedras/crm/descargas/proyectos_y_tesis/PFC/Eficiencia%20energética%20y%20reducción%20de%20emisiones/ART%20Manuel%20Lago%20-%20JLinares.pdf. Consultado 2016.
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinámica/PDFs/Capítulo15.pdf>. Ciclos de máquinas frigoríficas no convencionales. Consultado 2016.
- http://www.riraas.net/documentación/CD_04/Sistemaseyec.HERNANDEZ.pdf. Mayo. 2001. Los sistemas de absorción y su aplicación en el acondicionamiento de aire. Consultado 2016.
- http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_URV/AVAILABLE/TDX-0703107-084633//PhDJesusCerezo2006.pdf. Consultado 2016. *Estudio del proceso de absorción con amoniaco-agua en intercambiadores de placas para equipos de refrigeración por absorción*. Disponible en sitio Web.
- <http://www.ennovaenergia.com/Refrigeración-por-Absorción/Refrigeración-Solar.html>. Consultado 2016.
- <http://www.climategateway.com>. (Maquina de absorción) (Revisado marzo 2015).
- IDEA, *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: Instalaciones de Energía Solar Térmica*. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. PET-REV-enero 2009. Disponible en Internet: <http://www.idae.es>
- ISACHENKO, V. ET AL. (1987). *Transmisión de Calor*; Editorial Pueblo y Educación; Ciudad de la Habana; 1987.
- KRASNOSCHIOKV, E.A., Y A.S. SUKOMIEL (1977). *Problemas de Transferecia*; Editorial MIR; Moscú; 1977.
- PAVLOV, F.K, ET AL. (1968). *Problemas y ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y Aparatos en la tecnología Química* Editorial MIR; Moscú; 1968.
- POLAINA DE LOS SANTOS, LÁZARO; SARA CASTILLA ROSELL Y VERÓNICA PADRÓN FRAGA (1987). *Instalaciones de climatización*. La Habana: Ed. ISPJAE. Pp. 74, 76,77-78.
- SÁNCHEZ ÁVILA, J.L.; MARLENE ORAMA ORTEGA (2007). *Instalaciones de refrigeración y climatización*. Página Web de la Maestría en Termoenergética Industrial, Matanzas, Cuba, 2007.<http://www.fiqm.umcc.cu/dptos/cecyen/maestria/11master.html#invitacion>.
- SÁNCHEZ ÁVILA, J.L. (1999). *Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado*. Tesis de Doctorado. Universidad de Matanzas. Matanzas, 129 pp.
- STOECKER, W. F. (1987). *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. Ed. Revolucionaria. 1987.; p. 9, 180 pp.

Caracterización del impacto en materia de salud del proyecto Biomás-Cuba en Las Tunas

Por **Dr. Jorge Luis Rivero Pavón***, **Leydis Mariam Batista García**** y **M. Sc. Ing. Jorge Luis Rivero Moreno*****

* Residente de 2do año en Anestesiología clínica-reanimación y medicina de dolor. Hospital General
Docente Dr. Ernesto Guevara de la Serna.
jorgeluis.rp92@nauta.cu

** Estudiante de 2do año de Medicina.

Universidad de Ciencias Médicas de LasTunas.

*** Coordinador del proyecto Biomás-Cuba en Las Tunas.
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey.

Resumen

Las fuentes renovables de energía representan en la actualidad una de las respuestas de la ingeniosidad del hombre para hacer frente al agotamiento de los recursos, al cambio en las condiciones climáticas y por sobre todas las cosas, al impacto que tienen la conversión de fuentes comunes para su propia salud. También resulta significativa la mejora en la calidad de vida cuando se analiza al sujeto desde el punto de vista biopsicosocial. El empleo de la biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural, así como las instalaciones de biodigestores y la puesta en práctica de tecnologías que contribuyen al mejoramiento del modo de vida en la población rural en Las Tunas, resulta apreciable en la última década. Con el objetivo de caracterizar el impacto sobre la población en materia de salud del proyecto Biomás-Cuba en Las Tunas, se realizó un estudio observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo en el período comprendido entre enero del 2017 y enero del 2018. El universo de estudio estuvo constituido por los campesinos beneficiados con la instalación de biodigestores y aplicativos en el uso del biogás para el tratamiento de los residuales que genera la explotación pecuaria en el período descrito. La información se obtuvo del análisis de fuentes primarias (entrevista). Se procesó la información de forma computarizada y se presentó en tablas y texto para su mejor comprensión. Se consultaron para la discusión de los resultados artículos científicos en varios idiomas en base de datos como Ebsco, Hinari y Pubmed. Dentro de los principales resultados se destaca una mejora circunstancial en nivel de satisfacción de los productores; mejoría en el confort y limpieza de los equipos de cocción de alimentos que utiliza la mujer rural; beneficios inclusivos para el proyecto en materia de identidad de género, reducción de la incidencia de enfermedades transmisibles para la población específica en relación con el año precedente. Por lo que se concluye que: el fomento de instalación de biodigestores en el medio rural, resulta pilar de suma importancia en materia de desarrollo biopsicosocial, contribuyendo a elevar los índices de productividad, la salud psicológica y orgánica de campesinas y campesinos, con la consiguiente reducción de la contaminación ambiental.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, salud, desarrollo biopsicosocial, medio rural.

Characterization of the health impact of the Biomás-Cuba project in Las Tunas

Abstract

Renewable sources of energy currently represent one of the responses of man's own ingenuity to cope with the depletion of resources, the harsh change in climate conditions and, above all, the impact of the conversion of sources common for our own health. The improvement in the quality of life is also significant when analyzing the subject from the biopsychosocial point of view. The use of biomass as a renewable source of energy for the rural environment, as well as biodigester installations and the implementation of

technologies that contribute to the improvement of the way of life of the rural population in Las Tunas, is appreciable in the last decade. In order to characterize the impact on the health population of the Biomás-Cuba project in Las Tunas, an observational, descriptive, longitudinal and prospective study was conducted in the period between January 2017 and January 2018. The universe of this study was constituted by the farmers benefited with the installation of biodigesters and applications in the use of biogas for the treatment of the residues generated by livestock exploitation in the period described. The information was obtained from the analysis of primary sources (interview). The information was processed in a computerized manner and presented in tables and text for better understanding. Scientific articles in several languages were consulted for the discussion of the results in databases such as Ebsco, Hinari and Pubmed. Among the main results, a circumstantial improvement in the level of satisfaction of the producers stands out; improvement in the comfort and cleanliness of food cooking equipment used by rural women; Inclusive benefits for the project in terms of gender identity, reduction of the incidence of communicable diseases for the specific population in relation to the previous year. Therefore, it is concluded that: the promotion of the installation of biodigesters in rural areas is a very important pillar in biopsychosocial development, contributing to raise the productivity indexes, the psychological and organic health of men and women, with the consequent reduction of environmental pollution

Key words: *renewable sources of energy, health, biopsychosocial development, rural environment.*

Introducción

Cuando se tratan en el medio rural las fuentes de energía es inevitable no abordar la agroenergía o bioenergía, los biocombustibles, la inseguridad alimentaria y el cambio climático, temas de gran importancia y muy controvertidos [Suárez y Martín, 2012].

A su vez, resulta inevitable hablar del centro común de interés que es el bienestar del hombre, sin dejar de abordar el impacto que tiene para su salud el empleo adecuado de «tecnologías limpias».

El crecimiento notable de la población mundial a partir de 1950 y las expectativas de un nivel de vida más elevado, son dos de los principales aspectos que impulsan la demanda creciente de productos agrícolas [FAO, 2009].

Ello exige el desarrollo de nuevos conocimientos, políticas que promuevan el acceso de las personas a la energía mediante la agroenergía, pero logrando una seguridad alimentaria sin afectaciones al medioambiente; por tanto, las iniciativas que se desarrollen pueden ofrecer nuevas oportunidades a las comunidades rurales. Una de ellas es la producción de agroenergía a partir de la biomasa en sistemas agroforestales integrados, que permita compatibilizar la seguridad alimentaria y la protección ambiental; en 2007, la biomasa se utilizó para satisfacer alrededor de 10 % de la demanda mundial de energía primaria [FAO, 2008].

En la actualidad, 1,6 billones de personas en el planeta aún no tienen acceso a la electricidad y más de 2 billones dependen a diario de la biomasa para cocinar sus alimentos y calentarse, lo cual genera un considerable impacto ambiental, ya que una alta proporción de esta biomasa –leña y carbón- provoca deforestación de los bosques; además, menos de 5 % de los bosques tropicales son manejados sosteniblemente [World Bank, 2008].

El enfoque que conduce el proyecto internacional «La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural cubano» (Biomás-Cuba), financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo (Cosude), liderado por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPIH), está basado en la demostración y comunicación a través de

experiencias piloto, alternativas tecnológicas locales para la generación de energía a partir de la biomasa, que son efectivas, económica, social y ambientalmente, con el fin de mejorar las condiciones de vida de las mujeres y hombres del país [Suárez y Martín, 2012].

Beneficios significativos tanto para la salud como para el clima se pueden alcanzar facilitando el acceso a estufas y combustibles saludables a los 2,7 millones de personas que todavía dependen de la utilización de estufas rudimentarias y de combustibles tradicionales como el carbón, o biomasa (leña, estiércol seco etc.) [Energy poverty, 2017].

En los últimos años la salud pública cubana ha logrado grandes éxitos. Actualmente los aspectos psicológicos y sociales de la enfermedad adquieren una nueva dimensión a la hora de su análisis integral en el ser humano. Este obliga a enfocar la salud no solo desde las posiciones biológicas, sino considerando las características sociales y dentro de estas, las psicológicas y espirituales [Aldereguía, 1984].

Desde el punto de vista de la salud pública, la contaminación de los suelos se produce de la forma siguiente:

1. Empleo de productos químicos en la agricultura, como fertilizantes y agentes reguladores del crecimiento.
2. Descarga en el suelo de cantidades voluminosas de desechos de explotación de minas y fundición de metales.
3. Evacuación de desechos domésticos y de elementos sólidos derivados del tratamiento de aguas residuales y desechos industriales [Del Puerto, 1992].

Contaminación del suelo por agentes biológicos:

1. Transmisión hombre-suelo-hombre. Organismos patógenos excretados por el hombre y transmitidos por contacto directo de las personas con el suelo contaminado, o por el consumo de frutas o verduras cultivadas en suelos contaminados.

2. Transmisión animal-suelo-hombre. Organismos patógenos de los animales transmitidos al hombre por contacto directo con el suelo contaminado, por desechos de animales infectados. Ejemplos, leptospirosis, larvas migrans cutáneas, carbunco (*Bacillus anthracis*) y fiebre Q (*Coxiella burnetii*).
3. Transmisión suelo-hombre. Organismos patógenos que se encuentran en estado natural en el suelo y se transmiten al hombre por contacto con el suelo contaminado. Ejemplos, micosis (histoplasmosis), tétanos y botulismo [INHEM/UTM, 1996].

Resulta evidente que para una comunidad rural el riesgo de adquirir enfermedades por la contaminación del suelo se duplica, y se triplica cuando no se realiza un correcto tratamiento de los residuales. Sin mencionar el efecto que tienen sobre la atmósfera los productos de desechos.

Uno de los procesos de investigación e innovación tecnológica que se desarrollan en el marco de Biomás-Cuba está relacionado con la producción de biogás y bioabonos, a partir de los efluentes de biodigestores en el contexto de las fincas familiares agroenergéticas, en las cuales se producen, de forma integrada, alimentos y energía [Cepero *et al.*, 2016].

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y los desechos orgánicos. Su composición indica que el componente más abundante es el metano (CH₄), el cual es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero [Blanco *et al.*, 2012].

Lo cierto es que las fuentes renovables de energía representan una de las respuestas de la ingeniosidad del hombre para hacer frente al agotamiento de los recursos, al crudo cambio en las condiciones climáticas y por sobre todas las cosas, al impacto que tienen la conversión de fuentes comunes para su propia salud. También resulta significativa la mejora en la calidad de vida cuando se analiza al sujeto desde el punto de vista biopsicosocial.

Las instalaciones de biodigestores y la puesta en práctica de tecnologías que contribuyen al mejoramiento del modo de vida en la población rural en Las Tunas, resulta apreciable en la última década. Nunca antes se desarrollaron en Cuba investigaciones que se encargaran de hacer visible el impacto salubrista de la puesta en práctica de las fuentes renovables de energía para el medio rural. Resultan pertinentes los esfuerzos integrados entre las diferentes esferas sociales con el objetivo de perseguir el desarrollo óptimo basado en la cooperación para el beneficio de la población, siendo esta la motivación del presente estudio.

Objetivos

General

Caracterizar el impacto en materia de salud sobre la población en materia de salud del proyecto Biomás-Cuba en Las Tunas.

Específicos

- Evaluar el nivel de satisfacción de los beneficiados con la tecnología del proyecto.
- Evaluar la mejoría proporcionada en el modo de vida familiar de la ruralidad en consecuencia con la creación de los biodigestores.
- Identificar cambios en la conducta biopsicosocial de la población en estudio.
- Describir cambios en los componentes del estado de salud de la población en estudio.

Desarrollo

Diseño metodológico

Contexto y clasificación del estudio: Se realizó un estudio observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo en el período comprendido entre enero del 2017 y enero del 2018, tras la instalación y seguimiento de biodigestores instalados en comunidades rurales en la provincia de Las Tunas por el proyecto Biomás-Cuba.

Universo y muestra: Población de los 21 escenarios productivos sobre los que incide el proyecto, con una población total de 107 personas. La muestra representada por 51 personas pertenecientes a 12 escenarios donde los biodigestores ya se encuentran prestando servicios.

Métodos e instrumentos de recolección de datos

Los métodos teóricos serán:

- Histórico-lógico: para analizar la evolución histórica de la técnica empleada, sus antecedentes y tendencias actuales, lo cual permitirá establecer las bases teóricas que sustentan y reflejan de forma lógica la esencia, necesidad y regularidad del conocimiento.
- Inducción-deducción: permitirá la valoración de los resultados de los diversos instrumentos utilizados en la investigación, así como las vías lógicas seguidas para la solución del problema científico.
- Análisis de las fuentes de información: para analizar y estudiar documentos, artículos, resúmenes de investigaciones, tesis de maestrías, doctorados y literatura científica en general relacionada con el tema de investigación.

Además, se precisó la utilización de métodos empíricos.

Para recolectar la información obtenida de la entrevista, historia clínica individual y seguimiento en su consultorio médico de la familia, se creó una planilla de recolección de datos (anexo 1) y se realizó la revisión de los Análisis de la situación de salud (ASIS) de los consultorios médicos de la familia (CMF) a los que pertenecen los beneficiados con el proyecto. La que una vez completada se convirtió en el registro primario definitivo de la investigación.

Técnicas y procedimientos estadísticos

Los métodos que se emplearán serán la estadística descriptiva, se crearán tablas de distribución de frecuencia, se determinará la frecuencia y el porcentaje. Los resultados se ilustrarán en texto y tablas.

Parámetros éticos

Luego de informarles a los participantes los motivos del estudio y que las respuestas del cuestionario no constituyen en ningún sentido un posible daño a su integridad y privacidad, de sus deberes y derechos para el estudio, se les solicitará su aprobación por escrito mediante la firma de

una planilla de consentimiento informado a los pacientes, instando a que sus respuestas sean lo más veraces posible. No se divulgarán el nombre ni los datos que aporten los entrevistados. Toda la información recogida será absolutamente confidencial y solo podrá ser utilizada con la finalidad del presente estudio (anexo 2).

Operacionalización de las variables:

Operacionalización de las variables					
Variable	Tipo	Escala	Descripción	Indicador	
Nivel de satisfacción	Cualitativa ordinal	Muy bueno Bueno Regular Malo	Según respuesta a la entrevista	Frecuencia y porcentaje	
Mejoría del modo de vida	Cualitativa ordinal	Efectiva Moderada Normal Inefectiva	Según respuesta a la entrevista	Frecuencia y porcentaje	
Incremento en la generación de empleos	Cualitativa Nominal dicotómica	Positiva Negativa	Según respuesta a la entrevista	Frecuencia y porcentaje	
Incorporación de la familia a la tarea productiva	Cualitativa Nominal dicotómica	Positiva Negativa	Según respuesta a la entrevista	Frecuencia y porcentaje	
Grupo de edades.		Cuantitativa Continua	0-18 años 18-34 años 35-49 años 50-65 años Más de 65	Según respuesta a la entrevista se precisará el rango de la edad	Frecuencia y porcentaje
Sexo biológico	Cualitativa Nominal dicotómica	Femenino Masculino	Según caracteres sexuales al nacer.	Frecuencia y porcentaje	
Índice de migraciones	Cualitativa Nominal dicotómica	Favorable Desfavorable	En dependencia de las tasas de migración	Frecuencia y porcentaje	
Enfermedades no crónicas transmisibles	Cualitativa Nominal Politómica	Enfermedades respiratorias Enfermedades digestivas Enfermedades por contacto Enfermedades de transmisión vectorial	De acuerdo en la incidencia en dependencia de la vía de transmisión	Frecuencia y porcentaje	

Resultados

Tabla 1. Nivel de satisfacción de los beneficiados del proyecto

Total de beneficiados encuestados	Niveles de satisfacción			
	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
51	27	13	11	0

Fuente: Planilla de recolección de datos.



Fig. 1. Nivel de satisfacción de los beneficiados del proyecto. Fuente: Tabla 1.

Tabla 2. Mejoría del modo de vida

Evolución del modo de vida	No. de hombres	No. de mujeres	Total de encuestados
Efectiva	10	12	22
Moderada	3	6	9
Normal	7	13	20
Inefectiva	0	0	0
51			

Fuente: Planilla de recolección de datos.

Tabla 3. Incremento en la generación de empleo fijo

Antes del biodigestor			Después del biodigestor		
Población total y edad trabajadora	Tenían trabajo fijo	No tenían trabajo fijo	Población total y edad trabajadora	Tienen trabajo fijo	No tienen trabajo fijo
37	12	25	37	32	5

Fuente: Planilla de recolección de datos.

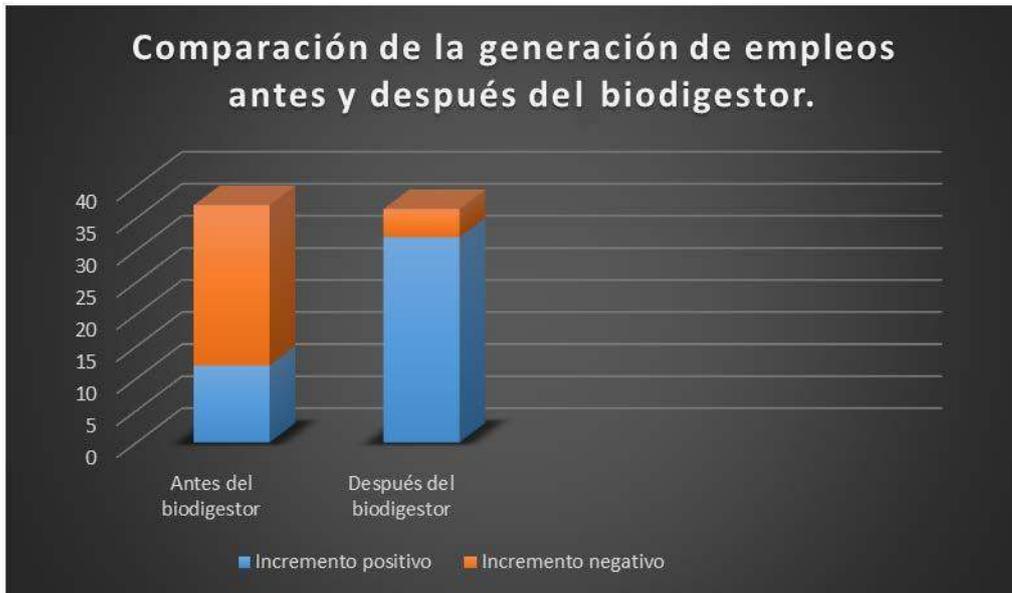


Fig. 2. Comparación de la generación de empleos. Fuente: Tabla 3.

Tabla 4. Incorporación a la tarea productiva

Factores de la familia	Incorporación a la tarea productiva	% Total
Hombres	22	100 %
Mujeres	15	100 %
Adolescentes	3	100 %
Ancianos	5	100 %
Niños	6	100 %

Fuente: Planilla de recolección de datos.

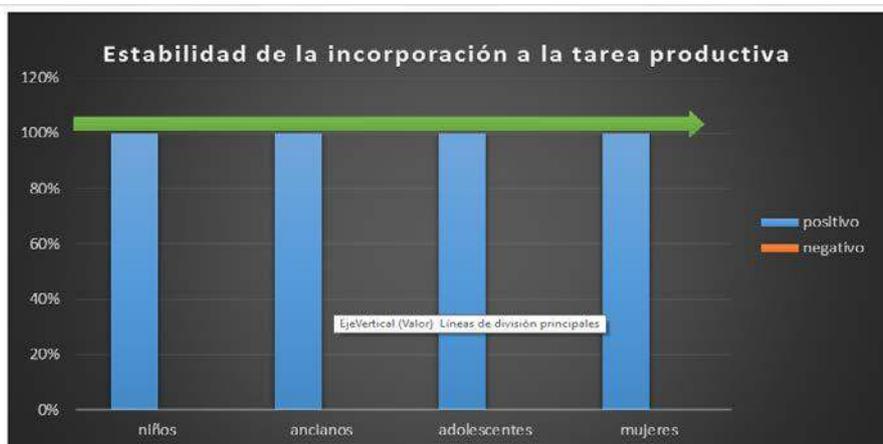


Fig. 3. Estabilidad de la incorporación a la tarea productiva. Fuente: Tabla 4.

Tabla 5. Distribución de acuerdo a los grupos de edad

Grupos	Frecuencia
0-18	14
19-34	10
35-49	14
50-65	5
Más de 65	8

Fuente: Planilla de recolección de datos.

Tabla 6. Distribución de acuerdo a sexo biológico de los beneficiados con el proyecto

Sexo biológico	Frecuencia
Femenino	27
Masculino	24

Fuente: Planilla de recolección de datos.

Tabla 7. Descripción de migraciones en la población de estudio

Migraciones	Total	Tasa por cada 1000 habitantes
Inmigraciones	8	0,16
Emigraciones	1	0,02

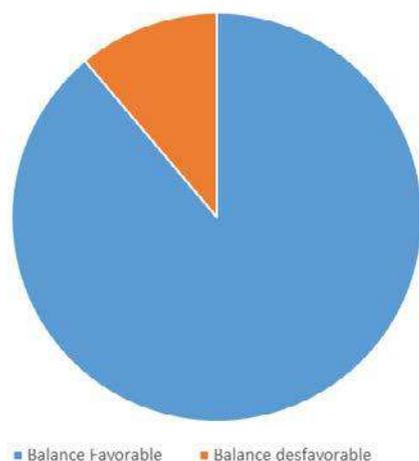


Fig. 4. Índice de migraciones.

Tabla 8. Descripción de las enfermedades crónicas no transmisibles

Vías de transmisión de la enfermedad	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Respiratorias	41 casos	37	35	27	24	18
Digestivas	47 casos	46	47	38	35	30
Por contacto	37 casos	37	34	28	28	21
Vectorial	50 casos	48	52	32	34	28

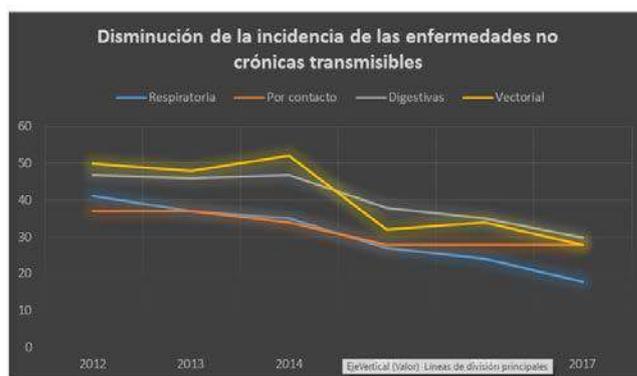


Fig. 5. Disminución de la incidencia de las enfermedades no crónicas transmisibles.

Fuente: Tabla 8.

Análisis y discusión de los resultados

Inicialmente en un primer período de investigaciones se realizó una caracterización detallada de la zona de estudio, un exhaustivo interrogatorio y una adecuada recolección de la información que contribuyó a abaratar los costes de este tipo de investigación y facilitar su desenvolvimiento. Quedando demostrada la factibilidad de este tipo de investigaciones, tan necesarias para proyectos de enfoque multisectorial, multigenérico y salubristas.

El objetivo principal del proyecto Biomás-Cuba en su segunda fase se ha basado en la contribución en la mejora de la calidad de vida de más de 400,000 mujeres y hombres en seis municipios cubanos, a través de la implementación de estrategias locales para la producción integrada de Fuentes Renovables de Energía y Alimentos.

Cuando se analiza el nivel de satisfacción evaluado a través de encuestas plasmado en la tabla No. 1 y Fig. 1, la población en estudio calificó a través de 27 personas como muy buenos los beneficios que aporta a su sistema agrícola el proyecto Biomás a través de la puesta en marcha de los biodigestores. Esto representa 53 % de la muestra. Se evaluó de bueno en 25 % (13 personas) y de regular en 22 % (11 personas), y no hubo personas que lo calificaran como malo. Datos que coinciden con estudios realizados por la OMS en poblaciones donde se emplean biodigestores [Grupo Asesor..., 2016; Bruce et al., 2015; Christen *et al.*, 2014 y Pope *et al.* 2010].

Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, principalmente estiércol, para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante natural) mediante el proceso de digestión anaerobia. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación. En grandes instalaciones se puede utilizar el biogás para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero en la actualidad se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas [Martí, 2015].

Al evaluar la mejoría en el modo de vida de la población en estudio (Tabla 2), se constató una mejoría en un total de 22 personas, de las cuales 12 fueron mujeres. Se clasificó como moderado en 9 personas (6 mujeres y 3 hombres) y

de normal en 20 personas, de las cuales 13 fueron mujeres. Esta variable no se sometió a estudio en la bibliografía consultada. Es importante señalar que el hecho de que al encuestar se aprecie una evaluación en mejor grado por el sexo femenino, pudiera deberse a que en cuanto a útiles del hogar e instrumentos de cocción, estas han sido las más beneficiadas.

En un estudio de caso realizado en Nicaragua en el año 2012 se expone la experiencia del campesino y empresario Freddy Lucas Sevilla [Estudio de caso, 2016]. Su familia opera en la finca un restaurante junto a la carretera, el cual sirve alimentos a pasajeros en tránsito que circulan por el lugar. Durante el tiempo en que la carretera actual estaba siendo construida, el restaurante operaba 20 a 22 horas por día, con tres turnos de mujeres que eran muy afectadas por el humo, además, el excesivo consumo de leña a don Freddy le parecía «horroroso». Por lo que decidió instalar un sistema de biogás, logrando superar el problema del humo, disminuir significativamente el consumo de leña, ahorrar dinero por este concepto, suprimir la compra de medicamentos para controlar la alergia causada por el humo y obtener beneficios con la utilización del biol en sus cultivos de aguacate, granos básicos, jardín y pasto.

La propia construcción de los biodigestores generó inicialmente empleo para albañiles, seguido a esto se apreció un incremento notable de las tasas de generación de empleos si se comparaba con años precedentes al analizar igual cifra de la población en edad potencialmente trabajadora. Cuando se analizan la tabla 3 y la figura 2 se aprecia un incremento positivo de 32 personas con empleo fijo después de la realización de los biodigestores, sobre 12 antes de ella sobre una comparación basada en 37 personas en edades potencialmente trabajadoras.

Resulta pertinente tener en cuenta que la incorporación a la contratación que beneficie al proyecto se encuentra estrechamente ligada al incremento en las capacidades productivas que desarrollen los beneficiados con la tecnología. Por lo que se tornó necesario describir características dadas en base a la incorporación a las tareas productivas, al percatarse de que la población en edades no trabajadoras se sumó de manera eficiente y voluntaria en la ecuación en base a la consolidación de las estrategias

Se evidenció una incorporación a las tareas productivas de 100 % de la población al estudiar grupos etarios y sexos (Tabla 4), constatándose una estabilidad sostenida en cuanto a la misma (Fig. 3). Datos que superan los consultados en la bibliografía [Bond *et al.*, 2015; Mc Carty *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2017 y Yu *et al.*, 2008]. Esto pudiera deberse a que la mayoría de los beneficiados son familias que se han agrupado bajo el concepto de agricultura familiar campesina, o por la propia idiosincrasia de la población del municipio de Manatí, Las Tunas, escenario principal del proyecto. Las descripciones anteriormente discutidas son un espejo fiel que evidencia cambios notables en la conducta biopsicosocial.

Aunque ninguna de las referencias consultadas incluyó dentro de sus variables de estudios el análisis de grupos de edad y el sexo predominante en la muestra, se vuelve imprescindible identificar tales determinantes al trazar como objetivo específico la descripción de los cambios en

los componentes del estado de salud de la población e estudio. Específicamente se analizaron dentro del componente demográfico, la estructura de la población por sexo, edad y migraciones, debido al impacto que las mismas tienen sobre la población rural cubana en la última década.

La tabla 5 muestra una paridad entre los grupos de 0-18 y de 35-49 con 14 personas cada uno, representando estos dos grupos más de 50 % de la muestra, resultado positivo si se tiene en cuenta que la pirámide población es constrictiva debido al envejecimiento [Anuario estadístico, 2016].

En cuanto al sexo biológico predominante se encontró el femenino con 27, dato que no se corresponde con la tasa de acuerdo a la provincia de Las Tunas, donde conviven en orden de frecuencia ya más hombres (272 764) que mujeres (264 263), pero sí se corresponde con la media nacional ya que en Cuba conviven más mujeres (5 637 757) que hombres (5 600 904) [Anuario estadístico, 2016].

Se realizaron los cálculos de tasas de migración para una población de 51 personas, con 8 inmigraciones y 1 emigración para una tasa 0,16 inmigraciones en base a cada 1000 habitantes y 0,02 emigraciones en base a la población dada por cada 1000 habitantes.

Este fenómeno forma parte de la estructura de la población cuyo comportamiento se debe analizar al realizar un análisis de este tipo. Las causas que motivan las migraciones son numerosas y el efecto que estas producen en la comunidad es muy variado, de ahí que este evento debe ser evaluado al desarrollar un estudio poblacional [Martínez *et al.*, 2014].

La relación que se establece entre estas variables y el crecimiento de la población (CP) es bastante intuitiva; veamos, una población crecerá cuando los nacimientos superan en número a las defunciones y (o) las inmigraciones (entradas) superan las emigraciones (salidas). Observemos esta relación en la siguiente expresión matemática [Toledo, 1999].

$$CP = \text{Nacimientos} - \text{Muertes} + \text{inmigraciones} - \text{emigraciones}$$

Si tenemos una población cerrada a las migraciones, entonces, su crecimiento dependerá solamente del número de nacimientos y defunciones que ocurran en ella.

Al analizar la tabla No. 7 y la Fig. 5 se puede apreciar una disminución progresiva de la incidencia de las enfermedades no crónicas transmisibles, fundamentalmente de las de causa respiratoria, datos asociados muy posiblemente a los cambios producidos en el medioambiente del hogar, etc., como consecuencia de la instalación y puesta en práctica de los biodigestores.

Se hizo patente una reducción de más de 40 % de la incidencia de este tipo de enfermedades si se compara con el año en el cual inició la construcción y puesta en marcha de los biodigestores.

Pruebas recientes sugieren que la exposición a aire contaminado, también está asociada con otros tipos de enfermedades no transmisibles (ENT), como por ejemplo, enfermedades del corazón, ataques de apoplejía, cataratas y varios tipos de cáncer, igualmente, también sugieren que los humos producidos por las estufas de biomasa también pueden causar cáncer de pulmón [Legros *et al.*, 2017].

Los riesgos para la salud del uso de carbón y del queroseno para cocinar, al igual que para la calefacción y luz, también requieren un examen más detallado de estos combustibles, ya que están asociados con la liberación de niveles mucho más altos de emisiones perjudiciales para la salud y el cambio climático que, por ejemplo, el GLP o gas natural, o en el caso de la luz, pequeños paneles solares.

Las nuevas estufas de biomasa que incluyen ventiladores y/o sistemas de combustión secundaria (gasificación) son más accesibles y permiten reducir el consumo de combustibles en 40 %, y las emisiones interiores en 90 %, según las pruebas de laboratorio [Smith *et al.*, 2017; Smith y Haigler, 2017].

Es preciso realizar estudios sobre el terreno para confirmar que se pueden obtener resultados similares en los hogares.

Conclusiones

El fomento de instalación de biodigestores en el medio rural, resulta pilar de suma importancia en materia de desarrollo biopsicosocial, contribuyendo a elevar los índices de productividad, la salud psicológica y orgánica de campesinas y campesinos, con la consiguiente reducción de la contaminación ambiental.

Bibliografía

- «Anuario estadístico de salud cubano» (2016). ISSN versión electrónica. 1561-4433. La Habana.
- ALDEREGUÍA HENRÍQUEZ, J. (1984). *La relación de lo biológico y lo social*. Instituto de desarrollo de la salud, Folleto, La Habana.
- BLANCO, D. ET AL. (2012). *Manual para el diseño, montaje y operación de digestores de cúpula fija. Una alternativa para Cuba*. EEPFIH. CUBA.
- BOND T., C. VENKATARAMAN, O. MASERA (2015). «Global atmospheric impacts of residential fuels». *Energy for Sustainable Development*.
- BRUCE, N., R. PÉREZ-PADILLA, R. ALBALAK (2015). «Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge». *Bulletin of the World Health Organization*.
- CHRISTEN A., C. M. NAVARRO, D. MAUSEZAHN (2014). «Safe drinking water and clean air: An experimental study evaluating the concept of combining household water treatment and indoor air improvement using the Water Disinfection Stove (WADIS)». *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2014.
- DEL PUERTO, C. (1992). «El saneamiento básico y la urbanización como factores determinantes en el estado de salud de la población». En: *Saneamiento básico y urbanización*. Serie Salud Ambiental No. 1. INHEM. Ed. Ciencias Médicas. Cuba.
- «Energy poverty: How to make modern energy access universal?» (2017). In: «World Energy Outlook 2010 for the UN General Assembly on the Millennium Development Goals». París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y Organismo Internacional de Energía.
- «Estudio de caso No. 2: Uso del biogás en pyme, su impacto económico y en la salud Restaurante El Oasis San Miguelito, Río San Juan, Managua» (2016).
- FAO (2008). «Bioenergía, seguridad y sostenibilidad alimentarias: hacia el establecimiento de un marco internacional. Documento para la conferencia de alto nivel para la seguridad alimentaria Mundial. Los desafíos del cambio climático y la bioenergía». Roma.
- FAO (2009). «El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2009». Roma. Publicado 13-04-2009.
- Grupo Asesor del Secretario General de las Naciones Unidas sobre energía y cambio climático (2016). «Energy for a Sustainable Future: Summary Report and Recommendations». Nueva York,
- INHEM/UTM (1996). «Riesgos biológicos ambientales». Serie Salud y Ambiente No. 1. Ecuador: Ed. Universidad Técnica de Manabí.
- L. CEPERO, V. SAVRAN, D. BLANCO, M. R. DÍAZ PIÑÓN, J. SUÁREZ Y A. PALACIOS (2016). «Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Cuba».
- LEGROS, G. ET AL. (2017). «The Energy Access Situation in Developing Countries». Nueva York, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Organización Mundial de la Salud.
- MARTÍ HERRERO, JAIME (2015). «Guía de Diseño y Manual de instalación de biodigestores familiares (GIZ) (Castellano)». <http://www.endev-bolivia.org/images/stories/proyectoendev/biogestores/Descargas/Difusion/Manual-construccion-BDG.pdf>.
- MARTÍNEZ CALVO, SILVIA ET AL. (2014). «Análisis de Situación de Salud». La Habana: Ed. Ciencias Médicas.
- MCCARTY N., D. STILL, D. OGLE (2015). «Fuel use and emissions performance of fifty cooking stoves in the laboratory and related benchmarks of performance». *Energy for Sustainable Development*.
- POPE D. P. ET AL. (2010). «Risk of low birth weight and stillbirth associated with indoor air pollution from solid fuel use in developing countries». *Epidemiologic Reviews*.
- SMITH K. R. ET AL. (2017). «Greenhouse gases from small-scale combustion devices in developing countries, phase IIa: household stoves in India». Washington, United States Environmental Protection Agency.
- SMITH, K. R. ET AL. (2017). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants». *Lancet*.
- SMITH, K. R. Y E. HAIGLER (2017). «Co-benefits of climate mitigation and health protection in energy systems: scoping methods». *Annual Review of Public Health*.
- SUÁREZ J. Y G. MARTÍN (2012). «Producción de agroenergía a partir de biomasa en sistemas agroforestales integrados: una alternativa para lograr la seguridad alimentaria y la protección ambiental». Estación experimental de pastos y Forrajes Indio Hatuey. Matanzas. Cuba.
- TOLEDO, G. (1999). «Salud pública 1: Generalidades de la Salud Pública y Estado de Salud de la población». Pp.58-63. La Habana: Ed. Ciencias Médicas.
- WORLD BANK (2008). «Forestsourcebook». April. Washington D.C.USA.
- YU L. ET AL. (2008). «Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation». *Renewable Energy*.

Anexos

Anexo 1. Planilla de recolección de datos

1. Edad:
2. Sexo:
3. Antecedentes patológicos personales:
4. Estado de satisfacción con el empleo de la tecnología del proyecto:
--- Muy buena --- Buena --- Regular --- Mala
5. Apreciación del cambio en el modo de vida
--- Efectivo --- Moderado --- Normal --- Inefectivo
6. Empleado en tareas con relación al proyecto en el año:
--- sí --- no
7. Periodo de empleo
--- antes del 2012 --- 2012-2017
8. Si responde 2012-2017 en qué actividad
9. ¿Se encuentra sumado a la tarea productiva?
--- sí --- no
10. ¿Se ha mudado recientemente para la zona o fuera de ella alguien en la casa?
11. Enfermedades que haya padecido en el año 2017

Anexo 2. Planilla de consentimiento informado

Universidad de Ciencias Médicas Las Tunas
Hospital Provincial Docente Dr. Ernesto Guevara de la Serna

Modelo de consentimiento informado

Su participación en esta investigación es voluntaria, y usted puede rechazar su participación o abandonar la misma sin penalización o pérdida de sus derechos médicos habituales. Usted está en todo el derecho de leer detenidamente toda la información que se describe a continuación. Por favor tome el tiempo necesario para su decisión.

¿Por qué se realiza esta investigación? Esta investigación se hace para caracterizar los resultados de un proyecto de investigación del cual usted sale beneficiado, y para que otras personas al igual que usted puedan resultar beneficiadas.

¿Cuáles son los beneficios posibles si decide incluirme en esta investigación? Si usted decide incluirse en esta investigación puede tener beneficios científicos y médicos directo de su participación. Nuestro objetivo es incrementar el beneficio clínico y la calidad de la atención, así como garantizar la estabilidad del proyecto Biomás-Cuba. Esperamos que la información obtenida en este estudio también beneficie a otros pacientes.

¿Existirá confidencialidad en el manejo de todo lo referente a mi persona? Toda la información relacionada con usted no se hará pública en ningún caso, su identidad no será revelada en ninguna publicación científica, su historia clínica puede ser revisada por otros investigadores, autoridades hospitalarias y representantes de las regulaciones estatales o quienes estas deseen, buscando detalles de importancia para la investigación.

¿Cuáles son mis derechos como participante en esta investigación? Usted tiene el derecho de que se le expliquen todas las dudas que tenga sobre la investigación que se está realizando, o cualquier aspecto que considere necesario conocer.

Firmas del modelo del consentimiento informado:

Nombre y apellidos del paciente/Firma/Fecha

Nombre y apellidos del médico/Firma/Fecha

Nombre y apellidos del encargado del proyecto/Firma/Fecha

Herramienta de ordenamiento habitacional para el control energético hotelero

Por **M. Sc. Arnaldo Molina González***, **M. Sc. Celia Luvia Sánchez Borroto****
y **M. Sc. Aleksandr González Dugarev*****

* Vicepresidente Provincial de Cubasolar Matanzas.

joseluis@dpmt.bandec.cu

**Jefe de Departamento de Control Ingenieril. Delegación Provincial de Bandec Matanzas.

veliz@dpmt.bandec.cu

***Profesora de la Universidad de Matanzas.

marlene.oramas@dpmt.bandec.cu

Resumen

En contadas instalaciones hoteleras del país se controla el consumo de energía en las habitaciones, que constituyen la mayor carga a vencer por los sistemas de clima, y por lo tanto el área de mayor oportunidad de ahorros, a partir de que en estos se consume entre el 50 y 70 % de la energía eléctrica de una instalación hotelera. La mayor dificultad para ejercer el control energético en estas áreas es el financiamiento. Se expone en este trabajo una herramienta para el ordenamiento de las habitaciones de un hotel. El explotador puede calcular el orden en que debe ocupar en el hotel y tiene además la posibilidad de variar dicho orden. El ordenamiento se realiza a partir del cálculo de la carga térmica de cada habitación, de la aceptación de la habitación a partir de la opinión de los clientes reflejada en las encuestas y del nivel de ocupación real. Luego, el explotador tiene la posibilidad de cambiar los elementos del análisis para modificar el ordenamiento. Para esta decisión se tomará en cuenta el tipo de cliente, el régimen de explotación, los ingresos por turista, el comportamiento de las variables climatológicas y el nivel de ocupación previsto. El objetivo principal es que la instalación se ocupe en función de la eficiencia energética, sin descuidar el factor calidad. Existe una oportunidad de ahorro que es aprovechada, al dejar sin uso los espacios habitacionales menos eficientes.

Palabras clave: variables climatológicas, cargas térmicas, ordenamiento habitacional, eficiencia energética, gestión tecnológica.

Booking planning tool for hotel energy control

Summary

In a few hotels in the country, energy consumption is controlled in rooms, which constitute the greatest burden to be overcome by climate systems and therefore the area of greatest savings opportunity, since these systems are consuming between 50 and 70% of the electrical energy of a hotel installation. The greatest difficulty in exercising energy control in these areas is financing. A tool for the arrangement of hotel rooms is exposed in this work. The operator can calculate the order in which the hotel should occupy and also has the possibility of varying that order. The order is made from the calculation of the thermal load of each room for the rent, the acceptance of the room based on the opinion of the clients reflected in the surveys and the level of real occupation. Then the operator has the possibility to change the weights of the analysis to modify the ordering. For this decision, it will take into account the type of client, the exploitation regime, the income per tourist, the behavior of the climatological variables and the level of occupation foreseen in the booking. The main objective is that the installation is focused on energy efficiency, without neglecting the quality factor. There is an opportunity for savings that is taken advantage of by leaving the less efficient housing spaces unused.

Key words: weather variables, thermal loads, residential planning, energy efficiency, technological management.

Introducción

Los hoteles consumen grandes cantidades de energía. El costo promedio energético de la industria hotelera está muy por encima de muchas industrias; este puede ser de \$175,00 por metro cuadrado anualmente, y los hoteles de lujo gastan cifras muy superiores. El polo turístico de Varadero consume 30 % de la energía eléctrica de la provincia, Matanzas, ocupando, sin embargo, un pequeño espacio en la geografía de este territorio.

Experiencias internacionales demuestran que una instalación hotelera que funcione eficientemente, desde el punto de vista energético, debe consumir entre 5 y 7 % de sus ingresos para cubrir los gastos energéticos, indicador que varía en función del tipo de hotel y su categoría, así como del tipo de servicio a prestar.

En Cuba, en las cadenas Cubanacán, Gran Caribe e Islazul, este indicador oscila entre el 8 y 16 % pudiendo llegar hasta 20 % en hoteles que tienen una infraestructura muy atrasada y bajos niveles de comercialización [Cabreza, Borroto *et al.*, 2012].

En los hoteles cubanos, desde la fase de proyecto se concibe un sistema de control automático que tiene en cuenta algunos elementos para la supervisión energética. También en los proyectos se conciben acciones para el control de energía. Específicamente, el accionamiento de sistemas bajo régimen horario, el control de temperatura en restaurantes, salas de fiestas y oficinas, y el control de temperatura en chillers y cisternas de agua helada.

El alcance de estos procesos automatizados se repite de proyecto en proyecto, con contracciones o expansiones lógicas, dependiendo del nivel de financiamiento aprobado para cada cual, pero sin salir del esquema planteado.

Pocas instalaciones hoteleras nacionales se han concebido con automatismos o supervisión al nivel de habitaciones, siendo allí donde se decide la eficiencia energética de un hotel. La energía eléctrica constituye el portador de mayor incidencia en los hoteles. Los hoteles de regiones tropicales emplean 60 % y más de la energía eléctrica en satisfacer las demandas de climatización [Molina *et al.*, 2017].

La principal causa de esta realidad está asociada con el financiamiento requerido para acometer la automatización total o parcial de los espacios rentados. Esta oscila entre 200,00 y 600,00 dólares por habitación. Los hoteles modernos que se construyen en el país en la actualidad, generalmente están por encima de las 300 habitaciones. Un cálculo rápido evidencia que la inversión es costosa. No obstante, esta inversión, al igual que las destinadas a las tecnologías eficientes, tienen un tiempo de recuperación atractivo, motivado sobre todo por los precios de los combustibles fósiles, muy por encima de su verdadero valor.

Como parte de un proyecto de investigación destinado a crear procedimientos tecnológicos para gestionar eficientemente la energía en los hoteles, se presenta una herramienta para el ordenamiento efectivo de las habitaciones hoteleras, como base para la decisión del orden de entrega a clientes.

Para el trabajo se eligió el hotel Tryp Cayo Coco, por ser representativo de la estructura típica de la mayoría de los hoteles del polo Jardines del Rey. Además, es un hotel con-

siderado entre los de mayor demanda del país, con 514 habitaciones en explotación y promedios mensuales de consumo por encima de los 600 MWh, con pagos a la empresa eléctrica promedio por encima de los \$100 000,00 CUC.

Como antecedentes en la conformación de la situación problemática, se analizó que la compactación del hotel al bajar el nivel de ocupación, no toma en cuenta la demanda energética de los bloques habitacionales, pues las habitaciones se entregan a clientes por un orden que tampoco tiene en cuenta la carga térmica del espacio, y no existe un escenario de análisis en que se vinculen la calidad comprobada de las habitaciones y su carga térmica o demanda energética.

Materiales y métodos

Como primer paso para la conformación de esta herramienta, se determinaron las cargas térmicas de todas las habitaciones.

Para poder evaluar el intercambio de energía entre el edificio y su entorno, es indispensable conocer los datos climáticos de la zona en la cual se hallará ubicado, así como los parámetros de su forma y el volumen que afectarán la transmisión de la misma [Montelie, 2010]. Para eso se tuvo una información preliminar que contemplaba que el hotel está estructurado en 13 bloques habitacionales que se distribuyen en la geografía de Cayo Coco de la manera siguiente:

El bloque No. 1 cuenta con 42 habitaciones orientadas hacia el norte.

El bloque No. 2 cuenta con 28 habitaciones orientadas la mitad al norte y la otra mitad al noreste.

El bloque No. 3 cuenta con 42 habitaciones orientadas al este.

El bloque No. 4 cuenta con 42 habitaciones orientadas al norte.

El bloque No. 5 cuenta con 38 habitaciones orientadas al nordeste una parte, y al este la otra.

El bloque No. 6 cuenta con 42 habitaciones orientadas al este.

El bloque No. 7 cuenta con 42 habitaciones orientadas al sureste.

El bloque No. 8 cuenta con 40 habitaciones orientadas al noreste una parte, y la otra al este.

El bloque No. 9 cuenta con 42 habitaciones orientadas al norte.

El bloque No. 10 cuenta con 36 habitaciones orientadas al norte una parte y la otra al este.

El bloque No. 11 cuenta con 42 habitaciones orientadas al norte.

El bloque No. 12 cuenta con 42 habitaciones orientadas al noreste.

El bloque No. 13 cuenta con 30 habitaciones orientadas al noreste.

Para el cálculo se tuvo en cuenta, además, el material de construcción utilizado, la incidencia del sol en cada habitación, el tipo de ventana, el área cubierta por cristales, etc. Con todas estas definiciones, y con la utilización de la aplicación Calcular del fabricante Saunier Duval, se calcu-

laron las cargas térmicas de todas las habitaciones. A partir de esto se pudieron ordenar las habitaciones del hotel desde la menor hasta la mayor consumidora energética. Estos valores se normalizaron de 0 a 1.

Luego de estos cálculos se procedió a valorar las encuestas aplicadas a clientes por el departamento de atención al cliente durante todo un año. Se procedió entonces a discriminar aquellos elementos evaluados en la encuesta no relacionados con las habitaciones, como los relacionados con la calidad de la comida y la bebida, la animación diurna y nocturna, etc. Por último, de los 11 elementos evaluados por los clientes relacionados con la habitación se decidió excluir dos, pues son elementos subjetivos a resolver solo con el cambio de la camarera u otra acción similar. Así, se procesan nueve elementos que los clientes evalúan en las encuestas. Se consideró que no todos tienen el mismo peso en la opinión de los clientes. Para valorar la incidencia de cada elemento en el criterio general de las habitaciones, se elaboró y aplicó un método Delphi, considerando especialistas a un grupo de compañeros ho-

teleros de las áreas de atención al cliente y ama de llaves, fundamentalmente, aunque participaron también dos compañeros del área de recepción. Fueron encuestados 23 trabajadores que consideraron, al dar orden a los nueve elementos decididos para valorar, que dos eran más relevantes que los demás, con un factor de coincidencia de 79 %. A partir de esto se ordenan las habitaciones más aceptadas desde el punto de vista de los clientes. Estos valores también se normalizaron de 0 a 1 (Fig.1).

A estos cálculos se suma la compactación del hotel al disminuir la ocupación, que en la actualidad se decide teniendo en cuenta compactar áreas concentradas sin valorar el gasto energético. A partir del cálculo de las cargas térmicas, se determinaron los edificios más consumidores de energía, y en un análisis de igual forma multicriterial, se vincula el gasto energético con la posibilidad de desconectar áreas específicas que permitan el cierre de locales técnicos y otras áreas de todo tipo (fig. 2).

Estos tres análisis se conjugaron para elaborar la herramienta.

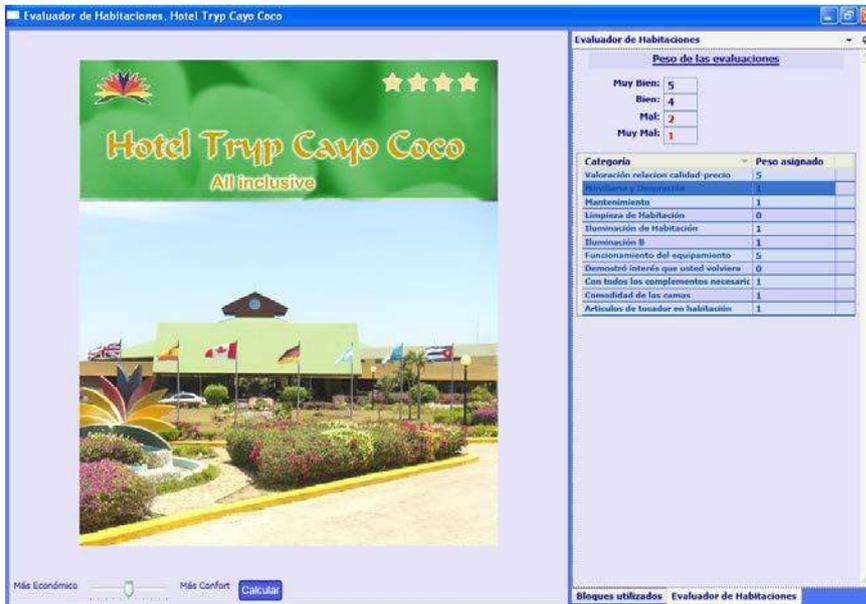


Fig. 1. Evaluador de calidad en habitaciones.



Fig. 2. Análisis de compactación de edificios habitacionales.

Resultados y discusión

La herramienta, entonces, confronta un grupo de elementos que en un entorno visual amigable y sencillo permite al explotador tener ordenadas sus habitaciones desde los dos criterios. Por un lado, tiene una lista de los consumos habitación por habitación, ordenados en orden ascendente en función de la energía que demandan por concepto de climatización, y por el otro tiene una lista de las habitaciones ordenadas según el criterio de los clientes, de sus condiciones para la explotación. Además, para la ejecución de la aplicación tiene que introducir el número de habitaciones a ocupar.

Con este último elemento los explotadores tuvieron en cuenta el gasto energético de los edificios individuales y la estrategia de cerrar por zonas, tomando la decisión más acertada y decidiéndolo como un esquema de compactación. (Fig. 3).

El explotador tiene además la posibilidad de variar el orden en que va a entregar habitaciones a clientes, en función del tipo de cliente, el régimen de explotación, los ingresos por turista, el comportamiento de las variables climatológicas y el nivel de ocupación previsto. Para esto podrá variar en la aplicación informática los pesos en porcentaje, en cuanto potencia la calidad en detrimento del gasto energético y viceversa.

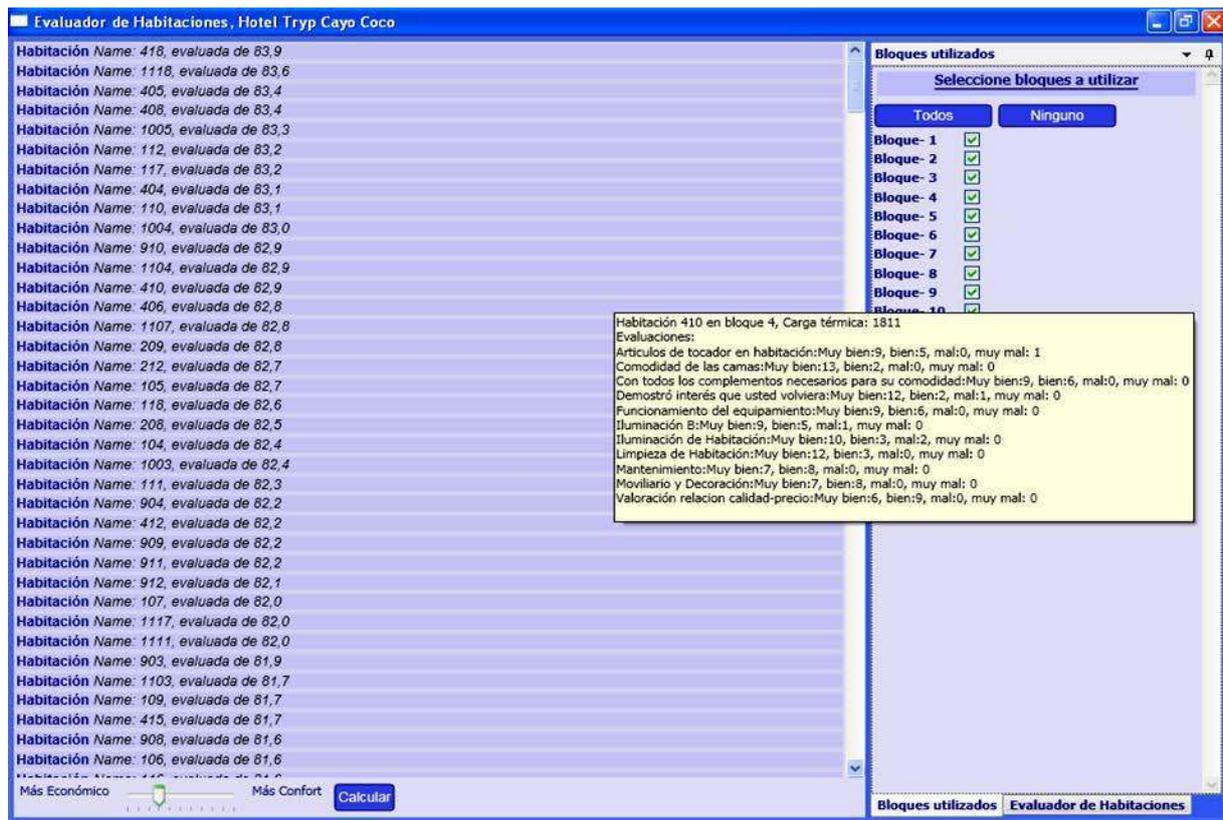


Fig. 3. Aplicación en ejecución, listando el orden de entrega de habitaciones a partir de las condiciones introducidas por el explotador.

Conclusiones

Se logró el objetivo propuesto de que la instalación se ocupe en función de la eficiencia energética, sin descuidar el factor calidad.

Se realiza una compactación más eficiente al valorar el consumo energético de los edificios habitacionales.

Bibliografía

- CABRERA, O., A. BORROTO, ET AL. (2012). «Evaluation of kWh/HDO electrical efficiency indicator in Cuban hotels facilities, Matanzas»: s.n., 2012, *Retos Turísticos*, Vol. 3, pp. 1-8. ISSN 1681-9713.
- FLORIDA HOTEL AND MOTEL ENERGY MANAGEMENT PROGRAM (S/a). Florida Energy Extension Service [en línea]. Disponible en: <http://energy1.agen.ufl.edu/fees/index.htmlmain.html>.
- MARTINS, A. (2000). *Guía de oportunidades de inversión en el sector hotelero cubano*. Comisión Europea. Editorial ENERGIE. 35p.

MOLINA, A. Y C. SÁNCHEZ (2011). «Implicaciones energético-económicas de la espontánea gestión tecnológica en los hoteles turísticos del polo Jardines del Rey». Publicado en: *Revista electrónica TUR y DES, Turismo y Desarrollo Local* (ISSN: 1988-5261), indexada en RePEC, LATINDEX, C.I.R.E.T. <http://www.eumed.net/turedes/index.htm>

MOLINA, A. ET AL. (2017). «Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales», en *Revista de Ingeniería Energética*, 2017, vol. XXXVIII, No. 3, septiembre/diciembre, p.198-207.

MONTELIER, S. ET AL. (2010). «Influencia de las principales variables climatológicas en la operación de los sistemas de climatización por agua helada», en *Retos Turísticos*, Vol. 9, N 1, 2010.

PERIÓDICO GRANMA, (2007). «Rebajar un centavo en el costo por peso en Varadero significa millones», 18 de abril del 2007.

WEST, M. Y LARRY ELLIOT (1996). «Energy Management Programs that Increase Hotel and Motel Profits». University of Florida [en línea]. Disponible en: <http://hammock.ifas.ufl.edu>.