



DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITORES

Lic. Lourdes Tagle Rodríguez
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bériz Pérez
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Otto Escalona Pérez
Ing. Miguel González Royo
Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

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

Eco Solar, no. 65 / 2018

Revista Científica de las
fuentes renovables de energía
Julio-septiembre, 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

INTENSIFICACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPACTO UTILIZANDO UNA COMBINACIÓN DE ALETA LISA ONDULADA.....	3
Alexander Cabrera Guerra y Dr. Rubén Borrajo Pérez	
LA REVISIÓN ENERGÉTICA INICIAL (REI) EN EL CONTEXTO DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN LA NC ISO 50001:2011.....	8
M.Sc. Lázaro Lorenzo Betancourt Pineda, Ing. Luis A. Pichs Herrera, M.Sc. Léster N. Medina Negrín y M.Sc. Niurka Lara Muñoz	
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD FOTOVOLTAICA A INSTALAR EN UNA MINIINDUSTRIA DE QUESO DE CABRA	20
Elizabeth Salazar Álvarez, Ramón Acosta Álvarez, Lourdes Crespo Zafra y Luisa Matos Mosqueda	
EVALUACIÓN DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE DC 2000.....	24
Daniel Alain Perdomo Padilla y Dr. Jorge M. Rodríguez Matienzo	
ESTUDIO DEL CONSUMO ELÉCTRICO PROVINCIAL DE VILLA CLARA Y SU PRONÓSTICO 2019-2023 CUBA.....	32
M.Sc. Ricardo Osés Rodríguez, M.Sc. Humberto Machado Fernández, Ing. Alfredo A. González Meneses y Rigoberto Fimia Duarte	
DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN CON COMBUSTIBLE EN ACEITES LUBRICANTES UTILIZADOS EN ÓMNIBUS DAEWOO.....	45
Por Dr. Andrés Frank Paz Menéndez y M.Sc. Enrique Viant Garrido	

editorial
cubasolar

INTENSIFICACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPACTO UTILIZANDO UNA COMBINACIÓN DE ALETA LISA ONDULADA

Por **Alexander Cabrera Guerra*** y **Dr. Rubén Borrajo Pérez****

*Estudiante del 5to. año de la carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de La Habana.

**Profesor Titular del Centro de Estudio de Energías Renovables, Ceter, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de La Habana.

E-mail: rborrajo@ceter.cujae.edu.cu

Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento termohidráulico de un modelo de aleta mixta con una combinación de aleta lisa con ondulada, buscando intensificar la transferencia de calor con limitadas pérdidas de carga por medio de la simulación numérica. Preliminarmente se realizó la revisión bibliográfica; luego se diseñó el modelo que se debía estudiar, se impusieron condiciones de contorno y se hicieron las corridas en FLUENT. Los resultados se comparan con correlaciones obtenidas por métodos experimentales de aletas lisa y ondulada, lo que arroja que la nuestra tiene un comportamiento hidráulico peor que la lisa y mejor que la ondulada; térmicamente es mejor que la lisa y peor que la ondulada. Finalmente se puede decir que la aleta mixta posee un comportamiento termohidráulico que supera a la aleta lisa, pero no a la ondulada.

Palabras clave: Intercambiadores compactos, aleta plana-ondulada.

INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER IN A COMPACT HEAT EXCHANGER USING A COMBINATION OF SMOOTH-WAVY FIN

Abstract

This work analyze the thermo-hydraulic behavior of a mixed fin model with a combination of smooth fin with a corrugated one, in order to intensify the heat transfer with a limited losses of load by means of the numerical simulation. Preliminarily a bibliographic revision was made, then the model to be studied is designed, boundary conditions are imposed and the runs are made in FLUENT. The results are compared with correlations obtained by experimental methods of smooth and undulated fins, showing that ours one has worse hydraulic behavior than smooth and better than wavy, thermally better than smooth and worse than wavy. Finally, it can be said that the mixed fin has a thermo-hydraulic behavior that surpasses the smooth but not the wavy fin.

Key words: Compacts exchangers, plane-wavy fin.

Introducción

Los intercambiadores de calor compactos son ampliamente usados en la industria, en el transporte automotor, en la climatización y en múltiples aplicaciones de la vida diaria. Estos intercambiadores son del tipo tubo aleta con

aire circulando por el exterior de los tubos. El aire al fluir presenta bajos coeficientes de transferencia de calor convectivos, lo que determina que deban ser empleadas áreas de transferencia de calor extendidas en forma de aletas, para

poder satisfacer la demanda de calor que hay que intercambiar impuesta al equipo. Entonces, para conseguir equipos compactos es necesario establecer pequeñas distancias inter-aletas. Sin embargo, tales soluciones están acotadas, por cuanto al disminuir el espacio inter-aletas deberá operarse con más baja velocidad del aire, para así evitar elevar sustancialmente las pérdidas de presión en el intercambiador. Las técnicas de intensificación de la transferencia de calor, en general, están dirigidas a quebrar las capas límite térmica e hidrodinámica, creando así nuevas capas límite con el fin de elevar el coeficiente de transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido (aire), que se conoce se hace menor en la medida en que la capa límite hidrodinámica se desarrolla. Estas técnicas, por las mismas razones, también llevan aparejado un incremento en la transferencia de momentum, lo cual crea un incremento en la pérdida de carga en el canal. En resumen, se trata de lograr aumentos del calor intercambiado en las aletas de un intercambiador de calor, sin tener que pagar un elevado monto en pérdidas de carga. Lo anterior permitiría emplear intercambiadores de calor más pequeños que garanticen un servicio similar.

Existen varias formas de intensificar la transferencia de calor; las más usadas son: el empleo de aletas planas, venecianas, alternadas, onduladas; generadores de vórtices y sus posibles combinaciones.

Intercambiadores de calor compactos

Los intercambiadores compactos son equipos encargados de transmitir energía en forma de calor entre dos sustancias a diferentes temperaturas, y se usan generalmente cuando una de las sustancias es un gas. Los intercambiadores de calor que trabajan con gases y líquidos requieren una gran superficie de traspaso de calor en el lado de los gases, puesto que las resistencias térmicas de los gases pueden llegar a ser entre diez y cincuenta veces la de los líquidos [Gupta, M., 2010]. Existen tres tipos de equipos de intercambio de calor compacto: gas-gas, líquido-líquido y líquido-gas. Cuando la cantidad de área que transfiere calor sobre el volumen que ocupa es mayor de $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$, se dice que el equipo es compacto.

Los intercambiadores más comunes son los que presentan la configuración plano-aleta, espiral y tubo-aleta, aunque existen algunos que son regenerativos. Generalmente cuando se tiene una configuración tubo-aleta, por dentro de los tubos (circulares, rectangulares o elípticos) circula el líquido, mientras que los gases se mueven por la superficie aleteada. Para caracterizar el coeficiente de traspaso de calor del lado de los gases se emplean las correlaciones del factor de Colburn (j) y el número de Reynolds (Re).

Técnicas de intensificación de transferencia de calor

Las técnicas o métodos de intensificación de calor es uno de los problemas fundamentales en el uso de los sistemas de intercambio de calor y pueden clasificarse en métodos pasivos y activos; la diferencia radica en que los activos requieren de energía externa, mientras que los pasivos no requieren de la aplicación directa de la energía externa.

Las técnicas activas se dividen en las que comprenden ayuda de dispositivos mecánicos, superficies vibratorias, fluidos con vibraciones impuestas, campos electrostáticos,

succión e inyección. Las técnicas pasivas pueden ser mediante superficies cubiertas, rugosas, extendidas, dispositivos para mejoras, dispositivos creadores de remolinos, dispositivos para superficies acanaladas y aditivos para líquidos y gases. Como los métodos activos requieren de consumo de energía y de instalaciones costosas, no son muy empleados. La efectividad de estas técnicas dependen, en gran parte, del modo de transferencia de calor usado, ya sea por convección, ebullición, condensación y la combinación de estas en distintas variantes [Gupta, M., 2010]. Mediante el uso de las técnicas pasivas se reducen las emisiones de CO_2 a través de la reducción del consumo de masa y combustible, lo que representa una limitante para las grandes productoras de intercambiadores de calor.

Simulación numérica y procedimientos

Se comienza por el diseño de una aleta intercambiadora de calor con tubo circular que emplea la combinación de una aleta lisa seguida por otra ondulada (*wavy*). Posteriormente se realiza el mallado del modelo y se establecen las condiciones de contorno necesarias para la solución de las ecuaciones fundamentales. A partir del modelo mallado, este se simula usando CFD y el método de volúmenes finitos, con el objetivo de obtener la información necesaria para realizar la comparación de los comportamientos relativos. Las ecuaciones fundamentales son: la ecuación de continuidad, la de conservación de la energía y las conocidas ecuaciones de *Navier-Stokes*. El estudio de la solución independiente de la malla es también realizado a partir de sucesivos refinamientos de la densidad de la malla.

Las herramientas básicas para el diseño del modelo geométrico, mallado y computacional de los modelos son los softwares *Autodesk Inventor 2016*, (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) *Gambit 2.2.30* y *Ansys Fluent 6.3.26*, respectivamente.

Para el modelo se suministra como condición de contorno el conocimiento de la velocidad de entrada del fluido en el canal y su temperatura, así como la temperatura de la superficie de los tubos. Se desprecian las posibles resistencias térmicas entre el tubo y el cuello de la aleta, con el propósito de simplificar el trabajo. La temperatura local en la superficie de las aletas se determina a partir del cálculo conjugado (conducción-convección) de transferencia de calor.

Características básicas del modelo

El modelo que se va a construir posee las características fundamentales siguientes:

- Longitud de la aleta: 38,148 mm.
- Ancho de la aleta: 12,7 mm.
- Angulo de inclinación del ondulado: $17,5^\circ$.
- Espesor de la aleta: 0,15 mm.
- Diámetro del collar del tubo: 10,36 mm.
- Espaciamiento transversal: 25,4 mm.
- Espaciamiento longitudinal: 19,05 mm.
- Altura de la aleta ondulada: 1,654 mm.
- Material de la aleta: Aluminio.

La aleta sola no es suficiente para realizar su modelación; se precisa de un canal a través del cual emular la

circulación del aire. El canal garantiza que la aleta quede envuelta por el fluido que circula sobre ella y junto con la aleta compone todo el dominio bajo estudio.

El canal fue construido en tres partes diferentes conectadas entre sí, con una longitud total de 98,148 mm y una altura de 2,54 mm, mientras que el ancho coincide con la mitad del espaciado transversal. Luego de construida la geometría se exporta con formato CAD y archivo con extensión *.SAT. La aleta, como puede ser observado en la Figura 1, ha sido incluida en el centro del dominio, dividiendo así en dos regiones el canal de flujo que a su vez coincide con el espacio entre aletas subsiguientes.

En la Figura 1 se presenta el dominio computacional con las condiciones de frontera empleadas en la solución numérica. A continuación se resumen dichas condiciones de contorno:

- Entrada-velocidad de entrada.
- Salida-presión de salida.
- Aleta arriba-pared.
- Aleta abajo-pared.
- Entrada de aleta-pared.
- Salida de aleta-pared.
- Tubo-pared.
- Pared izquierda-simétrica.
- Pared derecha-simétrica.
- Periódica-periódica.
- Borde del tubo-pared.

En la Figura 1 pueden apreciarse también las regiones por donde entra y sale el aire.

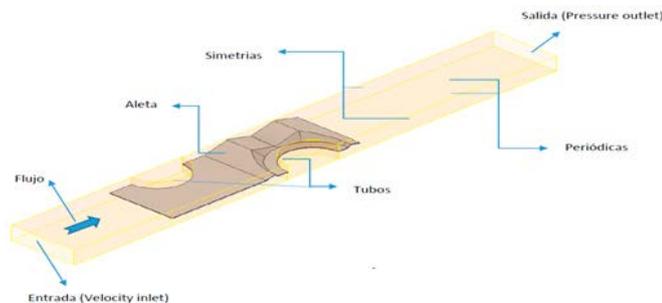


Fig. 1. Representación de las condiciones de contorno del canal y la aleta.

El modelo después de mallado y con la malla previamente suavizada en el solver se presenta en la Figura 2. Los colores representan las diferentes superficies que conforman los contornos del modelo.

Características del flujo

El flujo es un flujo simular estacionario, tridimensional, con los campos de velocidad y de temperatura desacoplados, incompresible, y con propiedades constantes bajo las siguientes condiciones de operación:

- Presión manométrica de operación: 0 kPa.
- Densidad del aire: 1,1774 kg/m³.
- Viscosidad absoluta: 1,684 *10⁻⁵ kg/m*s.
- Velocidad del flujo a la entrada: Entre 0,5 y 5 m/s.
- Temperatura del aire a la entrada del modelo: 300 K.

- Temperatura de la pared del tubo: 286 K.
- Conductividad térmica del aire: 0,0242 W/m*K.
- Calor específico a presión constante: 1006,43 J/kg*K.

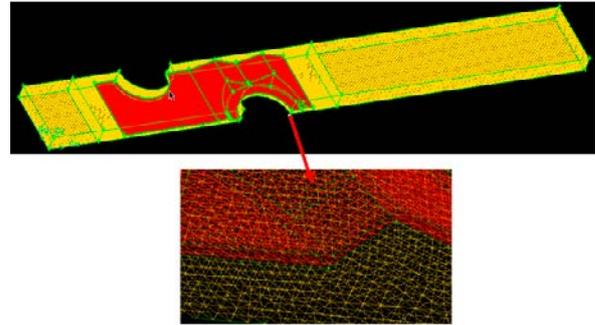


Fig. 2. Vista real del mallado de la aleta lisa ondulada.

Obtención del comportamiento termohidráulico del intercambiador de calor con aletas lisas y con aletas onduladas

Los valores del factor de Colburn y del factor de fricción para los dos tipos de aletas, que se usarán como base de comparación, se obtuvieron a partir de correlaciones experimentales. Para las dos aletas (lisa y ondulada) se emplearon las correlaciones de Madi *et al.* de 1998 y las de Wang *et al.* de 1997 apud Park and Jacobi [Jacobi Y.-G.P. a. a. M., s/a]. Fueron calculados los factores *f* y *j* antes descritos, para cada una de las aletas, adaptados a nuestras condiciones y después comparados con el valor calculado en nuestra simulación de aleta mixta. El objetivo es determinar si la aleta mixta bajo estudio tiene un comportamiento mejor o peor que el de las dos originales, tratando de aprovechar al máximo las ventajas de cada una de las aletas (Tablas 1 y 2).

Tabla.1. Resultados obtenidos para la correlación de aleta lisa, de *j* y *f* en función de las diferentes velocidades

<i>u</i> (m/s)	<i>j</i>	<i>f</i>
0,5	0,0141	0,0648
1	0,0102	0,0545
2	0,0073	0,0458
3	0,0060	0,0414
4	0,0052	0,0385
5	0,0046	0,0364

Tabla.2. Resultados obtenidos para la correlación de aleta ondulada, de *j* y *f* en función de las diferentes velocidades

<i>u</i> (m/s)	<i>j</i>	<i>f</i>
0,5	0,0285	0,1040
1	0,0211	0,0795
2	0,0161	0,0622
3	0,0139	0,0545
4	0,0126	0,0497
5	0,0117	0,0465

Análisis de los resultados

A continuación se realiza el análisis de los resultados obtenidos como parte del proceso de simulación numérica. Estos resultados serán posteriormente comparados con los arrojados según las correlaciones para cada una de las aletas.

Luego de obtenidos los valores de las simulaciones y aplicado el procedimiento de cálculo correspondiente, se obtuvieron los siguientes valores del coeficiente de transferencia de calor medio de la superficie y su eficiencia (h y η_o) como función de la velocidad de entrada. En la Tabla 3 se presentan los valores mencionados.

Tabla 3. Coeficiente de transferencia de calor, eficiencia, eficacia, caída de presión del modelo en función de la velocidad de entrada (u)

$u(m/s)$	$\Delta P(Pa)$	$h(W/m^2K)$	Eficacia	η_o
0,5	1,9824	340 328	0,8455	0,8373
1	6,0635	431 128	0,8378	0,8292
2	18,7400	603 890	0,8028	0,7924
3	37,5512	80,8871	0,7655	0,7531
4	61,4332	97,7601	0,7357	0,7217
5	90,9355	113,9309	0,7096	0,6943

En la literatura actual se acostumbra presentar el comportamiento termohidráulico utilizando números adimensionales y en consecuencia se muestran, en la en la Tabla 4 y la Figura 3, los valores obtenidos del factor de Colburn y el factor de fricción.

Tabla 4. Factor de fricción y factor de Colburn como una función de la velocidad para la geometría estudiada

$u(m/s)$	f	j
0,5	0,0781	0,0242
1	0,0597	0,0153
2	0,0461	0,0107
3	0,0411	0,0096
4	0,0378	0,0087
5	0,0358	0,0081

En la Figura 3 se observa que la aleta mixta posee un comportamiento térmico que se ubica entre los de la aleta lisa y los de la ondulada. De la misma forma el comportamiento hidráulico está también entre los de las dos ale-

tas originales, sobre todo para los valores de Reynolds más bajos.

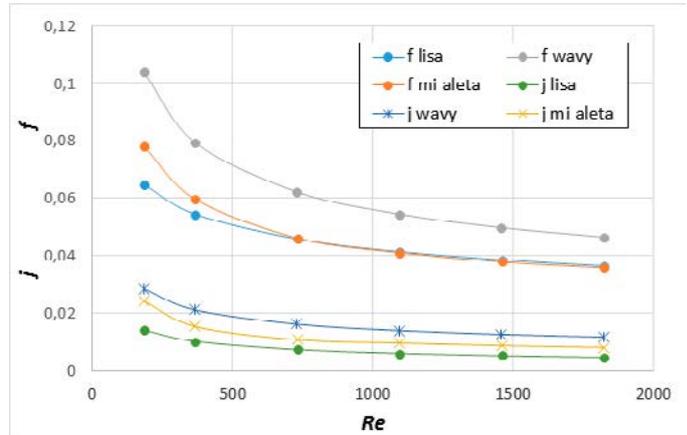


Fig. 3. Factor de fricción y factor de Colburn como una función de Reynolds para la geometría estudiada y para las correlaciones de aleta lisa y ondulada.

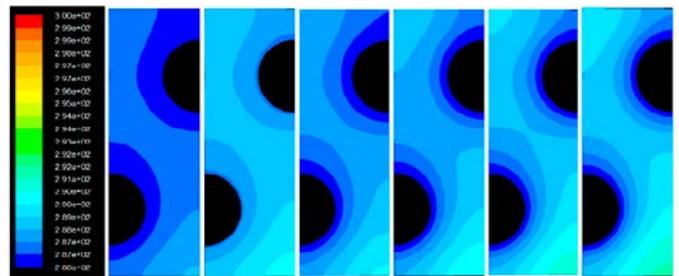


Fig. 4. Comportamiento de la temperatura en la cara superior de la aleta mixta para cada una de las velocidades, de 0,1 a 5 m/s, de izquierda a derecha.

Como se observa en la Figura 4, a medida que aumenta la velocidad de entrada es notable el incremento de la temperatura de la aleta motivado por un elevado intercambio térmico.

Comparación entre el modelo y las correlaciones

Para la comparación entre la aleta plana-ondulada y las correlaciones de aleta lisa y ondulada se empleará un factor de comportamiento que considera tanto el comportamiento térmico como el hidráulico y que es muy utilizado en la literatura actual [Yang, L. y Y. Yang, 2016]. El factor de comparación se obtiene relacionando la razón con el factor de Colburn para la superficie plana-ondulada sobre la superficie lisa, sobre la razón del factor de fricción de la superficie plana-ondulada sobre la superficie lisa elevada a un tercio. La expresión que presenta este factor es la siguiente:

$$f_c = \frac{j_{p-o}}{j_{lisa}} \left[\frac{f_{p-o}}{f_{lisa}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Cuando se grafica este factor como función de la velocidad para las tres aletas comparadas, se obtiene el comportamiento mostrado en la Figura 5.

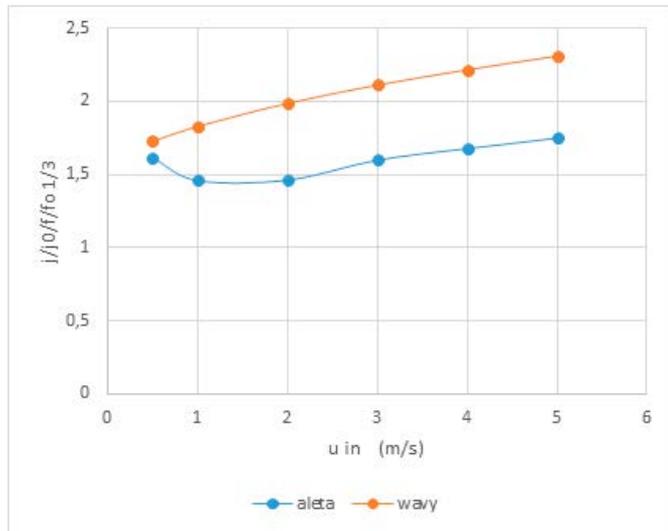


Fig. 5. Gráfico del factor de comportamiento en función de las velocidades.

La Figura muestra que utilizando el mencionado factor de comparación, la aleta mixta analizada presenta un comportamiento termohidráulico peor que el de una aleta ondulada, al menos para las dimensiones mostradas y en el rango de velocidades estudiadas. Solamente en la región de las bajas velocidades aparece una tendencia hacia una aleta mixta que sea capaz de superar a la ondulada.

Conclusiones

Terminado este trabajo se puede llegar a las conclusiones siguientes:

- La aleta mixta estudiada posee un comportamiento térmico superior al de la aleta lisa.
- La aleta mixta tiene un comportamiento hidráulico inferior al de la aleta ondulada.

- Comparativamente se encontró que el comportamiento termohidráulico de la aleta mixta se encuentra entre los mostrados por las aletas lisas y las onduladas.
- Existe una tendencia, en los valores de velocidad más pequeños, de que la aleta mixta consiga superar el comportamiento global de la ondulada.

Recomendaciones

Se debería estudiar la aleta mixta, pero invirtiendo el sentido de circulación del flujo.

Bibliografía

- DURMAZ, G. (2009). «Experimental and numerical analysis of heat transfer performance of off-set strip fins».
- GUPTA, M. (2010). «Numerical study of heat transfer enhancement in a plate-fin heat exchanger using rectangular winglet type vortex generator».
- JACOBI, Y. G. P. a. a. M. Air-Side (2001). «Performance Characteristics of Round- and Flat-Tube Heat Exchangers: A Literature Review, Analysis and Comparison».
- SUÁREZ, D. S. (2016). «Análisis numérico de la intensificación de la transferencia de calor y la pérdida de carga en intercambiadores de calor de tubo y aletas venecianas (Louvered) usando generadores de vórtices». Tutor: Pérez I. a. M. Tesis de diploma, Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, Cujae, Cuba.
- TAO, Y. B.; Y. L. H., J. HUANG, Z. G. WU, W. Q. TAO (2006). «Numerical study of local heat transfer coefficient and fin efficiency of wavy fin-and-tube heat exchangers». *International Journal of Thermal Sciences*.
- T'JOEN, C. *et al.* (2010). «Interaction between mean flow and thermo-hydraulic behaviour in inclined louvered fins». *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- YANG, L., y Y. YANG (2016). «Numerical simulation on flow and heat transfer of fin-and-tube heat exchanger with longitudinal vortex». *International Journal of Thermal Sciences*, DOI 10.1016/j.ijthermalsci.2015.01.030.

LA REVISIÓN ENERGÉTICA INICIAL (REI) EN EL CONTEXTO DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN LA NC ISO 50001:2011

Por **M.Sc. Lázaro Lorenzo Betancourt Pineda***, **Ing. Luis A. Pichs Herrera****, **M.Sc. Léster N. Medina Negrín***** y **M.Sc. Niurka Lara Muñoz******

*Ingeniero Químico Tecnólogo, Máster en Ingeniería y en Eficiencia Energética y Diseño Térmico. Consultor Principal Acreditado. No. Registro Idict-CNAC del Citma: 032. Centro de Información y Gestión Tecnológica. Ciget-Idict-Citma. Cienfuegos, Cuba.
E-mail: lbetancourt@ciget.cienfuegos.cu

**Consultor Acreditado. No. Registro Idict-CNAC del Citma: 045. Centro de Información y Gestión Tecnológica. Ciget-Idict-Citma. Cienfuegos, Cuba.
E-mail: pichs@ciget.cienfuegos.cu

***Consultor Acreditado. No. Registro Idict-CNAC del Citma: 043. Centro de Información y Gestión Tecnológica. Ciget-Idict-Citma. Cienfuegos, Cuba.
E-mail: Léster@ciget.cienfuegos.cu

****Ing. Máster en Ingeniería Industrial, Mención Calidad. Consultora Acreditada. No. Registro Idict-CNAC del Citma: 047. Centro de Información y Gestión Tecnológica. Ciget-Idict-Citma. Cienfuegos, Cuba.
E-mail: niurka@ciget.cienfuegos.cu

Resumen

Cuando se requiere diseñar y establecer un sistema de gestión de la energía en una organización, sea esta una entidad de producción o de prestación de servicios y teniendo en cuenta los requisitos de la NC-ISO 50001: 2011, lo primero es realizar una revisión energética inicial. Este artículo presenta una guía metodológica para efectuar la revisión energética Inicial que permita determinar el desempeño energético de la organización basada en datos y otro tipo de información, orientado a la identificación de oportunidades de mejoras energéticas. Por ello analizar los factores energéticos, tales como el uso y consumo de la energía basándose en mediciones y otros tipos de datos, es decir, identificar y caracterizar las fuentes de energía actuales, así como evaluar el uso y consumo pasado y presente de la energía, constituye la premisa fundamental.

Palabras clave: Revisión energética, desempeño energético, eficiencia energética, línea de base energética, mejora continua.

THE INITIAL ENERGY REVIEW (REI) IN THE CONTEXT OF THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM ACCORDING TO ISO 50001: 2011

Abstract

When it is necessary to design and implement an energy management system in an organization, whether it is a production or service rendering entity taking into account the requirements of ISO 50001: 2011, the first thing we must do is carry out an Initial Energy Review. This article presents a methodological guide to carry out an Initial Energy Review that allows to determine the energy performance of the organization based on data and other information, oriented to the identification of opportunities for energy improvements. So

analyze the energy factors, such as the use and consumption of energy based on measurements and other types of data, that is, identify and characterize the current energy sources, as well as evaluate the past and present use and consumption of the energy, constitutes the fundamental premise.

Key words: *Energy review, energy performance, energy efficiency, energy baseline, continuous improvement.*

Introducción

Contribuir al uso más eficiente de las fuentes de energía disponibles, a mejorar el desempeño energético, la competitividad y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados es el objetivo principal de una entidad de producción o de prestación de servicios.

La gestión energética es un conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar un uso racional y eficiente de los portadores energéticos en una organización para alcanzar un elevado desempeño energético. La revisión energética inicial (REI) se ejecuta considerando la extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la organización, que puede circunscribir varios límites. En el alcance se puede incluir, además, la energía (consumo de portadores energéticos) relacionada con el transporte en la Organización. Es de aplicación en el ámbito del establecimiento de un sistema de gestión de la energía en la esfera empresarial en fase de su explotación. La revisión energética se ejecuta considerando los límites físicos o emplazamientos y/o límites organizacionales tal y como lo defina la propia Organización: un proceso, un grupo de proceso, una o varias instalaciones industriales o de servicios, la Organización completa, múltiples emplazamientos bajo el control de la Organización, etcétera.

En el límite o límites definidos por la organización, la REI, basada en datos y otro tipo de información, orientada a la identificación de oportunidades de mejoras, contribuye a un uso más eficiente de las fuentes de energía disponibles por la organización, a mejorar la competitividad ante el mercado local, nacional y/o internacional; a la reducción de las emisiones de gases de efecto de invernadero y de otros impactos ambientales relacionados con el uso y consumo de la energía de cualquier tipo.

Preparación

Como premisas indispensables y fase de preparación antes de acometer la ejecución de la revisión se encuentran las siguientes:

- Selección y conformación, por parte del especialista energético de la Organización de los equipos de trabajo que ejecutarán la revisión y designación de un responsable.
- Familiarización y comprensión, por parte del equipo de trabajo que ejecutará la revisión, con la estructura organizativa, funciones, actividades, procesos fundamentales y auxiliares y características de la Organización; así como sus interrelaciones con el uso y consumo de la energía.
- Recopilación por parte del equipo de trabajo, de toda la información general disponible sobre las características de la entidad, las edificaciones e instalaciones que la componen, sus parámetros técnicos y económicos fundamentales, su estructura organizativa, procesos,

operaciones y actividades fundamentales y auxiliares; funciones y cualquier otra información disponible para su completa caracterización. Durante esta fase se recopilará y se revisará toda la que ya exista en la entidad y que pueda ser útil, no solo a los efectos de establecer la situación con respecto al uso y consumo de la energía, sino para la implantación futura del sistema de gestión [Borroto, A., 2002], [Campos, J., 2003].

Levantamiento energético [Betancourt, 2006]

El levantamiento energético consta de las etapas siguiente: información básica de la Organización o entidad, caracterización del entorno empresarial y caracterización de la entidad.

Información básica de la Organización o entidad [Betancourt, 2006]

Se recopilará y documentará la siguiente información de tipo general de la Organización o entidad:

- Nombre de la entidad.
- Dirección.
- Teléfono; FAX; e-mail.
- Organismo a que pertenece.
- Persona y cargo que la representa.
- Persona y cargo que ocupa el representante quien atiende la gestión energética (si existe en la Organización).
- Alcance (procesos, actividades, instalaciones, sistemas tecnológicos y áreas que abarcarán la revisión).
- Límite físico o de emplazamiento y/o límites organizacionales.

Caracterización del entorno empresarial

Se hará una breve descripción del contexto donde la Organización opera y se ponen de manifiesto su uso y consumo de la energía y los impactos asociados, incluidas las emisiones al aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, los seres humanos y sus interrelaciones. Ubicación geográfica de la entidad. Coordenadas cartográficas. Especificar si el medio en el cual se inserta la entidad está clasificado como zona rural o urbana y dentro de la urbana si se encuentra en una zona industrial. (NC ISO 50001:2011).

Caracterización de la entidad

La caracterización de la entidad contemplará como mínimo lo siguiente:

a) Información detallada de la Organización o entidad [Betancourt, 2006].

- Objeto empresarial.
- Misión.

- Visión.
- Valores compartidos.
- Número de trabajadores, categoría ocupacional y educacional.
- Régimen de trabajo y descanso de los trabajadores.
- Indicadores económicos fundamentales, incluidos los costos y gastos energéticos.
- Organigrama de la Organización
- Descripción de los procesos, actividades y operaciones que se desarrollan en las instalaciones (mapa de procesos):

Mapa de procesos. Descripción de los procesos, operaciones y actividades que se desarrollan en las diferentes instalaciones de la Organización. Descripción de las áreas: instalaciones, equipamiento y sistemas tecnológicos: Ej. Sistema eléctrico (mono-lineal), de instrumentación, agua de proceso y potable, aire de proceso, PCI, plantas de producción principal, secundarias y de apoyo, grupos electrógenos, etc.

En la descripción del proceso:

- Incluir un esquema de energético que muestre las corrientes de energía y los principales equipos. Consumo, generación, acarreo o traslado de energía, incluido el límite de baterías.
- Describir brevemente el proceso o servicio de la instalación, incluyendo todos los energéticos que se utilizan en el proceso: gas natural, gas residual, GLP, combustóleo (fuel oil), diésel, carbón, etcétera.
- Incluir los casos de operación que pueden influir en la eficiencia energética de la planta. (variables relevantes que afectan el uso y consumo de la energía: Paradas no programadas, baja producción, falta de mantenimiento mayor, catalizador gastado, obsolescencia industrial y tecnológica, indisciplina tecnológica y social, vandalismo, etc.).

Planificación energética (NC ISO 50001: 2011)

Identificación de las entradas y salidas de los procesos en la planificación energética

Sobre la base de la premisa del conocimiento e identificación previa de los procesos y actividades, así como de las instalaciones físicas y sistemas y equipos tecnológicos relacionados, se identifican las entradas y salidas energéticas a dichos procesos y actividades. Al identificarlas se debe recopilar, siempre que sea posible, información cuantitativa que luego será de utilidad en la fase de evaluación. Para la identificación de entradas y salidas es recomendable auxiliarse de una tabla o esquema (Tabla 1).

Las entradas y salidas relacionadas con los diferentes procesos, actividades, áreas, instalaciones físicas y sistemas y equipos tecnológicos se muestran en el Anexo 1.

Nota: Se confeccionará un registro por cada proceso y sus actividades identificado dentro del alcance y los límites declarados por la Organización en la primera etapa de la REI.

Identificación de las fuentes de energía actuales [Betancourt, 2006]

El proceso de identificación de las fuentes de energía actuales se realiza de forma colectiva por un equipo de trabajo en el que participan especialistas y personal de las áreas involucradas, con suficiente experiencia y conocimientos en las actividades de la Organización, de manera que no se omita ninguna fuente de energía que involucre los procesos y que a su vez interactúe con el medioambiente empresarial o posea potencial para ello, generando impactos ambientales relacionados con la gestión energética.

A partir de los elementos de entrada y salida se identifican las fuentes de energía (actuales y potenciales) dentro del alcance que defina la Organización dentro o fuera del Sistema de Gestión de la Energía, asociadas a los procesos, actividades, productos y servicios, considerando condiciones de operación normales y anormales, de parada y arranque, así como cualquier situación razonablemente previsible de emergencia energética o de cualquier tipo que involucre la energía.

Las fuentes de energía se pueden identificar, según Lapido [2009], como:

Renovables: Pueden utilizarse de manera continuada para producir energía, bien porque se regeneran fácilmente o porque son una fuente inagotable: de la biomasa, solar, hidráulica, eólica, geotérmica, marítima, de ondas, etcétera.

No renovables: Una vez utilizadas tardan demasiado tiempo en regenerarse, o bien nunca se podrán regenerar; también se pueden regenerar utilizando algún producto químico: carbón, petróleo y sus derivados, incluyendo el gas natural o GLP, uranio; electricidad: alumbrado, industrial, doméstico, de servicio; combustibles: para transporte automotor, grasas y lubricantes; vapor de agua: para turbinas, turbobomba, agentes refrigerantes (como medio transmisor de calor).

Las fuentes de energía identificadas relacionándolas con los procesos, actividades, áreas e instalaciones físicas y el equipamiento tecnológico a partir de las categorías referidas anteriormente se registran en el Anexo 2.

Uso y consumo pasado y presente de la energía

Determinar el uso y consumo de energía según el alcance y límites establecidos en el proceso de realización de la REI:

a) Uso industrial: producción de bienes y servicios [CONUUE. México, 2013].

- Forma o tipo de aplicación de la energía: para la ventilación, iluminación, calefacción, climatización, refrigeración, transporte automotor y equipos especiales como grúas, montacargas, tractores, etc.; procesos tecnológicos y servicios técnicos o servicios generales, de logística, líneas de producción, para la cocción y elaboración de alimentos, en equipos de talleres y de almacenes, en equipo de bombeo, incluidos los hidroneumáticos, elevadores y escaleras eléctricas, motores grandes de ventiladores/extractores, misceláneos (computadoras, impresoras, etc.); plantas generadoras (sistema de respaldo: grupos electrógenos), agua caliente,

cualquier otro sistema que consuma energía (portadores energéticos) y que se considere como importante dentro del alcance y los límites determinados.

b) Uso doméstico (REI en inmuebles) [CONUUE. México. 2013].

- Forma o tipo de aplicación de la energía de uso doméstico: para la cocción y elaboración de alimentos, ventilación, iluminación, calefacción, climatización, refrigeración, lavado y planchado, transporte, radio, TV, equipos de cómputos y ofimáticos; otras misceláneas, como coser, bordar, limpiar, etcétera.

c) Los usos de la energía identificados, relacionándolos con los procesos, actividades, áreas e instalaciones físicas y el equipamiento tecnológico a partir de las categorías referidas en el acápite anterior aparecen en el Anexo 3.

Determinar el consumo de energía según el alcance y límites establecidos:

Identificar, en una tabla, la lista de los energéticos empleados, incluyendo energéticos residuales, el total de consumo de energía del año anterior que utilizó la planta, en unidades de masa/volumen/electricidad y su equivalente en energía, expresando el tanto por ciento de energía que representa cada uno. Obtener el consumo de energía térmico y eléctrico en porcentaje. Incluir el costo total anual de cada uno y el global. Incluir la intensidad energética: indicador de la eficiencia energética de una economía, tanto empresarial como a nivel

de país y mundialmente. Se calcula como la relación entre el consumo energético (E) y la producción mercantil (PM) en MP de una empresa o el producto interior bruto (PIB) de un país, y se interpreta como «se necesitan X unidades de energía para producir una unidad de riqueza». Si la intensidad energética es baja, indica un costo bajo. Se consume poca energía, para producir mayor PM [Borroto, 2002].

Portadores energéticos

a) Combustibles y lubricantes:

- Tipo y uso de los combustibles y lubricantes: (breve descripción del uso y consumo de los combustibles y lubricantes en la Organización).
- El consumo de los combustibles y lubricantes se reflejan en la Tabla 2.
- Se determina la intensidad energética (TCE/MP) y se reflejan en la Tabla 3. TCE: toneladas de combustible convencional o equivalente de combustibles, lubricantes y se incluye el consumo eléctrico usado en la Organización para cumplir su misión en la producción mercantil. MP: miles de peso de producción mercantil.
- Obtener el consumo de energía térmico y eléctrico en tanto por ciento. Hacer un gráfico pastel donde se muestren, en los tres años analizados, el consumo energético por concepto de consumo de energía térmico y eléctrico, en tanto por ciento.
- Reflejar en una tabla el costo total anual de cada uno los portadores energéticos y el global de la Organización.

Tabla 1. Proceso de planificación energética

ENTRADA DE LA PLANIFICACIÓN	PROCESO DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA: REVISIÓN ENERGÉTICA	SALIDAS: RESULTADOS DE LA PLANIFICACIÓN
Fuentes de energía actuales Uso y consumo de la energía pasado y presente Variables relevantes que afectan el uso significativo de la energía. Desempeño energético	a) Analizar y evaluar el uso y consumo pasado y presente de la energía b) Identificar las áreas de uso significativo de la energía y de consumo c) Identificar oportunidades para la mejora del desempeño energético	Línea de base energética IDEns Objetivos, Metas Planes de acción de GE Oportunidades de mejoras Plan de ahorro energético

Tabla 2. Consumo de los combustibles y lubricantes

Portador energético (especificar el tipo de uso: proceso industrial, transporte, materia prima, etc.)	UM (t o L)	20XX ₁			20XX ₂			20XX ₃		
		Plan	Real	%	Plan	Real	%	Plan	Real	%
Ej. Fuel oil . Proceso industrial: generación de vapor.										
Ej. Diésel . Transporte automotor										
Ej. Nafta . Materia prima										

Tabla 3. Intensidad energética

INTENSIDAD ENERGETICA TCE/MP	20XX ₁			20XX ₂		20XX ₃	
	Plan	Real		Plan	Real	Plan	Real

(MP de producción mercantil)

- b) Para el caso del uso de los combustibles y los lubricantes en el transporte automotor y equipos especiales se completa la Tabla 4 del parque automotor y equipos especiales (grúas, tractores, montacargas, etc.), reflejando los CDT y los IC en los dos últimos años de explotación.

Electricidad

- Breve descripción del sistema eléctrico de la Organización. Monolineal, desde la entrada del SEN pasando por la transmisión y distribución de la electricidad. El metrado, las PGD y sus interruptores, subestaciones eléctricas con los bancos de transformadores, banco de capacitores, circuito al que pertenece, grupos electrógenos, banco de baterías de CD, líneas áreas o soterradas, etcétera.
- El consumo eléctrico se refleja en la Tabla 5.
- Se determinan los índices de consumo eléctrico ICe. (ej. ICe: *MWh/t* producción nitrato de amonio, *MWh/CNO* en un hotel, *MWh/CDO* en un hospital, etc.); se reflejan en la Tabla 6.
- Si existen varios contadores eléctricos que se puedan zonificar en la Organización se reflejan los consumos por zonas o áreas, procesos, objetos de obra, etcétera.
- Se realiza un inventario de los equipos consumidores de energía eléctrica: por plantas de producción, por sistemas: clima, refrigeración, alumbrado, procesos, etc.; estos se reflejan en la Tabla 7.
- Se establece la estructura energética de la Organización en los tres años analizados. Los datos se reflejan en la Tabla 8.

A partir de los datos que brindan las Tablas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se realiza lo siguiente:

- La evaluación del uso y consumo pasado y presente de los combustibles. Usar gráficos de comparación y evaluar con criterios de cumplimiento.
- La evaluación y/o comportamiento de los costos totales anuales y globales de los portadores energéticos en la Organización.
- Se identifican las áreas de uso significativo de la energía y de consumo (proceso, operación, actividad, etc.).
- Se determinan las variables relevantes (ej. obsolescencia industrial, tecnológica o del parque automotor; descontrol, indisciplina tecnológica o social, etc.) que afectan el uso significativo de la energía.
- Se identifican los indicadores de desempeño energético de la Organización relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía. (se tiene en cuenta los indicadores que la Organización debe presentar al organismo superior al que pertenece, a los organismos gubernamentales locales, y otros).
- En función de los indicadores identificados y los criterios que considere la Organización para fijar su calificación se determina el desempeño energético en alto, medio o bajo.
- Se determina el nivel de cumplimiento de los objetivos y metas energéticas de la Organización.
- Se identifican, priorizan y registran las oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Línea de base energética. [NC ISO 5001:2011]

La línea de base energética es una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético de una entidad. Refleja un periodo determinado y también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de determinar las acciones de mejora del desempeño energético de la Organización.

La Organización debe establecer una o varias líneas de base energética utilizando la información de la revisión energética inicial y considerando un período para la recolección de los datos adecuados al uso y consumo de la energía de la Organización.

Los datos en el desempeño energético de la Organización deben medirse en relación a la línea de base energética. Esto es definido por el equipo de trabajo para la REI. Se determinan los gráficos de dispersión y correlación por cada LBE.

La línea de base energética se recomienda hacer utilizando los diagramas de consumo – producción (E vs. P). [Lapido, 2004].

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: una fábrica de helado graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helado producidas; en un hotel se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados, mientras que en un hospital se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los camas-días ocupadas.

La línea de base energética debe mantenerse y registrarse.

Indicadores de desempeño energético [Borroto, 2006]

La Organización debe identificar los IDEns apropiados para realizar el seguimiento y medición de su desempeño energético. Debe asegurarse el cumplir las exigencias del órgano superior y de los organismos rectores de gestión energética locales.

Los IDEns deben ser revisados y compararse con la LBE de forma regular y apropiada.

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan generalmente indicadores de tres tipos fundamentales: índices de consumo, de eficiencia e índices económico-energéticos.

Índices de consumo:

- Energía consumida/producción realizada.
- Energía consumida/servicios prestados.
- Energía consumida/área construida.

Índices de eficiencia:

- Energía teórica (plan)/energía real.
- Energía producida/energía consumida.

Índices económico-energéticos:

- Gastos energéticos/gastos totales.
- Gastos energéticos/Ingresos (ventas).
- Costos planificados energéticos/costos reales.
- Energía total consumida (TCE)/valor de la producción total realizada (intensidad energética).

Tabla 4. Parque automotor y equipos especiales de la instalación que usan combustibles

No.	Marca	Modelo	Clasif.	Chapa	Serie	Año	CDT 20XX ₁		CDT 20XX ₂		Índice de Consumo 20XX ₁ (km/L)		Índice de Consumo 20XX ₂ (km/L)	
							Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real

Tabla 5. Consumo de electricidad

Electricidad	UM MWh/año	20XX ₁			20XX ₂			20XX ₃		
		Plan	Real	%	Plan	Real	%	Plan	Real	%

Tabla 6. Índice de consumo eléctrico

Índice de consume eléctrico ICe: MWh/t producción	20XX ₁			20XX ₂			20XX ₃		
	Plan	Real	%	Plan	Real	%	Plan	Real	%

Tabla 7. Equipos consumidores de energía eléctrica

No.	Equipos tecnológicos (de producción)	Cantidad (u)	Potencia (kW)	Potencia instalada (kW)
I.	Planta: xxxxx			

II.	Planta: xxxxx			

No.	Equipo eléctricos del área de servicios informáticos, otros servicios, oficinas administrativas, etcétera	Cantidad (u)	Potencia (kW)	Potencia instalada (kW)

Estructura energética de la entidad en los últimos tres años analizados

Tabla 8. Estructura energética año (1) 20XX

No.	Portador energético	UM (t)	Consumo Año (1) 20XX	F. conv.	TCE	%
1.						
2.						100

Tabla 9. Costo total anual y global de los portadores energéticos

Portador energético	UM	20XX ₁			20XX ₂			20XX ₃		
		Planificado	Real	%	Planificado	Real	%	Planificado	Real	%
	\$ MN									
	\$ CUC									
	\$ MN									
	\$ CUC									
Total										

Índice de consumo o consumo específico de energía. Se define como la cantidad de energía por unidad de producción o servicios, medidos en términos físicos (productos o servicios prestados).

Se relaciona la energía consumida (ej.: kWh, litros o toneladas de combustible, toneladas equivalentes de petróleo) con indicadores de la actividad expresados en unidades físicas (ej.: Toneladas de acero producidas, hectolitros de cerveza producidos, habitaciones-días ocupadas, toneladas-kilómetros transportadas, camas- días ocupadas, m²-año de edificios climatizados). Ej.: kWh/toneladas de acero producidas.

Intensidad energética para una empresa sería la relación entre el consumo total de energía primaria y la producción mercantil expresada en valores (TCE/MMP). [Borroto, 2006].

$$IE = \text{TEP (TCE)/prod. mercantil (\$)}.$$

Oportunidades para mejorar el desempeño energético. Identificar, priorizar y registrar

Nota: Las oportunidades de mejora pueden tener relación con fuentes potenciales de energía, la utilización de FRE u otras fuentes de energías alternativas tales como la energía desperdiciada. Estas oportunidades pueden estar dirigidas a:

- Oportunidades de mejoras o de ahorro relacionadas con los equipos y las tecnologías.
- Oportunidades de mejora relacionadas con la gestión energética y las prácticas de consumo.

Planes de acción para la gestión de la energía

La Organización debe establecer, implementar y mantener objetivos y metas energéticas documentados, en los niveles, funciones, procesos e instalaciones pertinentes dentro de la Organización. Deben establecerse plazos para lograrlos.

Los objetivos y metas energéticas deben ser coherentes con la política energética. Las metas que se establezcan pueden ser a corto, mediano y largo plazo.

Las metas deben ser:

- Retadoras y a la vez alcanzables, que impliquen avance, que presenten grados de dificultad.
- Concretas, orientadas a resultados.
- Con fechas específicas de inicio y terminación.
- Acordadas, colegiadas con el personal involucrado y que constituyan un compromiso de todos.
- Evaluables, con claros y definidos criterios de medida.

Se establecen, implementan y mantienen uno o varios planes de acciones para alcanzar los objetivos y metas [Betancourt, 2006] (Tabla 10).

Determinación de los requisitos legales y otros requisitos. [NC ISO 50001:2011]

Se identifican y determinan con un nivel de detalle suficiente los requisitos legales y otros requisitos que son aplicables a los aspectos energéticos (uso y consumo de

la energía en la Organización) y se determinará cómo se aplican a la Organización.

Los requisitos legales y otros requisitos incluyen los requisitos legales que la Organización debe cumplir, y los demás requisitos que la Organización tiene que cumplir o que decide cumplir. Los requisitos legales obligatorios relacionados con los aspectos energéticos (uso y consumo de la energía en la Organización) de una Organización pueden incluir, si es aplicable:

- Requisitos de entidades gubernamentales u otras autoridades pertinentes.
- Legislación y reglamentaciones internacionales, nacionales y locales.
- Requisitos especificados en permisos, licencias u otras formas de autorización.
- Órdenes, reglas u orientaciones emitidas por los organismos de reglamentación.
- Sentencias de juicios o tribunales administrativos.

Los requisitos legales y otros requisitos también incluyen los de las partes interesadas relacionados con el sistema de gestión de la energía que la Organización tiene que cumplir o decide adoptar. Estas pueden incluir, si es aplicable:

- Acuerdos con grupos de la comunidad u organizaciones no gubernamentales.
- Acuerdos con autoridades públicas o clientes.
- Requisitos de la Organización.
- Principios o códigos de práctica voluntarios.
- Compromisos energéticos y ambientales o de etiquetado voluntarios.
- Obligaciones que surgen por acuerdos contractuales con la Organización.
- Normas pertinentes de la industria o de la Organización.

Se ejecutará el examen detallado de cada documento identificado para seleccionar los requisitos que ofrezcan una relación directa/específica; o sea, la determinación de los artículos y/o secciones que se aplican a los aspectos energéticos generados en el ámbito de los procesos y actividades de la entidad.

Nota: Relación directa/específica. Significa que se consideren las normas que establecen criterios operacionales o de aceptación: parámetros y definiciones pormenorizadas del uso y consumo energético y la protección ambiental, control de recursos energéticos, caracterización de efluentes, residuos, emisiones, etc., valores aceptables de calidad energético-ambiental/medio ambiente laboral que regulen o definan pautas concretas y tangibles en relación a un aspecto energético y ambiental o al SGen.

Los requisitos que se identifiquen como resultado de este examen detallado quedarán registrados en el Anexo 4.

Nota: Se confeccionará un registro por cada aspecto energético identificado.

Tabla 10. Plan de acciones energéticas de SGE

Objetivo No. 1					
Meta No. 1					
Acción No. 1:					
Responsable	Participantes	Recursos	Plazo		Observaciones
			Fecha inicio	Fecha terminación	
Acción No. 2					
Responsable	Participantes	Recursos	Plazo		Observaciones
			Fecha inicio	Fecha terminación	
Objetivo No. 2					
Meta No. 1					
Acción No. 1:					
Responsable	Participantes	Recursos	Plazo		Observaciones
			Fecha inicio	Fecha terminación	

Identificación de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades

La ejecución del levantamiento energético y el análisis de sus resultados debe brindar las entradas pertinentes para lograr una comprensión cabal del conjunto de procesos, actividades, áreas de incidencia, entorno donde estos se realizan y de los aspectos energéticos e impactos asociados, riesgos, así como los incumplimientos legales vinculados a las condiciones, herramientas de gestión y prácticas existentes en la Organización, las cuales determinan la situación y desempeño energético actual de la Organización.

A partir del conocimiento cabal y la determinación del contexto de la Organización, alcanzado en el proceso de la revisión energética se deben identificar las fortalezas y debilidades asociadas a los factores o cuestiones internas, así como las amenazas y oportunidades asociadas a los factores o cuestiones externas, lo cual propiciará el conocimiento de los aspectos fuertes y débiles para establecer el punto de partida para la implantación de un SGE.

Asociadas a cuestiones o factores internos	
DEBILIDADES	FORTALEZAS
Asociadas a cuestiones o factores externos	
AMENAZAS	OPORTUNIDADES

Estructura del informe de la REI

Se elabora el informe de la REI en correspondencia con lo que se establece en el Anexo 5.

Anexos

- Anexo 1. Registro de entradas y salidas.
- Anexo 2. Registro de las fuentes de energía identificadas.
- Anexo 3. Registro de los tipos del uso y consumo de la energía.
- Anexo 4. Registro de requisitos legales y otros requisitos.
- Anexo 5. Estructura del informe de la revisión energética inicial (REI).

Bibliografía

BETANCOURT PINEDA L. L. y A. ALONSO PINEDO. «Manual de Usuario. Software Emig@s». Software para valorar la contaminación ambiental por emisión de los gases combustión.. Ciget, Cienfuegos. 2011. Obra protegida por el Cenda. Registro No. 1352. 2011.

BETANCOURT PINEDA L. L. y L. A. PICHES HERRERA Y OTROS (2006). *Metodología para la revisión medioambiental (REMA)* Ciget-Citma, Cienfuegos. 3ra edición. Entregado al Cenda. Premio Provincial a la Innovación Tecnológica. Res. 34/98 del Citma en Cienfuegos.

BORROTO A. E., VIEGO P. ETAL. (2002). «Gestión Energética Empresarial».. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Disponible en formato PDF. ISBN 959-257-040.

- CAMPOS AVELLA, JUAN CARLOS ETAL. (1997). *La eficiencia energética en la gestión empresarial*. Editorial Universidad de Cienfuegos: Cuba, ISBN 959 – 257 – 018 – 3.
- CAMPOS, J. C; E. L., FIGUEROA Y LOURDES MERIÑO (2003). *La gerencia de la energía en las empresas*. «Estudio de las relaciones entre la eficiencia energética y el desarrollo económico». Programa de Estudios e Investigaciones en Energía. (GTZ). Santiago de Chile, julio de 2003.
- «Guía para elaborar un diagnóstico energético en inmuebles». CONUUE. México, 2013.
- «Guía para elaborar un diagnóstico energético en instalaciones». CONUUE. México, 2011.
- LAPIDO, R. MARGARITA; J. P. MONTEAGUDO, P. VIEGO Y A. BORROTO. «La gestión energética y la competitividad empresarial». Disponible en Cubasolar. 2004.
- NC ISO 50001:2011. «Sistema de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso». 2011.
- Tema III. «Diagnóstico energético. Metodologías de balance». Curso de gestión energética. CONUUE. México. 2010.

Anexo 1. Registro de entradas y salidas (ejemplo)

REGISTRO DE ENTRADAS Y SALIDAS		
ALCANCE	Esta dado por la extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la Organización, que puede incluir varios límites	
LÍMITE	Límites físicos o emplazamientos y/o límites organizacionales tal y como lo defina la propia Organización.	
PROCESO	Ej. Gestión de la dirección	
ENTRADAS (portador energético)	PROCESO: OPERACIONES/ACTIVIDAD	SALIDAS (Objetivos, metas, línea de base energética, IDEns, emisiones, planes de acción de GE, etc.)
Electricidad Gasolina Diésel	Gestión de los recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivos energéticos • Metas energéticas • Línea de base energética • IDEns • Emisiones • Oportunidades de mejoras y ahorro • Planes de acción de GE • Actividades específicas del Plan de ahorro energético

Anexo 2. Registro de las fuentes de energía identificadas (ejemplo)

REGISTRO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA IDENTIFICADAS			
No.	FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE	PROCESOS/ACTIVIDADES	AREAS CON INCIDENCIA ENERGETICA: INST.FÍSICAS/SIST. Y EQ. TECNOLOGICOS
	Biomasa	Fabricación de azúcar/ generación de vapor	Calderas de generación de vapor
	Solar	Fabricación de azúcar/Generación de energía eléctrica	Área de paneles solares
	Hidráulica		
	Eólica		
	Geotérmica		
	Marítima		
	Ondas electromagnéticas		

No.	FUENTES NO RENOVABLES DE ENERGÍA	PROCESOS/ACTIVIDADES	ÁREAS CON INCIDENCIA ENERGÉTICA: INST. FÍSICAS/SIST. Y EQ. TECNOLÓGICOS
	Electricidad:	Gestión de la dirección/alumbrado de oficinas, explotación de los equipos de oficina y electrodomésticos: clima, refrigeración, etcétera.	Oficinas del edificio administrativo. Cocina comedor y pantry
	Combustibles fósiles: gasolina, diésel, grasas y lubricantes.	Gestión de la dirección/transportación del personal	Departamento de transporte y mantenimiento automotor

Anexo 3. Registro de los tipos de uso y consumo de la energía (ejemplo)

REGISTRO DE LOS TIPOS DE USO Y CONSUMO DE LA ENERGIA			
No.	ASPECTO ENERGETICO (USO Y CONSUMO DE PORTADORES ENERGETICOS)	USO INDUSTRIAL: PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS	AREAS CON INCIDENCIA ENERGETICA: INST. FÍSICAS/SIST. Y EQ. TECNOLÓGICOS
	Electricidad Fuel oil	Producción de nitrato de amonio	Planta de producción de nitrato de amonio: Equipos del proceso tecnológico
	Electricidad Gasolina Diesel GLP	Gestión de la dirección	Edificio administrativo: Climatización Iluminación Transporte Alimentación Computadoras e impresoras
No.	ASPECTO ENERGETICO (USO Y CONSUMO DE PORTADORES ENERGETICOS)	USO DOMÉSTICO	ÁREAS CON INCIDENCIA ENERGÉTICA: INST.FÍSICAS/SIST. Y EQ. TECNOLÓGICOS
	Electricidad:	Cocción de alimentos, ventilación, iluminación, climatización, lavado y planchado, equipos de cómputos y ofimáticos, otras misceláneas: radio y TV.	Todas las habitaciones

Anexo 4. Registro de requisitos legales y otros requisitos

REGISTRO DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS			
Aspecto energético (uso y/o consumo de la energía)			
Proceso/Actividad			
Área de Incidencia energética: Instalaciones físicas/sistemas y equipos tecnológicos			
Nombre del documento y parte interesada asociada	Código del documento	No.	Requisito

Anexo 5. Estructura del informe de la REI

Datos del equipo de trabajo

Integrantes del equipo ejecutor del levantamiento energético.

1.
2.
3.

Responsable equipo REI:

Fecha de inicio de la REI:

Fecha de terminación de la REI:

I. Introducción. Breve introducción del tema: La REI.

II. Alcance. Descripción del alcance de la REI.

III. Limite. Descripción de los límites de la REI

IV. Objetivo general. Presentación del objetivo general de la REI.

V. Objetivos específicos. Presentación de los objetivos específicos que se persigue en la REI.

VI. Levantamiento energético.

1. Información básica de la Organización o entidad.

2. Caracterización del entorno empresarial.

3. Caracterización de la entidad.

- Información detallada de la Organización o entidad.

- Descripción de los procesos, actividades y operaciones que se desarrollan en las instalaciones (mapa de procesos)

4. Planificación energética.

- Identificación de las entradas y salidas de los procesos en la planificación energética. Anexo .1. Registro de entradas y salidas.

- Identificación de las fuentes de energía actuales. Anexo 2. Registro de las fuentes de energía identificadas.
- Uso y consumo pasados y presentes de la energía. Anexo .3. Registro de los tipos de uso y consumo de la energía.
- Línea de base energética.
- Indicadores de desempeño energético.
- Oportunidades para mejorar el desempeño energético. Identificar, priorizar y registrar.
- Planes de acción para la gestión de la energía.

5. Determinación de los requisitos legales y otros requisitos

- Determinación de los requisitos legales y otros requisitos. Anexo 4. Registro de requisitos legales y otros requisitos.

6. Identificación de fortalezas y debilidades.

VII. Anexos

Revisado y aprobado por: -----

Fecha: -----

Estado de revisión: -----

Términos y definiciones

Gestión energética: Conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos dirigidos a garantizar un uso racional y eficiente de los portadores energéticos en una Organización, alcanzando un elevado desempeño energético.

Desempeño energético: Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.

Eficiencia energética: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía. Es además entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía e implica lograr los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental (mínimo impacto ambiental) por este concepto.

Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación de la energía: ventilación, iluminación, calefacción, climatización, refrigeración, transporte, procesos, líneas de producción, etcétera.

Uso significativo de la energía: Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía, y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.

Consumo de energía: Se refiere a la cantidad de energía utilizada: Ejs.: cantidad de energía eléctrica que se consume en una instalación productiva o de servicio (kWh). Cantidad de combustible que consume un equipo automotor determinado. Cantidad de vapor que se genera en una caldera.

Revisión energética: Determinación del desempeño energético de la Organización basado en datos y otro tipo de información, orientado a la identificación de oportunidades de mejora.

Línea de base energética: Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético de una entidad. Refleja un período determinado y también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de determinar las acciones de mejora del desempeño energético.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD FOTOVOLTAICA A INSTALAR EN UNA MINIINDUSTRIA DE QUESO DE CABRA

Por Ing. Elizabeth Salazar Álvarez*, M.Sc. Ramón Acosta Álvarez**, Lic. Lourdes Crespo Zafra*** y Lic. Luisa Matos Mosqueda***

*Empresa Agroindustrial Ceballos, Ciego de Ávila, Cuba.

**Citma, Ciego de Ávila, Cuba.

E-mail: ramon@citmacuv.gob.cu

***Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba.

E-mail: laboratorio@natio.co.cu

Resumen

Este trabajo presenta la evaluación preliminar para la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de distribución en la miniindustria de queso de leche de cabra El Guajiro, de Ciego de Ávila. Se realizó la caracterización de la planta para determinar el área idónea para la instalación de los paneles; se recopilaron datos de radiación solar y temperatura media del lugar. A partir de los datos obtenidos se realizaron los cálculos preliminares para determinar la capacidad del sistema fotovoltaico que se debía instalar. Los resultados muestran que la instalación de este sistema permitirá cubrir los gastos de electricidad de la miniindustria entregando al sistema igual o mayor cantidad de energía que la que consume, convirtiéndose en un centro de energía positiva. De esta forma evita la quema de combustible fósil en función de la generación eléctrica y por consiguiente evita la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Palabras clave: Panel fotovoltaico, sistema fotovoltaico, energía generada.

PRELIMINARY EVALUATION OF THE PHOTOVOLTAIC CAPACITY TO BE INSTALLED IN A MINI GOAT CHEESE INDUSTRY

Abstract

This work presents the preliminary evaluation for the installation of a photovoltaic system connected to the distribution network in the mini industry of fresh cheese from goat's milk El Guajiro from Ciego de Avila. The characterization of the plant was carried out to determine the ideal area for the installation of the panels; data of solar radiation and average temperature of the place were collected. Based on the data obtained, preliminary calculations were carried out to determine the capacity of the photovoltaic system to be installed. The results show that the installation of the system will cover the energy costs of the mini industry and deliver almost the same energy to the system that it consumes or more, becoming a center of positive energy. It also helps to reduce the burning of fossil fuel in terms of electricity generation and therefore prevents the emission of these into the atmosphere.

Key words: Photovoltaic panel, photovoltaic system, energy generated.

Introducción

La leche caprina representa una alternativa beneficiosa en la alimentación humana. Sus propiedades se reconocen desde los inicios de la civilización, al mostrar su efecto contra malestares gastrointestinales. Resulta un alimento muy particular, cuya composición le confiere la posibilidad de una vez higienizada, utilizarla como materia prima en la obtención de una gran variedad de productos [Mejía y Nogueira, 2011]. Con el objetivo de diversificar las producciones y teniendo en cuenta el gran aporte nutricional de la leche de cabra y sus derivados, en nuestro país se ha comenzado a potenciar su desarrollo tecnológico.

Muestra de ello es la inauguración el 9 de junio del 2016 de una miniindustria de queso de leche de cabra ubicada en el municipio Gaspar, provincia de Ciego de Ávila. La miniindustria está equipada con tecnología Argentina y tiene una capacidad productiva de 400 L por lote. La iniciativa forma parte de la nueva política económica del país y pretende que con procesos más simples se obtengan producciones con calidad y sostenibles.

La contemporaneidad impone a los productos que salen al mercado estándares de calidad que satisfagan las demandas de los consumidores, en lo que se incluye mantenerlos de manera permanente en el mercado. No basta con ofertas nutritivas y de calidad, deben corresponderse con los nuevos enfoques socioeconómicos y ambientales, utilizar los recursos naturales con eficiencia y eficacia, contribuyendo a un desarrollo sostenible en la producción de alimentos [Pérez, 2012].

En correspondencia, durante las últimas décadas la utilización de las fuentes renovables de energía ha demostrado ser una herramienta inigualable en la solución de estos problemas, basándose no solo en criterios ecológicos, sino también por motivos de la estructura descentralizada de las fuentes renovables de energía [Giraudi, 2014].

La energía solar que llega a la superficie terrestre es diez mil veces mayor que la que se consume en todo el planeta, y la generación eléctrica fotovoltaica (FV) posee la mayor densidad energética media global, 170 W/m² de todas las fuentes renovables de energía (FER) [Aubrecht, 2012]. Se están desarrollando programas de reciclaje para después de

su vida útil (de la energía FV), entre 25 y 30 años, que además recuperan económicamente una parte importante de la inversión inicial [McDonald y Pearce 2010; EPIA, 2012b].

Un sistema fotovoltaico de inyección a red o conectado a red consiste, básicamente, en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera sincronizado con la red eléctrica convencional. El sistema recibe la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que en lugar de ser almacenada en baterías se puede utilizar directamente en el consumo o bien entregarla a la red eléctrica de distribución. Estas dos funciones las realiza un inversor especialmente diseñado para esta aplicación, convirtiendo la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) [Turrini, 2006]. El generador fotovoltaico o campo de paneles se puede integrar a techos o fachadas en las viviendas o edificios, o en estructuras especiales en campo abierto [Prabhu, 2013]. Por otro lado, una instalación FV de 1 kW evita la emisión promedio de los combustibles fósiles a la atmósfera de más de 100 kg de dióxido de carbono (CO₂) y ahorra unos 400 L de agua cada mes [Nieuwlaar y Alsema, 1997].

Con el propósito de diversificar las estructuras de los combustibles fósiles empleados e incrementar la eficiencia energética, así como la contribución de las fuentes renovables de energía, este trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación técnico económico para la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a red en la fábrica de queso fresco de leche de cabra El guajiro de Ciego de Ávila.

Materiales y métodos

La evaluación preliminar se inicia con la caracterización de la miniindustria, su área y las estructuras que puedan ser usadas con éxito en el montaje de los paneles. Para ello se tuvieron en cuenta los criterios utilizados en el diseño constructivo de la planta.

Posteriormente, para realizar el cálculo de la energía generada se recopilieron datos de la radiación solar y temperatura media del lugar, tomados del Centro Provincial de Meteorología. Como se muestra en la Tabla 1; a partir de estos valores se pudo obtener, para cada mes del año, la energía generada por la central para cada día típico del mes (kW h/día).

Tabla 1. Datos de radiación solar, temperatura media y cálculo de la potencia y energía generada por la central para cada día típico del mes

Ciego de Ávila					
Mes	Días	TMEDIA (°C)	Radiación solar (HSP)	Potencia (kW _p)	Generación (kW _p)
Enero	31	23,1	4,38	20	2091,01
Febrero	28	23,4	4,85	20	2091,32
Marzo	31	24,6	5,85	20	2792,79
Abril	30	25,6	5,95	20	2748,90
Mayo	31	25,7	5,94	20	2835,76
Junio	30	26,6	5,54	20	2559,48
Julio	31	26,9	5,98	20	2854,85
Agosto	31	27,1	5,85	20	2792,79
Septiembre	30	26,5	5,33	20	2462,46
Octubre	31	25,5	4,98	20	2377,45
Noviembre	30	24,6	4,55	20	2102,10
Diciembre	31	22,6	4,39	20	2095,79

Energía total generada (kWh/año).

29 804,70

La energía que una central fotovoltaica puede inyectar al sistema energético nacional depende de la potencia fotovoltaica de la central, de las características de la radiación solar en el sitio y las pérdidas de todo el sistema (temperatura, caídas de tensiones, eficiencias de inversores, transformadores, etc.) [Arrastía y Corp, 2013]. Para una central fotovoltaica de inyección a red resulta importante conocer la relación: kWh generado/ kW_p instalado, este término nos dirá la energía eléctrica que puede entregar a la red el sistema de inyección por cada kW_p instalado, y es conocido como tiempo característico de la instalación. Para la provincia de Ciego de Ávila esta relación, media anual está en el orden de $1460 kWh/kW_p$.

Por otra parte, si consideramos que por cada kWh generado se emiten a la atmósfera aproximadamente $700 g$ de CO_2 , y que una termoeléctrica consume $250 g$ de petróleo para generar $1 kWh$, con una eficiencia de aproximadamente 30% , se puede estimar la energía que puede generar el sistema propuesto, cuánto combustible se deja de quemar y la cantidad de CO_2 que se deja de emitir a la atmósfera.

Discusión de los resultados

La caracterización de la miniindustria permitió ubicar, como se muestra la Figura 1, un área idónea en los techos de la instalación de $216,4 m^2$ para la colocación de paneles solares, utilizable para la generación de unos $19 kW_p$ de potencia en paneles solares para suministrar energía destinada a compensar los consumos eléctricos de la miniindustria.

Según los estudios y análisis realizados se pudo constatar que la mini industria tiene sus consumos principales durante el día, lo que justifica aún más la instalación del sistema, pues en esas horas es que se produce su máxima generación de electricidad, y esta será totalmente consumida por el centro, disminuyendo la facturación de la empresa eléctrica y contribuyendo a la sostenibilidad de la fábrica.



Fig. 1. Área seleccionada para la colocación de los paneles

La Tabla 2 se exponen los principales resultados que se esperan del sistema fotovoltaico durante su trabajo anual considerando un ciclo de vida (CV) de 25 años. Se debe señalar que las valoraciones económicas se realizaron sobre la base de considerar el costo de la energía a $0,21 CUC/kWh$,

Es importante destacar que con la inversión de $39,9$ miles de CUC la planta es capaz de generar, durante 25 años, una energía que al final de su vida útil solo ha costado $0,054 CUC/kWh$, además del impacto medio ambiental que posee el sistema por la elevada cantidad de gases de efecto invernadero que deja de emitir a la atmósfera.

Para la instalación del sistema es necesaria la adquisición de diferentes equipos y accesorios que se relacionan en la Tabla 3. En este presupuesto no están incluidos los gastos de la obra civil para el montaje de los paneles, por lo que el período de recuperación en divisa y moneda total solo está referido al equipamiento, montaje y puesta en marcha.

Tabla 2. Resultados que se esperan del sistema fotovoltaico

Parámetros	Valores	Unidades
Energía generada anualmente	19	MWh/año
Ahorro anual	7311,2	CUC/año
Energía consumida anualmente	29,7	MWh/año
Porcentaje que cubre del consumo anual	0,89	%
Gases contaminantes CO_2 dejados de emitir	19,68	t/año
Cantidad de petróleo que se deja de quemar	7,03	t/año
Costo estimado de la inversión	39,9	Miles de CUC
Tiempo característico esperado	1387	$kWh/año/kW_p$
Energía generada en CV	703	MWh/CV
Costo de kWh en el CV	0,054	CUC/ kWh
Tiempo de recuperación (CUC)	5,18	año
Tiempo de recuperación (MT=CUC+CUP)	6,32	año

Tabla 3. Presupuesto para la instalación del sistema de inyección a red de 18 kW_p

Descripción	Cantidad (U)	Importe total de la instalación
Kit de módulo fotovoltaico con estructuras de soporte para los mismos e inversores de inyección a la red Potencia---kW _p ,	1	39,9 miles de CUC 8,778 miles de CUP
Equipamiento para: adquisición de datos, monitoreo y visualización total de la instalación en tiempo real	1	
Kit para pizarra de corriente alterna con desconectivos y protecciones para interconectar los inversores a la red	1	
Kit de pizarras de corriente directa para interconectar los paneles a los inversores	1	
Kit de cables y accesorios de montajes para el sistema fotovoltaico	1	
Instalación, prueba y puesta en marcha del sistema		

Conclusiones

Con el montaje del sistema fotovoltaico la miniindustria de queso de leche de cabra puede entregar la misma energía al sistema eléctrico nacional que la que consume en el trabajo de un año, o por encima, convirtiéndose en un centro de energía positiva.

Los datos de radiación solar y temperatura media obtenidos pueden ser utilizados en cálculos similares para cualquier instalación de la provincia de Ciego de Ávila.

Bibliografía

- ARRASTÍA, M. A. y S. CORP (2013). *Energía, el invencible dios Sol*. Editorial Científico-Técnica: La Habana, pp. 48-58.
- AUBRECHT, G. (2012): «Renewable Energy: Is the Future in Nuclear?», [tp://osumarion.osu.edu/news/dr-gordon-aubrecht-talks-renewables-tedxcolumnbus](http://osumarion.osu.edu/news/dr-gordon-aubrecht-talks-renewables-tedxcolumnbus) [2013-07-10].
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION (EPIA) (2012b): «Sustainability of Photovoltaics System. The Energy Pay Back Time», http://www.epia.org/uploads/tx_epifaactsheets/110513_Fact_Sheet_on_the_Energy_Pay_Back_Time.pdf [2013-06-07].
- GIRAUDI C. M. ETAL. (2014). *Ingeniería energética*. Vol. 35, No. 2, pp. 141-148, ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/370180>
- MCDONALD, N. C. y J. M. PEARCE (2010): «Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules». *Energy Policy*. No. 38, pp. 7041-7047.
- MEJÍA, O. y R. NOGUERA (2011). «Composición de la leche de cabra y factores nutricionales que afectan el contenido de sus componentes». *Alimentos nutricionales*, 23 (4), pp. 579-586.
- NIEUWLAAR, E. y E. ALSEMA (1997): «Environmental Aspects of PV Power Systems», www.energycrisis.com/Apollo2/pvenv1997.pdf [2013-06-07].
- PÉREZ, A. (2012). «Procedimiento metodológico para el diseño de procesos sostenibles de la agroindustria cubana». Tesis doctoral no publicada, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.
- PRABHU, R. (2013): «Global Solar Forecast-A Brighter Out Look for Global PV Instalations», <http://www.mercomcapital.com/global-solar-forecast-a-brighter-outlook-for-global-pv-installations1> [2013-12-09].
- TURRINI, E. *El camino del sol*. Vol. 1, Editorial Cubasolar: La Habana, 2006.

EVALUACIÓN DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE DC 2000

Por Daniel Alain Perdomo Padilla* y Dr. Jorge M. Rodríguez Matienzo**

* Estudiante de 5to. Año de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de La Habana.

**Universidad Politécnica de La Habana.

E-mail: matienzo@mecanica.cujae.edu.cu

Resumen

Este trabajo de curso tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia de la celda electrolítica DC 2000 con el propósito de evaluar, en futuros trabajos, la influencia del gas oxhídrico como combustible adicional en un motor estacionario Lister Petter LPW2 de encendido por compresión, que se encuentra en el banco de pruebas 1 del Ceter. El gas oxhídrico se obtiene mediante el empleo de una celda de combustible DC-2000 que funciona bajo el principio de la electrólisis del agua, en la cual mediante el método de la probeta invertida obtendremos una aproximación de la producción real de HHO, la cual se compara con la producción teórica (Faraday). Se calcula la eficiencia y la compararemos con los datos comerciales brindados por el fabricante.

Palabras clave: Celda electrolítica, gas oxhídrico, producción de gas HHO.

EVALUATION OF THE FUEL CELL DC 2000

Abstract

This course work has as main objective to evaluate the efficiency of the DC 2000 electrolytic cell with the purpose of evaluating in future work the influence of the oxydric gas as an additional fuel in a stationary Lister Petter LPW2 compression ignition engine located in the bank Tests 1 of Ceter. The oxydric gas is obtained by using a DC-2000 fuel cell that operates under the principle of electrolysis of water, in which by means of the inverted probe method we will obtain an approximation of the actual production of HHO which is compared with theoretical production (Faraday). We calculate the efficiency and compare it with the commercial data provided by the manufacturer.

Key words: Electrolytic cell, oxydric gas, production of HHO.

Introducción

Un motor de combustión interna (MCI), de explosión o de pistón es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión y transforma la energía calorífica en trabajo mecánico. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina (en la cavidad ubicada sobre el pistón).

En el transporte terrestre los (MCI) han alcanzado la mayor difusión y se distinguen por su capacidad, alto rendimiento y durabilidad, utilizándose en todas las esferas de la economía de cualquier país, aumentando así

la contaminación causada por el uso de los combustibles fósiles. Este es uno de los mayores problemas que presenta la humanidad actualmente; la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera ha traído consigo un sinnúmero de efectos colaterales. Esta situación puede ser cambiada haciendo un uso racional de los recursos, fomentando el empleo de tecnologías y fuentes renovables de energía, así como sustituyendo parcial o totalmente los combustibles, basados en petróleo, en los diferentes sectores de la economía, el transporte y otros campos de la industria.

No fue hasta la revolución industrial en el siglo XIX que un grupo de científicos comenzaron a notar la presencia

de los gases de efecto invernadero originados producto de la mala explotación de dichos combustibles fósiles utilizados en los procesos productivos. Junto a estos problemas se suma el hecho de que no sean una fuente renovable de energía, ya que existe un límite de extracción al cual nos acercamos cada vez más.

La elevación de los precios del petróleo y de otros combustibles no renovables ha obligado a la humanidad a buscar otras alternativas para lograr un mejor uso y racionalización de los recursos naturales que tenemos a nuestro alcance. Un sinnúmero de investigaciones se han hecho a nivel mundial en busca de un portador energético que reemplace al petróleo y los demás combustibles fósiles.

El hidrógeno, a pesar de ser un gas muy ligero y altamente inflamable y de que casi no se encuentra de manera elemental en la tierra, puede obtenerse mediante diversos métodos, entre los que se encuentran la fotólisis, la termólisis y la hidrólisis, entre otros.

Historia de las celdas de combustible

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que mediante reacciones químicas transforman el combustible y un oxidante, en electricidad y calor. A diferencia de las pilas convencionales almacenadoras, que dependen de la cantidad de reactivos contenidos en ellas, las celdas de combustible necesitan de un suministro constante para generar energía eléctrica, por lo que son capaces de producir energía eléctrica de manera constante, mientras no se agote el suministro de combustible y el oxidante. Están formadas por dos electrodos: en el ánodo se encuentra el combustible y en el cátodo el oxidante, y entre estos electrodos se halla una membrana que obliga a los electrones a pasar por el ánodo hacia el cátodo.

La celda de combustible está compuesta por dos electrodos dentro de un electrolito, donde el ánodo es alimentado por el hidrógeno o combustible, y el cátodo por el oxígeno u oxidante. Un catalizador separa los electrones de la molécula de hidrógeno, por lo que el hidrógeno ionizado pasa por una membrana a través del electrolito y los electrones se mueven al ánodo, se recombinan con el oxígeno

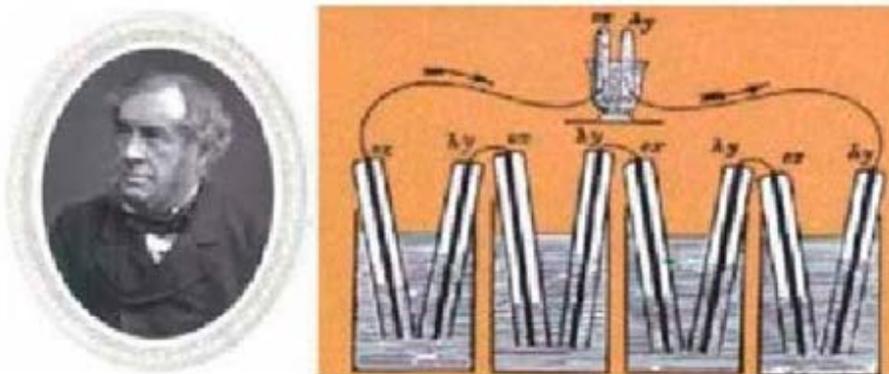
y el hidrógeno y forman agua. Las celdas de combustible se pueden conectar en serie para elevar el voltaje deseado, de esta manera se crea lo que se denomina una pila (stack) o celda de combustible.

El fenómeno de las celdas de combustible fue descubierto por el abogado Galés William Grove en 1839. Pocos años después de que Michel Faraday descubriera las leyes de la electrólisis, Grove mostró que era posible producir energía eléctrica y agua haciendo burbujear H_2 y O_2 en agua y obtener energía eléctrica en este proceso (Fig. 1). Así, publicó un documento en el que describía una celda de combustible formada por un conjunto de pares de electrodos de platino sumergidos en ácido; Grove llamó a este artefacto «pila de gas» y tiempo más tarde se denominó «pila de combustible» [Winter, s/a].

Electrólisis del agua como proceso de obtención de hidrógeno

La electrólisis es un proceso electroquímico en el cual la energía eléctrica es utilizada para producir reacciones químicas en las cuales las sustancias son descompuestas mediante la circulación de un flujo eléctrico a través de ellas. En la electrólisis del agua pura esta es descompuesta en hidrógeno y oxígeno con la presencia de una sustancia denominada electrolito, que facilita el paso de la corriente eléctrica. El equipo en el que tiene lugar la electrólisis del agua se denomina electrolizador. Su objetivo es la producción de hidrógeno, siendo el oxígeno un subproducto de la reacción química que tiene lugar en su interior, susceptible de ser aprovechado. El electrolizador está compuesto por una serie de celdas electrolíticas, y cada una de ellas se encuentra formada por dos electrodos: el cátodo (negativo) y el ánodo (positivo); por un electrolito y por un diafragma o membrana.

Por los dos electrodos, el cátodo y el ánodo, se aplica una corriente eléctrica continua que genera una diferencia de potencial capaz de vencer las fuerzas que mantienen unidos a sus átomos. El electrolito propicia un incremento de la conductividad eléctrica y permite que se lleven a cabo las



William Grove y una reproducción de la primera pila de combustible tal como fue publicada en el Philosophical Magazine en 1839.

Fig. 1. William Grove.

reacciones de descomposición. El diafragma o membrana, en dependencia del tipo de electrolizador, limita el paso de compuestos entre la parte anódica y la catódica, impidiendo así la mezcla del hidrógeno y el oxígeno producido.

Electrolizador DC2000

Es un producto de la empresa portuguesa HHO Plus, Alternative Energies, Ltd. El flujo de hidrógeno que se inyecta al motor se genera en una celda electrolítica comercial llamada HHO DRY-CELL DC2000; esta se alimenta de la misma batería que usa el motor para el arranque, usa como electrolito una disolución de hidróxido de potasio y produce gas oxhídrico como producto final.

El gas oxhídrico debe mejorar la eficiencia de la combustión debido a sus propiedades, lo cual implica una disminución del consumo de combustible, diésel en este caso; todo esto se resume en que, teóricamente, el motor debería entregar más potencia para una misma cantidad de combustible (diésel).

Electrolizador DC 2000. Características y eficiencia

El electrolizador utilizado en esta investigación es mostrado en la Figura 2; posee 21 placas con iguales dimensiones de acero inoxidable.

La conexión eléctrica fue llevada a cabo según instrucciones del manual de instalación, quedando dispuestos los conectores positivos y negativos según se muestra en las Figuras 3 y 4. De esta manera el electrolizador cuenta con cuatro celdas productoras de gas HHO conectadas en paralelo. Cada celda recibe 12 voltios, y al haber cuatro placas neutras intermedias entre cada terminal positivo y negativo, la diferencia de potencial entre cada placa es aproximadamente de 2,4 voltios.



Fig. 2. Electrolizador DC200 de celda seca.

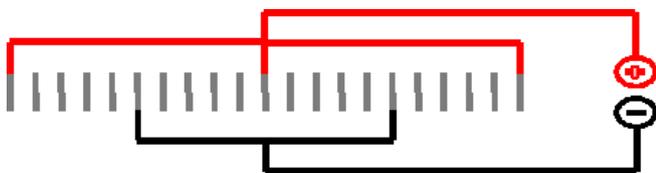


Fig. 3. Esquema de conexión eléctrica de las placas del electrolizador.



Fig. 4. Instalación de conectores en el electrolizador.

Tipos de electrólisis

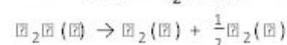
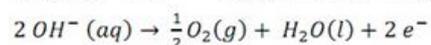
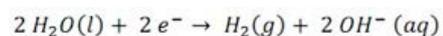
Según el tipo de electrolito usado, la electrólisis puede ser alcalina (electrolito líquido) o ácida (electrolito sólido). La electrólisis ácida presenta algunas ventajas con respecto a la alcalina. Por ejemplo, es más segura y fiable al no existir un fluido en movimiento; se garantiza mayor pureza de los gases obtenidos al no haber arrastre de electrolito y las pérdidas óhmicas de la membrana son menores que las del electrolito líquido, por lo que para una misma intensidad eléctrica el voltaje de operación de la celda electrolítica será menor. Sin embargo, la electrólisis ácida produce mayores problemas de corrosión y desactivación en los electrodos, que provoca una menor duración de los mismos, siendo en consecuencia la electrólisis alcalina la más extendida a nivel comercial. En esta investigación se empleó la electrólisis alcalina.

El electrolito utilizado para este trabajo es hidróxido de potasio, el cual se deposita en una celda electrolítica con electrodos de acero inoxidable que se alimenta de la batería del motor de pruebas LPW2. El potasio tiene como función transformar a la disolución en una sustancia eléctricamente conductora, pues el agua destilada es la que se usa en este proceso y no es conductora de la electricidad. En cambio, el agua común sí es conductora por las sales que contiene, pero puede provocar incrustaciones dentro de la cuba o celda debido a que las sales se precipitan durante el proceso.

Las reacciones químicas que tienen lugar en la electrólisis son de tipo redox, en las cuales la reducción ocurre en el cátodo, que es el electrodo negativo, y la oxidación se produce en el ánodo, que es el electrodo positivo. En una celda electrolítica el hidrógeno aparecerá en el cátodo y el oxígeno en el ánodo, y el caudal de oxígeno que se genera es la mitad del de hidrógeno, ambos son proporcionales a la carga eléctrica que se consume.

Electrólisis alcalina

En la Figura 5 se muestra el esquema de una celda electrolítica con electrolito alcalino. El electrolito empleado en dicho proceso está formado por una mezcla de agua con una sustancia alcalina, que suele ser hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH). Las semirreacciones que tienen lugar en cada electrodo se muestran a continuación [Lucena, 2010].



Reacción catódica:
 Reacción anódica:
 Reacción total:

En el compartimiento catódico se reducen dos moléculas de agua en una de hidrógeno gas y dos iones hidroxilos. El hidrógeno generado es expulsado por la superficie del compartimiento catódico y el ion hidroxilo migra bajo la influencia del campo eléctrico entre el cátodo y el ánodo a través de la membrana hacia el ánodo, en la cual se disocia en una molécula de agua y media molécula de oxígeno. El oxígeno se recombina en la superficie del compartimiento anódico y escapa de él en forma gaseosa [Lucena, 2010].

Dependiendo del modo en el que las celdas electrolíticas se conecten eléctricamente entre sí, se pueden generar dos configuraciones diferentes de electrolizador: unipolar y bipolar.

En los electrolizadores unipolares cada celda tiene que estar alimentada de forma independiente (Fig. 6). Estos son más fáciles de construir, operar y mantener. Sin embargo, ocupan más espacio que los bipolares para una misma cantidad de hidrógeno producido.

El electrolizador empleado en este trabajo posee cuatro celdas bipolares conectadas en paralelo a la fuente de alimentación (Fig. 7). [Gollei, 2014].

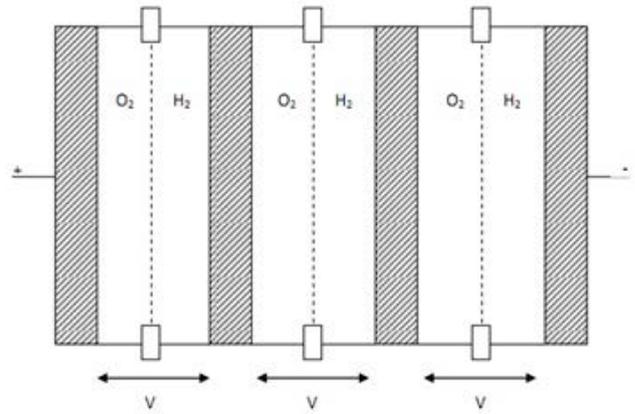


Fig. 7. Esquema de un electrolizador bipolar.

Electrolizadores de celda seca

El electrolizador utilizado en este proyecto es de celda seca, en el cual los electrodos están separados por aislantes de goma que mantienen sus extremos y las conexiones eléctricas secas, evitando así que estas últimas se corroan paulatinamente ante la exposición al electrolito. Además, considerando la superficie de los electrodos que poseen este tipo de celdas (seca, Fig. 8), es posible utilizar menos electrolito en comparación con el necesario en las celdas húmedas, por lo que el volumen y peso del dispositivo es menor. [Gollei, A., 2014].

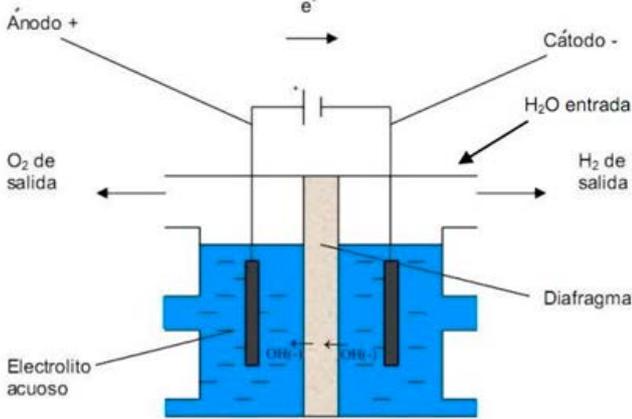


Fig. 5. Esquema de la electrólisis alcalina.

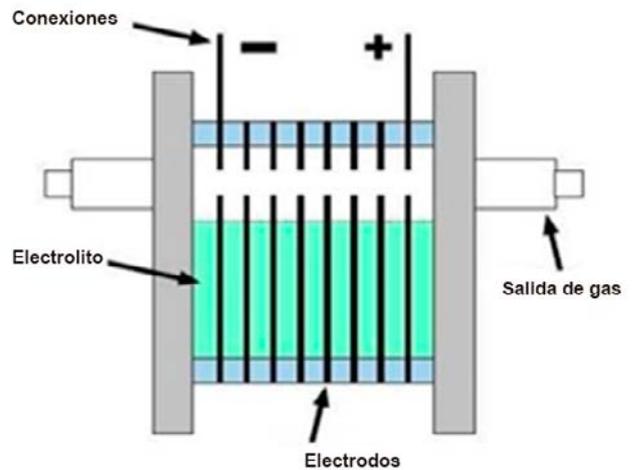


Fig. 8. Generador de hidrógeno de celda seca.

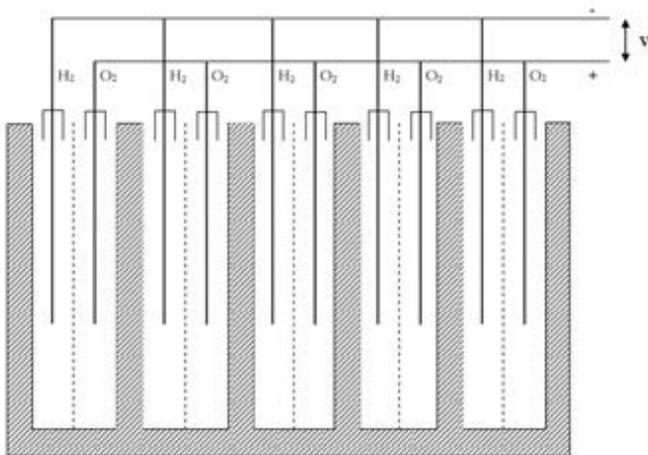


Fig. 6. Esquema de un electrolizador unipolar.

Sistema de obtención de gas HHO

El sistema de generación de HHO DC 2000 utilizado en el motor de combustión interna instalado en el banco de pruebas consiste básicamente en un electrolizador, el cual es alimentado por un depósito contenedor de electrolito. Luego de efectuadas las reacciones de descomposición, los gases generados regresan al depósito y posteriormente son conducidos mediante una manguera a la admisión del motor, para incorporarse a la mezcla aire-combustible; para realizar las mediciones dicha manguera fue insertada en la probeta para después medir el tiempo vs. volumen

que desplaza y así se podrá calcular la eficiencia de la celda DC2000 (Fig. 9).



Fig. 9. Esquema básico del sistema de generación de HHO.

Eficiencia de la celda DC 2000

Para determinar la eficiencia de la celda se realizó un experimento que consiste en medir el flujo de gas en determinado tiempo y a la vez registrar la corriente y el voltaje consumido.

Método de probeta invertida

Mediante un soporte de fijación se colocó una probeta llena de agua de manera invertida en un recipiente igualmente lleno de agua, quedando el extremo abierto de la probeta, sumergido en el recipiente. De esta manera, por ser el fondo de la probeta cerrado, el fluido contenido en esta se mantiene dentro. Posteriormente se activa el sistema de generación de gas HHO. El gas ocupa el volumen encima del agua dentro de la probeta para luego comenzar a desplazar el fluido hacia abajo, y mediante las líneas graduadas de la probeta se mide el volumen desplazado en función del tiempo. Con esto es obtenida una medición del caudal de gas producido por el electrolizador, expresada en mililitros por minuto. El flujo de gas se obtuvo a partir del volumen de agua desplazado dentro de una probeta por el propio gas; la corriente y el voltaje fueron medidos con amperímetros y voltímetros respectivamente. Se usaron tres probetas con diferentes volúmenes cada una, de 100 cc, 250 cc y 500 cc. Para determinar la eficiencia del electrolizador fueron realizadas varias pruebas con distintas concentraciones de hidróxido de potasio (KOH) a 80 % de pureza (Figs. 10 y 11).



Fig. 10. Sistema de medición de la producción de gas.



Fig. 11. Uso de probeta invertida como instrumento de medición.

La eficiencia de la celda puede ser calculada en función de la energía contenida en el hidrógeno producido, y la energía eléctrica empleada para llevar a cabo las reacciones de descomposición del agua. Esto es:

$$\eta_{\text{celda}} = \frac{\text{energía producida}}{\text{energía consumida}}$$

Donde la energía producida es igual al flujo de hidrógeno entregado (kg/h) multiplicado por su contenido energético disponible en una unidad de tiempo igual a una hora ($33,3 kWh/kg$), y la energía consumida será equivalente al producto del voltaje (V) por el amperaje (A) que se entrega al electrolizador, llevado esto a kW para igualdad entre numerador y denominador.

Tomando esto como base para el cálculo de la eficiencia del electrolizador resulta que:

Corresponden las mejores eficiencias a 6, 8 y 10 A. Para 12 A el electrolito comenzó a cambiar su coloración al cabo de un tiempo de operación aproximado de 30 min, lo que indica su degradación producto de la oxidación acelerada en las placas. Durante estas mediciones fue observada la presencia de vapor de agua a partir de una intensidad de corriente igual a 4 A (Fig. 12), con un pequeño pero gradual incremento según aumenta el amperaje de operación.

Algunos autores [Lucena, 2010 y McCarthy, 1995] han investigado al respecto y han planteado hipótesis sobre la capacidad de los electrolizadores de llevar a cabo la transición del agua de estado líquido a gaseoso, mediante un proceso estructuralmente diferente a la evaporación. Por tanto, en esta investigación se asume como una aproximación de la realidad que 66,67 % del gas producido es hidrógeno, al carecer de la técnica necesaria para definir exactamente cuánto se produce (Fig. 13). Varios autores experimentaron situaciones similares; uno de los más destacados trabajos hace referencia al denominado gas de Brown, el cual posee propiedades particulares debido a que no se separa en sus componentes, sino que cambia su estructura molecular a una estructura alineada [Eckman, 2010].

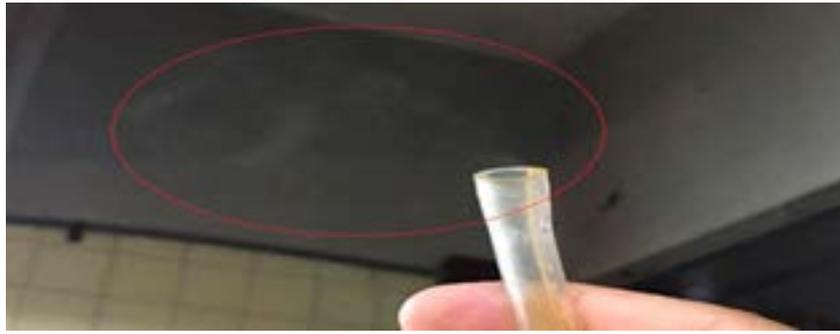


Fig. 12. Vapor de agua producido por el electrolizador.



Fig. 13: Gas de Brown antes y después de la electrólisis [Eckman, 2010].

A continuación se muestra gráficamente la composición y la proporción del gas de Brown, obtenida en un espectrógrafo de masa (Fig. 14).

Se decidió determinar la eficiencia de dos formas: la primera asumiendo que el flujo de hidrógeno es 2/3 del flujo total, y la otra, según la ley de Faraday de la electrólisis; esta última solo tiene en cuenta el caudal de hidróge-

no generado de acuerdo con la intensidad de la corriente y el tiempo transcurrido.

Eficiencia asumiendo 2/3 del gas producido

A continuación se muestra la cantidad de gas que produce la celda y la corriente que debe consumir según el cubicaje del motor en cuestión; datos brindados por el fabricante (Tabla 1).

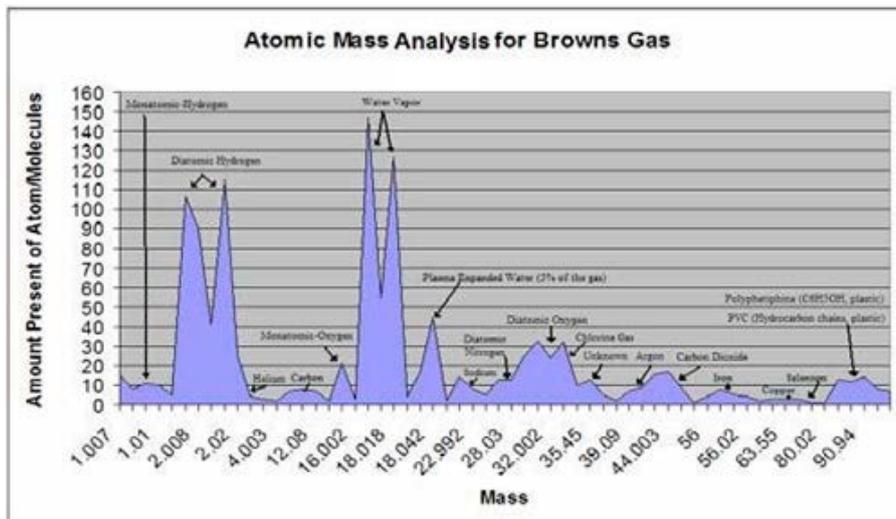


Fig. 14. Composición y la proporción del gas de Brown [Eckman, 2010].

Tabla 1. Datos del fabricante

Motor	HHO (L/min)	Amperaje inicial	Amperaje final
1600 cc	0,40	5,50	6,50
1800 cc	0,45	6,50	7,50
2000 cc	0,50	7,00	8,00
2200 cc	0,55	7,50	9,00
2400 cc	0,60	8,00	10,00

En el Cuadro 1 se puede apreciar el caudal de gas total que produce la celda según la intensidad de la corriente aplicada; datos experimentales.

Cuadro 1. Resultados experimentales

Gas producido por electrolizador	
Corriente (A)	Caudal (L/min)
2	0,0231
4	0,192
6	0,297
8	0,387
10	0,522
12	0,5769

Los resultados de flujo y eficiencia asumiendo 2/3 son los que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 Resultados de flujo y eficiencia

Corriente (A)	L/min	m (kg/h)	η (%)
2	0,0154	0,0000746	10,36
4	0,1280	0,0006204	43,04
6	0,1980	0,0009597	44,38
8	0,2580	0,0012505	43,38
10	0,3480	0,0016867	46,81
12	0,3846	0,0018641	43,11

Eficiencia asumiendo la ley de Faraday de la electrólisis

Esta ley expresa que la masa de la sustancia depositada en un electrodo durante un determinado tiempo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad transferida en ese electrodo.

Matemáticamente se expresa:

$$m = \frac{Q}{qn} \cdot \frac{M}{N_A} = \frac{I \cdot t}{96485} \cdot \frac{M}{n}$$

Donde:

m: Masa de la sustancia producida en el electrodo (g).

Q: Carga eléctrica total que pasó a través de la solución (coulomb).

q: Carga del electrón = 1,602 x 10⁻¹⁹ coulomb por electrón.

n: Número de valencia de la sustancia como ion en la solución (electrones por mol).

F = qN_A = 96485 C·mol: Constante de Faraday.

M: Masa molar de la sustancia (g/mol).

N_A: Número de Avogadro = 6,022 x 10²³ iones/mol.

I: Corriente eléctrica (A).

t: Tiempo transcurrido (s).

Los resultados de flujo y eficiencia asumiendo la ley de Faraday de la electrólisis son los que aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de flujo y eficiencia asumiendo la ley de Faraday de la electrólisis

Corriente (A)	m (g/min)	m (kg/h)	L/min	η (%)
2	0,00124	0,0000746	0,0153963	10,35
4	0,00249	0,0001492	0,0307927	10,35
6	0,00373	0,0002239	0,0461890	10,35
8	0,00497	0,0002985	0,0615854	10,35
10	0,00622	0,0003731	0,0769817	10,35
12	0,00746	0,0004477	0,0923781	10,35

Después de analizar ambos resultados es necesario aclarar que la eficiencia real de la celda es menor que la calculada a partir de la ley de Faraday pues sería la eficiencia ideal, ya que no se incluye ningún tipo de pérdidas (Figs. 15 y 16).

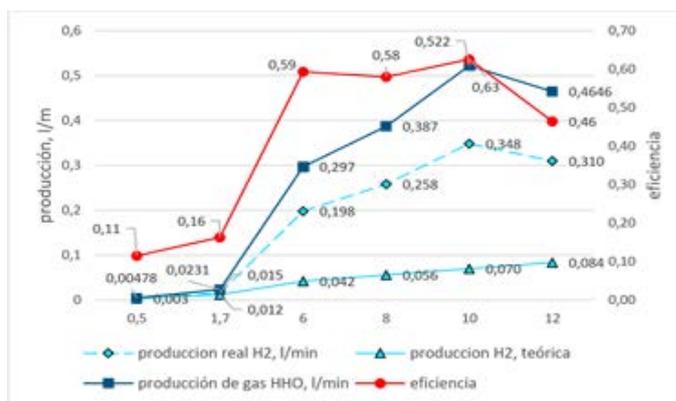


Fig. 15. Producción vs. corriente y eficiencia.

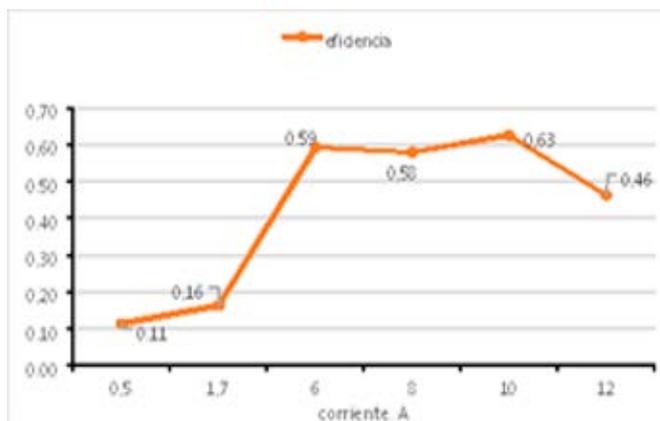


Fig. 16. Eficiencia de la celda.

Análisis de los resultados

La celda entrega un flujo constante de hidrógeno sin importar el régimen del motor; es decir, para un régimen en que el motor demanda poco combustible, la cantidad

de hidrógeno producido por la celda es suficiente para proporcionar un ahorro apreciable; pero en regímenes en que el motor necesita mucho combustible para satisfacer la demanda, entonces el flujo de hidrógeno proporcionado por la celda es insuficiente; aunque sigue consumiendo la misma energía indica que el consumo es muy alto para tan poca producción de gas útil; esto se puede explicar mediante la primera ley de la termodinámica o principio de conservación de la energía, la cual se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

Donde:

E : Energía.

U : Energía interna.

Q : Calor W , trabajo.

Esta ley establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o se intercambia calor con otro, ocurrirá un cambio (variación) en la energía interna del sistema. Visto de otra forma: esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna; se puede decir también que ningún sistema termodinámico puede producir más de lo que consume. Si se traduce a esta investigación en particular, recordemos que la celda se alimenta de la batería, pero a su vez dicha batería se carga mediante el alternador, el cual necesita del movimiento del motor de combustión para producir la corriente que carga la batería; todo esto implica que el motor tiene que consumir más.

La celda DC 2000 se muestra más eficiente en los puntos en que la corriente está entre 6,5 y 10 (A), en donde alcanza casi 63 % de eficiencia, ya que entre estos rangos es cuando existe mayor producción de HHO (L/min).

Como otro de los resultados de la experimentación se pudo definir que la celda DC 2000 es más eficiente cuando se le suministra una corriente de 9 A con una producción de HHO=0,522 (L/min).

La Figura 17 muestra gráficamente la diferencia entre el caudal de hidrógeno asumiendo que fuera 2/3 del gas total y la producción, según la ley de Faraday.

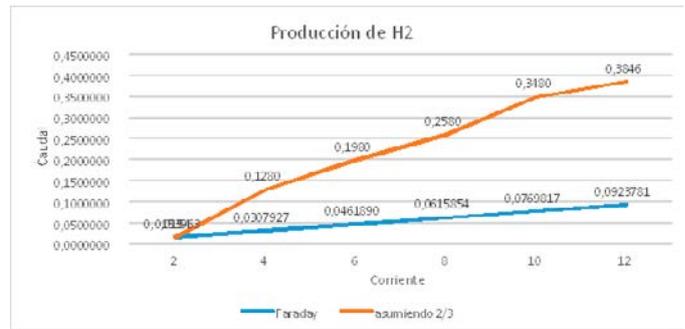


Fig. 17. Producción de HHO teórica y real.

Conclusiones

Se realizó una investigación sobre los efectos de la adición de gas oxhídrico a la cámara combustión de un motor de encendido por compresión en condiciones de banco de pruebas.

Fue instalado el sistema de generación de gas oxhídrico en el motor de pruebas de manera segura y bajo las recomendaciones del manual de usuario del equipo suministrado por su fabricante.

El vapor de agua generado en el electrolizador influye positivamente en el motor, pues disipa parte del calor que se genera al quemarse ambos combustibles (hidrógeno y diésel), además de limpiar la cámara de combustión.

Bibliografía

- ECKMAN, C. (2010). *Plasma Orbital Expansion of the Electrons in Water*.
- GOLLEI, A. (2014). *Measuring and optimization of HHO dry cell for energy efficiency*.
- KÖSE, M. C. H. (2012). *Hydrogen use in internal combustion engine: a review. International Journal of Automotive Engineering and Technologies*.
- LUCENA, F. J. P. (2010). *Análisis de sistemas integrados de producción de hidrógeno a partir de energía eólica. Aportaciones al modelado dinámico de sistemas*.
- MCCARTHY, J. (1995) *Hydrogen*. Available from: <http://www.formal.stanford.edu/jmc/progress/hydrogen.html>
- RAMOS, M. F. (2009). *Hidrógeno. Aplicación en motores de combustión interna*.
- WINTER, M. (s/a). *Hydrogen: historical information*. Disponible en: <http://www.webelements.com/hydrogen/>.

ESTUDIO DEL CONSUMO ELÉCTRICO PROVINCIAL DE VILLA CLARA Y SU PRONÓSTICO 2019-2023 CUBA

Por **M.Sc. Ricardo Osés Rodríguez***, **M.Sc. Humberto Machado Fernández****, **Ing. Alfredo A. González Meneses***** y **Rigoberto Fimia Duarte******

*Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara.

E-mail: ricardo.Osés@vcl.insmet.cu

**Empresa Eléctrica Provincial Villa Clara.

E-mail: humbertom@elecvccl.une.cu

***Empresa Constructora de la Industria Eléctrica Villa Clara (ECIE).

****Facultad de Tecnología de la Salud Julio Trigo López, Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, Cuba.

E-mail: rigobertofd@infomed.sld.cu

Resumen

En este trabajo se modeló el consumo eléctrico mensual de la provincia Villa Clara, Cuba, Se utilizó una base de datos desde enero de 2012 hasta diciembre de 2018 estudiando el impacto de sus variables climáticas. Se empleó la metodología de regresión objetiva regresiva ROR. Se obtuvieron tres modelos, uno mes a mes, otro con un año de antelación y otro con cinco años de antelación al cual se le agregaron variables climáticas. Como conclusiones podemos decir que el mejor modelo a largo plazo es con cinco años de antelación con variables climáticas. El huracán Irma representa un impacto de una disminución de 34,79 % del consumo medio de la provincia. A medida que la temperatura máxima aumenta, el consumo se hace mayor en 1718,645 MWh. A medida que aumenta la temperatura mínima el consumo disminuye en 382,668 MWh, Cuando aumenta la lluvia disminuye el consumo en 30,145 MWh, Al aumentar el viento el consumo aumenta en 875,403 MWh. Cuando el anticiclón del Atlántico Norte aumenta la presión atmosférica sobre la provincia disminuye el consumo en 52,695 MWh. En general el pronóstico con variables climáticas da mejores resultados del comportamiento del consumo provincial que el pronóstico estadístico puro.

Palabras clave: Consumo eléctrico, modelación, pronóstico, variables climáticas, cambio climático.

STUDY OF THE PROVINCIAL ELECTRICITY CONSUMPTION OF VILLA CLARA AND ITS FORECAST 2019-2023 CUBA

Abstract

In this work the monthly electricity consumption of the province of Villa Clara, Cuba was modeled. A database was used from January 2012 to December 2018, studying the impact of climatic variables on it. The Regression Objective Regression methodology was used. Three models were obtained, one month to month, another one year in advance and another one 5 years before which climatic variables were added. As conclusions we can say that the best long-term model is 5 years in advance with climatic variables. The hurricane IRMA represents an impact of a decrease of 34,79 % of the average consumption of the province. As the maximum temperature increases, consumption increases by 1718,645 MWh. As the minimum temperature increases, consumption decreases by 382,668 MWh. When rainfall increases, consumption decreases by 30,145 MWh. As the wind increases, consumption increases by 875,403 MWh. When the North Atlantic anticyclone increases the atmospheric pressure on the province, consumption decreases by 52,695 MWh. In general, the forecast with climatic variables gives greater results of the provincial consumption behavior than the pure statistical forecast.

Key words: Electricity consumption, modeling, forecast, climatic variables, climate change.

Introducción

Los problemas energéticos tienen cada vez más importancia en el mundo, fundamentado por el desarrollo acelerado de algunos países, lo que ha propiciado una competencia intensa por el control de las reservas de petróleo. Otros factores que hay que considerar son el acceso a la energía, la volatilidad de los precios, los impactos negativos en el medioambiente, donde la emisión de gases de efecto invernadero se considera la principal causa de la elevación de la temperatura de la tierra y los océanos [Sawaengsak, 2014].

El cambio climático es un tema tratado a escala global a partir de la Cumbre de la Tierra en 1992 y en 2015, mediante la aprobación de la Agenda de Desarrollo Sostenible denominada Agenda 2030, en la cual uno de los objetivos es el compromiso de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos [ONU, 2015]; incluye el incremento del uso de las fuentes renovables de energía y la mejora de la eficiencia energética.

Una de las vías más importantes para mitigar el cambio climático es remover los obstáculos que impiden que se realicen mejoras en la eficiencia energética, tanto en la industria, los servicios, los hogares y la sociedad, donde se hace necesario un cambio en su gestión [Sawaengsak, 2014].

La sociedad moderna está sustentada en la dependencia de los combustibles fósiles, dado por el consumo básico de una persona, los usos productivos y las necesidades de la sociedad, por lo que el sector energético demanda el uso de energía limpia, con la adopción de tecnologías basadas en las fuentes renovables de energía (FRE); esto requiere una innovación que aumente el desempeño y disminuya los costos [Bayer, Dolan y Urpelainen, 2013].

Otra arista en los temas energéticos lo constituye la gestión energética (GE) que es parte del sistema de gestión de una Organización dedicada a desarrollar su política energética. La GE o administración de la energía es un subsistema de la gestión empresarial que abarca las actividades de administración y aseguramiento, la cual le confieren a la Organización la aptitud para satisfacer de forma eficiente sus necesidades energéticas [Borroto, 2006]. En 2011 la Organización Internacional de Normalización (ISO) aprueba la norma ISO 50001: 2011, Sistema de Gestión de la Energía. Requerimientos para su uso; tuvo por antecedentes las normas técnicas desarrolladas en el período 2001 hasta el 2009 en Dinamarca, Suecia, Estados Unidos, Irlanda, España y la Unión Europea [Correa, Borroto, Alpha Bah, González, Curbelo y Díaz, 2014]. Por este motivo para muchas organizaciones la GE se ha convertido en una prioridad para reducir los costos de energía, se ajustan a los requisitos reglamentarios y a la mejora de su imagen corporativa [Jovanović y Filipović, 2016].

La GE no es solo exclusiva de las organizaciones industriales y de servicios, sino que abarca a toda la sociedad. Reconoce a las zonas urbanas como consumidores significativos de energía y grandes emisores de CO₂ al medioambiente, por lo que GE es una necesidad a escala urbana o municipal [Elnakat y Gómez, 2015], y que los gobiernos

locales lo integren a su gestión pública. La importancia de esta integración es que los gobiernos locales fomenten la eficiencia energética y el uso de la energía limpia, debido a su influencia sobre los sectores de la sociedad, y la promoción de políticas y programas para el uso de la energía [Erario, 2010].

Las primeras acciones relacionadas en la gestión energética local (GEL) datan de finales de los años ochenta del siglo XX en Suecia, a partir del desarrollo de un modelo para la planificación energética en los municipios, con una importante contribución a la mejora de la gestión de los gobiernos locales en cuanto al comportamiento de sus finanzas y la reducción de los impactos sobre el medioambiente de la localidad [Wene y Rydén, 1988]. En la actualidad la gestión energética municipal incluye el uso de herramientas apoyadas en software, la planificación a corto, mediano y largo plazo mediante la modelación y estudios de escenarios y la socialización [Lin y Huang, 2010]. En el tiempo transcurrido desde las primeras experiencias en Suecia se han desarrollado numerosos modelos, metodologías, estrategias e indicadores para la gestión energética local, algunas de estas se relacionan a continuación:

Modelo de optimización energético regional y municipal (DEECO), aplicado en la ciudad Würzburg Heidingsfeld, Alemania [Bruckner, Groscurth y Kümmel, 1997].

Modelo de optimización del sistema energético (MO-DEST) y el Modelo de programación mixed integer linear para el análisis del sistema energético, aplicados en la ciudad de Linköping, Suecia [Sundberg y Karlsson, 2000; Rolfsman, 2004].

Modelo de gestión de la energía para la ciudad de Lucknow en Suecia [Zia y Deyadas, 2007].

Método de planificación energética municipal, aplicado en trece municipios de la provincia de Ostergötland, Suecia [Inver, 2009].

Modelo para la gestión energética municipal desarrollado por la Alianza Ártica en Canadá [St. Denis & Parker, 2009].

Modelo para el desarrollo de un sistema de planificación energética municipal, aplicado en la Región Toronto-Niagara Waterloo, Canadá y Hohhot, China [Lin, *et al.*, 2010].

Metodología para el desarrollo de indicadores de sostenibilidad energética para la planificación energética local, aplicada en municipios de Portugal y en Boston, Estados Unidos de América [Neves y Leal, 2010].

Estrategia de planificación energética municipal, aplicada en todos los municipios de Dinamarca [Sperling, Hvelplund y Vad Mathiese, 2011].

Método para la planificación del sistema energético municipal, aplicado en Beijing, China [Zhu, Huang, Li, He y Zhang, 2011].

Metodología para la planificación energética municipal aplicada en 12 municipios en Italia [Brandoni y Polonara, 2012].

Método para la planificación energética de la comunidad, aplicado en Shanghai, China [Huang, Yu, Peng y Zhao, 2015].

Estas experiencias sobre la gestión energética local se basan fundamentalmente en la planificación energética,

las matrices de oferta y consumo energéticos, incluyendo las FRE e indicadores energéticos; las acciones directas de estas referencias se realizan en sectores subordinados a la gestión de los gobiernos locales, como son el alumbrado público, transporte público y edificios, al ejecutar sobre las empresas privadas una función promocional de la gestión energética como oportunidad de mejora del desempeño organizacional [Correa *et al.*, 2017].

La gestión energética se basa en información, que no es más que la suma de los datos que se tienen, y el conocimiento consiste en extraer de esa información grandes volúmenes de datos que son inútiles si no se pueden obtener conclusiones de ellos. La información tiene poco valor si *no se transforma en conocimiento y este permite tomar decisiones razonadas y actuar en consecuencia* [Granma, 2019].

En este trabajo se modelará el consumo eléctrico mensual de la provincia Villa Clara, estudiando el impacto de las variables climáticas en el mismo lo que permitirá a los directivos tener un mejor conocimiento del consumo en el largo plazo (cinco años) y coadyuvará a un mejor manejo de los recursos con que cuenta el país.

Materiales y métodos

Se utilizó una base de datos desde enero de 2012 hasta diciembre de 2018; en total 84 casos. Los datos del consumo eléctrico provincial de Villa Clara fueron obtenidos a través de la Empresa Eléctrica de Villa Clara, y los datos

climáticos de la estación del Valle del Yabú fueron aportados por el departamento del clima del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara. En la Figura 1 se aprecia dónde se localiza nuestra provincia.

Para el pronóstico y la modelación se utilizó la metodología ROR [Fimia *et al.*, 2017; María de Lourdes *et al.*, 2017; Ricardo *et al.*, 2017; Osés *et al.*, 2014; Osés *et al.*, 2017(b), Osés y Machado, 2008], la cual presenta buenos resultados.

Resultados y discusión

Primeramente, mostramos una estadística descriptiva de la Variable consumo eléctrico provincial (Tabla 1). Se puede apreciar que como valor medio se consumen 104264,018 *MWh* con una desviación típica de 9098,0972 *MWh*, valor que representa la variabilidad del valor medio; el máximo de consumo ha sido de 120804,3 *MWh* y el mínimo de 81266,6 *MWh* correspondiendo este valor al huracán Irma en el mes de septiembre de 2017; respecto al valor medio el mínimo representa 77,94 %.

Se realizaron tres modelos: uno a corto plazo, otro a largo plazo con un año de antelación y otro a muy largo plazo con cinco años de antelación.

Los resultados se presentan en la Tabla 2. El modelo con mayor varianza explicada y con menor error es el de cinco+ años de antelación con 4110,59 *MWh* de error, o sea un porcentaje de error respecto a la media de 3,94 %.

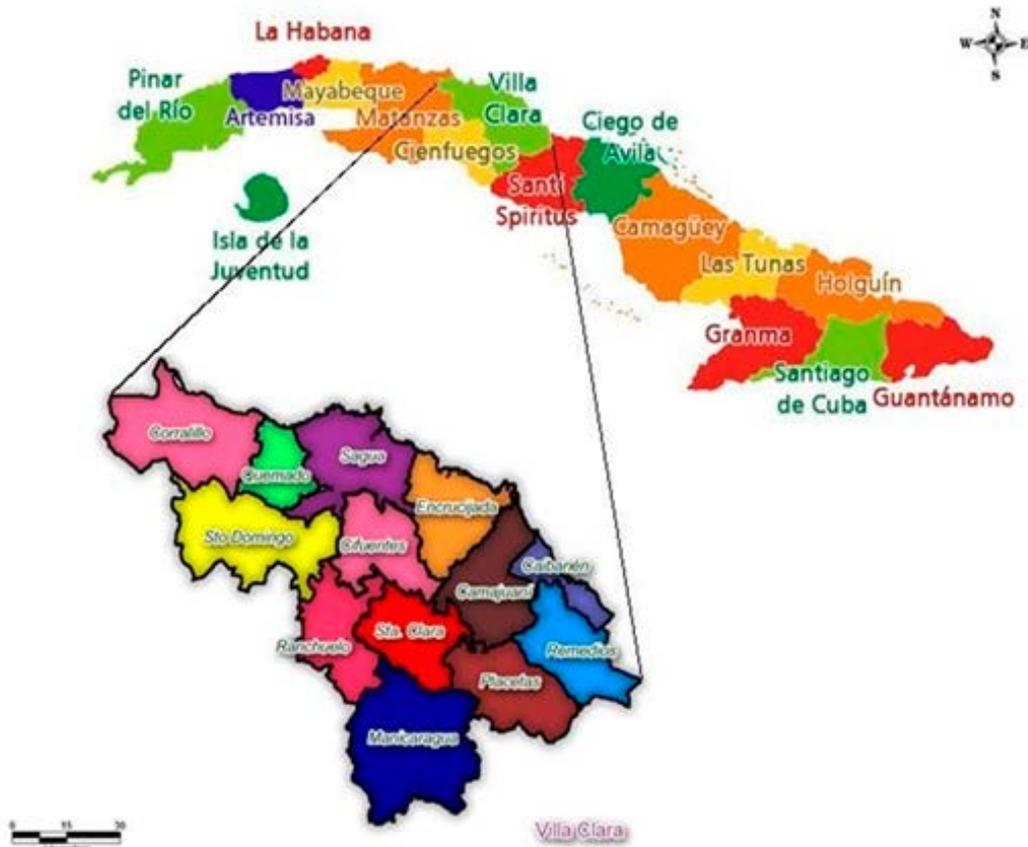


Fig. 1. Mapa político-administrativo de Cuba y de la provincia de Villa Clara. (Cortesía del Dr. Rigoberto Fimia Duarte)

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del Consumo eléctrico de Villa Clara. Período enero/2012-diciembre/2018

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Año	144	2012	2023	2017,50	3,464
Mes	144	0	12	5,96	3,775
Consumo provincia VC (MWh)	84	81 266,6	120804,3	104264,018	9098,0972
N válido (según lista)	84				

Tabla 2. Algunos parámetros de los modelos

Modelo	Varianza explicada (%)	Error del modelo	% del error respecto a la media	Durbin -Watson
Mes a mes	99,9	4228,47	4,05	1,925
Un año de antelación	99,9	5197,63	498	0,656
Cinco años de antelación	100	4110,59	3,94	1,696

A continuación se presentan los parámetros de cada modelo.

Modelo mes a mes

En la Tabla 3 se aprecia que todos los parámetros son significativos; el huracán Irma representó una disminución en el consumo de 36 281,442 MWh, valor que representa 34,79 % del valor medio; el consumo depende de un mes atrás y de 12 meses atrás.

Modelo con un año de antelación

En la Tabla 4 se aprecia que todos los parámetros son significativos, el caso del Huracán IRMA representó una disminución en el consumo de 32 201,098 MWh, lo que representa el 30,88 % del valor medio, el consumo depende de un año atrás (Lag12consumo) y dos años atrás (Lag24consumo).

Tabla 3. Coeficientes del modelo mes a mes

Coeficientes ^{a,b}						
Modelo B		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		Error típ.	Beta			
1	DS	13 867,301	7059,234	,092	1,964	,054
	DI	12 798,358	7095,504	,085	1,804	,076
	Lag1consumo	,421	,069	,420	6,087	,000
	Lag12consumo	,472	,064	,459	7,342	,000
	Huracán Irma	-36 281,442	4389,065	-,040	-8,266	,000

a. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).

b. Regresión lineal a través del origen.

Tabla 4. Coeficientes del modelo con un año de antelación

Coeficientes ^{a,b}						
Modelo B		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		Error típ.	Beta			
1	DS	37 017,281	9199,954	,242	4,024	,000
	DI	36 215,282	9197,609	,237	3,937	,000
	Lag12consumo	,339	,117	,330	2,886	,006
	Lag24consumo	,354	,123	,335	2,889	,006
	Huracán Irma	-32 201,098	5322,371	-,038	-6,050	,000

a. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).

b. Regresión lineal a través del origen.

Modelo con cinco años de antelación

En la Tabla 5 se aprecia que todos los parámetros son no significativos; el consumo depende de cinco (Lag6oconsumo) y seis años atrás (Lag72consumo).

Pronóstico con cinco años de antelación (Fig. 4)

Nota: En los modelos se eliminó la tendencia, pues fue un parámetro no significativo, aunque se aprecia que aumentó 32,686 MWh (Tabla 6).

A continuación, los gráficos con sus pronósticos (Figs. 2 y 3).

Pronóstico mes a mes

Tabla 5. Coeficientes del modelo con cinco años de antelación

Coeficientes ^{a,b}						
Modelo B		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		Error típ.	Beta			
1	DS	-40 865,227	35 836,857	-,260	-1,140	,287
	DI	-40 417,736	35 602,861	-,257	-1,135	,289
	Lag6oconsumo	,923	,637	,812	1,449	,185
	Lag72consumo	,659	,724	,553	,911	,389

a. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).

b. Regresión lineal a través del origen.

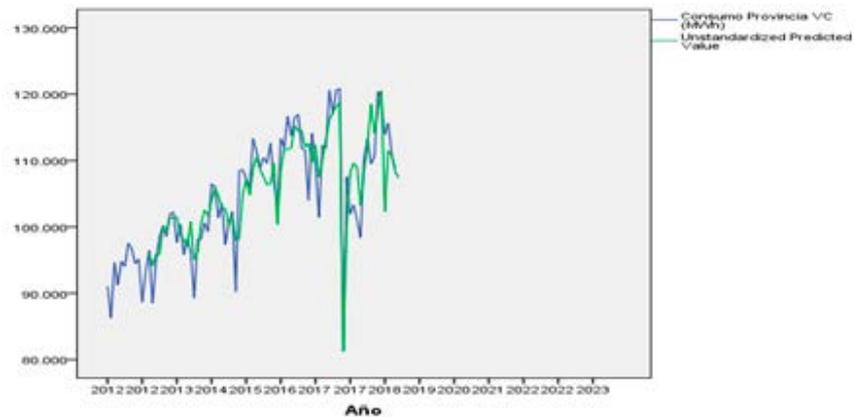


Fig. 2. Valor real y pronóstico del consumo eléctrico provincial. Pronóstico con un año de antelación.

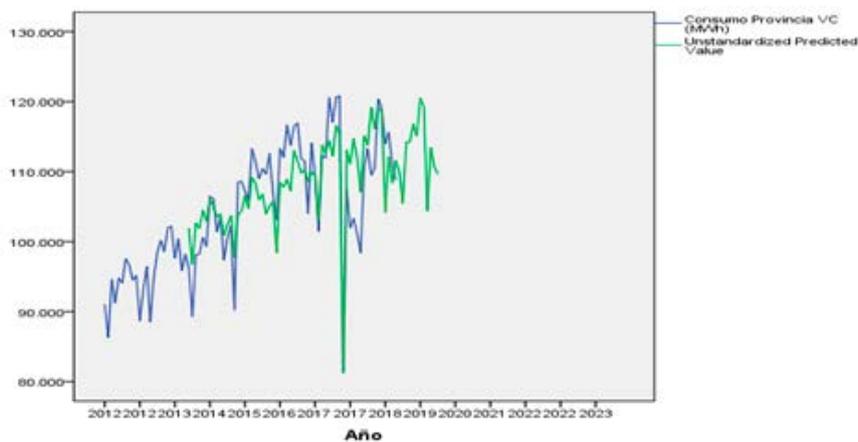


Fig. 3. Valor real y pronóstico del consumo eléctrico provincial. Pronóstico con cinco años de antelación.

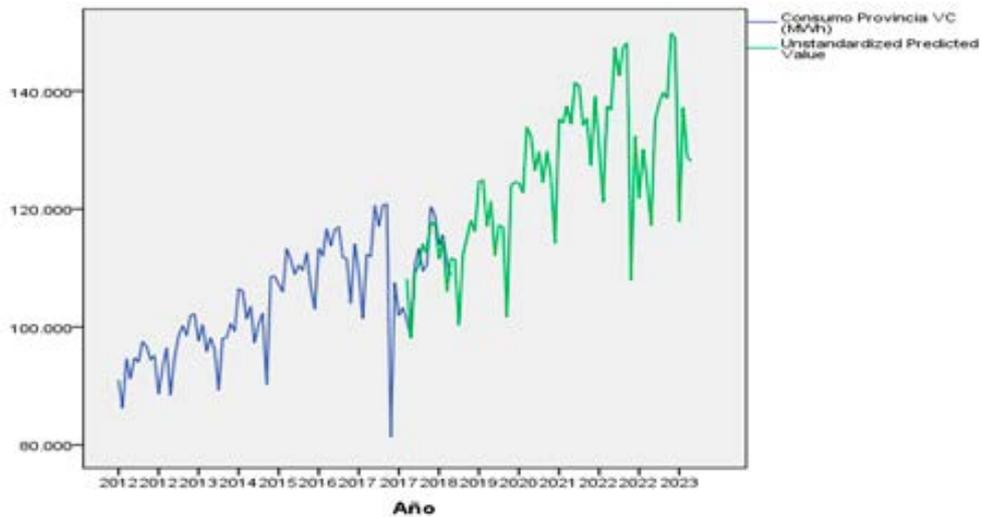


Fig. 4. Valor real y pronóstico del consumo eléctrico provincial.

Tabla 6. Coeficientes del modelo mes a mes

Coeficientes ^{a,b}						
Modelo B		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		Error típ.	Beta			
1	DS	19 461,664	9593,850	,129	2,029	,047
	DI	18 371,551	9604,161	,122	1,913	,060
	Tendencia	32,686	37,873	,016	,863	,391
	Lag1 Consumo	,393	,076	,392	5,144	,000
	Lag12 Consumo	,431	,080	,420	5,390	,000
	Huracán Irma	-36 188,958	4398,752	-,040	-8,227	,000

a. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).
 b. Regresión lineal a través del origen.

Pareciera que el huracán es una forma natural de regular el consumo eléctrico que tiene una tendencia al aumento, aunque no significativa. En otros trabajos, Osés y Machado estudiaron que la tendencia del consumo para el

período 1986-2006 era de 834,067 MWh, por lo que después del huracán Irma esta tendencia ha disminuido haciéndose no significativa (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del pronóstico a partir de 2019

Resúmenes de casos ^a					
	Año	Mes	Pronóstico mes a mes	Pronóstico con un año antelación	Pronóstico cinco años de antelación
1	2019	1	108581,28085	109946,01716	111489,76030
2	2019	2	.	105441,64837	100299,46700
3	2019	3	.	114214,94336	112255,44146
4	2019	4	.	114225,43751	115113,61279

Estudio del consumo eléctrico provincial de Villa clara y su pronóstico 2019-2023 Cuba

Resúmenes de casos					
5	2019	5	.	116811,82637	118044,09607
6	2019	6	.	115078,26484	116143,43263
7	2019	7	.	120505,09364	124617,48581
8	2019	8	.	119271,48739	124891,94551
9	2019	9	.	104379,32456	117069,17696
10	2019	10	.	113446,47880	121322,31867
11	2019	11	.	110715,15570	112164,39119
12	2019	12	.	109632,79650	117211,94656
13	2020	1	.	.	116959,16850
14	2020	2	.	.	101681,52346
15	2020	3	.	.	123955,60850
16	2020	4	.	.	124580,87430
17	2020	5	.	.	124391,20476
18	2020	6	.	.	122757,97617
19	2020	7	.	.	133875,55558
20	2020	8	.	.	132395,23661
21	2020	9	.	.	126512,85837
22	2020	10	.	.	129734,39964
23	2020	11	.	.	124469,38424
24	2020	12	.	.	129853,96052
25	2021	1	.	.	125184,04894
26	2021	2	.	.	114159,67055
27	2021	3	.	.	135279,57768
28	2021	4	.	.	134589,25335
29	2021	5	.	.	137462,91406
30	2021	6	.	.	134358,89614
31	2021	7	.	.	141365,46693
32	2021	8	.	.	140974,69450
33	2021	9	.	.	134187,97620

Resúmenes de casos						
34	2021	10	.	.	135337,53753	
35	2021	11	.	.	127366,35447	
36	2021	12	.	.	139124,42859	
37	2022	1	.	.	130475,32367	
38	2022	2	.	.	121144,44607	
39	2022	3	.	.	137473,64628	
40	2022	4	.	.	136773,75120	
41	2022	5	.	.	147394,15265	
42	2022	6	.	.	142572,86777	
43	2022	7	.	.	147306,65766	
44	2022	8	.	.	148165,40872	
45	2022	9	.	.	107887,04504	
46	2022	10	.	.	132372,52815	
47	2022	11	.	.	121793,05502	
48	2022	12	.	.	130165,91249	
49	2023	1	.	.	124471,15278	
50	2023	2	.	.	117239,22090	
51	2023	3	.	.	135209,05693	
52	2023	4	.	.	137958,14711	
53	2023	5	.	.	139721,61651	
54	2023	6	.	.	138734,47933	
55	2023	7	.	.	149785,53519	
56	2023	8	.	.	149011,72169	
57	2023	9	.	.	117870,81885	
58	2023	10	.	.	137189,10262	
59	2023	11	.	.	128815,54195	
60	2023	12	.	.	128082,16838	
Total	N	60	60	1	12	60

a. Limitado a los primeros 100 casos.

Modelo con variables climáticas

Se realizó un modelo mes a mes con variables climáticas de la estación Yabú y se obtuvo el resultado que explica 100 % de la varianza con un error de 3416,0941 MWh; el estadístico, de Durbin-Watson, es cercano a dos, por lo que estamos en presencia de un buen modelo (Tabla 8).

Tabla 8. Modelo con variables climáticas

R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
,999	3416,0941	1,954

a. Variables predictoras: xy13_mean, Step69, DI, xy7_mean, NoC, xy12_mean, yy3_mean, Lag12Consumo, Lag1Consumo, yy2_mean

b. Para la regresión a través del origen (el modelo sin término de intersección), R cuadrado mide la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicado por la regresión a través del origen. No se puede comparar lo anterior con R cuadrado para los modelos que incluyen una intersección.

c. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).

d. Regresión lineal a través del origen.

El modelo obtenido con variables climáticas (Tabla 9) incluye como variables significativas la temperatura máxima, la mínima y la lluvia. A medida que aumentan las temperaturas el consumo aumenta en 861 y 804 MWh y a su vez a medida que aumenta la lluvia el consumo disminuye en 42,76 MWh. El viento es también una variable que influye, aunque no significativamente; a medida que aumenta el viento medio aumenta el consumo, mientras la presión nos dice que a medida que esta aumenta disminuye el consumo, aunque no de manera significativa.

Modelo a largo plazo con variables climáticas con cinco años de antelación

Este es el modelo con mayor varianza explicada de 100 % con el menor error de solo 1315,33 MWh

Tabla 10. Resultados del modelo con variables climáticas con cinco años de antelación

Resumen del modelo ^{c,d}					
Modelo	R	R cuadrado ^b	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	1,000 ^a	1,000	1,000	1315,3365	1,926

a. Variables predictoras: xy13_mean, xy7_mean, DS, xy12_mean, yy2_mean, yy3_mean, Lag72consumo, Lag60consumo.

b. Para la regresión a través del origen (el modelo sin término de intersección), R cuadrado mide la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicado por la regresión a través del origen. No se puede comparar lo anterior con la R cuadrado para los modelos que incluyen una intersección.

c. Variable dependiente: Consumo Provincia VC (MWh).

d. Regresión lineal a través del origen

Tabla 11. Parámetros del modelo a largo plazo con variables climáticas con cinco años de antelación

Coeficientes ^{a,b}						
Modelo B		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		Error típ.	Beta			
1	DI	-1654,622	817,937	-,011	-2,023	,047
	NoC	95,313	34,316	,047	2,777	,007
	Lag1Consumo	,246	,071	,245	3,463	,001
	Lag12consumo	,357	,071	,347	5,008	,000
	Huracán Irma	--35847,923	3652,801	-,040	-9,814	,000
	Temp. máx.	861,001	367,421	,246	2,343	,022
	Temp. mín.	804,328	436,959	,154	1,841	,070
	LLuvia	-42,763	15,952	-,021	-2,681	,009
	Vel. viento	525,638	317,068	,026	1,658	,102
	Presión atmosférica	-3,416	9,439	-,032	-,362	,719

a. Variable dependiente: Consumo provincia VC (MWh).

b. Regresión lineal a través del origen.

En la Tabla 11 se aprecia el impacto de las variables climáticas en un modelo de menor error, y las temperaturas impactan de la manera siguiente:

A medida que la temperatura máxima aumenta, el consumo se hace mayor en 1718,645 MWh, mientras a medida que aumenta la temperatura mínima el consumo disminu-

ye en 382,668 MWh; cuando aumenta la lluvia disminuye el consumo en 30,145 MWh; a medida que aumenta el viento el consumo aumenta en 875,403 MWh; a medida que el anticiclón aumenta la presión atmosférica sobre la provincia, disminuye el consumo en 52,695 MWh.

Tabla 12. Resultados del pronóstico. Resúmenes de casoa

	Año	Mes	Pronóstico con cinco años estadístico	Pronóstico con cinco años y variables climáticas
1	2019	1,00	108089,32099	108374,87513
2	2019	2,00	108887,92917	99224,06423
3	2019	3,00	110602,14886	110781,27482
4	2019	4,00	119629,58741	113581,81824
5	2019	5,00	108460,25890	111631,27214
6	2019	6,00	105991,83854	113107,86878
7	2019	7,00	109048,36411	117827,32065
8	2019	8,00	115623,58133	118627,45506
9	2019	9,00	107085,97050	115556,53173
10	2019	10,00	109811,31096	114268,23355
11	2019	11,00	106514,60845	112868,12813
12	2019	12,00	102437,09138	112277,40482
13	2020	1,00	106094,93554	109939,81236
14	2020	2,00	109743,70360	100770,08460
15	2020	3,00	113274,01167	117065,45250
16	2020	4,00	112592,41559	119064,81838
17	2020	5,00	118458,92120	115299,19543
18	2020	6,00	118159,93796	117691,48363
19	2020	7,00	110414,06485	122377,75856
20	2020	8,00	103375,19426	123445,69959
21	2020	9,00	109369,53743	120383,27159
22	2020	10,00	105162,56552	119358,92024
23	2020	11,00	107451,33419	121333,66325
24	2020	12,00	99611,21824	119455,44375
25	2021	1,00	104799,31056	102846,94772
26	2021	2,00	116090,07317	113158,18664
27	2021	3,00	101590,59225	117216,99876
28	2021	4,00	111438,11605	120689,72025
29	2021	5,00	111624,50271	119785,13732

Estudio del consumo eléctrico provincial de Villa clara y su pronóstico 2019-2023 Cuba

	Año	mes	Pronostico con 5 años estadístico	Pronostico con 5 años Con variables climáticas
30	2021	6,00	102919,12664	122236,92099
31	2021	7,00	113389,24487	120248,08187
32	2021	8,00	105877,36636	125943,65317
33	2021	9,00	110772,23783	116448,89592
34	2021	10,00	105998,02912	119361,48436
35	2021	11,00	106434,10354	111411,78037
36	2021	12,00	103507,87483	114988,84660
37	2022	1,00	102393,17991	104107,55606
38	2022	2,00	106281,63785	110875,91275
39	2022	3,00	88484,12083	113510,25501
40	2022	4,00	103138,58250	118313,12598
41	2022	5,00	108178,58094	122194,89861
42	2022	6,00	113609,48260	124715,31357
43	2022	7,00	111068,60010	121730,30268
44	2022	8,00	106904,65281	125188,69527
45	2022	9,00	105416,98057	98434,99975
46	2022	10,00	85066,64725	114907,81656
47	2022	11,00	98144,28708	105396,18372
48	2022	12,00	91085,42748	111598,72471
49	2023	1,00	94350,92416	104814,99588
50	2023	2,00	103863,54423	107449,28997
51	2023	3,00	103065,19801	112975,01453
52	2023	4,00	118109,99472	116839,80776
53	2023	5,00	100931,28618	116579,06465
54	2023	6,00	89735,93540	119078,43613
55	2023	7,00	101711,43143	123206,15325
56	2023	8,00	99920,72566	122053,75361
57	2023	9,00	124732,71718	117755,78438
58	2023	10,00	98368,06152	120080,24654
59	2023	11,00	106844,12555	112857,33282
60	2023	12,00	98283,52279	114271,32407
Total N	60	60	60	60

a. Limitado a los primeros 100 casos.

Conclusiones

El huracán Irma representa un impacto de una disminución de 34,79 % del consumo medio de la provincia.

El mejor modelo a largo plazo es con cinco años de antelación con variables climáticas.

A medida que la temperatura máxima aumenta (tardes calurosas), el consumo se hace mayor en 1718,645 MWh.

A medida que aumenta la temperatura mínima el consumo disminuye en 382,668 MWh, Cuando aumenta la lluvia disminuye el consumo en 30,145 MWh,

Al aumentar el viento el consumo aumenta en 875,403 MWh.

Cuando el anticiclón del Atlántico Norte aumenta la presión atmosférica sobre la provincia, disminuye el consumo en 52,695 MWh.

En general el pronóstico con variables climáticas da mayores resultados del comportamiento del consumo provincial que el pronóstico estadístico puro.

Bibliografía

- BAYER, P., DOLAN, L., URPELAINEN, J. (2013). «Global patterns of renewable energy innovation, 1990–2009». *Energy for Sustainable Development*, 17(3), 288-295. Recuperado de <http://eprints.gla.ac.uk/115906/>
- BOFFILL VEGA, S.; C. M. CALCINES DÍAZ YA. SÁNCHEZ Cid (2009). «Modelo general para contribuir al desarrollo local, basado en el conocimiento y la innovación en Cuba». *Ingeniería Industrial*, 30(2).
- BORROTO NORDELO, A. (2006). «Gestión y economía energética». Cienfuegos: Universo Sur.
- BRANDONI, C. y POLONARA, F. (2012). «The role of municipal energy planning in the regional energy-planning process». *Energy*, 48(1), 323-338. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/257176557_The_role_of_municipal_energy_planning_in_the_regional_energy_planning_process
- BRUCKNER, T.; H. M. GROSCURTH Y KÜMMEL, R. (1997). «Competition and technologies synergy in municipal between energy systems». *Energy*, 22(10), 1005-1014. Recuperado de http://www.iet.tu-berlin.de/deeco/downloads/bruckner_et_al_1997.pdf
- CABELLO ERAS, J., ET AL. (2014). «Comparative study of the urban quality of life in Cuban first-level cities from an objective dimension». *Environment, Development and Sustainability*, 16(1), 196-215. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10668-013-9470-0>
- CASTRO PERDOMO, N. A.; E. GONZÁLEZ SUÁREZ Y F. GUZMÁN MARTÍNEZ (2014). «Transferencia tecnológica, la integración ciencia, innovación tecnológica y medioambiente en la empresa». Revista *Ingeniería Industrial*, 35(3), 277-288. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/3604/360433598004.pdf>
- CORREA SOTO, J.; A. BORROTO NORDELO, M. ALPHA BAH, R. GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M. CURBELO MARTÍNEZ, M. y A. M. DÍAZ RODRÍGUEZ (2014). «Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011». *Ingeniería Energética*, 35(1), 38-47.
- DEL PORTO BLANCO, CARLO (2019). «Big data». Periódico *Granma*, miércoles 13 de febrero de 2019.
- ELNAKAT, A. y J. D. GÓMEZ (2015). «Energy engenderment: an industrialized perspective assessing the importance of engaging women in residential energy consumption management». *Energy Policy*, 82 (1), 166-177. Recuperado de: <https://utsa.influent.utsystem.edu/en/publications/energy-engenderment-an-industrialized-perspective-assessing-the-i>
- ERARIO, S. (2010). «The Maine energy handbook. A Resource for Municipalities on Energy Efficiency and Sustainable Energy». Recuperado de: <http://www.waldoboromaine.org/docs/MaineEnergyHandbook.pdf>
- FIMIA DUARTE, RIGOBERTO; RICARDO OSÉS RODRÍGUEZ, JOSÉ LANNACONE, ANAI CARMEN RAMÍREZ, LORENZO DIÉGUEZ FERNÁNDEZ, RAMÓN GONZÁLEZ GONZÁLEZ, LOMBERTO GÓMEZ CAMACHO Y OMELIO CEPERO RODRÍGUEZ. «Modelación y predicción hasta el año 2020 para la angios-trongilosis total utilizando la regresión objetiva regresiva». Villa Clara, Cuba *The Biologist* (Lima), 2017, vol. 15, jan-jun, Suplemento Especial 1, p. 16.
- HERNÁNDEZ GALLARDO, S. y W. PÉREZ-GARCÍA (2013). «Herramienta para el diagnóstico de la gestión en gobiernos locales cubanos». *Ingeniería Industrial*, 34(3), 239-251. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/3604/360433595002/>
- HUANG, Z., YU, H., PENG, Z., & ZHAO, M. (2015). «Methods and tools for community energy planning: A review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2), 1335–1348. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/270395432_Methods_and_tools_for_community_energy_planning_A_review
- INVER, J. (2009). «Municipal Energy Planning-Scope and Method Development». Dissertation No.1234. Department of Management and Engineering, Division for Environmental Technology and Management, Linköping Studies in Science and Technology. *Linköping: LiU-tryck*.
- JENNY CORREA SOTO, SARAHÍ GONZÁLEZ PÉREZ, Ing. ÁNGEL HERNÁNDEZ ALONSO, 2017. «La gestión energética local: elemento del desarrollo sostenible en Cuba/local energy20 management: element of the sustainable development in Cuba». Revista *Universidad y Sociedad*, versión on-line ISSN 2218-3620. Universidad y Sociedad, vol. 9, No. 2, Cienfuegos abr.-jun. 2017.
- JOVANOVIĆ, B y J. FILIPOVIĆ (2016). «ISO 50001 standard-based energy management maturity model—proposal and validation in industry». *Journal of Cleaner Production*, 112 (1), 2744-2755.
- LIN, G. y HUANG, G. H. (2010). «An inexact two-stage stochastic energy systems planning model for managing greenhouse gas emission at a municipal level». *Energy*, 35 (5), 2270-2280. Recuperado de: <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v35y2010i5p2270-2280.html>
- LÓPEZ, J. y P. FUNDORA (2011) «Energía, medioambiente y sociedad: Una experiencia interdisciplinaria en la montaña». *Universidad y Sociedad*, 3(3), 1-7. Recuperado de: <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- MONTEAGUDO YANES, J. ET AL. (2013). «Sistema de gestión energética municipal. Caso Cienfuegos. Nueva empresa». *Revista Cubana de Gestión empresarial*, 9 (3), 46-55.
- NEVES, A. y V. Leal (2010). «Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2723–2735. Recupera-

- do de: <http://econpapers.repec.org/RePEc:eee:rensus:v:14:y:2010:i:9:p:2723-2735>
- ONU (2015). «Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible». Recuperado de: http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/2030_agenda_es.pdf
- OSÉS RODRÍGUEZ RICARDO ET AL. (2017(b)). «The ROR's Methodology and it's possibility to find information in a White Noise». *International Journal of Current Research*. Vol. 9, Issue, 03, pp. 47378-47382, March, Available online at <http://www.journalcra.com>.
- OSÉS RODRÍGUEZ RICARDO: «Modelación matemática ROR aplicada al pronóstico del total de terremotos a nivel global-Mathematical Modeling (ROR) applied to the forecast of earthquakes in the global level». *Revista Electrónica de Veterinaria* 01/2014; vol. 15 (No 08B).
- OSÉS RODRÍGUEZ, RICARDO Y HUMBERTO MACHADO FERNÁNDEZ (2008). «Algunas consideraciones sobre el consumo de energía eléctrica en la provincia de Villa Clara». Reporte técnico, Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara (inédito).
- OSÉS RODRÍGUEZ RICARDO; RIGOBERTO FIMIA DUARTE; JAIME WILFRIDO ALDAZ CÁRDENAS; JOSÉ LANNACONE OLIVER; YANIRA ZAITA FERRER; CLAUDIA OSÉS LLANES Y MAYRA E. CABRERA SUÁREZ (2017). «Modelación matemática del cólera por medio de la regresión objetiva regresiva y su relación con las variables climáticas Caibarién, Villa Clara, Cuba». *The Biologist* (Lima), vol. 15, jan-jun, Suplemento Especial 1, p. 128.
- PEÑA GARCÍA, E. (2009). «Estrategia para el desarrollo e implementación de un Sistema de Monitoreo y Control Energético para el gobierno provincial de Cienfuegos». Tesis de Maestría en eficiencia energética. Universidad de Cienfuegos.

DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN CON COMBUSTIBLE EN ACEITES LUBRICANTES UTILIZADOS EN ÓMNIBUS DAEWOO

Por Dr. Andrés Frank Paz Menéndez* y M.Sc. Enrique Viant Garrido**

*Dirección de Tecnología, Etecsa, Cuba.

E-mail: andres.paz@etecsa.cu

**Cubaenergía, Aenta, Citma, Cuba.

E-mail: eviant@cubaenergia.cu

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de los análisis de las propiedades físico-químicas de los aceites usados en los ómnibus Daewoo para determinar la contaminación con combustible diésel. Como resultado de esta investigación, se realizaron acciones correctivas en las bombas de inyección de estos Ómnibus para reducir el consumo del aceite lubricante y con ello disminuir los costos en mantenimiento de estos vehículos.

Palabras clave: Contaminación diésel; aceites lubricantes; ómnibus, Daewoo.

IDENTIFYING THE DIESEL POLLUTION IN LUBRICANT OILS USED IN DAEWOO BUSES

Abstract

This paper shows the results from the assessment of physicochemical properties of oils used in Daewoo buses to find out the diesel pollution. As a positive effect of this research, corrective actions in these fuel injection pumps of these buses were carried out in order to reduce this oil consumption.

Key words: Diesel pollution, lubricants oils, buses Daewoo.

Introducción

El monitoreo de los aceites es una de las herramientas más valiosas que el ingeniero de mantenimiento tiene a su disposición con la finalidad de alcanzar la vida útil de los equipos mecánicos. Las diferentes técnicas para el monitoreo periódico de los aceites usados, como el análisis físico-químico, la espectrofotometría por emisión atómica, el conteo de partículas y la ferrografía, permiten evaluar el estado del aceite para su cambio oportuno y el grado de desgaste de los diferentes mecanismos del equipo, el cual si es anormal permitirá realizar acciones correctivas que eviten la parada no programada o, en caso contrario, trabajar con confiabilidad y cuantificar la vida real del servicio del equipo.

Los análisis de aceites usados proporcionan información sobre su estado, el nivel de contaminación con partículas sólidas o combustible, la relación de la viscosidad

con la temperatura, el contenido de aditivos, el nivel de deterioro del aceite usado, el nivel de desgaste mecánico de las superficies metálicas que se lubrican y las materias orgánicas presentes.

Las propiedades físico-químicas y pruebas más utilizadas para determinar la degradación y contaminación del aceite son: viscosidad cinemática a 40 y 100 °C, el número básico total (TBN, por sus siglas en Inglés), punto de inflamación, contenido de agua en el aceite y contaminación con combustible.

Esta investigación tiene como antecedentes trabajos presentados por el autor durante los años 2001-2011 [Paz, 2001, 2006 y 2011; Paz, Bonet y Pérez, 2007; Paz, Trejo y Carvajal, 2003]. En estos se determinaron las propiedades físico-químicas que varían cuando hay presencia de combustible en el aceite lubricante usado.

El objetivo principal del trabajo es la evaluación de las propiedades físico-químicas de los aceites lubricantes usados en los motores de los ómnibus Daewoo, para determinar la contaminación con combustible diésel.

Metodología

El procedimiento que se debe seguir para esta investigación consta de tres fases:

1. Selección de los vehículos objeto de estudio.
2. Selección de la frecuencia de extracción de muestras.
3. Extracción de las muestras y envío al Laboratorio de Análisis Químico Setecna.

Aspectos más importantes de las tres fases.

1^{ra}. fase: Se realiza la selección de los vehículos que serían objeto de estudio; se decide emplear cinco ómnibus Daewoo, Modelo BS-106 que pertenecen al Transporte colectivo de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (Etecsa). Estos ómnibus componen mayoritariamente la flota de transporte colectivo y la cantidad seleccionada se corresponde con 50 % del total de equipos.

2^{da}. fase: Se hace necesario fijar la frecuencia de extracción de las muestras. Se considera realizar la extracción de las muestras de aceite usado en el momento en que se extrae el aceite usado a los 5000 km (recomendación del fabricante). Esta consideración es debido a que no existen estudios anteriores de muestreo de aceite usado en estos vehículos.

3^{ra}. fase: En esta fase, de las condiciones para la extracción de las muestras, se tiene en cuenta la experiencia acumulada del autor en otros tipos de vehículos: autos ligeros, camiones y locomotoras.

Se tomaron muestras de aceites usados del cárter del motor y de aceite nuevo, para analizar el nivel de contaminación y degradación.

Por otra parte, se hace necesario conocer el tipo de aceite (si es monogrado o multigrado), quién lo suministra y contar con los recipientes para el envío de las muestras al laboratorio.

Todas las muestras de aceite de motor son aceite multigrado 15 w/40 suministrados por la compañía Castrol. Estas fueron extraídas del cárter del motor en el Taller Central Automotor de la empresa mencionada anteriormente antes de realizar el cambio de aceite.

Las muestras se depositan en recipientes de 500 mL.

Para esta investigación se realizaron las siguientes pruebas en el Laboratorio Químico SETECNA: viscosidad cinemática a 40 °C y 100 °C (por el método IP 71 ASTM D 445), el índice de viscosidad por el método IP 226 ASTM D 2270; el punto de inflamación por el método IP 34 ASTM D93; el número básico total (TBN) por el método IP 276 ASTM D 2896 y el porcentaje de dilución con combustible diésel.

Considerando la experiencia en trabajos anteriores, solo se hace la prueba de determinación del porcentaje de dilución con combustible diésel si hay disminuciones considerables de las viscosidades y del punto de inflamación.

Las pruebas o ensayos de laboratorio cumplen los procedimientos internacionales de las normas ASTM (por sus

siglas en inglés), establecidas por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

Resultados y discusión

En las Tablas de la 1 a la 5 se presentan los resultados experimentales obtenidos.

Antes de realizar el análisis de los resultados obtenidos se deben establecer los límites condenatorios utilizados por Fygueroa [Fygueroa, 1997] para evaluar las propiedades físico-químicas y los contaminantes presentes en los aceites usados. Los límites condenatorios son los valores admisibles para recomendar el cambio de los aceites en uso. Se considera utilizar estos límites condenatorios teniendo en cuenta que los valores sugeridos por anteriormente mencionado representan el valor promedio con relación a otros reportados por otros autores. Los límites condenatorios utilizados en esta investigación fueron:

1. Viscosidad cinemática a 40 y 100 °C: Es permisible una disminución de 25 % y un aumento de 30 % de su valor inicial.
2. TBN: Resulta permisible hasta una disminución de 60 % con relación a su valor nominal.
3. Punto de inflamación: Se admite una disminución hasta un valor de 180 °C o una disminución de 30 %.
4. Dilución por combustible diésel: Es permisible una disminución de 5 % en volumen (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del aceite 15 w/40 en el ómnibus 513

Ensayos	UM	Aceite nuevo	A.U.
Viscosidad cinemática a 40 °C	(mm ² /s)	132,41	135,97
Viscosidad cinemática a 100 °C	(mm ² /s)	15,38	14,35
Índice de Viscosidad	---	120	104
Punto de inflamación	°C	216	222
Número básico total (TBN)	(mg KOH/g)	11,95	5,28
Dilución con combustible diésel	%	---	1,0

Leyenda: UM-unidad de medida; A.U-aceite usado. Fuente: Andrés Frank Paz Menéndez.

Haciendo el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos realizados al ómnibus 513 se puede observar en la Tabla 1 que las disminuciones de las viscosidades cinemáticas no son de consideración con respecto a los valores del aceite nuevo. Esto significa que no hay presencia de materias sólidas que incrementen las viscosidades cinemáticas ni de combustible que provocaría una disminución de esas viscosidades.

El único parámetro del aceite que ha disminuido es el TBN, pero como la disminución es de 55 % se podría seguir utilizando hasta que se incremente la disminución al 60 % (Tabla 2).

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del aceite 15 w/40 en el ómnibus 514

Ensayos	UM	Aceite nuevo	A.U.
Viscosidad cinemática a 40 °C	(mm ² /s)	132,41	85,28
Viscosidad cinemática a 100 °C	(mm ² /s)	15,38	12,20
Índice de viscosidad	---	120	138
Punto de inflamación	°C	216	204
Número básico total (TBN)	(mg KOH/g)	11,95	7,59
Dilución con combustible diésel	%	---	8,0

Fuente: Andrés Frank Paz Menéndez.

Con relación a los resultados de los ensayos realizados al ómnibus 514, se pueden apreciar en la Tabla 3 las disminuciones de las viscosidades cinemáticas. La viscosidad a 40 °C disminuyó a 36 %, y la viscosidad a 100 °C disminuyó a 21 %. Teniendo en cuenta nuestra experiencia y los resultados reportados por otros autores en la literatura internacional, se hace necesario analizar el punto de inflamación. Como este punto ha disminuido se solicitó al laboratorio determinar el porcentaje de dilución con combustible diésel.

El porcentaje de dilución es de 8 %, por lo que se sugirió al Taller la revisión del sistema de alimentación de combustible porque esta dilución incrementa el consumo de aceite (Tablas 4 y 5).

Tabla 3. Propiedades físico-químicas del aceite 15 w/40 en el ómnibus 515

Ensayos	UM	Aceite nuevo	A.U.
Viscosidad cinemática a 40 °C	(mm ² /s)	132,41	87,36
Viscosidad cinemática a 100 °C	(mm ² /s)	15,38	12,00
Índice de viscosidad	---	120	130
Punto de inflamación	°C	216	202
Número básico total (TBN)	(mg KOH/g)	11,95	9,48
Dilución con combustible diésel	%	---	8,0

Fuente: Andrés Frank Paz Menéndez.

Tabla 4. Propiedades físico-químicas del aceite 15 w/40 en el ómnibus 516

Ensayos	UM	Aceite nuevo	A.U.
Viscosidad cinemática a 40 °C	(mm ² /s)	132,41	114,43
Viscosidad cinemática a 100 °C	(mm ² /s)	15,38	13,28
Índice de Viscosidad	---	120	112
Punto de inflamación	°C	216	212
Número básico total (TBN)	(mg KOH/g)	11,95	10,59
Dilución con combustible diésel	%	---	3,0

Fuente: Andrés Frank Paz Menéndez.

Tabla 5. Propiedades físico-químicas del aceite 15 w/40 en el ómnibus 517

Ensayos	UM	Aceite Nuevo	A.U.
Viscosidad cinemática a 40 °C	(mm ² /s)	132,41	86,83
Viscosidad cinemática a 100 °C	(mm ² /s)	15,38	12,51
Índice de viscosidad	---	120	141
Punto de inflamación	°C	21	196
Número básico total (TBN)	(mg KOH/g)	11,95	10,0
Dilución con combustible diésel	%	---	8,0

Fuente: Andrés Frank Paz Menéndez.

Conclusiones

Se realizó la evaluación de las propiedades físico-químicas de los aceites lubricantes usados para determinar la contaminación del aceite con combustible diésel, cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo.

Se determinó la relación que existe entre las propiedades determinadas y la contaminación.

Como aspectos positivos de los resultados de esta investigación se realizó la sustitución y reparación de las bombas de inyección de combustible diésel, disminuyendo los altos consumos de aceite que tenían algunos de los ómnibus.

Bibliografía

- ALBARRACÍN, P. (1993). *Tribología y lubricación industrial y automotriz*. Tomo I, 2da. edición, Colombia.
- PAZ, A. (2001). «Diagnóstico de motores diésel a partir del estado del lubricante», 6º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas.
- PAZ A. (2011). «Selección de los lubricantes y su aplicación en el diagnóstico de los motores de combustión interna». V Taller Nacional de Portadores Energéticos.
- PAZ A. (2006). «La regeneración de aceites lubricantes usados una tecnología para la industria en Cuba». IV Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica.
- PAZ A.; C. BONET y J. PÉREZ (2007). «Diagnóstico técnico a motores diésel a partir de la aplicación de los análisis de aceites». Revista *Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente*. Vol. 27: 57-60.
- PAZ A.; A. TREJO e I. CARVAJAL (2003). «Evaluación experimental de aceites automotrices nuevos, usados y regenerados mediante la extracción supercrítica». 7º Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas.
- FYGUEROA, S. (1997) *Técnicas de análisis de aceite empleadas en el mantenimiento de los motores diésel*. Consejo de Publicaciones, Universidad de los Andes, Venezuela.