



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

**14**



La destilación solar: una solución para la industria farmacéutica y la biotecnología vegetal.....	1
Producción de biogás a partir del tratamiento de residuales de destilerías utilizando zeolita natural.....	10
Uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta en la toma de decisiones en el programa de electrificación rural.....	21
Desarrollo y aplicación de una metodología para la gestión energética en frigoríficos.....	30
Métodos para la determinación de la eficiencia energética en los motores de inducción trifásicos.....	52
Determinación de la estabilidad en mezclas de gasolina y alcohol.....	64

## **La destilación solar: una solución para la industria farmacéutica y la biotecnología vegetal**

### **Solar Distillation: A Solution for the Pharmaceutical Industry and Vegetal Biotechnology**

*Alina Roig Rassi*

*Sergio Corp Linares*

*Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA).*

*Calle 20 No. 4111, e/ 18A y 47, Miramar, Playa,*

*Ciudad de La Habana , Cuba. Tel.: 2031412.*

*e-mail: sergio@cubaenergia.cu y arrassi@cubaenergia.cu*

#### **Resumen**

Como resultado de un proyecto de investigación y desarrollo con el objetivo de generalizar el uso de las fuentes de energía renovable se concibió poner en práctica un módulo solar para sustituir la tecnología tradicional existente en el laboratorio de genética de una unidad de biotecnología vegetal de nuestro país. Uno de los equipos instalados para demostrar su factibilidad técnico-económica en este sector es un destilador solar hecho de polietileno y planchas de vidrio transparente, que es capaz de entregar una producción diaria de 0,8 L de agua destilada. Las investigaciones realizadas y el método utilizado para validar dicho producto se muestran en este artículo. Se va a exponer con claridad la metodología de trabajo, la cual debe ser aplicada en destiladores construidos de diferentes materiales y capacidad. Se señala como aspecto positivo dar los pasos iniciales para obtener normas nacionales sobre la calidad de agua destilada, lo que se ha reportado como una recomendación.

**Palabras clave:** Destilación solar, industria farmacéutica, biotecnología.

#### **Abstract**

It was determined, as a result of a research and development project, aimed at expanding the use of renewable energies, to install a solar module for replacing the traditional prevailing technology used in the laboratory of genetics in a plant biotechnology facility in Cuba. One of the installed equipments, aimed at showing the technical-economical feasibility in this sector is a solar distiller, made of polyethylene and transparent glass plates, capable of producing 0.8 L of distilled water per day. The research carried out and the method used to validate this product are shown in this article. The methodology to be implemented in distillers built with different materials and capacities is discussed in this paper. A positive aspect highlighted in this paper is taking the first steps for obtaining national standards on distilled water quality, reported here as a recommendation.

**Keywords:** Solar distillation, pharmaceutical industry, biotechnology

## Introducción

La obtención y empleo del agua destilada por vía solar es una práctica bien conocida en el mundo. Su calidad determina su posibilidad de uso en diferentes esferas. En la bibliografía internacional y nacional sobre el tema destilación solar se hace referencia a la eficiencia de los destiladores y a los materiales con los cuales se construyen, pero pocas veces aparece un estudio de la calidad del agua destilada obtenida con ellas, lo que se hace necesario para la validación de dichos equipos y su posterior uso en las diferentes industrias.

La validación de la calidad del agua destilada con fines farmacéuticos y para uso en los laboratorios de biotecnología vegetal se basa en los análisis físicos, químicos y microbiológicos.

Según las normas actualmente empleadas en nuestro país, que son las establecidas en el mundo, se validó la calidad del agua destilada obtenida por medio de un destilador solar que tiene una capacidad de producción de 0,8 L de dicho producto diariamente (Fig. 1), con la finalidad de determinar si puede ser utilizada en los laboratorios de biotecnología vegetal y en el área farmacéutica. El cuerpo del destilador se construyó con polietileno y en calidad de cobertura transparente se utilizó una plancha de vidrio de 3 mm de espesor.



*Fig. 1. Destilador solar de 0,8 L/día.*

Los destiladores solares son equipos que operan a relativas bajas temperaturas. Los diseños adecuados evitan el arrastre de residuos, lo que contribuye, conjuntamente con una buena selección de los materiales de la bandeja de acumulación de agua, a la obtención de agua destilada con los requerimientos de la biotecnología y la medicina. Una particularidad interesante radica en que el destilador solar no emplea agua fría para la condensación del vapor de agua contenido en el aire en el interior del destilador.

De manera que una planta de destilación solar no sólo constituye un uso racional de los recursos energéticos disponibles con una concepción medioambiental y sostenible, sino también elimina la utilización de recursos escasos y disminuye el consumo energético total de la instalación.

## **Diseño y planificación de la experimentación**

El estudio microbiológico incluye conteo total de microorganismos y de enterobacterias.

Los análisis físico-químicos abarcan una descripción física de la muestra, pH, metales pesados, sustancias oxidables y medición de conductividad.

Para los análisis microbiológicos, físicos y químicos, sin tener en cuenta la conductividad, se tomaron tres muestras de agua del destilador solar, una del destilador eléctrico GFL-2001/4 (Fig. 2) y otra del agua potable que se vierte en ambos equipos para realizar el estudio y la comparación.



*Fig. 2. Conductímetro.*

Para el estudio de la conductividad se obtuvieron diferentes muestras recogidas del destilador solar durante el período de un año y tres meses y fue determinada con un conductímetro modelo DDS-11A (Shanghai Electric Factory) que barre un intervalo de medición de 0,01 a  $2 \cdot 10^5$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Para tomar las muestras en todas las ocasiones se utilizaron frascos estériles previamente endulzados, a fin de asegurar la calidad de las mediciones. Este riguroso método de trabajo debe realizarse cada vez que se vaya a validar la calidad del agua.

## **Metodología de validación**

Se realizó una búsqueda en la oficina de patentes y normalización para evaluar la calidad del agua destilada y no se encontraron normas nacionales sobre el tema.

La calidad del agua destilada obtenida en el destilador solar fue evaluada usando las metodologías descritas para análisis físico-químico de la norma USP-23 [1995], y para el análisis microbiológico la norma USP-26 [2005] del Formulario Nacional de la Farmacopea de los Estados Unidos.

Según la bibliografía, la conductividad del agua destilada debe ser menor o igual que 3,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para los estudios de genética realizados in vitro-plantas. No obstante, con respecto a la calidad del agua destilada en general se considera que la conductividad puede estar entre 0,05 y 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , según la Norma USP-24 .

### Resultados obtenidos

A continuación se muestran un grupo de tablas como resultado de las evaluaciones realizadas.

### Análisis del control microbiológico

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Control microbiológico

Muestra	Ensayo	Resultados	Límites	Conclusión
Lote 1 Agua destilada (Destilador solar)	Ensayo de conteo microbiológico	CT: 20 UFC/mL CEB: <10 NMP/100 mL Bacilos Gram(+) género <i>Bacillus</i>	CT: 100 UFC/mL Ausencia de microorganismos patógenos	Cumple
Lote 2 Agua destilada (Destilador solar)	Ensayo de conteo microbiológico	CT: 30 UFC/mL CEB: 4 NMP/100 mL Bacilos Gram(+) género <i>Bacillus</i> y Bacilos Gram( - ) género <i>Pseudomonas</i> ? <i>P. pútida</i>	CT: 100 UFC/mL Ausencia de microorganismos patógenos	Cumple
Destilador eléctrico GFL-2001/4	Ensayo de conteo microbiológico	CT: 80 UFC/mL CEB: 110 NMP/100 mL Bacilos Gram( - ) género <i>Enterobacter</i> ? <i>E. aerógenes</i>	CT: 100 UFC/mL Ausencia de microorganismos patógenos	No cumple
Agua potable	Ensayo de conteo microbiológico	CT: 100 UFC/mL CEB: 35 NMP/100 mL Bacilos Gram( - ) género <i>Escherichia</i> ? <i>E. coli</i>	CT: 500 UFC/mL Ausencia de microorganismos patógenos	No cumple

CT: Conteo total de microorganismos.

CEB: Conteo total de enterobacterias.

Según la Norma USP-26, los géneros *Pseudomonas* (en el caso particular *P. pútida*) y *Bacillus* no se consideran microorganismos patógenos.

### Análisis del control químico-físico

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados al agua destilada del destilador solar se exponen en la tabla 2.

**Tabla 2. Control físico-químico del agua destilada**

<b>Muestra</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Límites</b>
Lote 6-4  Agua destilada  (Destilador solar)	Descripción	Líquido claro, incoloro e inodoro que presenta partículas negras y pelusas  4,5*  Responde, muestra menor que el patrón Responde	Líquido incoloro, claro e inodoro
	pH		Entre 5,0 y 7,0
	Metales pesados		El color de la muestra no es mayor que el del patrón
	Sustancias oxidables		El color rosado no desaparece completamente
Lote 4-8  Agua destilada  (Destilador solar)	Descripción	Líquido claro, incoloro pero tiene abundantes partículas negras y blancas  5,8  Responde, muestra menor que el patrón Responde	Líquido incoloro, claro e inodoro
	pH		Entre 5,0 y 7,0
	Metales pesados		El color de la muestra no es mayor que el del patrón
	Sustancias oxidables		El color rosado no desaparece completamente
Lote 4-6  Agua destilada  (Destilador solar)	Descripción	Líquido claro, incoloro pero tiene abundantes partículas negras y blancas  5,1  Responde, muestra menor que el patrón Responde	Líquido incoloro, claro e inodoro
	pH		Entre 5,0 y 7,0
	Metales pesados		El color de la muestra no es mayor que el del patrón
	Sustancias oxidables		El color rosado no desaparece completamente

\* Según PNO (T/09)-02.003, PNO (T/09)-01.007

Tabla 3. Conductividad del agua destilada

Cantidad de agua (mL)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )		Cantidad de agua (mL)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )
500	2,50		500	3,30
500	2,05		500	3,00
500	3,80		500	3,00
500	3,50		500	3,20
500	3,00		500	1,70
500	3,02		500	4,00
500	1,80		500	3,00
500	3,80		500	1,30
600	3,60		650	1,30
500	3,20		500	1,70
500	3,00		500	1,50
500	3,50		500	1,50
500	3,00		500	1,80
500	3,00		500	1,70
500	3,30		500	1,70
500	3,20		500	1,50
500	3,50		500	2,00
500	3,50		500	3,00
500	3,80		500	2,50
500	3,00		500	3,40

Como se puede apreciar, las muestras de agua destilada cumplen los parámetros de calidad según los análisis físico-químico y microbiológico.

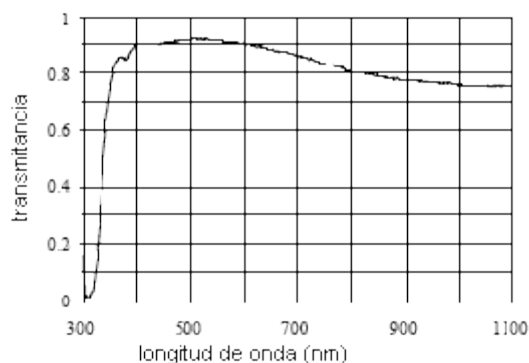
### **Análisis de resultados**

Como se puede observar, en los casos de agua potable y agua destilada con el destilador eléctrico, no cumplen con la calidad de agua desde el punto de vista microbiológico. Ambos microorganismos son considerados patógenos y la *Escherichia coli* es una de los más perjudiciales para la salud humana. Las bacterias *E. coli* son un poco más resistentes a los efectos letales de la radiación solar que otras bacterias; por lo tanto, los análisis de *E. coli* sirven, por lo general, como indicador de los efectos de la radiación solar en las bacterias totales.

La componente de la radiación solar involucrada en la destrucción microbiana es la componente UV-A (320-400 nm) y parte del azul y el violeta del espectro



visible. El destilador solar empleado utiliza como cubierta un vidrio de espesor de 3 mm; como se observa en la figura 3 este material permite el paso de la radiación UV-A. Se reporta también que la desinfección con radiación solar se puede aplicar efectivamente si hay disponible una intensidad de por lo menos 500 W/m<sup>2</sup> durante cinco horas, lo cual se cumple en nuestras condiciones climáticas.



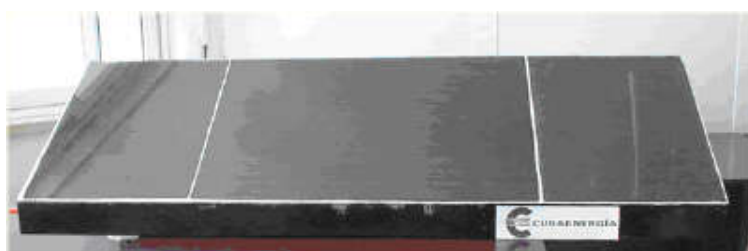
*Fig. 3. Transmittancia del vidrio común.*

Por lo tanto, uno de los resultados obtenidos a partir de la validación del agua destilada desde el punto de vista microbiológico es que el destilador solar de 0,8 L/día realiza la desinfección del agua.

Las muestras presentan partículas mecánicas (negras y blancas) en suspensión; esto puede suceder porque el frasco donde se recogió la muestra no estaba lo suficientemente limpio o por suciedades presentes en el destilador por falta de mantenimiento durante el tiempo de explotación.

Los resultados obtenidos permiten validar la calidad del agua destilada obtenida como buena para usos farmacéuticos e investigaciones en el área de biotecnología vegetal.

Como la producción de agua destilada del destilador mostrado no supe las necesidades del laboratorio, se diseñó y construyó un destilador solar que debe brindar entre 4 y 5 L de agua destilada al día. Los materiales empleados fueron fibra de vidrio para el cuerpo y cubierta transparente de vidrio de 3 mm, este último en período de evaluación (Fig. 4).



*Fig. 4. Destilador solar de 4 L/día.*

## Conclusiones

1. Según las normas USP-23, USP-24 y USP-26, el agua destilada obtenida a partir del destilador solar de 0,8 L/día cumple los parámetros de calidad requerida para uso farmacéutico.
2. Según los valores de conductividad medidos, el agua destilada está apta para los estudios de biotecnología vegetal.
3. La calidad del agua destilada desde el punto de vista microbiológico deja en evidencia que el destilador solar de 0,8 L/día realiza una excelente desinfección y le ofrece la posibilidad de aplicación en otras esferas de la economía.
4. Después de comprobar la efectividad del destilador se redactó su *Manual de Explotación*.
5. Las pruebas iniciales realizadas constituyen un primer resultado de elevado impacto científico.
6. Se demuestra que la generalización de las tecnologías energéticas renovables son factibles en los laboratorios de biotecnología vegetal y farmacia.

## Recomendaciones

1. Realizar cada tres meses la validación de la calidad del agua.
2. Confeccionar una norma cubana para la validación del agua destilada.
3. Realizar estudio comparativo de demostración de factibilidad técnico-económica
4. El entrenamiento de técnicos en esta especialidad para asegurar la continuidad de la tarea.

## Bibliografía

- Características del conductímetro modelo DDS-11A, Shanghai Electric Factory, <http://www.shtaiheng.com/yiqi.html>
- FASULO, A; J. FOLLARI J, *et al.* «Planta experimental de destilación solar-eléctrica en la U.N.S.L.» , *ASADES*, vol. 8, No. 1, 2004.
- FRANCO, J. «Desinfección solar de agua» . Presentación realizada en el Instituto de Investigación en Energías No Convencionales, Universidad Nacional de Salta, Argentina, 2004.
- COLECTIVO DE AUTORES. Resultado científico-técnico destacado del Proyecto «Diseño de equipos técnicos para laboratorios: secador y destiladores solares» . La Habana: CUBAENERGÍA, 2005.
- MÁRQUEZ BRAVO, I. «Desinfección solar» . Trabajo presentado en el Simposio del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) sobre calidad del agua y desinfección efectiva. Colombia: 1998.
- Purified Water, Official Monographs, USP-23, The United States Pharmacopeia the National Formulary, 1995. «Purified Water. Official Monographs USP-24». The United States Pharmacopeia the National Formulary, 1998.
- SALSONA, F. «Water disinfection for small community supplies». Capítulo para desinfección del agua para el manual *IRC Small Community Supplies*. 2001.
- SÁNCHEZ, F. J. *Hidroquímica, conceptos fundamentales*. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 2005. «Water for Pharmaceutical Purposes USP-26». The United States Pharmacopeia the National Formulary, 2005.

WEGELIN, M. Y B. SOMMER. «Solar Water Desiffection (SODIS) destined for worldwide use». Revista *Waterlines*, vol. 16, N° 3, 1998.

Agradecimiento al Laboratorio de Genética de Biotecnología Vegetal del Instituto Nacional de Ciencia Agrícola (INCA), al Laboratorio de Control Microbiológico y al Laboratorio de Control Físico-químico del Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos (CIDEM).

## **Producción de biogás a partir del tratamiento de residuales de destilerías utilizando zeolita natural**

### **Biogas production from waste treatment from distilleries using natural zeolite**

*Dra. Neivy Fernández Manresa*<sup>1</sup>

*Dr. Ing. Silvio J. Montalvo Martínez*<sup>1</sup>

*Dr. Ing. David Toledano Lavín*<sup>2</sup>

*Dr. Ing. Fernando Fernández-Polanco*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba.*

<sup>2</sup> *Grupo de Inversiones, UJC Nacional, Cuba.*

<sup>3</sup> *Universidad de Valladolid, España.*

*e-mail: nfernandez@ceter.cujae.edu.cu*

#### **Resumen**

En Cuba el uso de fuentes de energía renovable es hoy una necesidad de desarrollo que garantiza no sólo la producción de combustible, sino en numerosos casos la eliminación del vertido de cargas contaminantes agresivas al medio ambiente, y este es el caso de la obtención de biogás a partir del tratamiento de residuales de destilería por vía anaerobia. Dicho residuo, conocido más comúnmente como vinaza, posee un enorme potencial contaminante y un elevado contenido de azufre. Este trabajo presenta un estudio sobre el comportamiento en un reactor anaerobio de lecho fluidizado de la zeolita natural como material de soporte de producción nacional de bajo costo y fácil adquisición. De dicho estudio se obtienen eficiencias de eliminación de materia orgánica (DQO) de alrededor de 80 % y un biogás mucho más limpio con concentraciones de sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S (gaseoso) menores a los obtenidos con otra tecnología.

**Palabras clave:** Biogás, tratamiento de residuales, zeolita

#### **Abstract**

The use of renewable energies in Cuba is a need for development today since it does not only ensure fuel production but also the elimination of pollutants, like biogas, obtained from waste treatment in distilleries through anaerobic digestion. Such a residue, usually known as vinasse, has a huge pollutant potential and high sulfur content. This paper contains a study on the behavior of natural zeolite on a fluidized bed anaerobic reactor, a low cost and easily available material in Cuba. Efficiencies on the elimination of organic material (DQO) of around 80% and a much cleaner biogas with lower hydrogen sulfur H<sub>2</sub>S (gaseous) concentrations were obtained from this study.

**Keywords:** Biogas, waste treatment, zeolite

## **1. Introducción**

En el mundo actual la preservación del medio ambiente y el creciente consumo de recursos energéticos constituyen dos cuestiones relevantes; por eso es necesario la aplicación de nuevas tecnologías de bajo costo y purificadoras de residuales que propicien la obtención de subproductos aprovechables. La búsqueda de fuentes energéticas renovables es hoy en día un reto científico-técnico.

En Cuba uno de los productos fundamentales de la industria de los derivados de la caña de azúcar es el alcohol, que se produce a partir de mieles finales de la producción de azúcar. El proceso de destilación del alcohol crea un residuo final, vinaza, con un enorme potencial contaminante y un elevado contenido de sulfatos.

En los últimos años se han venido desarrollando múltiples investigaciones sobre el tratamiento de los residuales líquidos de la industria alcoholera, por métodos biológicos, específicamente tratamiento anaerobio, ya que han demostrado superioridad con respecto a los de tipo aerobio, porque entre otras razones resultan sistemas más baratos, precisan de menos espacio además de obtener un gas con alto valor combustible que se conoce comúnmente con el nombre de *biogás*.

En este estudio la atención se centra en un reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF), el cual permite procesar mayores cantidades de materia orgánica por volumen de reactor por unidad de tiempo (velocidad de carga orgánica o VCO) entre los tipos de digestores o reactores empleados en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.

En este tipo de tecnología se le debe ofrecer especial atención al material de soporte, que es uno de los que más influye sobre la inversión inicial y los costos operacionales, de ahí la importancia de su selección. En nuestro país son varios los materiales que pueden ser utilizados con este fin. El objeto de estudio en el presente trabajo es la zeolita natural, cuya característica distintiva es su fácil adquisición y costos muy bajos.

Partiendo de esta base en el trabajo se pretenden alcanzar los objetivos siguientes :

- Estudiar el comportamiento de un RALF operando con zeolita natural, para el tratamiento de residuales de destilerías.
- Reducir en un porcentaje elevado la concentración de materia orgánica presente en el residual.
- Evaluar la evolución de las formas de azufre que permitan valorar la calidad del gas metano obtenido.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Dispositivo experimental**

En la experiencia se utilizaron dos reactores cilíndricos (R-1 y R-2) construidos en acrílico. Los elementos que constituyen el esquema básico del lecho se muestran en la figura siguiente.

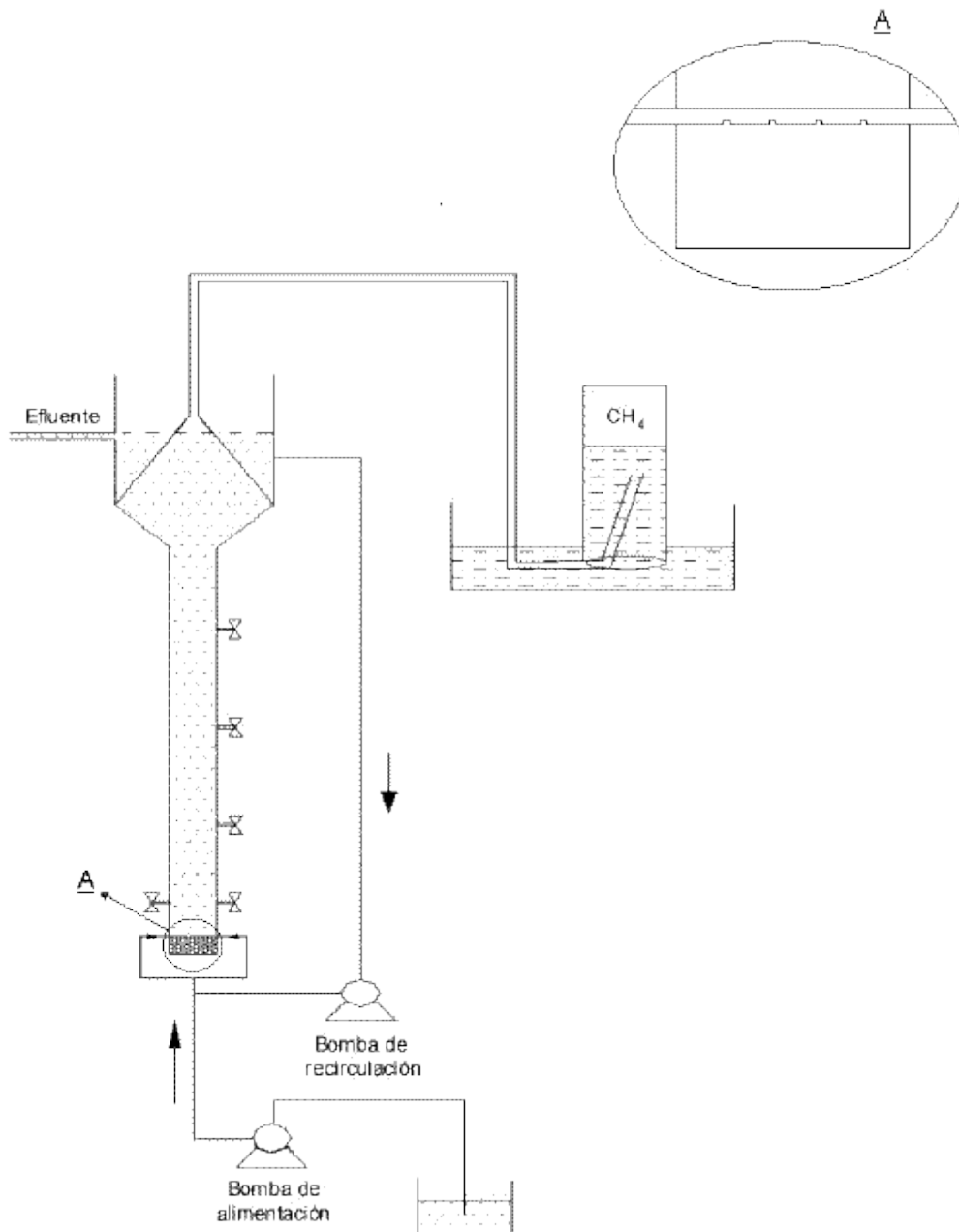


Fig. 1. Esquema básico del reactor.

En la etapa experimental cada reactor trabaja con un diámetro de partícula diferente ( $D_p$ ). En todos los casos se fijó una VCO que se fue aumentando una vez alcanzado el estado estacionario.

En la tabla 1 se muestra el volumen útil (volumen del lecho fluidizado) utilizado en cada reactor.

Tabla 1. Volúmenes útiles utilizados

R-1 (Dp: 0,25- 0,5 mm )	R-2 (Dp: 0,5- 0,8 mm )
Para 26 %: 1,64 L	Para 28 %: 1,36 L

## 2.2. Técnicas analíticas

### *Fase líquida*

La determinación analítica de la composición de la fase líquida se lleva a cabo de acuerdo con los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales [APHA-AWWA-WPCF, 1992].

### *Fase gaseosa*

El metano producido en los reactores se mide mediante el desplazamiento de una solución de NaOH (ac) preparada a 2,5 %, con el objetivo de poder contabilizar solamente este gas.

El contenido de H<sub>2</sub>S (g) en el biogás se determina mediante el método volumétrico de valoración por retroceso empleando solución de yodo para la formación de compuestos ternarios [Coppolecchia, 1974].

## 2.3. Lecho fluidizado

### *Soporte*

Se utiliza zeolita natural del yacimiento de Tasajera, proporcionado también por el Centro de Investigaciones y Proyectos de la Industria Minerometalúrgica (CIPIMM). En las tablas 2 y 3 se muestran las propiedades principales de este material [Márquez, 1999].

Tabla 2. Composición química de la zeolita tasajera

Composición (porcentaje en peso)	Zeolita tasajera
SiO <sub>2</sub>	66,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,08
CaO	3,19
MgO	0,77
Na <sub>2</sub> O	1,53

K <sub>2</sub> O	1,20
IW (*)	11,02
Total	98,58

IW (\*): Agua de ignición.

Tabla 3. Composición de fase (%) de la zeolita

Clinoptilolita	49
Mordenita	12
Montmorillonita	poco
Otras (**)	poco

Otras (\*\*): Calcita, feldespato y cuarzo.

#### 2.4. Inóculo utilizado

La puesta en marcha de los reactores comienza con la etapa de inoculación, realizada con excreta de cerdo ( 104 g SV/L).

#### 2.5. Residual a tratar

El residual líquido tratado fue la vinaza generada en el proceso de destilación de alcohol de la Corporación Cuba Ron, S.A, Santa Cruz del Norte, provincia Habana.

Las características de la vinaza que se iba a tratar se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Características del residual utilizado

Parámetros	Valores
DQO soluble (mg/L)	62 000
N <sub>T</sub> (mg/L)	2 800
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	3 500
pH	4,5
P <sub>T</sub> (mg/L)	161
DQO: N	22
DQO: SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18



Nota: Estos valores son los promedios de cuatro determinaciones realizadas a cuatro muestras; las diferencias entre los valores observados fueron menores de 3 % en todos los casos.

### 3. Resultados

En una primera etapa los reactores se alimentan con VCO bajas, de 1- 3 kg DQO/m<sup>3</sup>d, hasta que el sistema se estabiliza (producción de biogás constante y un elevado porcentaje de eliminación de materia orgánica).

En este período experimental la temperatura de trabajo media se mantiene entre los 28-30 °C . El pH en ambos reactores se mantuvo en valores entre 6,7-7,5 sin necesidad de corregir estos valores adicionando algún compuesto o sustancia. Este intervalo coincide con el reportado en la literatura como adecuado para el proceso anaerobio [Henze y col., 1996; Montalvo y Guerrero, 2003]. En la figura 2 se muestra la evolución de este parámetro.

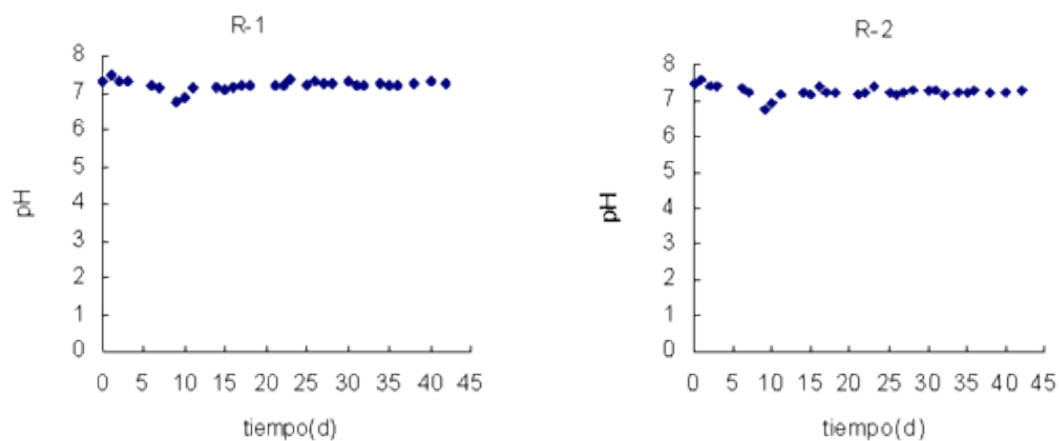


Fig. 2. Comportamiento del pH en el tiempo.

#### Evolución de la materia orgánica

En la figura 3 se puede apreciar el comportamiento estable de los valores de DQO a la salida de ambos reactores con el aumento progresivo de la VCO.

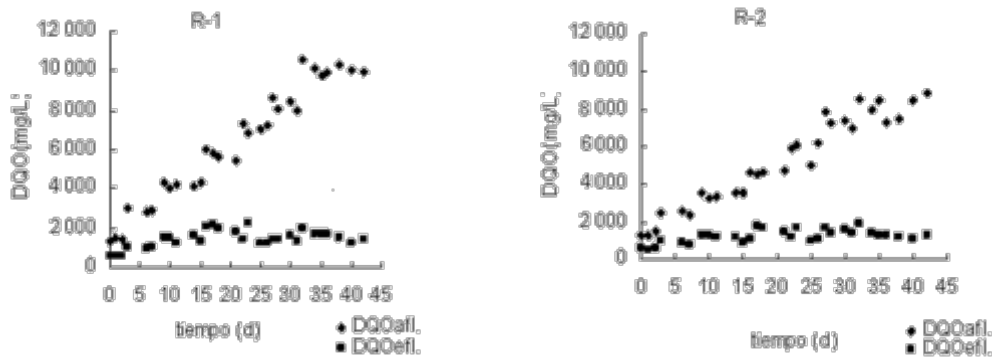


Fig. 3. Comportamiento de la DQO del afluente y efluente en el tiempo.

Los porcentajes de eliminación de DQO en ambos reactores se comportan de forma muy estable a lo largo del período analizado; se alcanzaron valores superiores a 80 %, como se observa en la figura 4, y se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos reactores. Estos porcentajes se pueden considerar como elevados por tratarse de un reactor anaerobio y a su vez muy similares a los obtenidos con soportes tradicionales (arena, carbón activado comercial) [Hickey y col., 1991].

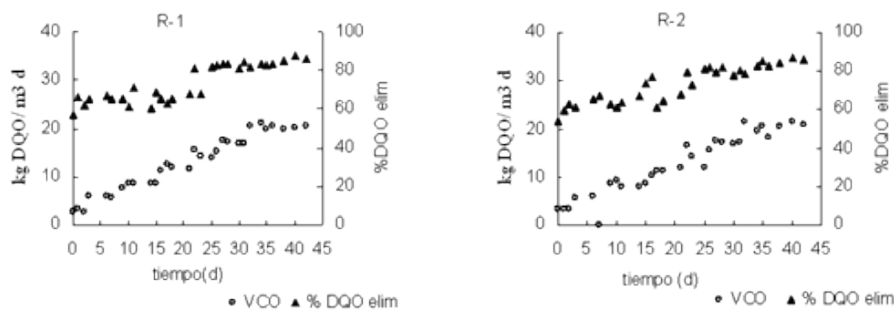


Fig. 4. Comportamiento del porcentaje de eliminación de DQO con el aumento de VCO en el tiempo.

### Producción de biogás

En el estudio de la evolución de la producción de metano (Fig. 5) se observa un constante aumento muy en correspondencia con los incrementos de VCO que se van realizando en cada reactor. Este hecho indica, conjuntamente con la eliminación de DQO, la estabilidad alcanzada por los sistemas en el tiempo.

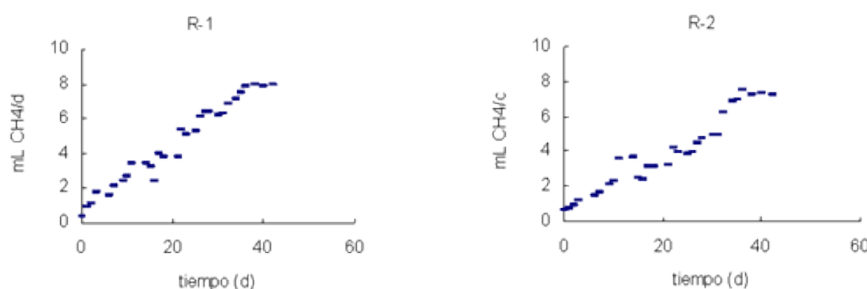


Fig. 5. Comportamiento del flujo de metano en el tiempo.

### Evolución de los compuestos de azufre

El afluente que se analiza se caracteriza por presentar un elevado contenido en sulfato, ya que la concentración media de este compuesto de azufre es de 3 500 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> /L (no se detectan otras especies oxidadas de azufre y la presencia de sulfuro es nula).

La evolución que deben sufrir los compuestos oxidados de azufre en un proceso biológico anaerobio supone la conversión, por parte de las bacterias sulfato-reductoras (BSR), a especies reducidas de azufre, fundamentalmente sulfuro. En función del pH del medio el producto final de este proceso biológico puede ser H<sub>2</sub>S (ac), HS<sup>-</sup> o S<sup>2-</sup>. De acuerdo con los diagramas de equilibrio que existen en literatura para cada una de estas especies [CRC, 1972], el pH al que predominan, a T = 35 °C , es:

- pH < 6,83 H<sub>2</sub>S<sub>(ac)</sub>
- 6,83 < pH < 12,1 HS<sup>-</sup>
- pH > 12,1 S<sup>2-</sup>

por lo que la especie predominante al pH de trabajo es HS<sup>-</sup> . El método analítico que se utiliza para detectar sulfuro supone la transformación de todas las especies en S<sub>2</sub><sup>-</sup> (pH básico). Conocida la concentración total de las tres especies y el diagrama de equilibrio es posible determinar la concentración de cada una de las especies. El sulfuro que se encuentra en disolución, como H<sub>2</sub>S<sub>(ac)</sub>, está en equilibrio (Ley de Henry) con H<sub>2</sub>S<sub>(g)</sub> .

Si el comportamiento del sistema fuera el típico descrito en la bibliografía, se observaría una desaparición casi total del sulfato del afluente, que aparecería como sulfuro en el efluente y H<sub>2</sub>S<sub>(g)</sub> en el biogás. Un balance de materia a estas tres corrientes vendría reflejado en la igualdad siguiente:

$$(\text{mg S-SO}_4^{2-}/\text{d})_{\text{aff}} = (\text{mg S-S}_2^{2-} /\text{d} + \text{mg S-SO}_4^{2-} /\text{d})_{\text{eff}} + (\text{mg S-H}_2\text{ S})_{\text{biogás}} \quad (1)$$

En las condiciones de operación no es de suponer que el azufre que entra en el sistema quede acumulado en el reactor o que existan formas de azufre reducido en el efluente que no se han analizado. No se han determinado microorganismos que acumulan azufre, posible causa de eliminación de azufre.

En las tablas 5 y 6 se han calculado los porcentajes de H<sub>2</sub>S que hay en el gas para los diferentes valores de pH, de acuerdo con el procedimiento ya explicado, y también se reporta el porcentaje experimental de H<sub>2</sub>S en el gas producido en el reactor.

Tabla 5. Porcentaje de H<sub>2</sub>S (g) en el biogás en R-1

t(d)	pHr1	(S-SO <sub>4</sub> 2-)afl. (mg/L)	(S-SO <sub>4</sub> 2-)efl. (mg/L)	% H <sub>2</sub> S <sub>(g)</sub> experimental	% H <sub>2</sub> S <sub>(g)</sub> calculado
1	7,48	28,7		0,016	
3	7,29	55,7			
6	7,2	53,7		0,07	
9	6,75	81	26	0,0102	0,06
15	7,1	82,3			
17	7,21	109	20	0,02	0,56
21	7,2	102			
22	7,21	137,3			
23	7,36	128,3	8,3	0,056	0,89

pHr1 : pH en el reactor (igual al del efluente).

Tabla 6. Porcentaje de H<sub>2</sub>S(g) en el biogás en R-2

t(d)	pHr	(S-SO <sub>4</sub> 2-)afl. (mg/L)	(S-SO <sub>4</sub> 2-)efl. (mg/L)	%H <sub>2</sub> S <sub>(g)</sub> Experimental	% H <sub>2</sub> S <sub>(g)</sub> Calculado
1	7,59	23		0,028	
2	7,43	28,3			
3	7,4	46,3			
6	7,35	47,7		0,017	
9	6,79	65,6	24,3	0,011	0,05
15	7,2	67			
17	7,22	84,6	24,3	0,04	0,13
21	7,19	88,3			
22	7,20	111			
23	7,39	114,3	14,3	0,061	0,58

Como se observa, el valor calculado de porcentaje de H<sub>2</sub>S que debe aparecer en el biogás es mucho mayor que el valor experimental; en el reactor 1 esta diferencia se hace más marcada en el intervalo de velocidad de carga orgánica ( 12 g DQO/Ld) y en el reactor 2, a velocidad de carga orgánica de 15 g DQO/Ld. Esto supone que no todo el sulfato que está desapareciendo de la fase líquida lo hace por reducción de BSR. Parece probable que está ocurriendo el mecanismo propuesto por

Fernández-Polanco y colaboradores [2001], donde interaccionan formas de nitrógeno y de azufre evolucionando hacia forma de azufre distinta de sulfuro y H<sub>2</sub>S (g) en el biogás (sus producciones son menores de las esperadas) que resulta ser, a la vista de los resultados presentados, azufre elemental, de eliminación de sulfato que no se está teniendo en cuenta y que no entraña la formación de sulfuro.

Este hecho resulta de vital importancia, ya que la obtención de sulfuros en concentraciones pequeñas no conlleva a la ocurrencia de los fenómenos tradicionales a los que la literatura hace referencia cuando se está en presencia de un residual con altas concentraciones de sulfatos, como es el caso de las vinazas, las cuales ocasionan la disminución de la eficiencia del proceso anaerobio (inhibición de bacterias formadoras de metano) y problemas de malos olores y de corrosión [Attal, *et al.*, 1992; Sand, *et al.*, 1995; Kitagawa, *et al.*, 1998].

#### **4. Conclusiones**

1. Se comprobó que la zeolita natural cubana puede ser utilizada como material de soporte en RALF; se obtuvieron porcentajes elevados de eliminación de materia orgánica, similares a los que se alcanzan utilizando soportes tradicionales o habituales.

2. El estudio de los RALF utilizando zeolita natural como material de soporte permitió definir que:

- Con el uso de los dos intervalos de diámetro de partícula (0,25- 0,50 mm y 0,50-0,80 mm ) se obtienen resultados similares.

- Se puede trabajar hasta VCO tan altas como de 20 kg DQO/m<sup>3</sup> d, obteniéndose porcentajes de eliminación de DQO de 80 %.

- No hay necesidad de neutralizar el pH del afluente, que era sumamente bajo (4-4,5), pues el sistema se mantuvo alrededor de 7, valor óptimo para la anaerobiosis.

3. La utilización de la tecnología de lecho fluidizado anaerobio con microorganismos inmovilizados en zeolita natural para el tratamiento de residuales de destilerías con alto contenido de sulfatos permite obtener un biogás más limpio con concentraciones de H<sub>2</sub>S (g) mucho menores que las obtenidas utilizando otras tecnologías.

#### **5. Bibliografía**

ATTAL, A.; M. BRIGODIOT, P. CAMACHO Y J. MANEM. «Biological mechanisms of H<sub>2</sub>S formation in sewer pipes». *Wat. Sci. Tech.*, 26, 907-914, 1992.

APHA-AWWA-WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz Santos, S.A., 1992.

COPPOLECCHIA, H. *Cromatografía de gases*. La Habana : Ed. Científico-Técnica, Instituto Cubano del Libro, 1974.

CRC. *Handbook of Chemistry and Physics*. Published by the Chemical Rubber Co., 52nd Edition, 1972.

- FERNÁNDEZ-POLANCO, F.; M. FERNÁNDEZ-POLANCO, N. FERNÁNDEZ, M. URUEÑA, P. GARCÍA Y S. VILLAYERDE. «New process for simultaneous removal of nitrogen and sulfur under anaerobic conditions». *Wat. Res.*, 35 (4), 2001. pp. 1111-1114.
- HENZE, M.; P. HARREMOËS, J. C. JANSEN Y E. ARVIN. Basic biological processes. In: *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. 2 Ed., Springer-Verlag. Berlín, 1996.
- HICKEY, R. F.; W. M. WU, M. C. VEIGA Y R. JONES. «Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems» . *Wat. Sci. Tech.*, 24, 207-255, 1991.
- KITAGAWA, M.; T. OCHI Y S. TANAKA. « Study of hydrogen sulfide generation rate in pressure mains » . *Wat. Sci. Tech.*, 37, 77-85, 1998.
- MÁRQUEZ, E. «Características físico-químicas y comportamiento como medio filtrante de las zeolitas naturales cubanas» . Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Ciudad de La Habana, Cuba, 1999.
- MONTALVO, S. J. Y L. GUERRERO. *Tratamiento anaerobio de residuos*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
- SAND, W.; T. GERKE, R. HALLMANN Y A. SCHIPPERS. «Sulfur Chemistry, Biofilm, and the (In)Direct Attack Mechanism, a Critical Evaluation of Bacterial Leaching». *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 43, 1995. pp. 961-966.

## Uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta en la toma de decisiones en el programa de electrificación rural

## Use of the Geographic Information System (SIG) as a Tool in Decision-Making on the Rural Electrification Program

María Rodríguez G. <sup>1</sup>

Zoila Milet R. <sup>2</sup>

Ernesto Chery <sup>1</sup>

Inaudis Cisnero <sup>1</sup>

Margenis Morel <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de investigaciones de Energía Solar (CIES). Micro 3, Reparto Abel Santamaría, Santiago de Cuba, Cuba. C.P. 90800.

Tel. (53 22) 6671131. Fax y Tel.: (53 22) 671186.

e-mail: gamez@cies.ciges.inf.cu

<sup>2</sup> Comisión Provincial del Fórum de Ciencia y Técnica. Aguilera No. 511 e/ Reloj y San Agustín, Santiago de Cuba.

Tel.: 622885 y 622905.

e-mail: forum@ciges.inf.cu

### Resumen

El Sistema de Información Geográfica (SIG), actualmente es una herramienta necesaria en la toma de decisiones para el programa de electrificación, y en este trabajo se muestra cómo se aplica esta herramienta en la toma de decisiones mediante el conocimiento y manejo de las bases de datos de las poblaciones que se encuentran en estos momentos sin electrificar o con dificultades en las plantas diésel. El SIG brinda información detallada del tipo de energía posible que se debe emplear en estas comunidades y permite realizar un análisis comparativo entre los costos de cada posible sistema que se vaya a emplear, siempre teniendo en cuenta la distancia al sistema electroenergético más cercano.

**Palabras clave:** Sistema de Información Geográfica, electrificación rural, fuentes renovables de energía

### Abstract

The Geographic Information System (SIG) is currently a necessary tool in decision making for the electrification program, this paper shows how this tool is applied on decision making and database handling in populations that are currently without electrification or facing difficulties in diesel plants. SIG provides detailed information on which type of energy should be used in the mentioned communities, enabling to do a comparative analysis of costs in each possible system to be installed, always keeping in mind the neighboring electric system available.

**Keywords:** Geographic Information System, rural electrification, renewable energy sources

## **Introducción**

Superar las barreras del mercado será la llave en el esfuerzo por aumentar la utilización de los recursos renovables. Los subsidios presentes en la energía convencional son un ejemplo de esto. El precio actual de la energía convencional no refleja el costo total para la sociedad. La degradación medioambiental debido a la utilización de la tierra en el ciclo del combustible y las emisiones de la combustión alcanzan costos considerables.

La bioenergía es la energía del quemado de biomasa o un derivado de esta. La biomasa constituye todo material biológico: madera, estiércol, desecho agrícola, y los derivados como el aceite vegetal, el etanol y el gas de la descomposición anaeróbica. El quemado de basura o desechos para propósitos energéticos es incluido asimismo en ese término. El uso más común es directamente en generación de calor, pero la biomasa puede también ser utilizada como combustible en motores o en las turbinas para producir electricidad.

No es necesario un análisis muy riguroso de la realidad de nuestro planeta para darse cuenta de que los niveles de consumo que actualmente se mantienen en los países denominados desarrollados nos llevan a grandes contradicciones. Estos, con el ánimo de crecer económicamente, adoptaron sistemas productivos que inciden sobre nuestro hábitat y por lo tanto sobre los seres humanos. El uso irracional de la energía es otra forma de consumo desmedido que nos lleva a la sobreexplotación de los recursos que nos ofrece la naturaleza. Por eso la sociedad requiere también de una explotación racional de los recursos naturales que no dañen ni amenacen los ecosistemas. En este sentido, discrepancias y soluciones son partidas y metas que exigen el pensamiento y acciones más avanzadas para el análisis consciente del problema energético en el mundo.

En la Cumbre de la Tierra de 1992, en Río de Janeiro, se concretaron los principales consensos internacionales y se estableció el compromiso de avanzar por los caminos del desarrollo sostenible demarcados por la Declaración de Río y la Agenda 21.

Emprender el camino de la reconversión energética hacia energías más limpias presupone un desembolso inicial que no todas las economías pueden asimilar, hecho al que Cuba no es ajena. Sin embargo, nadie duda de que existe una voluntad política, además de condiciones educacionales y culturales excepcionales con respecto al resto del mundo, para romper la dependencia económica y apostar por el desarrollo sostenible, fortalezas que deben ser aprovechadas.

Las medidas de eficiencia energética y el uso de las energías renovables pueden crear nuevas alternativas revolucionarias para la vida y constituir un instrumento para cambiar el futuro de nuestro planeta, pero esta revolución tecnológica será inútil si no hacemos un análisis más crítico de



la realidad económica y política que nos ha llevado a no saber coexistir con todos los seres vivos de la Tierra.

En Cuba se ha trabajado en el levantamiento del potencial de las fuentes renovables de energía, fundamentalmente en las cinco provincias orientales, donde se ha llegado a la conclusión de que el aprovechamiento de éstas no se logrará automáticamente, sino que será el fruto de una sistemática y tenaz acción conjunta de todos impulsada por un amplio movimiento científico, tecnológico y cultural, con el apoyo fundamental de las personas que toman las decisiones, y que además se deben crear las bases para su incremento progresivo y significativo a fin de lograr un balance energético en el país y de cada territorio teniendo en cuenta el factor ambiental. El desarrollo de un modelo de crecimiento de nuevo tipo, armónico, de paz, socialmente justo y ambientalmente equilibrado y sostenible, donde se potencien los procesos cíclicos naturales, los que se identifican con el camino del Sol [Turrini, 1993], el cual sólo puede establecerse por sociedades verdaderamente solidarias.

En este trabajo se brinda una herramienta para el manejo de las bases de datos y se hace un inventario del uso de las energías renovables en cada una de las cinco provincias orientales (Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo); además, se da un conocimiento preliminar para la toma de decisiones; esta herramienta, junto a otros instrumentos, ayudará a comprender y planificar el uso eficiente de las energías renovables, permitirá así que este proceso sea más justo y acertado. Por la vigencia que tiene en la actualidad conocer las potencialidades con que se cuenta, demanda de los asentamientos no electrificados y costo de los sistemas se diseñó el Sistema Gráfico Informativo, para la planificación, toma de decisiones y organización territorial del programa de electrificación rural.

### **Materiales, métodos y procedimientos**

Este trabajo tuvo como antecedente el análisis de las aplicaciones de las energías renovables, como son las minihidroeléctricas y los sistemas fotovoltaicos en el programa de electrificación rural, además de las salidas de las investigaciones realizadas durante el Ejercicio de Planeación Estratégica realizado en el Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica Territorial en los Entornos del 2000, el cual mostró las deficiencias en la estrategia del sector energético. Este resultado contribuye al fortalecimiento de dicha estrategia en la toma de decisiones en el sector energético y es extensible a todo el país.

Se usaron métodos de encuestas y entrevistas que permitieron la confección de los campos que aparecen en el sistema. Se visitaron las provincias y municipios involucrados en el estudio. Se usaron los siguientes equipamientos y materiales para la realización de las actividades de campo, donde se comprobaron las tecnologías instaladas y sus deficiencias.

- Computadora Pentium IV con los software Office (herramientas Excel y Access), para la elaboración de las tablas, hojas de cálculo y software para manejo de bases de datos.
- El software MapInfo versión 6.5, para la preparación de la información georreferenciada.
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que permite determinar la longitud y latitud de las comunidades.
- Sensor ultrasónico CK-1 para medir la distancia dentro de las casas que ya tienen sistemas instalados y los no electrificados para su diseño.
- Jukon 3287, que mide la potencia de trabajo de los equipos instalados en comunidades con plantas diésel.
- Multímetro digital 733 02, que mide la corriente de los equipos instalados en las comunidades
- Luxímetro 510 01, con el que se mide la intensidad de luz de los dispositivos fluorescentes en los sistemas fotovoltaicos.
- Fuente reguladora de voltaje (DC) PDS 20-18, que mide los puntos de corriente y voltaje para la confección de la curva I-V de los paneles en campo.
- Cámara digital y vídeo para la toma de fotos e imágenes de algunas instalaciones visitadas.
- Se utilizaron otros accesorios, como son: extensión de corriente, semicírculo, densímetro, etcétera.

La información fue georreferenciada en el software Mapinfo 6.5, que permite ubicar al usuario en la zona que se esté analizando. Se diseñó una base de datos que actualiza automáticamente con hipervínculos la base de Mapinfo. Con la herramienta de Excel se confeccionaron las tablas y se introdujeron los datos que permitieron realizar los cálculos de forma automatizada y con rapidez, además de realizar la homologación de la información y los cálculo de la demanda energética de las comunidades que no están electrificadas y en algunos casos las que tienen plantas diésel, además de calcular el costo de la electrificación de las comunidades usando sistemas fotovoltaicos individuales.

Para el cálculo de la demanda de potencia estimada y cálculo del costo de los sistemas se creó una guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural que se nutrió de las encuestas realizadas. Se desarrolló una comunidad modelo basada en el estudio de campo y datos estadísticos en comunidades que usan generadores diésel para determinar la demanda de potencia y efectuar una propuesta de costo de los sistemas.

### **Análisis y discusión de los resultados**

El Sistema de Información Geográfico de Fuentes Renovables de Energía tiene como base elemental los datos poblacionales organizados hasta nivel de comunidad, fuente fundamental para el desarrollo sostenible de las zonas montañosas y el nivel de aplicación de estas energías en las áreas priorizadas; está soportado en el software MapInfo 6.5, en el que se muestran los mapas de las provincias con toda la información recopilada y georreferenciada en escala 1:250 000, el usado

en la provincia Santiago de Cuba fue obtenido por el Instituto de Planificación Física y otros fueron donados por diversas instituciones.

El Sistema Gráfico Informativo de Fuentes Renovables de Energía (SGIFRE) que se presenta muestra la información del uso de las energías renovables, además de las plantas diésel en las tres provincias que integran el macizo montañoso (Santiago de Cuba, Granma y Guantánamo), y las provincias Las Tunas y Holguín. Las tres primeras muestran el menor nivel de electrificación debido a que muchas comunidades se encuentran ubicadas en lugares remotos y en ocasiones de difícil acceso, donde vive gran cantidad de personas que requieren de la energía para su desarrollo. En este Sistema Gráfico Informativo (SGI) se tiene en cuenta el inventario poblacional de las provincias como base primaria para el inventario de las energías renovables.

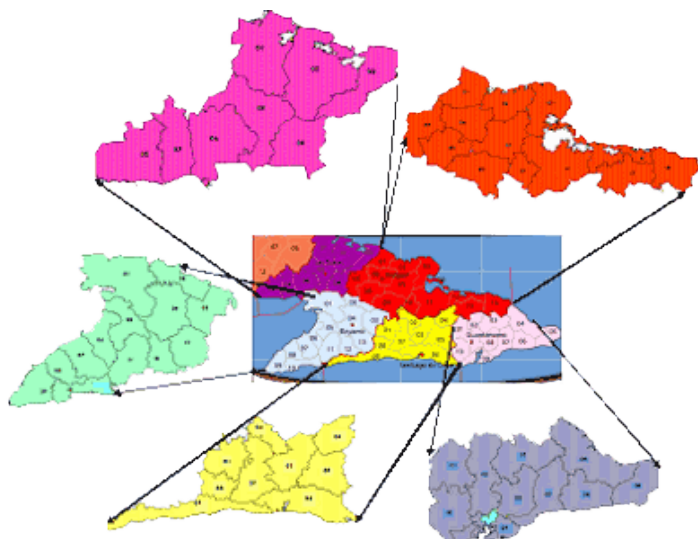
En el SGI se muestra el inventario actual de las aplicaciones de las fuentes renovables y el estado del arte tecnológico que pueden, en una primera etapa, fortalecer el desarrollo rural y con posterioridad inclinar la balanza hacia el uso de las energías renovables en el balance energético territorial.

Este trabajo fue potenciado por el «Ejercicio de Planeación Estratégica» realizado en el «Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica Territorial en los Entornos del 2000», realizado entre 1996 y 1997, con salidas principales de dirección estratégica para el sector energético.

La ejecución del proyecto «Sistema Gráfico Informativo de Fuentes Renovables de Energía», perteneciente al Programa Nacional de Ciencia y Técnica «Desarrollo Energético Sostenible», cuya materialización se tiene en las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba, Granma, Las Tunas y Holguín, constituye un elemento decisivo para la planificación energética en las áreas rurales partiendo de tres niveles: el nivel provincial, el municipal y el de comunidades.

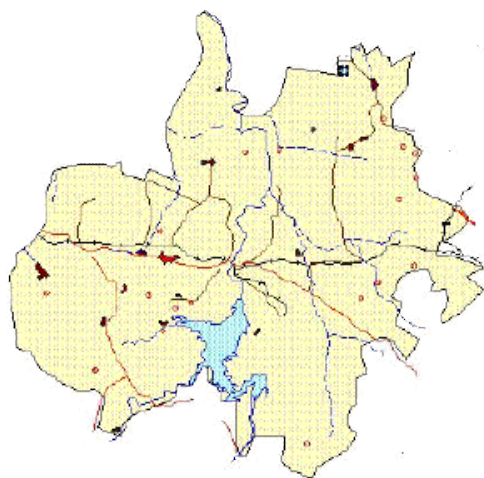
El SGIFRE diseñado permite, mediante una base de datos, tener información de las cinco provincias orientales en cuanto a la aplicación actual de las fuentes renovables de energía; se presenta como provincia modelo a Santiago de Cuba, donde están registrados los asentamientos poblacionales oficiales por el Instituto de Planificación Física. De estos asentamientos se agruparon los que usan distintas fuentes y los que no están electrificados.

En la figura 1 se muestra cómo quedó estructurado el sistema. Se puede observar la división político-administrativa de las provincias con sus códigos oficiales, lo que ayudó a la preparación de todas las bases de datos de las provincias hasta nivel de municipio con su código de identificación, además de un software en Access que permite la actualización de su base de datos y su vinculación con software profesionales.



*Fig. 1. Estructura del SGIFRE.*

El sistema ayuda a lograr el ordenamiento territorial, y la explotación óptima de las FRE utilizando el potencial disponible, permite poder realizar estudios de factibilidad para la electrificación de comunidades que se encuentran en lugares remotos de difícil acceso y para la toma de decisiones, por lo que es necesario tener la distribución de las comunidades. En la figura 2 se expone la distribución de las comunidades que se encuentran sin electrificar en uno de los municipios montañosos de Santiago de Cuba; el ejemplo que se muestra es el mapa de un municipio con código oficial 03, en el cual se hallan señaladas las comunidades que aplican fuentes renovables o no están electrificadas, de esa forma puede hacerse para cualquier municipio de las provincias estudiadas.



*Fig. 2. Mapa de las comunidades sin electrificar de un municipio.*

Esta estructura y objetivos son los que rigen el sistema de información en las cinco provincias orientales; con el diseño del SGI se prepararon las bases de datos. Se escogió a Santiago de Cuba como provincia piloto, y para la elaboración del SGI se concibió que se nutriera de la información que se brinda desde el nivel de comunidad, donde se deben realizar los estudios para la planificación. Se comenzó con la información oficial que brinda el Instituto de Planificación Física (IPF) y búsqueda de datos por los organismos que integran el desarrollo del programa de electrificación rural.

### Herramienta para la integración de las bases de datos

Se diseñó una base de datos en Access para la actualización de los datos que se pueden vincular automáticamente a cualquier software profesional, y en el diagrama de bloque que se muestra en la figura 3, la secuencia para el manejo de la información.

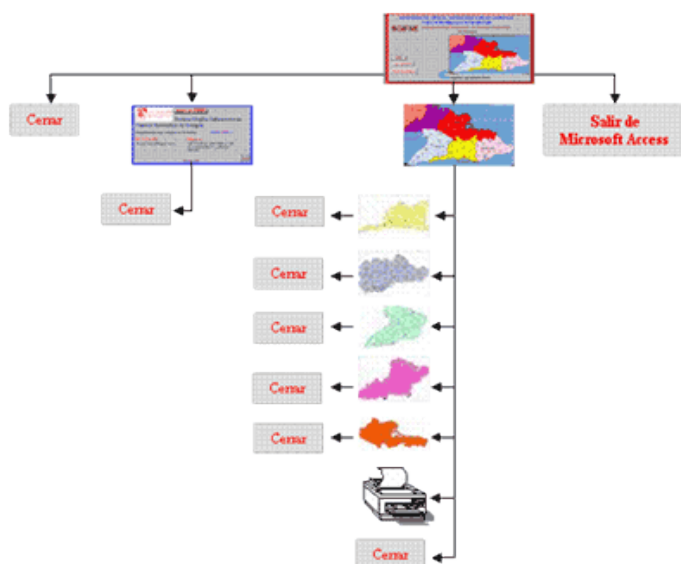


Fig. 3. Diagrama de flujo del software.

En la figura 4 se muestra el formato de las tablas donde aparecen las informaciones que están georreferenciadas en las diferentes capas y que pueden ser impresas según el interés del usuario, ya sea por municipio o por provincia. Todos los datos mostrados han sido recopilados por el grupo de trabajo y las instituciones cooperantes en todas las provincias donde se realizó el estudio; es posible que no esté todo lo que se ha realizado en las provincias referentes a las fuentes planteadas, pero la importancia de este sistema es lograr su actualización.

Código	CLH	NombreAsent	ConsPopular	Topografía	Poblac	viviendas	Categoría	TipodeElect
7	259	Jabuco Cuatro	Carmelite	Llano	69	16	Casero	NO
7	258	Jabuco Dos	Carmelite	Llano	128	46	Casero	NO
7	303	Mayito	Candonga	Llano	83	25	Casero	NO
7	326	La Perla	Candonga	Llano	114	37	Casero	PTA
7	229	Faxas	Dos Ríos	Llano	77	27	Casero	NO
7	145	Calderon Uno	Candonga	Llano	107	28	Casero	Na
1	143	Cuatro de Orie	Xavier los Pasc	Llano	82	23	Casero	NO
1	278	Pozo Blanco	La Venta	Llano	220	61	Casero	NO
1	117	Los Bungos	Venta de Casa	Llano	77	22	Casero	NO
1	150	La Faja	Laguna Blanca	Llano	150	40	Casero	Na
1	286	Castro Camino	Laguna Blanca	Llano	112	34	Casero	NO
1	292	La Alegria CPA	Laguna Blanca	Llano	57	18	Casero	NO
1	201	Nolasco	Salsa de Guan	Llano	62	20	Casero	NO
1	111	Bamba de Carr	La Torcaza	Montañoso	45	12	Casero	NO
1	130	Tilita	La Torcaza	Montañoso	141	40	Casero	PTA
1	206	Paso seco	Maffo	Montañoso	97	26	Casero	NO
1	210	Pa Pedrera	Los Negros	Montañoso	210	55	Poblado Rural	NO
1	182	La Uana	Los Negros	Montañoso	81	24	Casero	NO
1	101	La Aguada	Los Negros	Montañoso	53	19	Casero	NO
1	295	CPA "26 de Ju	Maffo	Llano	83	22	Casero	NO
1	136	Anacahuita	Pueblo Nuevo	Llano	328	83	Poblado Rural	NO
1	140	Cruce de Rato	Xavier los Pasc	Llano	82	23	Casero	NO
1	174	Jagüey de Bair	Pueblo Nuevo	Llano	24	8	Casero	NO
1	296	El Cedro	Baire	Llano	58	13	Casero	NO
1	218	El Progreso	Baire	Inaa	112	30	Casero	NO
1	276	Guayacanes	Ruta Martiana	Llano	68	1	Casero	NO
8	172	Manajitas	Comecara	Montañoso	42	17	Casero	PTA
7	457	Calderon	Candonga	Llano	148	38	Casero	NO
7	375	San Francisco	La Aduana	Llano	138	35	Casero	NO
7	104	Monte La Gloria	Candonga	Llano	79	19	Casero	NO

Fig. 4. Parte de la información georreferenciada aparece en la tabla.

Esta información se encuentra en el mapa integrado de las cinco provincias, como se observa en la figura 5, donde aparecen las comunidades georreferenciadas ya en un software profesional.

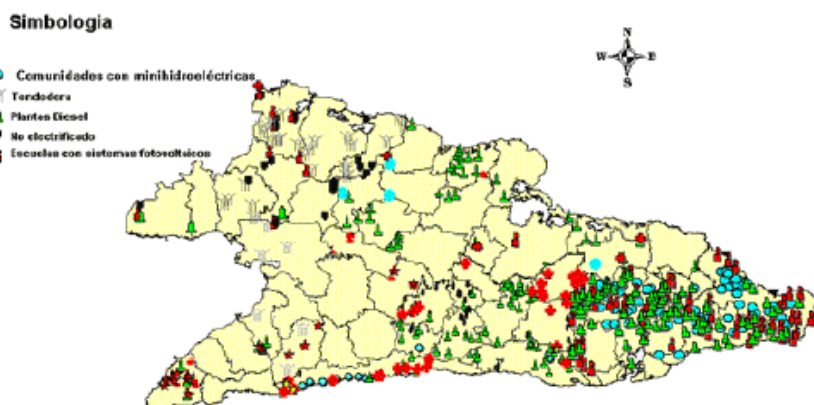


Fig. 5. Información que se puede observar en el mapa de cada provincia.

A partir de la información aportada, fundamentalmente por las dependencias de la subdirección energética de las provincias, se comenzó el diseño de la información que debía aparecer georreferenciada. Se contó con información clara y se calculó la demanda energética de las comunidades no electrificadas y de las que tienen plantas diésel, partiendo del estudio de campo y aplicando la guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural [Guía..., 2002]. Esta guía de recomendaciones ayuda a conocer cuánto es la demanda para cualquier comunidad conociendo el

número de viviendas, además de los cálculos económicos comparativos con todos los sistemas que pueden emplearse para la electrificación con fuentes renovables de energía.

Las bases de datos se muestran por provincia hasta nivel de comunidad con sus potencialidades. Los datos registrados son: código de provincia (Código Prov), código de municipio (Código), código de lugar habitado (CHL), nombre de los asentamientos (NombreAsent), Consejo Popular (ConsPopular), topografía, población (Poblac), viviendas, categoría, tipo de electrificación (TipodeElec), potencia instalada de las plantas diésel (PotPTA), potencia instalada de las minihidroeléctricas (PotMini), escuelas fotovoltaicas (EscFV), salas de TV (SalaTV), consultorios médicos de la familia (CMFFV), círculos sociales (CSFV), potencia instalada de los sistemas fotovoltaicos (PotFV), tipo de biomasa (TipoBiomasa), despulpadora, demanda en kilowatt (DemandakW), costo en USD (CostoUSD), distancia al SEN (DistanciaSEN), biogás, longitud y latitud.

## **Conclusiones**

1. Se obtuvo una interfase gráfica que permite la localización y actualización de datos, para el planeamiento energético en comunidades rurales no conectadas al SEN, a partir de una base elaborada con información detallada de las zonas de interés.
2. Esta interfase posibilita integrar toda la información referente al uso y aplicación de las fuentes renovables de energía de las provincias en estudio en una sola base de datos y puede ser generalizado al país, estructurado hasta nivel de comunidad.
3. Se confeccionó una base de datos con información detallada de todos los asentamientos poblacionales de las provincias, especificando con qué tipo de fuente está electrificado; y en aquellas no electrificadas se realizó el cálculo de la demanda y costo de los sistemas si se fueran a implementar sistemas fotovoltaicos de corriente alterna.

## **Bibliografía**

- CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ENERGÍA SOLAR (CIES). *Guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural*. Informe de Colaboración Internacional de JICA. 2002.
- Contacto UNCED, La Cumbre de la Tierra, La Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, OREALC. Santiago de Chile: junio de 1992.
- Planificación energética. Evaluación sinóptica de la relevancia ambiental*. Humanity Development Library/gsd/html/env/envsp/vol 116.htm. Diciembre 1999.
- TURRINI, ENRICO. *O caminho do sol, o uso da energia solar*. Brasil: Vozes Ltda., Petrópolis, julio de 1993.

## **Desarrollo y aplicación de una metodología para la gestión energética en frigoríficos**

### **Development and Application of a Methodology for Energy Management on Cold Chambers**

*Ing. Julio Vaillant Rebollar y Dr. Guillermo Quesada Ramos  
Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), del  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE).  
Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao, Ciudad de La Habana , Cuba.  
Tel.: (537) 2663637  
e-mail: jvaillant@ceter.cujae.edu.cu y gquesada@ceter.cujae.edu.cu*

#### **Resumen**

El trabajo propone una metodología para la gestión energética en frigoríficos que contribuya a determinar los posibles potenciales de ahorro y la forma de cuantificarlos, con la finalidad de recomendar medidas que contribuyan con el ahorro energético, así como la propuesta de un sistema interno de administración y manejo de todos los datos relacionados con la energía, que permita no solamente medir y recolectar datos, sino también evaluar las informaciones obtenidas, deducir acciones necesarias y actuar adecuadamente. Se realizaron análisis de la operación de la instalación y del comportamiento de los consumos históricos del frigorífico y la defectación y la estimación de la carga térmica de la instalación, y además se determinaron los potenciales de ahorro y el costo de la producción de frío del frigorífico. Con la proposición de instrumentos de control energético, que permiten la transparencia de los consumos energéticos de la entidad en pos de la buena seguridad de planificación de los consumos y costos absolutos, en dependencia de la producción de frío presupuestada o servicios previstos para un determinado tiempo, se propone un conjunto de herramientas de control, regulación y seguimiento del funcionamiento empresarial; todo con el objetivo de lograr una gestión energética satisfactoria.

**Palabras clave:** Gestión energética, frigorífico, ahorro de energía.

#### **Abstract**

This paper proposes a methodology for energy management in Cold Storage Plants which may contribute to determine the possible saving potentials and the way to estimate them, aimed at recommending actions led to energy saving, and also provides the proposal of an internal management system and data handling on energy, enabling not only to measure and collect data, but also to evaluate the information gathered, think of necessary actions to be taken and implement them accordingly. Operation analyses were made on the installation, consumption records of the cold-chambers, defect records and thermal load estimation of the installation. Saving potentials and low temperature



production cost in Cold Storage Plants were also determined. With the proposition of a number of energy control tools that enable the transparency of energy consumptions of a given organization in pursuit of planning of consumption and absolute costs, depending on budgeted cold production or programmed services for a given period of time, it is proposed a set of tools of control, regulation and follow-up of enterprise performance all aimed at attaining a satisfactory energy management.

**Keywords:** Energy management, refrigeration chambers, energy saving

## **Introducción**

En la actualidad han surgido nuevas técnicas que permiten un mejor uso de las fuentes renovables de energía y que fomentan un camino que respeta los ciclos biológicos de la naturaleza. No obstante, como estas nuevas técnicas aún no han consolidado su implantación y generalización, un camino certero y necesario hasta que prevalezca su uso lo constituye velar por un aprovechamiento eficiente y racional de la energía obtenida de los combustibles tradicionales, conjugándose la necesidad de su sustitución y las acciones, tanto internacionales como nacionales, hacia el cambio de la política energética, con el fin de reducir la contaminación ambiental y a su vez garantizar el desarrollo tecnológico, económico, político y social de las naciones de nuestro planeta.

El uso eficiente de la energía consiste en la disminución del consumo energético en los distintos procesos de producción, transporte, transformación y uso finales que realizan en todas las actividades de un país, sin que las medidas implementadas impliquen un deterioro de los niveles de productividad o en la calidad de vida del consumidor.

La empresa analizada responde al Ministerio de la Industria Pesquera de Cuba.

Esta empresa, ubicada en el puerto pesquero de La Habana, está formada por tres frigoríficos, los cuales emplean como refrigerante al amoníaco. Estos almacenes, por su amplio uso, se consideran grandes consumidores de energía, siendo la disminución de estos consumos la tarea fundamental del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba.

## **1. Metodología para la realización de proyectos de gestión energética en frigoríficos de conservación de productos congelados**

El objetivo primario de la gestión de energía será en todo momento una reducción de los costos ocasionados por el consumo de energía de la instalación y también se persiguen los siguientes objetivos secundarios no menos importantes:

- Aumentar la capacidad de reaccionar a alteraciones e irregularidades en el sistema energético de la instalación.
- Aumentar la capacidad de coordinación interna de la entidad.
- Identificar aspectos por mejorar, tanto técnicos como estructurales y de organización.

- Aumentar la transparencia del desarrollo de la demanda de energía, especialmente en relación con las medidas de mejoramiento tomadas.
- Aumentar la capacidad de adaptación a los cambios del entorno político-económico y energético de la instalación.

#### *Tarea I. Análisis preliminar de la situación energética de la instalación*

Actividades:

1. Formular y divulgar la política energética de la instalación.
2. Determinar la distribución de los consumos de los portadores energéticos y de los costos ocasionados en las diferentes secciones de la instalación, identificando los consumidores más importantes.
3. Analizar el entorno político económico y energético de la instalación.
4. Realizar análisis de la operación de la instalación (dinámica).
5. Fijar los sectores y los límites para establecer balances energéticos.

#### *Tarea II. Realizar análisis energético global de la instalación*

Objetivos:

- Conocer los datos generales del consumo de portadores energéticos y su desarrollo sobre los últimos años, así como del perfil de la demanda de energía.
- Conocer y evaluar los contratos y las tarifas de suministro de portadores energéticos.
- Definir las áreas a analizarse con más profundidad.

Actividades:

1. Registrar los consumos mensuales de todos los energéticos empleados en los últimos tres a cinco años, analizando las facturas.
2. Evaluar los datos de energía que son registrados periódicamente por la administración de la instalación comparando los últimos 3 a 5 años.
3. Evaluar las condiciones tarifarias y de suministro de los diferentes portadores energéticos. En primer lugar, evaluar las tarifas eléctricas con respecto a la potencia máxima contratada y los horarios.
4. Registrar los consumos de energía (principalmente energía eléctrica) de las principales líneas de distribución por medio de mediciones.
5. Estimar el consumo de energía anual de los principales consumidores y hacer una evaluación (midiendo el consumo instantáneo y estimando las horas de operación de los equipos por año).
6. Evaluar los procesos de calentamiento y enfriamiento (intercambio de energía) dentro de la instalación, registrando también las masas, los valores caloríficos y las temperaturas de los flujos.

#### *Tarea III. Realizar análisis energético detallado*

Objetivos:

- Complementar las informaciones acerca del sistema energético de la instalación.
- Conocer la eficiencia de los sistemas de mayor importancia energética para la instalación.
- Identificar y cuantificar los potenciales de mejoramiento en el sistema energético.

Actividades:

1. Realizar diagnóstico energético definiendo la irregularidades fundamentales.
2. Realizar análisis termodinámicos o balances energéticos para los sistemas energéticamente importantes, con vistas a evaluar la eficiencia de los procesos.
3. Llevar a cabo análisis técnicos, comparando los sistemas con la tecnología de punta, los procesos alternativos y los estándares sectoriales.
4. Fijar metas y objetivos energéticos.
5. Proponer un programa de medidas a partir de la cuantificación de los potenciales de ahorro.

*Tarea IV. Análisis del sistema de información y procesamiento de los datos energéticos*

Actividades:

1. Realizar análisis del déficit o exceso de información y determinar la existencia de áreas o personas aisladas de la comunicación.
2. Identificar y jerarquizar qué informaciones se demandan, y con qué frecuencia, integridad, consistencia y claridad (calidad).
3. Determinar la cantidad y la calidad de los datos a registrarse (sus dimensiones, los intervalos y las tolerancias).
4. Corregir los puntos débiles de los sistemas existentes de medición y registro de datos.
5. Generar números característicos e indicadores de eficiencia energética y evaluar el comportamiento de la instalación comparándola con estándares nacionales e internacionales.
6. Adaptar continuamente el sistema de medición y registro y sus instrumentos a las necesidades del control energético de la instalación.

*Tarea V. Diseño del sistema de control energético.*

Actividades:

1. Realizar análisis de la automatización de la instalación.
2. Determinar los datos necesarios para la planificación y el manejo de la demanda de energéticos y de los proyectos relacionados.
3. Determinar la información necesaria para las decisiones institucionales relacionadas con el sistema energético.
4. Integrar todas las funciones de registro, administración de datos, análisis de datos, fijación de metas, concepción y planificación de medidas reguladoras.
5. Identificar las posibles irregularidades que influyen el sistema energético de la instalación.
6. Analizar, comparar y evaluar datos e indicadores de eficiencia energética.
7. Aplicar métodos matemáticos y técnicas informáticas para el desarrollo de sistemas de administración energética.
8. Realizar la modelación estadística y matemática del sistema energético.

9. Realizar la planificación y el presupuesto del consumo energético.
10. Controlar al final de los períodos si se ha logrado quedar dentro del presupuesto.

## **2. Aplicación de la metodología en los frigoríficos del puerto pesquero de La Habana**

El diagnóstico energético efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia / deficiencia que tiene una instalación frigorífica; tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta: ¿Cómo, dónde y cuánta energía es empleada o desperdiciada? Además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Entre los objetivos fundamentales del diagnóstico energético se encuentran:

### *Aplicación de la metodología*

- Establecer metas de ahorro de energía.
- Diseñar y aplicar un sistema integral para el ahorro de energía.
- Evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación de energía.
- Disminuir el consumo de energía sin afectar la producción.

En el trabajo se presentan análisis realizados en los frigoríficos 1, 2 y 3 indistintamente de forma representativa.

### **2.1. Características generales de la empresa**

La empresa (TERREF) cuenta con tres frigoríficos con las siguientes capacidades:

Frigorífico No. 1: 15 000 toneladas de productos

Frigorífico No. 2: 5 000 toneladas de productos

Frigorífico No. 3: 5 000 toneladas de productos

En ellos se almacenan diversos productos, tales como pollo, mortadela, hígado de res, pavo, pescado, mantequilla, bacón, hígado de cerdo, carne de cerdo, carne de res y salchichón.

#### **Características del frigorífico No. 1**

Se presenta sólo el análisis del frigorífico No 1, el cual es de tipo edificio de un piso y consta de nueve cámaras. La altura interior de las cámaras es variable; presenta tres niveles con 24 filas de raque. La temperatura para el mantenimiento del congelado es de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El refrigerante utilizado en la instalación es amoníaco ( $\text{NH}_3$ ); el sistema de enfriamiento es mediante circulación de líquido a baja presión. En las cámaras el sistema de circulación de aire frío se realiza a través de difusores unificados de tipo colocado en el piso; la distribución de aire

en las cámaras será por el sistema de doble techo, que realizará las funciones de conductos y con salidas de aire distribuidas en las cámaras para que garantice una buena distribución de aire (Tabla 1).

Tabla. 1. Distribución de aire en las cámaras

Cámaras	Volumen (m <sup>3</sup> )	Capacidad (palets)
7	7 474	1 324
8, 9, 12, 13	7 983	1 512
10, 11, 14	7 983	1 512
15	9 205	1 575
Totales	72 560	13 483

## 2.2. Análisis y defectación del frigorífico

Está diseñado y actualmente trabaja con un sistema de refrigeración de simple etapa y debe operar teóricamente con una temperatura de ebullición de  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  y temperatura de condensación de  $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cuenta con nueve cámaras, ocho de ellas de mantenimiento de productos congelados a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una de conservación de productos frescos  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Análisis de temperaturas en cámaras

Seguidamente, se representan gráficos donde aparece el comportamiento de la temperatura en algunas cámaras durante un mes (Figs. 1 y 2).

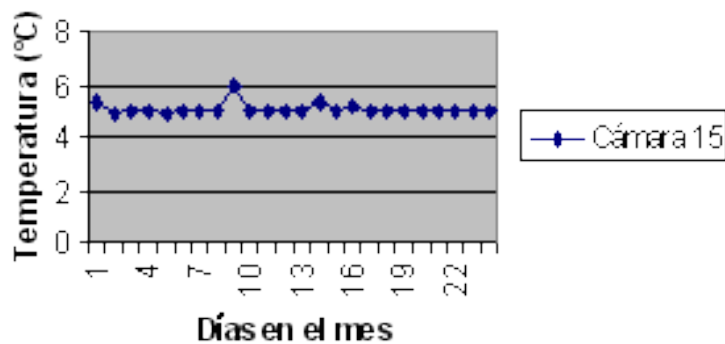


Fig. 1. Temperatura en cámara.

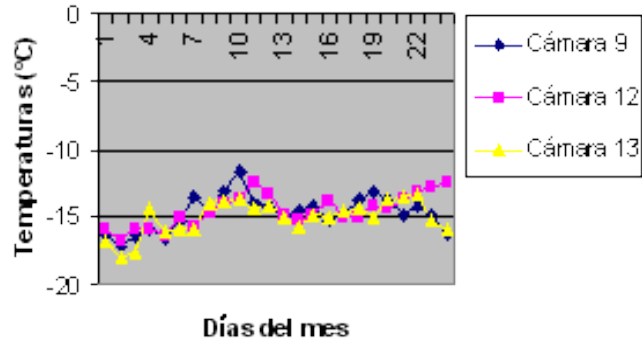


Fig. 2. Temperatura en cámaras.

Como puede observarse, las cámaras de mantenimiento de productos congelados no alcanzan la temperatura de diseño y sólo la de conservación de productos frescos la logra.

Las enfriadoras presentan desescarche por gas caliente, pero debido a deficiencias existentes en la válvula de succión principal, éste se realiza con agua.

La instalación debe tener cinco compresores instalados, tres de ellos deben garantizar la temperatura deseada de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  en las cámaras de la siete a la catorce, y otro para garantizar  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la cámara quince y  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en las antecámaras; pero sólo están instalados tres, trabajando para las nueve cámaras sin funcionar las antecámaras.

Para el enfriamiento del compresor se emplea una bomba de circulación de aceite por la carcasa.

La instalación se diseñó con siete condensadores, hay instalados cinco de tipo vertical y se encuentran trabajando tres. Está diseñada para cinco torres de enfriamiento, de ellas dos están trabajando, dos están fuera de servicio porque no han sido instaladas y una no existe.

Se diseñó con tres recibidores de baja presión, dos de ellos para enviar el líquido refrigerante a las cámaras de la siete a la catorce, y el otro para la cámara quince y antecámaras; actualmente sólo hay instalado uno y se encuentra otro en proceso de instalación.

Cada cámara cuenta con dos difusores y la distribución de los ventiladores por ella depende del área de enfriamiento.

#### *Condensadores*

Se comprobó que existe una subutilización de la superficie de condensación, ya que el área de condensación instalada es mucho mayor que la necesaria, para las condiciones de explotación actual.

#### *Torres de enfriamiento*

Se determinó que existe un déficit de agua estimado en  $14,97\text{ L/s}$ . El

calor de condensación supera al valor rechazado al agua; todo ello provoca temperaturas de condensación por encima de los valores recomendados, sólo compensado por la gran superficie de condensadores que hay instalada.

Con respecto al trabajo de las torres de enfriamiento (dos unidades) se puede caracterizar con índices de muy baja efectividad (47 %) y con una diferencia de temperatura aceptable ( 2,7 °C ), aunque no con su valor óptimo ( 3 °C ).

### 2.3. Análisis de los portadores energéticos

Energía eléctrica que representa 91,12 % de los gastos totales.

- Combustible que representa 8,14 % de los gastos totales.
- Agua que representa sólo 0,001% de los gastos totales.

Se puede apreciar que de estos portadores energéticos el mayor porcentaje del consumo lo presenta la energía eléctrica; por ello es necesario realizar un seguimiento del comportamiento de este portador con mayor detenimiento, para lo cual se realizaron balances de masa y energía a través de estimación de la carga térmica y otros procedimientos termodinámicos.

### 3. Resumen de la estimación de carga térmica

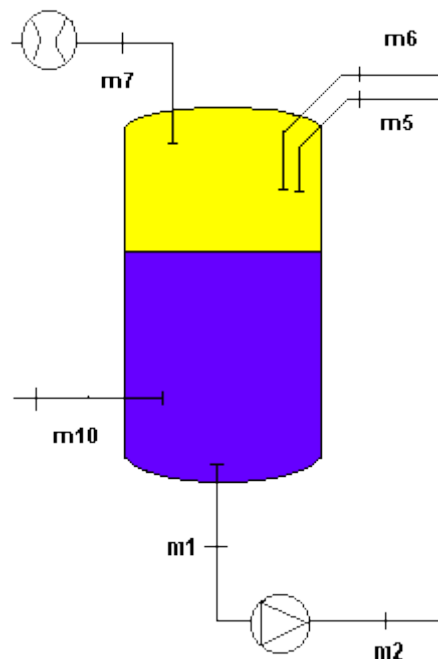


Fig. 3. Diferentes masas de refrigerantes.

Tabla 2. Estimación de carga térmica

Cámaras	Qc (kcal/h)	m <sub>evap</sub> (kg/h)
7	29,24	276,02
8	26,68	253,96
9	25,29	251,9
10	25,29	251,9
11	25,29	251,9
12	25,29	251,9
13	26,68	253,96
14	26,51	264,46
15	27,71	254,6

$$m_7 h_7 + m_1 * h_1 = m_6 * h_6 + m_5 * h_5 + m_{10} * h_{10}$$

$$m_7 = m_{10} = m$$

$$m_1 = m_6 + m_5$$

$$m * (h_7 - h_{10}) = m_6 * h_6 + m_5 * h_5 + m_{10} * h_{10} - m_1 * h_1$$

$$m = \frac{m_6 * h_6 + m_5 * h_5 - m_1 * h_1}{h_7 - h_{10}}$$

Donde:

$m_1$ : Masa total de refrigerante que pasa a los evaporadores [kg/h].

$m_6$ : Flujo másico de refrigerante que pasa por el evaporador de la cámara 15 [kg/h].

$m_5$ : Flujo másico de refrigerante que pasa por los evaporadores de las cámaras que están a  $-20$  °C [kg/h].

$m_7$ : Flujo másico de refrigerante que succionan los compresores [kg/h].

$m_{10}$ : Flujo másico de refrigerante que se envía del recibidor lineal al recibidor de baja [kg/h].

Para el cálculo de masa que pasa por cada evaporador se hizo uso de la siguiente ecuación, teniendo en cuenta la carga térmica de cada cámara (Tablas 3 y 4):

$$m_{evap} = \frac{Qc}{\Delta h_{evap}} \text{ [kg/h]}$$



Donde:

$Q_c$ : Carga térmica de la cámara [kcal/h]

$\Delta h_{evap}$ : Variación de entalpía del evaporador  $\left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{K}} \right]$

$\dot{m}_{evap}$ : Flujo másico de refrigerante que pasa por la cámara [kg/h].

$$\dot{m} = \frac{2310,6 * 415,27 - 2310,6 * 83,53}{(417,42 - 162,29)}$$

$$\dot{m} = 3004,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Cálculo del flujo másico real de los compresores:

$$\dot{m}_{comp} = \frac{V_D * \lambda}{V_1} \quad [\text{kg/h}]$$

Tabla. 3. Flujo de refrigerante con el que operan los compresores

Compresor	$\lambda$ ( $P_k/P_0 = 14$ )	$V_D$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$V_1$ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	$\dot{m}_{comp}$ (kg/h)
1	0,75	1450	1,1058	983,3
2	0,75	1145	1,1058	776,5
4	0,75	1145	1,1058	776,5
S				2 537

Tabla. 4. Resultados de los cálculos

Flujo de amoníaco real (kg/h)	2 537
Cantidad de compresores trabajando.	3
Flujo de amoníaco necesario (kg/h)	3 004,42
Déficit de amoníaco para condiciones requeridas (kg/h)	467,42
Cantidad de compresores que se necesitan trabajando.	4
Flujo de refrigerante de los compresores que se necesitan (kg/h)	3 106,36

#### 4. Cuantificación de los potenciales de ahorro

La técnica frigorífica tiene como tarea garantizar la creación de las condiciones óptimas, con pérdidas cualitativas y cuantitativas mínimas del producto a expedir y gastos mínimos de energía y otros recursos materiales. La correcta utilización de las fuentes energéticas disponibles adquiere particular importancia por el creciente costo de la energía.

##### 4.1. Comprobación de la superficie de condensación

Debido a la alta temperatura de condensación existente en la instalación actualmente, se procede a la comprobación del área de condensación de los condensadores para las condiciones de explotación. Cálculo de la superficie de intercambio térmico necesaria.

Según los cálculos la superficie necesaria de condensación es de 286,05 m<sup>2</sup> para un calor de condensación de 992,16 kW. Se tienen instalados 750 m<sup>2</sup> de superficie, a lo que corresponde un calor de condensación de 2162,7 kW.

Los resultados de los cálculos demuestran que existe una subutilización de la superficie de condensación; esto se debe a que no está completo el equipamiento para el cual está diseñada la instalación. Con dos condensadores es suficiente para absorber el calor del amoníaco que necesitan los parámetros actuales de explotación.

Se determinó, además, el calor absorbido por el agua, el flujo de agua real que circula por las bombas y el flujo de agua necesario para conocer el déficit de agua según las condiciones actuales de explotación. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los cálculos

Flujo de agua	L/s	86,98
Diferencia de temperatura	0C	2,7
Calor promedio absorbido por el agua	kW	984
Demanda promedio de calor de condensación	kW	1245,43
Flujo de agua necesario para $\Delta T = 3^{\circ} C$	L/s	101,95
Déficit de agua según las condiciones de operación	L/s	14,97

##### *Sobreconsumo debido a la energía que el agua deja de absorber*

En el cálculo de los condensadores se determina el calor de condensación que se necesitaba absorber; en este epígrafe se calcula además el calor real que es capaz de absorber el agua en estos momentos; con la diferencia entre esos dos calores se puede determinar numéricamente el sobreconsumo que éste representa.

En el cálculo se obtuvo un sobreconsumo de 12,32 kW..Este sobreconsumo en 20 horas de trabajo de los compresores multiplicado por la tarifa horaria en USD representa 12,32 \$/día; 369,6 \$/mes y 4 435,2 \$/año.

En las condiciones actuales de operación del frigorífico existe un déficit de agua que se estima en 14,97 L/s. El calor de condensación supera el valor rechazado al agua, siendo el flujo de agua y las condiciones deficientes de intercambio de calor, producto de las condiciones de trabajo del sistema de tratamiento de agua y de la cantidad de agua en circulación. Todo ello provoca temperaturas de condensación por encima de los valores recomendados sólo compensado por la gran superficie de los condensadores que hay instalada.

Con respecto al trabajo de las torres de enfriamiento (dos unidades) se puede caracterizar con índices de muy baja efectividad para el tipo y consumo de energía que se ha registrado y con una diferencia de temperatura aceptable, aunque no con su valor óptimo. Estos valores se muestran en la tabla 6; los valores aceptables se obtuvieron de Cartalla [1999].

*Tabla 6. Parámetros de trabajo de las torres de enfriamiento*

Parámetro	UM	Valor real	Valor aceptable
$Dt_w$	0C	2,7	2 a 5
$E_{ff}$	%	47	60

Actualmente está en proceso la instalación de una nueva torre de enfriamiento, ya que con la instalación de los dos compresores cambió de manera automática la carga de refrigerante; esto ha provocado un cambio en la temperatura del medio de enfriamiento, llegando a alcanzar +36 0C la temperatura del agua a la salida de los condensadores, cuando las condiciones del clima son desfavorables, siendo su valor óptimo +32 0C y la temperatura de condensación se mantiene en +38 0C . La carga de refrigerante aumentó, al igual que la cantidad de refrigerante que fluye a través del condensador; esto conlleva a que se eleve la presión de descarga y por lo tanto la temperatura de condensación. Un aumento de la temperatura de condensación trae como resultado una disminución de la capacidad del sistema, un aumento de la potencia del compresor y una posible sobrecarga del motor. Esto puede ser perjudicial tanto para el motor como para el compresor.

#### **4.2. Pérdidas por apertura permanente en puertas**

En este epígrafe se muestran las cifras por pérdidas a consecuencia de aperturas de puertas más tiempo del necesario. Se ha tomado un tiempo promedio de los observados en la práctica, pudiendo las cifras

apuntadas ser aún mayores en función de cuanto permanezca abierta la misma, que en ocasiones pudiera superar los cuarenta minutos.

Para este cálculo nos apoyamos en un método diferente al que usualmente se usa, ya que el mismo nos permite la variación de algunos parámetros determinantes, como son el tiempo y la cantidad de veces que es abierta la puerta [Cartalla,1999]

Se estimó que la pérdida de frío es aproximadamente de 912 906,54 kJ/día; considerando que el factor de coincidencia es de 3 cámaras, alcanzaría un valor de 2738719,6 kJ/día; Conociendo que la tarifa es de 0,05 \$/kWh se tiene que esto representa una pérdida en USD de 39,06 \$/día; 1 572,44 \$/mes y 13 693,56 \$/año.

### 4.3. Ejecución del programa de medidas

Se realizaron diferentes análisis en otros dispositivos del frigoríficos que contribuyeron a desarrollar el plan de medida que se tradujo en un plan de inversiones del cual que seguidamente se relacionan algunas acciones (Tabla 7).

Tabla 7. Algunas acciones del plan de medidas

Tipo de inversión	Frig. 1	Frig. 2	Frig. 3
Compresores	5	2	
Torres de enfriamiento	2		
Bombas de agua	7		
Sistema de tratamiento de agua	1	1	1
Puertas de cierre automático	2		3

La empresa ha dedicado a invertido en estos cambios tecnológicos no menos de 66 1451 USD y 235 420 MN, lo que evidencia el interés de la empresa por lograr el máximo de eficiencia energética. Estos costos de inversiones son totales, incluyen transportación, montaje, etcétera.

### 5. Análisis del sistema de control energético de la empresa

Es de gran importancia tener un sistema interno conciso de administración y manejo de todos los datos relacionados con la energía que permita no solamente medir y recolectar datos, sino también evaluar las informaciones obtenidas, deducir acciones necesarias y actuar adecuadamente, y de este modo comprobar si el plan de medidas llevado a cabo se está comportando según lo esperado.

Una vez realizado el diagnóstico, la defectación e incluso la ejecución de programas de ahorro que conllevan cambios tecnológicos, muchas empresas no se encuentran preparadas para garantizar un control energético (o controlling energético continuo), ya sea porque no se realizó un adecuado análisis de los procedimiento y la estructura en

función de éste, o porque su sistema de información no se encuentra preparado para dicha tarea o a ésta no se le da la importancia que tiene.

Dentro de la gestión de la energía en una entidad, el controlling o control energético constituye el núcleo del sistema de gestión y tiene funciones de información, motivación y servicio. Proporciona las informaciones necesarias para la planificación y el manejo de la demanda de energéticos y de los proyectos relacionados, así como para la fijación de metas energéticas. El controlling además proporciona las informaciones necesarias para las decisiones empresariales relacionadas con el sistema energético.

Siendo un circuito controlador, el controlling energético comprende todas las funciones de registro y administración de datos, análisis de datos, fijación de metas, así como la concepción y planificación de medidas reguladoras. El abastecimiento y uso de energía dentro de la entidad es el objeto que se debe controlar. Es importante considerar la continuidad del controlling energético, ya que solamente en forma continua puede funcionar como circuito controlador siempre que tenga en cuenta tres fundamentos centrales para el manejo de datos, que son: integridad, consistencia y claridad

Poseer los instrumentos del controlling energético adecuados permitirá una adecuada transparencia de los consumos energéticos de la entidad y de sus diferentes áreas. Conociendo los consumos específicos de áreas se obtiene una buena seguridad de planificación y se pueden presupuestar los consumos y costos absolutos en dependencia de la producción de frío presupuestada o servicios previstos para un determinado tiempo.

Al fijar los presupuestos –y esto debería hacerse regularmente– es importante tomar en cuenta los posibles potenciales de ahorro encontrados (y las medidas planeadas), así como las metas energéticas puestas.

Para cerrar el circuito controlador del controlling energético es preciso controlar, al final de cada período, si se ha logrado quedar dentro del presupuesto.

Se realizará en lo adelante un análisis de algunas herramientas de la empresa para trabajar el tema de la energía.

La tabla 8 y la figura 4 por sí solas no describen el comportamiento del consumo eléctrico de la empresa, pues no tienen en cuenta factores imprescindibles para evaluarlo, pero pudiera dar una medida de los niveles de consumo de la empresa si se parte de que ésta mantiene un comportamiento estable en su explotación.

Tabla 8. Consumo anual de electricidad (MWh)

Meses	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001
Enero	397	434	212	251
Febrero	445	388	324	312
Marzo	528	376	391	476
Abril	539	423	388	325
Mayo	540	414	572	621
Junio	539	502	579	518
Julio	549	472	528	537
Agosto	528	491	568	500
Septiembre	520	494	572	389
Octubre	495	464	576	476
Noviembre	495	424	700	483
Diciembre	495	397	545	388

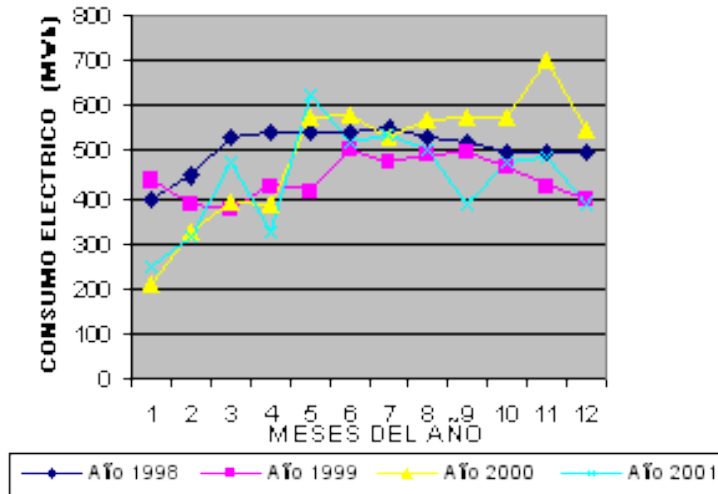


Fig. 4. Consumo anuales de energía eléctrica del frigorífico No. 1.

La empresa lleva como indicador para evaluar su eficiencia la relación costo por ingreso, que a su vez permitiría también el análisis de costos energéticos por ingresos. Es necesario lograr un seguimiento de la entrada y salida de dinero por cada elemento o acción de los frigoríficos, lo que en definitiva nos llevará a poder analizar su comportamiento tecnológico y económico, siendo este último un resultado en gran cuantía del primero.

## **6. Evaluación económica y diseño del sistema de control energético**

Para la evaluación económica se tendrán en cuenta el cálculo del costo de la producción de frío, cálculo de la rentabilidad del frigorífico 1 y se analizarán, además, algunos indicadores específicos con el objetivo de reflejar, de forma aproximada, los resultados reales de dicha instalación frigorífica.

Para el costo de la producción de frío se consideraron los siguientes gastos: salario, agua, energía, materiales auxiliares y otros gastos.

Los gastos totales, que no son más que la suma de todos los gastos expresados en peso, al dividirse por el frío producido en el tiempo de trabajo de los compresores ( $Q_0$ ) expresado en kJ y tomadas ambas magnitudes en un mismo período, brinda el valor promedio del costo de producción de la unidad de frío expresada en \$/kJ o \$/1 000 kJ.

El costo de la producción de frío se estimó en:

$$C = 8\,727,87/58\,291\,200$$

$$C = 0,000149728 \text{ \$/kJ}$$

$$C = 0,149728 \text{ \$/1 000 kJ}$$

La rentabilidad del frigorífico no es más que la diferencia entre el gasto total y el alquiler de las nueve cámaras:

El alquiler de las cámaras tiene un precio de 0,18 \$/m<sup>3</sup> ; como valor promedio la rentabilidad es de 7 689,76 \$/día.

### **6.1. Cálculo de indicadores específicos**

La temperatura de entrada del producto depende de la tecnología de producción de éstos y de los medios disponibles para su entrega al frigorífico de distribución, por lo que estos indicadores nos ayudan mediante gráficos a conocer cómo influye la temperatura de entrada de los productos y embalajes en el costo de la producción de frío; también se analizará la variación de temperatura que sufren los raque durante la parada por acomodo de carga de los compresores y cómo influye ésta en el costo de la producción de frío.

Para el análisis se toma una tonelada de masa, tanto para los productos como para los embalajes; se mantiene constante la temperatura de salida de los productos y del embalaje teniendo en cuenta los calores específicos correspondientes; se irán variando la temperatura de entrada de los productos y de los embalajes. Teniendo el comportamiento de la carga térmica en kilojoule, según la variación de la temperatura de entrada de los productos y del embalaje, se obtiene el gráfico que se muestra en la figura 5.

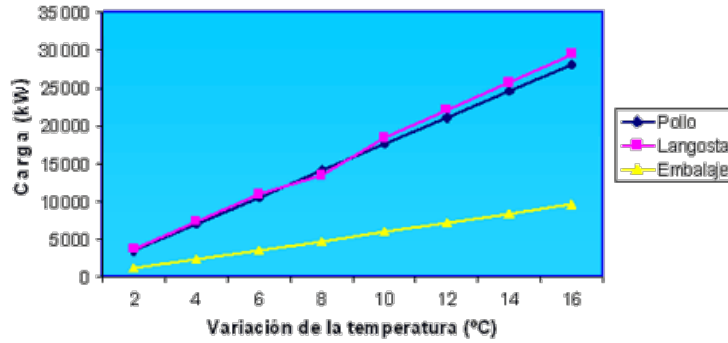


Fig. 5. Gráfico obtenido de acuerdo con la variación de la temperatura de entrada de productos y embalajes

El gráfico indica que por cada dos grados de temperatura que aumenten los productos experimentan un aumento considerable de calor los productos y embalajes.

La figura 6 muestra el comportamiento de la carga térmica según la variación de la temperatura alcanzada por el raque durante la parada de los equipos, donde se puede apreciar la ganancia de calor del raque por cada dos grados que aumente su temperatura.

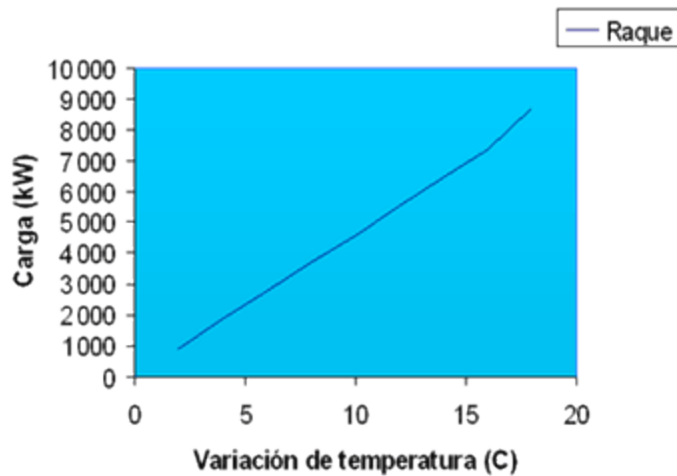


Fig. 6. Comportamiento de la carga térmica de acuerdo con la variación de la temperatura.

## 6.2. Análisis de los indicadores energéticos

Seguidamente se realizará la comparación del indicador costo de energía eléctrica por ingreso para los tres frigoríficos durante el 2001 (Fig 7).



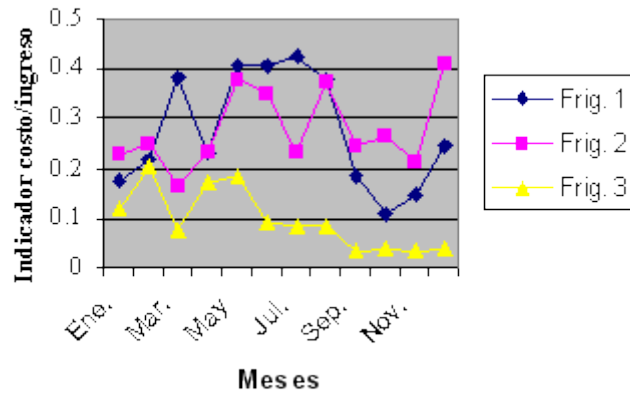


Fig. 7. Indicadores de energía vs. ingresos.

Este indicador permite la comparación de los frigoríficos de acuerdo con su rentabilidad y los caracteriza desde el punto de vista económico. Como se puede observar, durante la etapa analizada el frigorífico No. 3 es el que tiene el comportamiento más favorable: todo el tiempo la curva que describe su comportamiento se encuentra por debajo de los otros frigoríficos, y se caracteriza, además, por una pendiente bastante estable en diferentes etapas del año; no ocurre así con los otros frigoríficos, que experimentan variaciones significativas entre un mes y otro a lo largo de todo el año.

Si bien este indicador que lleva la empresa evalúa la rentabilidad de los frigoríficos, por sí solo no permite la comparación del comportamiento tecnológico de estos frigoríficos, por cuanto no refleja aspectos relacionados con la diferencia de consumo demandado por cada producto, nivel de explotación de las cámaras, calidad del servicio prestado, tratamiento diferenciado de clientes, etc, los cuales están relacionados con el acápite de ingresos dentro del indicador y por otro lado no tiene en cuenta la influencia de las variaciones climáticas, o cambios en las políticas energéticas, relacionados con el acápite de los costos.

Para una mejor evaluación de la explotación de los frigoríficos es necesario contar con indicadores que caractericen parámetros tecnológicos que permitan convertirlos no sólo en herramientas de evaluación, sino también en herramientas de comparación y regulación de la explotación de éstos.

Seguidamente, se proponen un grupo de indicadores que pueden llevarse mensual o anualmente, que valorados en conjunto permitirán una mejor evaluación de los frigoríficos.

Costo de electricidad  
Ingresos totales

$$I_{CS/I} = C_{SE}/I \text{ (\$/\$)}$$

Costos de electricidad  
Costos totales

$$I_{Cs/Ct} = C_{SE}/C_{ST} (\$/\$)$$

Consumo de electricidad  
Volumen de ocupación en cámara

$$I_{Cm/V} = C_{ME}/V_u \text{ (kwh/m}^3\text{)}$$

Volumen de ocupación en cámara  
Volumen constructivo en cámaras

$$\beta_f = V_u/V_c \text{ (\%)}$$

Temperatura media en cámara  
Temperatura media optima en cámara

$$I_{T/T_o} = T_m/T_{mo} \text{ (\%)}$$

Consumo eléctrico/ Volumen de ocupación en cámara  
Temperatura exterior -Temperatura media en cámara

$$C_{MEe} = I_{Cm/V} \text{ ( kwh/m}^3\text{oC)}$$
$$\Delta T$$

Mediante la figura 8 se puede verificar cómo existe una dependencia del comportamiento del indicador de consumo específico de energía (kwh/m<sup>3</sup>) y  $\beta_f$  disminuyendo el consumo a medida de que el aprovechamiento del frigorífico es mejor, o sea, a medida que aumenta el  $\beta_f$ . Por otro lado, permite comparar el funcionamiento de los frigoríficos, ya que para un mismo aprovechamiento se puede tener cuál de los dos consume más; si se utiliza como herramienta de control para un  $\beta_f$  real de comportamiento debe corresponder un índice de consumo y puede que en un momento dado, aunque un frigorífico tenga un índice más bajo que el otro, no se esté comportando bien con respecto a su media histórica. También se puede utilizar como mecanismo de pronóstico, a partir del conocimiento del  $\beta_f$  que se espera tener determinar el entorno en que se encontraran los niveles de consumo (Fig 9).

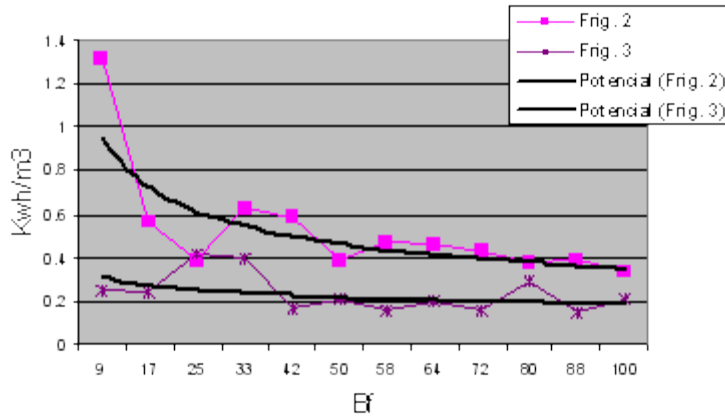


Fig. 8. Comportamiento de los kWh/m<sup>3</sup> vs. Bf de los frigoríficos Nos. 2 y 3.

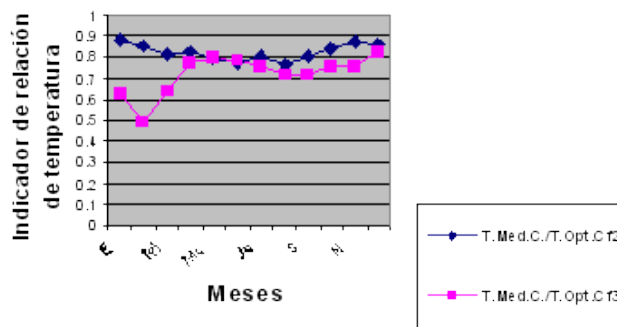


Fig. 9. Comportamiento de la temperatura con respecto al valor deseado.

Con este indicador se puede concluir que la calidad del servicio prestado por el frigorífico 2 es mejor que la del frigorífico No. 3, puesto que durante el año ha garantizado una temperatura más cercana a lo deseado. El indicador permite evaluar la influencia directa de cómo se están explotando las cámara en el estado de los productos. Si se puede presentar ante la queja de algún cliente, esto se verifica.

Si bien los indicadores antes mencionados evalúan el funcionamiento de la empresa, la valoración que realizan permiten solamente una función controladora de forma directa y reguladora de forma indirecta. Desarrollar una herramienta que permita regular a partir del pronóstico del comportamiento de los consumos o presupuestos en función de modificaciones que se realicen en el sistema constituirá un elemento sustancial que complementará la evaluación de los indicadores. Dicha herramienta lo constituye la elaboración de una ecuación que relacione los consumos de energía con diferentes parámetros.

En el caso estudiado se propone desarrollar una ecuación donde se relacione el consumo de energía con los volúmenes de ocupación, la temperatura en cámara, temperatura ambiente, el tipo de producto; siendo el consumo la variable dependiente y el resto variables

independientes, de las cuales la temperatura en cámara sería la variable controlada.

La técnica para obtener dicha ecuación consiste en realizar una regresión múltiple a partir de la información histórica de los consumos y dichos parámetros, y obtener la ecuación que expresa la relación entre ellos, de lo que se obtiene una función estándar del desempeño de cada frigorífico. Con los puntos que queden por debajo de dicha curva se puede elaborar otra que representará la función-objetivo o meta y de este modo estos serán más reales y alcanzables.

### **Conclusiones**

Por medio del estudio realizado se demuestra que la instalación no es capaz de garantizar un servicio con la calidad y eficiencia requerida, debido a que la capacidad frigorífica instalada no puede vencer la demanda existente. Se puede decir, además, que los parámetros de explotación están fuera de los valores admisibles, trayendo consigo un sobreconsumo.

En el presente trabajo, a partir de las consideraciones realizadas, se pudieron determinar los potenciales de ahorro, así como su cuantificación, llevados casi en su totalidad a la cantidad de dinero que se ahorrarían por estos conceptos.

La situación energética del frigorífico 1 es la siguiente:

- La eficiencia de los compresores se ve afectada fundamentalmente por la sobrecarga existente, las máquinas frigoríficas trabajan fuera de los parámetros de diseño, la eficiencia de las torres de enfriamiento se ve afectada por un bajo flujo de agua y el tiempo de explotación de uno de ellos es de 25 años.
- El mal estado de algunas puertas y la elevada temperatura de entrada de algunos productos se manifiestan como una carga adicional para el sistema.
- En sentido general las pérdidas por sobreconsumo de los compresores son apreciables y se consideran en el orden de 11,8 % del consumo diario.
- Las pérdidas por aperturas permanentes de las puertas son considerables y se calculan en el orden de 6,1 % del consumo total diario.
- Las pérdidas a causa de la incapacidad existente del flujo de agua en absorber la demanda de calor de condensación se consideran en el orden de 1,5 % del consumo total diario.
- Los indicadores propuestos permiten evaluar y comparar la explotación de los frigoríficos con aquellos que se dediquen a la conservación de productos congelados o frescos.
- La evaluación de la explotación del frigorífico debe realizarse con más de un indicador específico.

## **Recomendaciones**

1. Completar la capacidad frigorífica de la instalación.
2. Elaborar un plan de mantenimiento y reconstrucción de las puertas de las cámaras.
3. Instalar la bomba de agua que necesita la torre de enfriamiento en todos los frigoríficos.
4. Realizar la limpieza sistemática de los condensadores.
5. Completar la instrumentación necesaria para realizar las mediciones de temperatura en cámara, en torres de enfriamiento y de condensación, para lograr una adecuada operación del sistema.
6. Estudiar la posibilidad de controlar la temperatura con que es almacenado el producto para tener un mejor control sobre los índices de eficiencia del frigorífico.
7. Realizar la evaluación de los equipamientos que se deben instalar.
8. Valorar la factibilidad del uso de la antecámara, cuando se haya completado el equipamiento.
9. Debe realizarse el análisis de los nuevos indicadores específicos utilizando la información diaria para que la caracterización sea más precisa.
10. Debe tenerse en cuenta la influencia de la temperatura exterior en los análisis comparativos de algunos indicadores

## **Bibliografía**

- ASHRAE. *Fundamentals Handbook*. Atlanta: G. A, 1990.
- CARTALLA BENÍTEZ, R. «Diagnóstico energético de la instalación frigorífica de La Habana del Este». Trabajo de diploma. ISPJAE, 1999.
- Colectivo de autores. *Memoria descriptiva del frigorífico 1*. 1985.
- DÍAZ GONZÁLEZ, O. *Controles de instalaciones frigoríficas*. ISPJAE, 1986.
- Monografía para compresores de tornillo*. ISPJAE, 2000.
- FARRAY DOMÍNGUEZ, G Y P. PEÑAS ROJAS. «Diagnóstico energético del frigorífico de La Habana del Este», noviembre de 1998.
- MONTEAGUDO GARCÍA, M. J. «Problemas de instalaciones frigoríficas». ISPJAE, 1985.
- MONTEAGUDO, M *et al.* *Instalaciones frigoríficas*. Tomos I y II. La Habana : Ministerio de Educación Superior, 1986.
- PADRÓN SOSA, A. «Evaluación de los parámetros de operación del frigorífico Habana 4». Trabajo de diploma. ISPJAE, 1998.
- POLAINO DE LOS SANTOS, L. «Instalaciones de climatización». ISPJAE, 1987.
- STOECKER, W. F. «Refrigeración y acondicionamiento del aire». 1985.

## **Métodos para la determinación de la eficiencia energética en los motores de inducción trifásicos**

### **Methods for Energy-Efficiency Determination in Three-Phase Induction Motors**

*Dra. Miriam Vilaragut Llanes  
Dr. Angel Costa Montiel  
Dr. Armando García Trujillo  
TM. Alberto Carlos Ayala Anaya  
Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL),  
La Habana , Cuba  
e-mail: miriamv@electrica.cujae.edu.cu*

Los motores de inducción trifásicos son los principales consumidores de energía eléctrica en el mundo y desde hace algunos años en muchos países se llevan a cabo estudios para la disminución del consumo de energía en estos motores. Como parte esencial de estos estudios está la determinación de su eficiencia y del consumo de energía del motor in situ. En la literatura técnica y en las normas existen diferentes métodos, algunos muy exactos, pero que requieren de equipos más costosos, tales como analizadores de redes y medidores de par, y otros más aproximados pero más sencillos por ser de más fácil realización y más baratos por utilizar un mínimo de instrumentos. En el trabajo se hace una breve descripción y comparación de estos métodos y se expone uno elaborado por los autores que se basa solamente en la lectura de las corrientes y tensiones del motor en línea, el conocimiento de sus datos de catálogo y la aplicación de un programa en MATLAB, mediante el cual puede determinarse el consumo energético y otras características de comportamiento. Se ejemplifica el método con su aplicación a un motor de la Empresa de Frigoríficos del Ministerio de Comercio Interior (MINCIN).

**Palabras clave:** Eficiencia energética, motores de inducción trifásica

#### **Abstract**

Three-phase induction motors are the world's main electric energy consumers and for several years studies have been conducted in many countries for reducing energy consumption in these motors. This paper is focused on determining efficiency and energy consumption of the motor in situ. Technical information and standards refer to different methods, some are very accurate but require more expensive equipments as network analyzers and torque meter and others methods which measure with approximate accuracy, which are cheaper and simpler using a minimum number of instruments. These methods are compared and briefly described in this paper. The method proposed here are based on current readings and voltages of the on-line motor, the knowledge of catalogue

data and the implementation of a MATLAB program, to determine energy consumption and other characteristics of its functioning. The method is exemplified with its application to a motor belonging to a local enterprise, Empresa de Frigoríficos from the Ministry of Domestic Trade (MINCIN).

**Keywords:** Energy efficiency, three-phase induction motors

## **Introducción**

Se ha comprobado que aproximadamente 50 % de la energía eléctrica que se consume en el mundo es a través de los motores de inducción trifásicos por constituir la fuerza motriz principal de la industria moderna. Esta realidad, unida a la crisis energética de fines del siglo pasado y principios del actual, ha motivado, por una parte, la fabricación de motores cada vez más eficientes, y por otra, la adopción de disposiciones legales por parte de los gobiernos de muchos países tendientes a obligar a los usuarios de los motores a tomar todas las medidas conducentes a la disminución del consumo de energía eléctrica de estas máquinas [De Almeida, 2000; Office..., 1998].

Es fundamental, entonces, poder desarrollar métodos que permitan conocer el consumo de energía de cada motor instalado y el de algún otro que se proponga como alternativa más eficiente. Para esto existen diferentes métodos; algunos son más exactos pero implican la utilización de un equipamiento más caro y la realización de ensayos de relativamente larga duración.

Cuando el objetivo del análisis es justificar desde el punto de vista económico una nueva inversión, debe determinarse la potencia consumida por el motor y la entregada al mecanismo accionado, o sea, la eficiencia. El nivel de exactitud requerido no es grande y pueden emplearse métodos más sencillos, aunque más aproximados. En el presente trabajo se exponen primeramente los métodos más importantes que se utilizan en la actualidad y se propone uno, desarrollado por los autores, que sólo necesita de las lecturas de tensión y corriente de un instrumento de gancho (*hook-on*). Finalmente, se ejemplifica con un caso de estudio.

## **Métodos para la determinación de la eficiencia y la potencia consumida por un motor**

Existen numerosos métodos para la determinación de la eficiencia y la potencia entregada o consumida por un motor trifásico de inducción [Kueck, *et al.*, 1996; Hsu, *et al.*, 1998]. Todos se basan en combinaciones de acciones que pueden ejercerse sobre el motor y se evalúan caracterizando los parámetros que a continuación se enumeran:

1. Invasividad.
2. Tiempo fuera de servicio del motor.
3. Exactitud.
4. Recursos materiales necesarios.

Se entiende por invasividad la mayor o menor necesidad de instalar o conectar algún instrumento o equipo en el motor o el mecanismo.

El tiempo fuera de servicio se refiere a si la acción correspondiente conlleva la necesidad de detener el motor y el tiempo necesario.

La exactitud se evalúa mediante el porcentaje de error cometido en mediciones o estimaciones.

Finalmente, los recursos materiales necesarios evalúan la necesidad de tener que adquirir o disponer de determinado equipamiento para la prueba.

Las acciones que pueden ejercerse para la aplicación de cualquier método se enumeran y explican a continuación:

#### *Lectura del dato de chapa*

A partir de los datos de chapa se determina o se lee la eficiencia, y con la lectura de la potencia de entrada se determina la potencia de salida. Esta acción no es invasiva y no requiere sacar el motor de servicio ni de un equipamiento adicional, pero parte de suponer que la eficiencia es constante para cualquier estado de carga e igual a la de la chapa. En motores medios y grandes el error cometido no es muy grande ya que la curva de eficiencia de estos motores es prácticamente plana; ahora bien, en motores menores de 5 kW la eficiencia baja apreciablemente con la carga y el error cometido puede ser grande, sobre todo si el motor está subcargado.

#### *Medición de velocidad con un estroboscopio o tacómetro óptico*

Debido a lo cerca que está la velocidad del rotor de la velocidad sincrónica y a su poca variación con la carga, la medición de velocidad debe hacerse en este caso utilizando este tipo de tacómetro. Su nivel de invasividad es bajo, ya que funciona proyectando un haz de luz sobre el eje del motor y conectándolo a la misma red de alimentación. Es necesario sacar el motor de servicio sólo para hacerle una marca en el eje. Su exactitud está alrededor de 1 r/min en motores de cuatro polos. Ahora bien, es necesario también disponer de este instrumento o comprarlo, en cuyo caso su precio es superior al de un amperímetro de gancho. La medición de la velocidad y el cálculo del deslizamiento pueden ser utilizados para determinar la potencia de salida, ya que el par o momento electromagnético es proporcional al deslizamiento.

#### *Medición de la corriente y la tensión*

Un hook-on o instrumento de gancho puede servir para determinar la corriente y la tensión de trabajo del motor, y con ella ayudar a determinar la potencia de entrada. Es poco invasivo aunque la medición de tensión lo es algo más. Estos instrumentos pueden tener un error de hasta 0,5 %. No es necesario sacar el motor de servicio. Si existe una pizarra o panel con amperímetro y (o) voltímetro que lean la corriente y la tensión del



motor el método no es invasivo, pero hay que tener en cuenta que la exactitud de los instrumentos de panel no es buena en general.

#### *Medición del consumo mediante un analizador de redes*

La conexión de un analizador de redes a la entrada del motor es el método más exacto para determinar la potencia de entrada del motor. También pueden leerse la corriente y la potencia reactiva y determinar el factor de potencia. Es invasivo y, a menos que el instrumento esté conectado permanentemente, es necesario detener el motor para su instalación. Este instrumento es relativamente caro.

#### *Medición directa del par o momento*

Puede emplearse un medidor de par cuya medición, unida a la de la velocidad, da la potencia de salida. Es muy exacto, pero también es caro y altamente invasivo, y necesita sacar el motor de servicio para la instalación del medidor, y adicionalmente su costo es elevado.

#### *Realización de ensayos sin carga*

Este método necesita desacoplar el motor y conectarle instrumentos de medición para llevar a cabo los ensayos. A partir de estos ensayos y, en combinación con otras acciones, puede determinarse el consumo del motor y la potencia entregada a la carga.

#### *Estimación estadística de pérdidas*

Se refiere a estimar el valor de algunas de las pérdidas, tales como las adicionales, las de acero y las mecánicas, a partir de un conocimiento previo del tipo y fabricante del motor del cual se poseen datos relativos de pérdidas. El método es muy sencillo y económico, y no invasivo, pero su exactitud depende del conocimiento que se tenga de la probable distribución de sus pérdidas.

#### *Utilización del circuito equivalente*

Si se conocen los parámetros del circuito equivalente pueden determinarse con ellos, y en combinación con otras acciones, la potencia de entrada y la de salida del motor. Su exactitud depende de la de medición o estimación de los parámetros. No es invasivo y sí muy sencillo de aplicar.

#### *Utilización de un inversor de frecuencia variable*

*[Grantham y McKinnon, 2004]*

Este método tiene la ventaja de poder determinar la eficiencia y la distribución de pérdidas del motor con bastante exactitud y sin tener necesidad de acoplarle una carga o electrodinamómetro. Es muy apropiado, por tanto, para motores grandes. Ahora bien, es necesario sacar el motor de servicio, conectarlo a un inversor y necesita, evidentemente, de recursos no disponibles con facilidad y de alta inversión inicial. Por ello, no es adecuado para el análisis que se pretende hacer.

Aplicando algunas de estas acciones pueden usarse las normas de la IEEE o de la IEC [IEEE, 1996; IEC, 1994] y obtener, con bastante exactitud, la potencia consumida y la entregada al mecanismo accionado. Ahora bien, requieren del empleo de las acciones más invasivas y necesitadas de recursos materiales y, por lo tanto, no son recomendables para ser empleadas en una caracterización energética del motor in situ.

### **Método propuesto**

El método propuesto es una combinación de la medición de la corriente y la tensión, la estimación estadística de las pérdidas y la utilización del circuito equivalente. Sus resultados preliminares se mostraron por Costa y Vilaragut [2004]. Sólo necesita de las lecturas de corriente y tensión en las tres fases del motor en operación y del conocimiento de sus datos de catálogo. A partir de esta información se aplica el programa CARACMOT, confeccionado en MATLAB para determinar los parámetros del motor, hacer una estimación de pérdidas [Costa, *et al.*, 2004a; Costa, *et al.*, 2004b], calcular la potencia que entrega el motor a la carga y con ella seleccionar en un catálogo un motor de alta eficiencia u otro de ejecución básica, pero de una potencia adecuada al mecanismo que acciona. Mediante el programa PROMOT, también elaborado en MATLAB, se calculan los parámetros del nuevo motor, se determina cuál sería la corriente que consumiría y la potencia a su entrada.

Con los resultados de estos programas se realiza un análisis económico comparativo para determinar la factibilidad de un cambio de motor.

El programa CARACMOT recibe como información los siguientes datos del motor en uso:

1. Tensión nominal (V).
2. Corriente nominal (A).
3. Velocidad nominal (r/min).
4. Potencia nominal (kW).
5. Eficiencia nominal (%).
6. Factor de potencia nominal (p.u.).

Calcula los parámetros del circuito equivalente del motor de inducción y hace una estimación de sus pérdidas. A partir de la solución del circuito equivalente, y para valores de deslizamiento comprendidos entre 0 y 120 % del nominal, calcula las variables de comportamiento del motor siguientes:

1. Velocidad (r/min).
2. Corriente del estator (A).
3. Eficiencia (%).
4. Factor de potencia (p.u.).
5. Potencia de salida (kW).

Después se calculan y grafican las características de la eficiencia, la corriente y el factor de potencia en función de la potencia de salida. Con el valor de corriente leído se interpola en la curva de corriente en función

de la potencia de salida (utilizando la instrucción SPLINE de MATLAB) y se obtiene la correspondiente potencia de salida, que es, evidentemente, la potencia que el mecanismo accionado demanda del motor.

Con ella se selecciona en un catálogo un motor de potencia adecuada, en caso necesario, y/o uno más moderno de alta eficiencia.

El programa PROMOT, por su parte, tiene una estructura muy similar al anterior, con la diferencia de que, en este caso, procesa los datos de catálogo del motor antes seleccionado. Con la potencia de salida ya calculada anteriormente, correspondiente al estado de carga de la máquina, se lleva a cabo la interpolación entrando en las características de potencia de entrada, corriente y factor de potencia del nuevo motor para determinar estos valores.

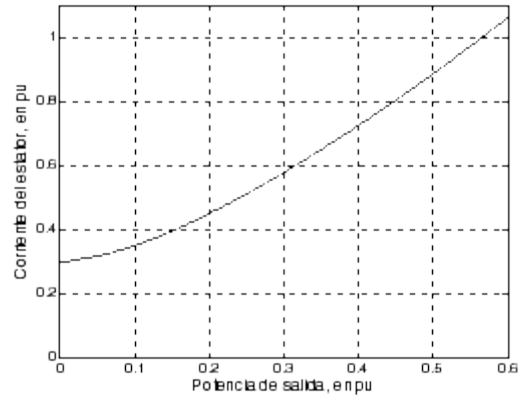
El método fue validado en [Costa, *et al.*, 2004a] para motores mayores de 15 kW. De acuerdo con este trabajo y a [Hsu, *et al.*, 1998] no son de esperar errores mayores de 10 %; ahora bien, acorde con los resultados obtenidos de forma experimental en el Laboratorio de Accionamiento Eléctrico del CIPEL, para potencias menores no puede garantizarse un error adecuado.

### **Caso de estudio**

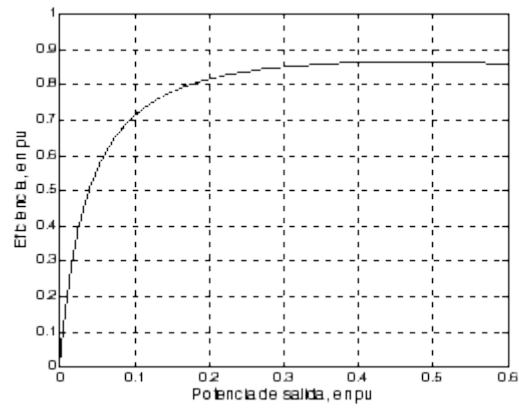
Para aplicar el método se utilizó un motor de inducción que acciona un compresor del frigorífico de La Habana del Este, perteneciente a la Empresa ENFRIGO del MINCIN, cuyos datos nominales se muestran en la planilla preparada al efecto y mostrada en el anexo 1, en la cual se vuelcan también las lecturas tomadas in situ.

Como puede verse, el motor debe ser conectado en delta, pero está conectado en estrella con el objetivo de ahorrar energía, pues trabaja muy por debajo de su carga nominal. Se aprecia, además, que el dato de momento o par máximo no se tenía, cuestión ésta muy frecuente en un motor con varios años de uso. Este valor fue estimado a partir de un catálogo de la firma SIEMENS para un motor de la misma potencia, velocidad, tensión y tipo de ejecución que el analizado.

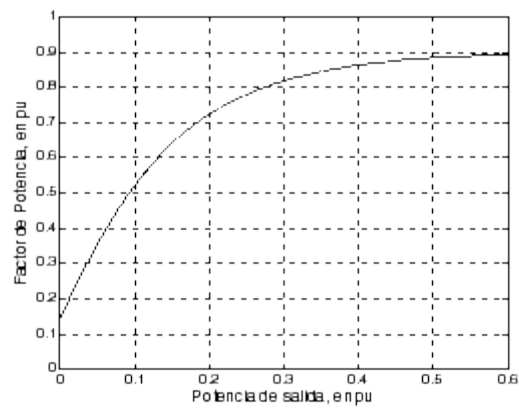
En la figura 1 se muestra la característica de corriente; en la 2, la de eficiencia; y en la 3, la del factor de potencia, todas en función de la potencia de salida, que se obtiene como resultado de la corrida del programa CARACMOT. La potencia que consume la carga en las condiciones analizadas resultó ser 20,83 kW.



*Fig. 1. Corriente en función de potencia de salida del motor actual del compresor.*



*Fig. 2. Eficiencia en función de potencia de salida del motor actual del compresor.*



*Fig. 3. Factor de potencia en función de la potencia de salida del motor del compresor.*

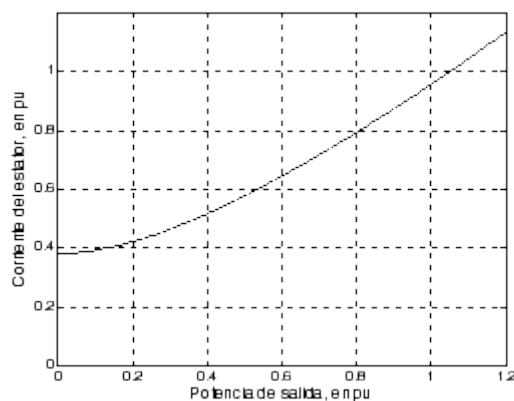
La eficiencia correspondiente a la potencia de 21,947 kW consumida por el compresor es, en este caso, 92,9 %, y se ahorra 2,26 kW. Esto quiere decir que por cada hora de operación del motor se ahorran 2,26 kWh.

Para tomar una decisión definitiva sobre la factibilidad en la sustitución del motor habría que realizar un procedimiento de cálculo económico.

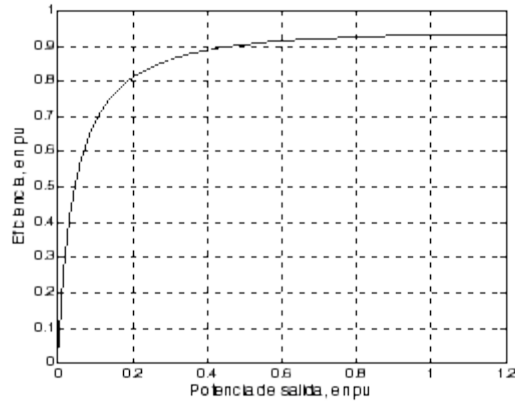
Con el objetivo de tener una idea de la magnitud de los errores que pueden cometerse con este método aproximado, se partió de la base de suponer un error de 15 % máximo en los datos de catálogo tal y como lo expresan los fabricantes. Considerando que la resistencia del rotor es el parámetro que más influye en sus características se supuso en ella una variación de 15 % para ambos motores, volviéndose a calcular el ahorro en kilowatt, que en este caso dio 2,545 kW, que comparado con el anterior de 2,265 kW arroja una diferencia de 12,3 %, lo que puede considerarse un error aceptable por encontrarse por debajo de 15 % especificado por los fabricantes para los datos de catálogo.

La eficiencia correspondiente a ese valor de potencia de salida fue de 86,04 % y el consumo de potencia del motor, resultado de dividir esta última por la eficiencia, resultó ser 24,21 kW.

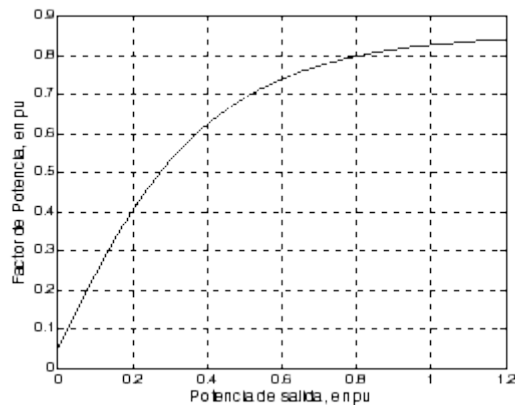
Se propone entonces sustituir este motor por uno de menor potencia y alta eficiencia marca WEG, cuyos datos se muestran en el anexo 2. Las características de corriente, eficiencia y factor de potencia en función de la potencia de salida, resultados de la aplicación del programa PROMOT, se muestran respectivamente en las figuras 4, 5 y 6. En este caso se supuso la conexión del motor en delta.



*Fig. 4. Corriente en función de potencia de salida del motor seleccionado para el compresor.*



*Fig. 5. Eficiencia en función de potencia de salida del motor seleccionado para el compresor.*



*Fig. 6. Factor de potencia en función de la potencia de salida del motor seleccionado para el compresor.*

### **Conclusiones**

Se ha desarrollado un método para evaluar energéticamente el comportamiento de los motores de inducción trifásicos que tiene la ventaja de ser sencillo de aplicar y necesitar solamente los datos de chapa o catálogo del motor y lecturas tomadas con un amperímetro de gancho.

Es un método aplicable a motores mayores de 15 kW y permite hacer de manera rápida y sencilla cualquier análisis de factibilidad técnico-económica, y con la exactitud requerida para este tipo de estudio.

### **Bibliografía**

COSTA, A. Y M. VILARAGUT. «Determinación del comportamiento energético del motor de inducción a partir de sus datos de catálogo y la lectura de las corrientes del estator», III Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos: abr., 2004.

COSTA, A.; G. CIUMBULEA, N. GALÁN Y X. M. LÓPEZ FERNÁNDEZ. «Cálculo de los parámetros del motor de inducción a partir de datos de catálogo», *Revista Energía y Computación*. Cali: 2004.

COSTA, A.; M. VILARAGUT, M. DE ARMAS Y J. GÓMEZ. «Determinación de las características de comportamiento de los motores de inducción trifásicos». Congreso de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial de la UNAICC , CIMEI 2004. Holguín: jun., 2004.

DE ALMEIDA, ANÍBAL T., *et.al.* *Improvement the Penetration of Energy Efficient Motors and Drives*. Proyecto SAVE II, 2000.

GRANTHAM, C. Y D. J. MCKINNON. *A Novel Method for Load Testing and Efficiency Measurement of Three Phase Induction Motors* , International Conference on Electrical Machines, Cracovia, Polonia, junio, 2004.

HSU, J. S.; J. D. KUECK, M. OLSZEWSKI, D. A. CASADA, P. J. OTADUY Y L. M. TOLBERT. *Comparison of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods* , IEEE Transactions on Industry Applications, No. 1, ene.-feb., 1998.

IEC-34-2. *Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electric Machinery from Tests*, 1994.

IEEE Standard 112-B. *Standard Test Procedure for Induction Motors and Generators* , 1996.

KUECK, J. D.; M. OLSZEWSKI, D. A. CASADA, J. S. HSU, P. J. OTADUY Y L. M. TOLBERT. *Assesment of Methods for Estimating Motor Efficiency and Load under Field Conditions* , Lockheed Martin Energy Research Corp., Oak Ridge, TN, Rep. ORNL/TM -13165, ene., 1996.

Office of Energy Efficiency and Renewable Energy US Department of Energy. *United States Industrial Motor Systems Market Opportunities Assesment* , Report, 1998.

## Anexo 1

<b>Datos generales</b>	
Fabricante	ELPRON ENERGO
Año	
Posición tecnológica	Compresor 3
Tipo de motor	Jaula de ardilla
Conexión	Delta
No. de serie	
Otro	
<b>Datos nominales</b>	
Potencia (kW)	55
Velocidad (r/min)	1 175
Tensión (V)	440
Corriente (A)	91
Eficiencia (%)	91,5 %
Factor de potencia	0,87
Clase NEMA	
Protección	IP 44
Frame	
Tipo de arranque	Y-?
Aislante	F
Otro	

<b>Mediciones</b>						
Tensiones			Corrientes			Fecha
AB	BC	CA	A	B	C	
440	440	440	37	37	38	Octubre de 2003
<p>Observaciones: Está operando en Y por tener baja carga para ahorrar energía</p>						



## Anexo 2

<b>Resultado del análisis realizado</b>	
Potencia solicitada por la carga (kW)	20,833
Potencia consumida (kW)	24,21
<b>Datos del motor nuevo</b>	
Marca	WEG
Potencia nominal (kW)	30
Tensión nominal (V)	440
Corriente nominal (A)	51,5
Velocidad nominal (r/min)	1 175
Eficiencia (%)	93
Factor de potencia	0,82
Momento máximo (p.u.)	2,2
Potencia consumida (kW)	21,947
Ahorro de potencia consumida (kW)	2,265

## Determinación de la estabilidad en mezclas de gasolina y alcohol

### Stability Determination in Gasoline and Alcohol Mixtures

Juan Cruz Arencibia <sup>1</sup>  
Juan J. Llovera González <sup>1</sup>  
Ramón Piloto <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Física de Sistemas Dispersos (FISDILAB), Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), La Habana, Cuba.  
e-mail: bjuan@electrica.cujae.edu.cu

#### Resumen

Las mezclas de gasolina y alcohol se están utilizando cada vez más en la actualidad; sin embargo, se reportan pocos estudios acerca de su estabilidad.

En el trabajo se presentan los estudios preliminares de dicha estabilidad aplicando la técnica dielectrométrica en el rango desde 5 % de alcohol hasta 35 % de este combustible mostrándose resultados aceptables hasta 15 % máximo. Se prueba además la no necesidad de emulsionar la mezcla en estos relativamente bajos porcentajes de alcohol.

**Palabras clave:** Mezclas de gasolina y alcohol, estabilidad.

#### Abstract

Gasoline and alcohol mixtures are increasingly used today, however, few studies refer to their stability. Preliminary studies are here presented of this stability, applying the dielectric metrical technique in the range of 5% of alcohol until 35 % of this fuel, showing acceptable results reaching a maximum of 15 %. The need to emulsify the mixture is shown in these relatively low percentages of alcohol.

**Key words:** Gasoline and alcohol mixtures, stability.

#### Introducción

Actualmente, y cada vez con mayor frecuencia, se utilizan alcoholes mezclados con diésel o gasolina en diferentes proporciones como combustibles alternativos.

Aunque las mezclas de etanol con gasolina son aparentemente homogéneas, la práctica demuestra que su estabilidad influye apreciablemente en el proceso de combustión y por tanto en los parámetros de operación de los motores; este hecho experimental, así como la necesidad de evaluar la influencia de la proporción de etanol

en la estabilidad de la mezcla, justifican un estudio básico de este fenómeno a escala de laboratorio.

Las mezclas moleculares de dieléctricos modifican la permitividad y a partir de su medición se pueden sacar conclusiones acerca de su estabilidad [Hill y Vaughan, 1969] .

En este trabajo se resumen los resultados experimentales de la evaluación de la estabilidad de mezclas de etanol en gasolina entre 5 y 35 % de éste, aplicando el método dielectrométrico.

### **Materiales y métodos**

Se prepararon muestras de mezclas de etanol absoluto (pureza de 99 %) en gasolina en cantidades de 20 mL cada una. La mezcla se logró por simple agitación manual a fin de reproducir la forma de mezclado que usualmente se utiliza en la práctica. Para realizar el estudio de permitividad se aplicó la técnica dielectrométrica implementada por uno de los autores [Llovera, 1998].

### **Diseño, calibración y evaluación de la celda de medición**

En los capacitores reales debe considerarse que la capacitancia medida es la resultante de la capacitancia característica de la región de medición más cierta capacitancia adicional propia de la estructura de la celda,  $C_{ad}$  . En virtud de lo anterior, el cálculo de la permitividad responde a la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{C_x - C_{ad}}{C_0 - C_{ad}}$$

(1)

Donde:

$C_0$ : Capacitancia de la celda vacía.

$C_x$ : Correspondiente a la celda llena con el dieléctrico a evaluar.

$C_{ad}$ : Constante característica de la celda que debe ser evaluada, ya que introduce una corrección sustractiva en la medición.

Para el diseño de la celda se escogió la variante de diseño correspondiente a un capacitor de placas planas y paralelas en forma de disco dispuestas aisladas, dejando entre ambas una holgura de espesor 0,5 mm , en la que queda encapsulada la muestra, la armadura exterior se cierra con una tapa removible de rosca, que tiene un pequeño orificio de rebose destinado a garantizar el llenado uniforme de la cavidad por el líquido [Llovera, 1996] (Fig. 1).

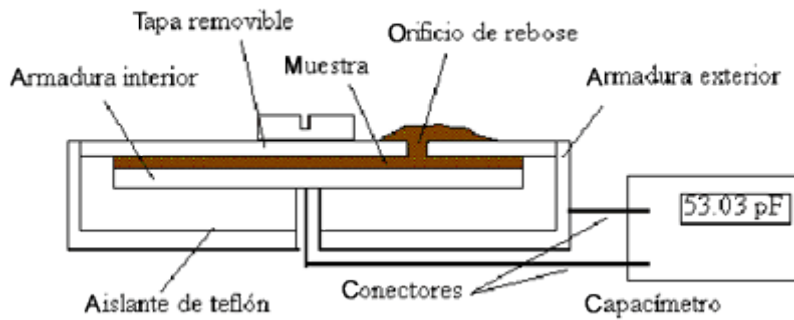


Fig. 1. Capacitor de placas planas y paralelas.

Para la evaluación y calibración de la celda ésta se acopló a un capacitómetro que opera con una frecuencia de 1 MHz y capaz de apreciar 0,5 pF.

La calibración de la celda se hizo con etanol como sustancia patrón y se determinó

$$C_0 = 17 \text{ pF con error de } \pm 0,25 \text{ pF.}$$

Posteriormente se midió  $C_p$  (capacitancia de la celda con éter dietílico como patrón) y con el valor conocido de la permitividad del éter se calculó  $C_{ad}$ ; para la capacitancia adicional obtuvo el valor  $C_{ad} = 7 \pm 0,25 \text{ pF}$ .

La medición de la capacitancia de la celda vacía y sin cerrar  $C_0$  permitió obtener el valor

$$C_0 = 17 \pm 0,25 \text{ pF.}$$

El estudio del error en la medición es el siguiente: Diferenciando la ecuación (1)

y aproximando a incrementos finitos se obtiene:

$$\Delta \varepsilon_x \leq \frac{\Delta C}{(C_0 - C_{ad})^2} [3C_x - 2C_{ad} - C_0]$$

donde se ha considerado  $\Delta C_x = \Delta C_0 = \Delta C_{ad} = \Delta C$ , de lo cual resulta que para la celda diseñada donde

$C_{ad} \approx 7 \text{ pF}$ ,  $C_0 \approx 17 \text{ pF}$  y  $\Delta C = 0,25 \text{ pF}$  para un valor de permitividad de 8,9 (límite máximo medido en los experimentos) para el cual  $C_x = 71 \text{ pF}$  resulta  $\delta \varepsilon_{\max} \leq 5,1\%$

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.

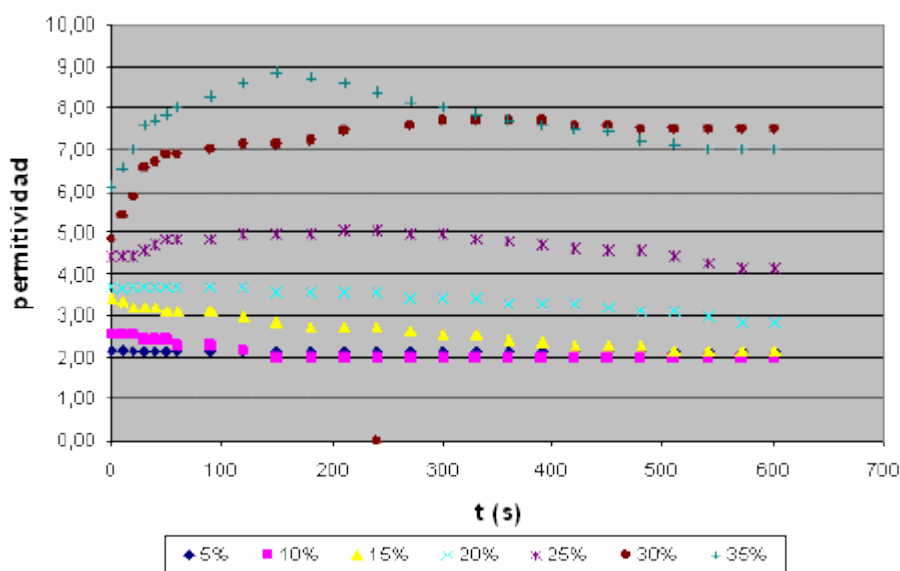


Fig. 2. Comportamiento de la permitividad con el tiempo para mezclar de etanol-gasolina.

En el mismo se aprecia que las mezclas correspondientes a 5, 10 15 y hasta 20 % mantienen una estabilidad relativamente buena particularmente la de 5 %, en la cual la permitividad aumenta ligeramente respecto a la de la gasolina pura y se mantiene inalterable en el tiempo, como se evidencia mejor en la tabla 1. *Tabla 1.*

*Permitividad*

Etanol (%)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
t(s)	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε
0	2,14	2,57	3,43	3,71	4,43	4,86	6,14
10	2,14	2,57	3,36	3,64	4,43	5,43	6,57
20	2,14	2,57	3,21	3,71	4,43	5,86	7,00
30	2,14	2,43	3,21	3,71	4,57	6,57	7,57
40	2,14	2,43	3,21	3,71	4,71	6,71	7,71
50	2,14	2,43	3,14	3,71	4,86	6,86	7,86
60	2,14	2,29	3,14	3,71	4,86	6,86	8,00
90	2,14	2,29	3,14	3,71	4,86	7,00	8,29
120	2,14	2,14	3,00	3,71	5,00	7,14	8,57
150	2,14	2,00	2,86	3,57	5,00	7,14	8,86
180	2,14	2,00	2,71	3,57	5,00	7,21	8,71

210	2,14	2,00	2,71	3,57	5,07	7,43	8,57
240	2,14	2,00	2,71	3,57	5,07	7,50	8,36
270	2,14	2,00	2,64	3,43	5,00	7,57	8,14
300	2,14	2,00	2,57	3,43	5,00	7,71	8,00
330	2,14	2,00	2,57	3,43	4,86	7,71	7,86
360	2,14	2,00	2,43	3,29	4,79	7,71	7,71
390	2,14	2,00	2,36	3,29	4,71	7,71	7,57
420	2,14	2,00	2,29	3,29	4,64	7,57	7,50
450	2,14	2,00	2,29	3,21	4,57	7,57	7,43
480	2,14	2,00	2,29	3,14	4,57	7,50	7,21
510	2,14	2,00	2,14	3,14	4,43	7,50	7,14
540	2,14	2,00	2,14	3,00	4,29	7,50	7,00
570	2,14	2,00	2,14	2,86	4,14	7,50	7,00
600	2,14	2,00	2,14	2,86	4,14	7,50	7,00

Las mezclas de porcentajes superiores muestran un comportamiento variable con un incremento inicial de la permitividad y su posterior reducción paulatina, a excepción de la de 30 % en la cual después de aumentar durante los primeros cinco minutos permanece ligeramente estable.

Del resultado se puede apreciar que aún sin haberse emulsionado el etanol, las mezclas simples resultan suficientemente estables como para permitir su utilización sin que influyan apreciablemente en los parámetros de operación del motor.

Es de resaltar que de acuerdo con los resultados obtenidos puede recomendarse en particular que si se desean usar mezclas de fracciones de etanol superiores a 15 % se utilice de 30 % por la mejor estabilidad reportada después de los cinco primeros minutos aproximadamente de su preparación.

### **Conclusiones**

1. El método dielectrométrico se puede recomendar para estudiar la estabilidad de las mezclas de etanol en gasolina, pudiéndose extender el estudio a tiempos superiores.
2. Las emulsiones con fracciones de etanol inferiores a 15 % son recomendables por su relativamente alta estabilidad.
3. Si se desea utilizar mezclas de alto porcentaje de etanol en gasolina, pero inferiores a 35 %, se recomienda la de 30 % por su relativamente alta estabilidad después de los primeros cinco minutos de mezclada.

## **Bibliografía**

HILL, N. E. Y W. E. VAUGHAN. «Dielectric Properties and Molecular Behaviour». Londres: Van Nostrand Reinhold Co., 1969.

LLOVERA, J. J. «Métodos experimentales para el estudio de la estabilidad y la microexplosión de combustibles emulsionados». Tesis de Grado de Doctor. La Habana : 1998.

\_\_\_\_\_. «Sistema de asesoramiento científico-técnico para el desarrollo de los combustibles emulsionados». Informe técnico. Ponencia XI Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. Ciudad de La Habana : 1996.

**Eco Solar** es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas.

**DIRECTOR GENERAL:**

Dr. Luis Bértiz Pérez.

**DIRECTOR:**

Lic. Manuel Álvarez  
González.

**EDITOR:**

Lic. Alejandro  
Montecinos Larrosa.

**CORRECCIÓN:**

M Sc. Roberto Manzano  
Díaz.

Ing. Jorge Santamarina

**DISEÑO**

**ELECTRÓNICO:**

D.I. Antonio Romillo  
Polaino.

**TRADUCCIÓN:**

Lic. Lázaro O'Farril  
Lazo.

**CONSEJO ASESOR:**

Dr. Luis Hernández (Energía  
fotovoltaica)

Dr. Conrado Moreno Figueredo  
(Energía eólica)

Lic. Bruno Henríquez Pérez (Física  
ambiental)

Dr. Jorge Luis Paretas (Energía  
hidráulica)

Dr. Dania González Couret  
(Arquitectura bioclimática)

Dr. Jorge Guardado (Biomasa)

Dr. Sergio Corp Linares (Energía  
solar térmica)

Lic. Leonor Turtós Carbonell  
(Impacto ambiental)

Lic. Alejandro Montecinos Larrosa  
(Energía humana)

Lic. Ricardo Bértiz Valle (Educación  
ambiental)



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN  
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO  
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,  
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: [editora@cubasolar.cu](mailto:editora@cubasolar.cu)

<http://www.cubasolar.cu>