



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

12



Evaluación del impacto ambiental del uso de biomasa en las fábricas de azúcar cubanas.....	1
Comportamiento de los productos de la pirólisis en el Eucalyptus saligna Smith a diferentes alturas del fuste comercial (25, 55 y 85 %).....	9
Generación de electricidad fuera de zafra en la industria azucarera, aspectos importantes de una nueva alternativa de combustible.....	17
Carga térmica en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar.....	28
La reparación de devanados de los motores asincrónicos para una mayor eficiencia, potencia nominal y capacidad de sobrecarga.....	38
El cambio organizacional en el sistema nacional de información de la energía en Cuba.....	48

Evaluación del impacto ambiental del uso de biomasa en las fábricas de azúcar cubanas

Evaluation of the Environmental Impact on the Use of Biomass in Cuban Sugar-Cane Mills

*Dr. Pedro Julio Villegas Aguilar*¹
*Dr. Oscar Cruz Fonticiella*¹
*Dr. Ángel Rubio González*¹
*Ing. Bernardo Bucki Wasserman*²
*Ing. Félix Pérez Egusquiza*³

¹ *Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Ambientales (CEETA), Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, CP 54830, Cuba.
Tel.: 281194. Fax: 281608.
e-mail: pjva@uclv.edu.cu*

² *Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Unidad Académica Confluencia. UTN. Plaza Huincal, 8318, Neuquén, Argentina.*

³ *Delegación Provincial del Ministerio de la Industria Azucarera en Villa Clara, Cuba.*

Resumen

En este trabajo se aborda la factibilidad de la utilización de los residuos agrícolas cañeros (RAC), una fuente energética renovable hasta el momento poco utilizada, en lugar del habitualmente usado fuel oil, en la producción de energía para el funcionamiento de los centrales azucareros, en el proceso de obtención de azúcar, así como en refinado y producción de otros derivados. Estos recursos, específicamente RAC, permiten la producción de energía eléctrica, la cual además del abasto a la industria contribuye también de una manera importante a la red energética nacional. Además, se hace un análisis del costo de transporte de estos recursos. A todo esto se le suma el efecto positivo sobre el medio ambiente que ejercen todos estos combustibles, que permitirán hacer de Cuba uno de los destinos turísticos más importantes del Caribe y el mundo.

Palabras clave: Caña de azúcar, energía eléctrica, recursos renovables, impacto ambiental.

Abstracts

This paper approaches the feasibility of using sugar cane agricultural wastes (RAC, in Spanish), a renewable energy carrier, not largely used so far, instead of the widely use of oil in energy production for the operation of sugar cane mills in the process of obtaining sugar, as well as in the refinery and production of other by-products. These resources, specifically sugar cane agricultural wastes allows the production of electric power, which, in addition to supplying the industry, contributes largely to the national electric power grid. A cost analysis is made on the transportation of these resources. Along with these benefits, there

is also the positive effect on the environment by all these fuels which will allow Cuba to be one of the major tourism destinations of the Caribbean and the world.

Key words: Sugar cane, electrical energy, renewable resources, environmental impact.

I. Introducción

Este trabajo aborda el impacto ambiental de los combustibles fósiles en la producción de azúcar, así como las características principales de la biomasa azucarera y residuos agrícolas cañeros (RAC), con vistas a su potencial uso como fuente de energía renovable no contaminante al medio ambiente, que permite la reserva de los escasos combustibles fósiles y naturales, además de mantener una estable producción de azúcar, la cual puede seguirse llevando a cabo, pues reporta ganancias a la economía cubana si se aprovechan al máximo todos los productos colaterales de este proceso, además de mantener la cultura azucarera cubana, caracterizada históricamente y que es símbolo de cubanía.

Partiendo de la hipótesis de que es posible usar los RAC como fuente de energía renovable, no contaminante al medio ambiente, con un nivel de eficiencia capaz de permitir el abastecimiento energético de los centrales azucareros durante la mayor parte del año en Cuba, pues la caña tiene posibilidades para sustituir los combustibles fósiles causantes de las lluvias ácidas, el efecto invernadero, entre otras consecuencias nocivas para la humanidad, y teniendo en cuenta que Cuba tiene potencial para producir gran parte de su energía a partir de la caña, siempre que se alcance un conocimiento y control sistemático de todos los aspectos que inciden sobre el empleo eficiente de estos recursos, haciendo que el pueblo cubano y el turismo que visite la Isla respiren una atmósfera más limpia a partir de una materia prima renovable.

II. Desarrollo

Teniendo en cuenta el marco circunstancial previamente definido, se mostrarán algunas de las bondades de los RAC en sustitución del petróleo combustible.

El sistema de cosecha de caña de azúcar en Cuba impone características muy importantes a los RAC. La caña es cortada en más de 70 % mecanizadamente y las máquinas empleadas tienen una eficiencia de limpieza de la caña de algo más de 55 %. Esto hace que quede en el campo más de la mitad de los RAC y que hacia las estaciones de limpieza (EL) neumáticos vaya algo menos de 50 % [De Armas y González, 1986].

En estas instalaciones los RAC son separados de la caña y se acumulan en grandes plazoletas, donde son incineradas a la atmósfera sin utilidad alguna. Por otro lado la parte de la caña que es cortada manualmente, en casi su totalidad, es enviada a los centros de acopio (CA) que son instalaciones donde la caña se pica en pequeños trozos, es limpiada neumáticamente y trasbordada a carros de ferrocarril. En estas instalaciones los RAC separados de la caña también son acumulados en grandes plazoletas e incinerados en su gran mayoría sin utilidad práctica.

Los CA y EL procesan alrededor de 680 t/día de caña y producen de 35-40 t/día de RAC. En todo el país hay unas 915 estaciones de este tipo. Partiendo de estas características técnicas, es fácil razonar entonces que en la plazoleta de cada CA y EL se concentran e incineran entre 4 000 y 6 000 t de RAC en cada zafra.

II.1. Comparación entre los RAC y el bagazo en el proceso de combustión

A continuación se expresarán algunos criterios comparativos los dos residuos fibrosos de la agroindustria azucarera, el bagazo y los RAC [Sinclair y Anderson, 1997]:

- El bagazo tiene mayor calor de combustión (para humedad = 0 %) dado sobre todo por tener los RAC mayor contenido de ceniza; sin embargo, como el bagazo se quema con cerca de 50 % de humedad y los RAC tienen un proceso de secado natural (hasta aproximadamente 20 %) los RAC entregan más energía por unidad de masa quemada.
- Los RAC introducen más cenizas en el horno, esto incrementa los residuos que hay que extraer y acorta los períodos de limpieza, recarga los sistemas de separación de sólidos volátiles e incrementa la contaminación ambiental por material particulado.
- En general las propiedades de los RAC son muy parecidas a las del bagazo y a muchas otras biomásas. Otra característica muy importante de los RAC es su densidad, pues esta decide extraordinariamente sobre su costo de transportación. En condiciones originales en las plataformas de los CA y EL los RAC presentan una densidad de 30-40 kg/m³, con aproximadamente 40 % de humedad.

En la tabla 1 se refleja la rentabilidad energética de RAC transportados a granel y sin procesar con una densidad (d) de 50 kg/m³.

Tabla 1. Rentabilidad energética de RAC transportados a granel y sin procesar con una d = 50 kg/m³

Tipo de transporte	Índice de consumo	Masa de RAC transportada por unidad de (t)	Distancia recorrida	Relación energía obtenida/energía consumida en transporte
Locomotora diésel con 20 carros	0,00320 galones/t.km	5,0	100	34/1
Locomotora de vapor con 20 carros	0,02895 galones/t.km	5,0	100	3,7/1
Camión gasolina 6 t	2,11 km/L	1,0	40	9,1/1

Camiones diésel 14 t	2,70 km/L	2,3	40	30/1
Camión de diésel 7t	3,50 km/L	1,0	40	16/1
Camión de diésel con remolque de 20 t	2,0 km/L	3,3	40	31/1
Tractor de diésel con dos carretas	20 km/L	3,0	4,0	284/1

II.2. Perspectivas de empleo de los RAC como combustibles en Cuba

Las perspectivas para el incremento sostenido de los RAC como combustible en Cuba son amplias y se fundamentan en varios factores, entre ellos:

- La necesidad de reducir el consumo de fuel oil en las refinerías de azúcar y destilerías de alcohol anexas a centrales azucareros, usando los RAC como combustible complementario. Está ampliamente demostrada la factibilidad económica y dominadas las diferentes variantes técnicas que se deben emplear.
- El interés de muchos centrales de generar electricidad después de concluida la zafra, para lo cual necesitan como combustible no sólo el bagazo que puedan ahorrar, sino todos los RAC que puedan almacenar.
- La decisión en el país de montar centrales termoeléctricas anexas a centrales azucareros que necesitaran un combustible complementario, que alternativamente pueden ser los RAC.
- La diversificación de la producción azucarera, planteada como estrategia maestra de la industria azucarera para las próximas décadas, reclamará combustible adicional para el funcionamiento de diferentes producciones y los RAC pueden indiscutiblemente ser una buena alternativa. Dentro de esta diversificación concebir la industria azucarera como una industria sucro-energética es muy atractiva [Llanes y Torres, 1994].

Otro elemento, que si no de inmediato en un futuro impulsará el empleo de los RAC como combustible, es su condición de biomasa renovable anual, que hace que su combustión no incremente el efecto invernadero ni las lluvias ácidas y de hecho contribuye a la preservación del medio ambiente [Driscoll, 1994].

En Cuba y las pequeñas islas tropicales esto es obligado por:

- El fin de los combustibles fósiles.
- El aumento de los precios como parte de ese proceso.

- Los incentivos o multas por el protocolo de Kioto o similares.
- La necesidad de una atmósfera limpia en países que dependen del turismo.

La energía renovable es la única vía de garantizar un futuro prometedor, debido a que crea total independencia de los combustibles fósiles al garantizar la producción de electricidad (cogeneración) y con ello sustituye el petróleo, o de otro modo, la obtención de alcohol para mezclarlo con diésel y gasolina para minimizar la importación de estos insumos; téngase en cuenta que una tonelada de caña equivale a 1,2 barriles de petróleo [Roque Díaz, 2004].

II.3. Impacto ambiental. Emisiones de CO₂

Un aspecto indisolublemente asociado a la energía es la contaminación ambiental que provoca, la cual constituye una de las causas de emisión de los gases del efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO), que provienen en gran medida de la amplia variedad de actividades asociadas a la obtención, transformación y utilización de la energía. Por otra parte, la crisis del petróleo de 1973 contribuyó a fomentar a escala internacional la preocupación por el uso de la energía, lo que conduce, entre otras, a las siguientes propuestas:

- Necesidad del incremento en la productividad de los recursos, desarrollando bienes en forma sostenible o de productos ecoeficientes.
- Empleo de la innovación industrial como parte del desarrollo sostenible.
- Reducción en la intensidad del uso de los recursos, tomando en consideración el amplio potencial de reserva de que aún se dispone.
- Búsqueda de nuevas fuentes de energía que permitan ampliar su número y la utilización de los combustibles a base de biomasa y celdas solares.
- Empleo más eficiente de los portadores energéticos para la transportación.

Dentro de este panorama de indispensable incremento en la eficiencia en el uso de portadores energéticos y en la búsqueda de fuentes de energía alternativas, una de las ramas de la agricultura que resulta atractiva para este propósito es la agroindustria de la caña de azúcar atendiendo a que este cultivo brinda diversas alternativas para la obtención de energía de manera renovable y a la alta eficiencia de esta gramínea en la producción de biomasa a partir de la energía solar.

II.3.1. Características de la obtención de energía a partir de la caña de azúcar

Para evaluar el impacto ambiental de la obtención de energía de forma renovable a partir de la caña de azúcar, puede utilizarse el siguiente conjunto de condiciones:

- Σ residuos = 0
- Σ energía \approx 0
- Σ CO₂ < 0
- Σ combustibles fósiles \approx 0

Para el análisis del cumplimiento de estas condiciones en el caso de la caña de azúcar, se seleccionó un esquema de producción de azúcar y energía eléctrica, cuyo impacto ambiental en términos de emisión-fijación de CO₂, así como el balance de energía (entrega-demanda) se presenta seguidamente.

II.3.1.1. Formación de biomasa en la caña azúcar

El nivel de fijación total de CO₂ durante la formación de la biomasa cañera está dado por dos contribuciones: partes aéreas (tallos, cogollos, hojas) y raíces, en tanto su magnitud depende de la composición y del aporte a la biomasa total de la planta de cada una de las partes. Sin embargo, considerando la complejidad del proceso de fotosíntesis puede proponerse un modelo de primera aproximación para estimar la fijación de CO₂, cuyas hipótesis son:

- La composición vegetativa de la caña en términos de materia seca es: 70 % caña molible, 19 % cogollo y paja y 11 % raíces.
- La composición de las diferentes partes de la planta se considera homogénea.

II.3.1.2. Emisiones de CO₂

Las operaciones del proceso de producción de azúcar seleccionado que provocan emisiones de CO₂ al medio ambiente, pueden agruparse en las categorías de impacto siguientes: las que representan un aporte neto al nivel de CO₂ en la atmósfera al provenir del empleo de combustibles fósiles, como son la cosecha, transportación, fertilización y uso de plaguicidas y herbicidas, y las asociadas al proceso fabril azucarero, donde la fuente de energía es el bagazo y las emisiones de CO₂ están compensadas por la fijación de éste por el cultivo. A continuación se presentan los resultados de ambas vertientes para el caso de estudio seleccionado.

II.3.1.2.1. Emisiones de CO₂ en la cosecha

Una forma de cuantificar la contribución al nivel de CO₂ por esta causa es determinar la cantidad de petróleo equivalente que requieren estas actividades, lo que se muestra en la tabla 2, y calcular cuánto representa en términos de emisión de CO₂ la combustión del petróleo, cuya composición aproximada es: C: 85,7 %; H: 10,5 %; O: 0,92 % y S: 2,8 %. Si los índices porcentuales anteriores se dividen por el peso atómico respectivo (C: 12; H: 1; O: 16; S: 32) se obtiene la composición empírica de éste, a partir de la cual se puede establecer la siguiente ecuación de reacción, donde se aprecia que por cada kilogramo de petróleo se emiten 7,14 kg de CO₂. Esto puede expresarse según la ecuación (1) [Mesa, 1997].



Tabla 2. Cantidad de petróleo equivalente (P eq) para las actividades de cosecha

Actividad	Cantidad (kg/tm)	Valor calórico (MJ/kg)	P _{eq} (kg)
Transportación y fertilización	6,0	39,7	6,0
Herbicidas y pesticidas	0,154	229,33	0,89

II.3.1.2.2. Emisiones de CO₂ durante el proceso

El proceso que emite CO₂ en el esquema de producción de azúcar seleccionado es la combustión del bagazo en la caldera.

Mediante un procedimiento análogo al cálculo de la combustión del petróleo se obtiene para el bagazo la siguiente ecuación:



De lo anterior se obtiene que la cantidad de CO₂ emitido durante la combustión del bagazo sea de 0,885 kg de CO₂ /kg de bagazo con 50 % humedad.

3.1.2.3. Balance de CO₂ y energía

Una vez determinadas las cantidades de CO₂ emitidas y fijadas por cada una de las actividades del esquema seleccionado, corresponde evaluar el impacto ambiental de esta alternativa para la obtención de energía renovable [Cabello, 1988; Lois, 1988]. Para esto se seleccionó un esquema de producción combinado y energía eléctrica cuyos resultados productivos, balance energético y de CO₂ son:

- Productos finales: azúcar 48 kg/tci y electricidad 9,8 kWh/tci.
- Se puede obtener una cierta cantidad de combustible líquido (alcohol) de forma renovable.
- Los residuales se utilizan como abono orgánico, lo cual elimina los residuos del proceso.
- Existe un excedente de 240 kg de RAC/tci, que puede destinarse a la generación de energía eléctrica o para la alimentación animal. Esta última variante tiene la ventaja adicional de que la alimentación animal no compite con la humana.
- El balance de CO₂ es marcadamente ventajoso: fijación neta de 183,5 Nm³.
- El balance de energía de este esquema es favorable.
- Es posible obtener por cada tonelada de caña integral una pequeña cantidad de energía eléctrica cogenerada.

IV. Conclusiones

- De acuerdo con los trabajos de investigación reportados, los RAC recolectados en Cuba presentan alrededor de los cuatro millones de toneladas disponibles cada año como combustible de adecuadas propiedades que podrían procesarse, de manera rentable, en varios tipos de instalaciones que existen en el país.

- El modelo para estimar la cantidad de CO₂ fijada por la caña de azúcar durante el proceso de biomasa permite obtener este índice en el esquema de producción seleccionado, el cual ilustra cómo el empleo de la caña de azúcar para obtener energía renovable es muy atractivo, atendiendo a que es posible alcanzar este objetivo con un balance favorable en los términos de reducción de las emisiones de CO₂ al ambiente.

V. Bibliografía

- CABELLO, A. *Hacia una estrategia del uso de la caña para alimentación animal, subproductos y derivados de la agroindustria azucarera*. Colección GEPLACEA, Serie diversificación, 1988. pp. 291-313.
- DE ARMAS, C. Y L. GONZÁLEZ. *La caña de azúcar como fuente de energía. La industria de los derivados de la caña de azúcar*. La Habana : Ed. Científico-Técnica, 1986. pp. 57-89.
- Driscoll, W. « Combustibles para el futuro » . *Facetas* , No. 130, pp. 76-78, enero de 1994.
- LLANES, J. Y J. TORRES, J. « Caña de azúcar, ¿azúcar o energía? Hacia un sistema energético sustentable » . *Memorias del Taller Económico Ambiental* . Kingston: 1994.
- Lois, J. *Preparación, almacenamiento y conservación del bagazo para la industria de derivados, subproductos y derivados de la agroindustria azucarera*. Colección GEPLACEA, Serie diversificación, 1988. pp. 39-62.
- MESA, J. « La agroindustria azucarera dentro de un marco de desarrollo sostenible » . Tesis de Maestría en Economía. Universidad de La Habana , 1997.
- NOA, H. *Economía y desarrollo perspectiva de los derivados de la caña de azúcar. La industria de los derivados de la caña de azúcar*. La Habana : Ed. Científico-Técnica, 1986. pp. 5-56.
- ROQUE DÍAZ, P. «Realidades y perspectivas de la sucroenergética cubana: estudio termoeconómico comparativo». *Memorias de la Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica-COMEC'2004* , organizada por la Universidad Central de Las Villas y la Universidad Otto von Guericke de Alemania en Santa Clara, Cuba, en noviembre de 2004.
- SINCLAIR, T. R. Y D. L. ANDERSON. « Factores limitantes de la producción de caña de azúcar (III). Potencial teórico de producción » . *International Sugar Journal* , 59, 10, pp. 8-9, marzo de 1997.

Comportamiento de los productos de la pirólisis en el *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial (25, 55 y 85 %)

Behavior of pyrolysis Products on the *Eucalyptus saligna* Smith at Different Highs of Commercial Section of the Tree (25, 55 and 85 %)

Ing. Luis Manuel García Rojas ¹

Ing. Leonardo Aguiar Trujillo ¹

Dr. Francisco Márquez Montesino ²

Dra. Leyla R. Carballo Abreu ²

¹ Facultad de Geología Mecánica, Departamento de Mecánica, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí No. 270, Pinar del Río, CP 20100, Cuba.

² Departamento de Química, Universidad de Pinar del Río, Cuba.

Tel.: 779661 y 775452. Fax: 825479.

e-mail: luism@meca.upr.edu.cu

Resumen

En este trabajo se exponen los resultados cualitativos y cuantitativos del estudio de la pirólisis de madera de *Eucalyptus saligna* Smith a tres alturas del fuste comercial. Los árboles utilizados son entre 20 y 22 años de edad, de las cuales se tomaron discos de 20 cm a 25, 55 y 85% de la altura del fuste reduciéndose la madera a tamaño de partículas, las que se secaron al aire. El aserrín fue tamizado y posteriormente se utilizó la porción menor de 200 micras de diámetro para el posterior análisis inmediato. A las muestras se le determinaron los porcentajes de ceniza, carbono fijo, así como de volátiles a las diferentes alturas del fuste, se analizó la descomposición térmica utilizando una termobalanza CAHN modelo TG131 y además se estudió el comportamiento de los productos de la pirólisis (carbón, gas y alquitrán), este último efectuado en un reactor de lecho fijo. Se determinó cuál es la mejor parte del árbol para fines energéticos, ya sea en el aprovechamiento como carbón vegetal o en el empleo de los gases; se determinó el valor calórico de los principales gases de la pirólisis, así como el flujo de estos a diferentes temperatura y a su vez se determinó la influencia de los porcentajes de lignina y celulosa en el contenido de carbono fijo o aporte a carbón vegetal.

Palabras clave: Pirólisis, eucalipto, carbón, líquidos piroleñosos y rendimiento.

Abstracts

This paper contains the qualitative and quantitative results of a study carried out on the wood pyrolysis found at three heights of the commercial shank. The trees used are 20 and 22 years old, of whom discs were taken at heights of 25, 55 and 85% of the shank, from the solid section of the tree, thus reducing the wood at the size of particles which were air dried. The sawdust was filtered and then the smallest portion of 200-microns diameter was used for further immediate analysis. Ash percentage, fixed and volatile carbon at

different heights from the solid part of the tree, were determined in the samples. Thermal decomposition was analyzed using a thermal balance CAHN, model TG131, the behavior of the pyrolysis products was studied (charcoal, gas and wood tar), the latter made in a fix bed reactor. The best part of the tree for energy purposes was determined, for both purposes as charcoal or gas. The heat value of the main pyrolysis gases was also determined as well as their flow at different temperatures and also the influence of lignite and cellulose percentages in the content of fixed carbon or contribution to charcoal.

Key words: Pyrolysis, eucaliptus, charcoal, pyroligneous liquid and yield.

Introducción

El mundo de hoy se enfrenta a serias dificultades energéticas, sobre todo porque la solución de estos problemas está relacionado con el medio ambiente y con otros factores de tipo social; estas dificultades se agudizan constantemente. De aquí la necesidad de tomar conciencia sobre la urgencia de encontrar fuentes de materias primas renovables y tecnologías más racionales desde el punto de vista ecológico, para los procesos de termoconversión dada la catástrofe que se nos avecina en caso de que se continuara con la contaminación indiscriminada actual del medio ambiente.

Los procesos térmicos a partir de biomasa son objetivo de investigación de gran parte del mundo científico, pero sobre todo del mundo desarrollado, que tratan de adquirir esta tecnología amenazada por la crisis energética actual y por los problemas de contaminación ambiental.

Cuba cuenta con grandes volúmenes de biomasa forestal producida por sus fundamentales industrias, las cuales se utilizan para la producción de energías, como por ejemplo, el bagazo, la cascarilla de arroz, la paja de caña, el aserrín, la madera, etc.; sin embargo, las tecnologías de que disponemos no son lo suficientemente eficientes como lo exige la competencia con otras fuentes tradicionales de energía.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento de los gases producto de la descomposición térmica del *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial así como el aporte a carbón vegetal a partir del análisis de la estructura celular.

Materiales y métodos

Para la realización de este estudio se cortaron diez árboles en plantación homogénea de la primera rotación para cada especie; se seleccionaron cinco parcelas de 500 m² y dos árboles en cada una de ellas, con características morfológicas semejantes, comprendidos entre 20 y 22 años de edad, completamente aleatorizados, según Norma Estándar TAPPI T-257-cm-85 [TAPPI, 1998]; del fuste comercial de cada árbol se tomaron discos de 20 cm a 25, 55 y 85 %.

La madera de los discos de 20 cm obtenidos, para cada árbol y cada especie, se reducen a partículas empleando una sierra circular; la muestra homogeneizada de cada especie a cada altura se seca al aire y se tamiza; se toma la porción menor de 200 micras de diámetro. Se guarda en frascos con tapa para su conservación y posterior análisis inmediato.

Para comprobar la distribución de tamaños de partícula de las diferentes especies de *Eucalyptus saligna* se tamizó una parte de la muestra. En la tabla se observa que están compuestas por partículas de diverso tamaño, estando los tamaños uniformemente repartidos.

Posteriormente se le hizo el análisis inmediato efectuado según las normas ISO 562 –1974 para volátiles y ISO1171-1976 para cenizas, y se llevaron las muestras a un horno de pirólisis.

El reactor que se utiliza es discontinuo para la muestra y continuo para el gas, que en este caso es N_2 . La muestra está colgada en una cestilla colocada a la mitad de la altura del reactor. Además, esta cestilla está unida a la balanza por medio de una varilla para tomar medidas de la pérdida de peso en continuo. Para evitar que el gas salga por la parte superior del reactor (lugar por donde sale la varilla) se ha colocado un sello hidráulico.

El control de la temperatura interna del horno y del caudal del gas se realiza a través de un controlador con logaritmo de control PID (proporcional, integral y derivativo). Los valores de pérdida de peso, temperatura, caudal y tiempo se registran mediante el programa ADKIR, desarrollado por el grupo de Investigación de Control de Procesos del Instituto de Catálisis y Petroquímica (CSIC). Además el reactor permite la colocación y el registro de cinco termopares diferentes para observar los perfiles de temperatura en la muestra y en el reactor.

A la salida del reactor se encuentra un sistema de condensación y recogida de alquitranes. Este sistema consta de dos condensadores o trampas de hielo y de un filtro de algodón, aunque también es posible sustituir este último por otro elemento, como un tercer condensador o un precipitador electrostático. Así, para cada tipo de residuo se realiza una serie de pruebas para comprobar la configuración que mejor se adapta.

En cualquiera de los casos, a continuación de este sistema se encuentra un conjunto de ampollas que permiten la toma de muestras de gas para su posterior análisis.

Los gases fueron analizados cualitativa y cuantitativamente por un cromatógrafo de gases de la marca HP, modelo 5890, equipado con dos columnas empaquetadas, una de tipo Porapak Q y la otra de tipo tamiz molecular. El gas portador es helio. El detector es un TCD (detector de conductividad térmica) que identifica los compuestos a través de la diferencia entre su conductividad térmica y la del helio, que sirve de referencia.

Las distintas pruebas se hicieron manteniendo constantes los siguientes parámetros:

- Temperatura de consigna: 700 °C
- Velocidad de calentamiento: 10 °C/min
- Caudal de nitrógeno: 800 mL N/min
- Duración del experimento: 90 min.

Resultados y discusión

El valor en tanto por ciento en base seca del análisis inmediato obtenido después de un procesamiento estadístico se expone en la tabla 1.

Tabla 1

	Volátiles secos (%)	Ceniza seca (%)	Carbono fijo seco (%)	Lignina (%)
Saligna 25 %	84,420	0,1150	15,4649	24,58
Saligna 55 %	84,7404	0,1110	15,1486	25,35
Saligna 85 %	84,962	0,1740	14,864	28,5

Como se refleja en la tabla los porcentajes de carbono fijo van disminuyendo con la altura contrario a los tanto por cientos de lignina; esto es motivado al mayor tanto por ciento de lignina extraída en la madera mas joven, menos lignificada que coincide con la parte superior del árbol; lo que no quiere decir que la masa de lignina aumente con la altura, ya que la zona más baja siempre va a estar más lignificada.

El comportamiento de los productos de la pirólisis hasta 700 °C se expone en la tabla 2.

Tabla 2. Productos de la pirólisis de las muestras de saligna hasta los 700 oC

Producto	Saligna 25 %	Saligna 55 %	Saligna 85 %
Gas	22,56	24,71	26,22
Líquidos pireleñosos	23,43	21,43	20,08
Agua	29,49	28,26	29,78
Carbón	24,64	24,58	24,47

Visto gráficamente el comportamiento se expone en la figura 1.

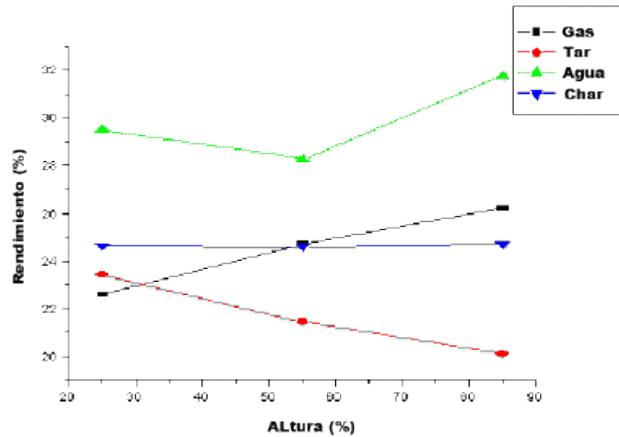


Fig. 1. Comportamiento de los productos de la pirólisis en el Eucalyptus saligna a diferentes alturas.

Como se observa en el gráfico, los resultados del análisis inmediato coinciden con los obtenidos en el reactor, pues el aporte a char o a carbón disminuye con la altura, al igual que el tanto por ciento de carbono fijo que demuestra la relación entre ellos.

El carbono fijo está directamente relacionado con la masa de lignina por ser esta la más resistente a la descomposición térmica y por tanto la que más aporta a carbón.

También se hizo el análisis de la variación de los parámetros PCI y caudal de gases con respecto a la temperatura para el caso de la Saligna a diferentes alturas (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento del PCI y caudal a diferentes alturas, aumentando la temperatura desde 200 a 700 oC

Tem °C	Sal 25% PCI kJ/m ³ N	Sal 25 % caudal g/min	Sal 55 % PCI kJ/m ³ N	Sal 55 % caudal	Sal 85 % PCI kJ/m ³ N	Sal 85 % caudal
200	24 796,4	0,00170	26 645,12	0,00328	27 523,75	0,00257
250	41 068,18	0,00387	31 460,51	0,00233	36 185,58	0,00325
300	22 894,7	0,00441	13 793,08	0,00344	22 532,15	0,00330
350	11 068,04	0,00850	3 896,789	0,14684	3 304,512	0,13884
400	46 89,827	0,13243	4 206,88	0,12467	6 633,554	0,00721
450	17 993,6	0,46635	18 022,66	0,45221	17 030,8	0,46967
500	18 333,21	0,08349	18 670,94	0,0433	13 173,26	0,04097
600	24 796,4	0,00170	18 218,02	0,06624	18 222	0,00242
700	24 263,6	0,00602	14 905,76	0,04408	21 832,29	0,00510

La figura 2 refleja el comportamiento del PCI (valor calórico inferior) a

diferentes alturas.

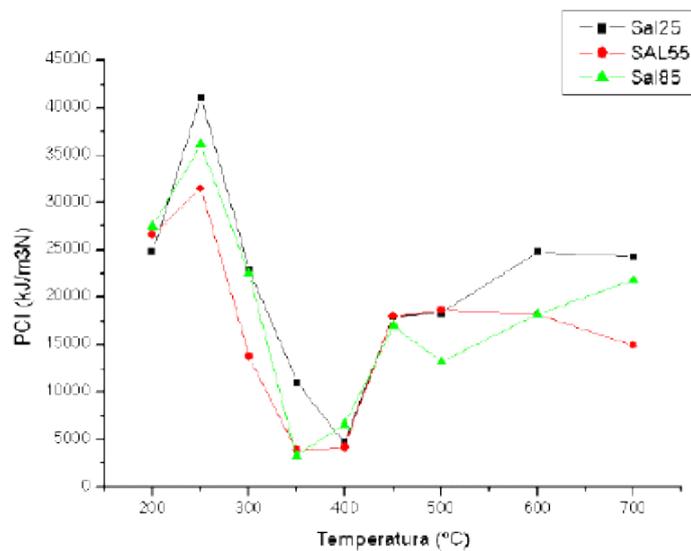


Fig. 2. Comportamiento del PCI a diferentes alturas para el Eucalyptus saligna Smith, cuando la temperatura varía desde 200 oC a 700 oC.

El caudal se expresa en la figura 3.

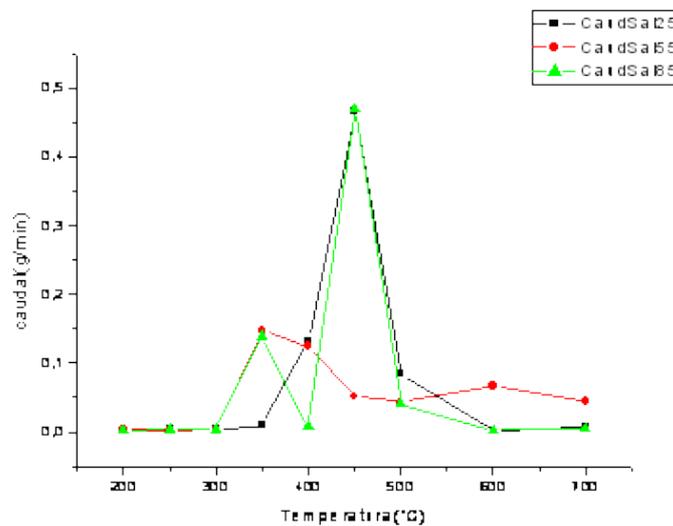


Fig. 3. Comportamiento del caudal a diferentes alturas para el Eucalyptus saligna Smith, cuando la temperatura varía desde 200 oC a 700 oC.

La mayor descomposición térmica ocurre sobre los 450 o para todas las muestras que coincide con el momento que se descompuso casi totalmente la celulosa y la hemicelulosa; el valor calórico obtenido para los gases a diferentes alturas es aceptado para poder aprovecharlos energéticamente. El estudio de cromatografía permitió obtener el comportamiento de los distintos gases que aparecieron durante la pirólisis (Tablas 4, 5 y 6).

Tabla 4. Saligna 25 %

Temp	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H ₂	53,67	27,18	18,69	20,28	0,79	7,13	6,39	53,67	40,06
O ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	1,35	1,34	3,38	5,66	21,95	28,22	46,30	1,35	17,79
CH ₄	3,34	2,44	2,59	0,69	0,59	28,15	23,80	3,34	14,38
CO ₂	13,08	4,61	41,09	59,86	73,91	30,59	18,04	13,08	6,74
C ₂ H ₄	2,08	1,03	4,38	0,47	0,20	2,87	1,33	2,08	11,19
C ₂ H ₆	20,17	12,04	2,34	4,24	0,81	2,18	1,95	20,17	5,26
C ₂ H ₂	6,31	51,36	27,54	8,79	1,75	0,86	2,20	6,31	4,58

Tabla 5. Saligna media

Temp	200	250	300	350	400	450	500	600	700	700
t	19,90	22,97	27,00	32,77	36,77	43,58	47,35	57,63	68,75	128,75
H ₂	12,43	48,36	37,41	1,40	1,79	5,56	6,40	22,25	55,15	52,74
O ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	3,43	0,39	2,23	22,80	27,48	38,71	39,12	40,58	22,25	19,89
CH ₄	5,35	2,42	0,75	0,57	0,84	22,46	21,72	25,80	13,70	9,49
CO ₂	20,46	8,43	44,62	74,08	69,48	25,69	23,82	8,97	6,86	8,41
C ₂ H ₄	3,58	1,49	1,10	0,29	0,09	1,26	1,21	1,22	1,23	5,06
C ₂ H ₆	14,73	34,09	9,89	0,07	0,10	2,54	2,68	0,72	0,52	1,96
C ₂ H ₂	40,02	4,81	4,01	0,79	0,22	3,78	5,04	0,46	0,30	2,45

Tabla 6. Saligna alta

Temp	200	250	300	350	400	450	500	600	700	700
H ₂	41,45	22,46	44,24	1,14	28,38	0,54	6,56	33,62	59,24	62,11
O ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,65	1,91	1,37	23,45	10,89	35,90	38,46	7,61	19,05	17,93
CH ₄	5,58	6,23	2,81	0,29	2,25	0,94	26,92	8,09	11,72	8,92
CO ₂	6,04	13,46	32,86	72,37	29,37	61,57	21,24	26,01	4,97	6,54
C ₂ H ₄	1,51	1,32	2,04	0,07	1,15	0,05	2,12	3,25	1,42	1,32
C ₂ H ₆	11,69	14,49	7,89	0,54	2,44	0,23	2,43	10,48	0,21	0,73
C ₂ H ₂	33,07	40,14	8,80	2,15	25,51	0,77	2,27	10,95	3,39	2,45

A la temperatura de mayor descomposición los gases en que mayor porcentaje aparecen son CO, CO₂ y metano. El comportamiento en la parte baja y media son muy similares distinto a la parte alta del árbol.

Conclusiones

1. Los porcentajes de carbono fijo disminuyen con la altura.
2. El aporte a carbón disminuye con la altura.
3. El aporte a gas aumenta con la altura.
4. La mayor descomposición térmica aparece sobre los 450o.
5. El valor calórico obtenido en los gases demuestra que se pueden aprovechar energéticamente.

Recomendaciones

Hacer el estudio sobre otras especies de eucaliptos y establecer comparaciones.

Bibliografía

- ADCHIRI, T. Y R. FURASAWA. *Fuel* 65, 1986. p. 927.
- BECK, S. R. Y J. E. HALLINGAN. «Termochemical Conversion of Agricultural Residues». *Utilization and recycle of Agricultural Wastes and Residues*. Shuler, M.L. (De.), Cap.5, CRC Press, Boca Raton, Fla, 1980.
- BEENACKERS, A. A. C. M. Y A. V. BRIDGWATER. «Gasificación y pirólisis de la biomasa en Europa». *Pyrolysis and Gasification*, Conferencia Internacional, Luxemburgo, p. 129, 1989.
- Bland, D. E. «The Composition and Analysis of Eucalyptus Wood». *Appita*, vol. 38, No. 4, 1985. pp. 291-294.
- BRITO, J. O. Y L. E. G. BARRICHELO. Correlación entre las características físicas y químicas de la madera y la producción de carbón vegetal: Densidad y porcentaje de lignina de la madera de eucalipto. Piracicaba, SP, IPEF, (14): 9-20, Jul./1977.
- BROWNING, B. L. «Methods of Wood Chemistry». *Intersci, Public*. N.Y., London, vol. 2, 1967. p. 800.

Generación de electricidad fuera de zafra en la industria azucarera, aspectos importantes de una nueva alternativa de combustible

Electric Power Generation, Not During the Sugar Harvest Period. Major Aspects of A New Fuel Choice

*M.Sc. Osvaldo Romero Romero
Dr. Rolando Alfredo Hernández León*

Ing. Joaquín Obregón

Ing. Alberto Azaret Galí

Ing. Antonio Vera Menéndez

Centro Universitario José Martí Pérez de Sancti Spiritus, Cuba.

e-mail: osvaldo@suss.co.cu

Resumen

El presente trabajo se realizó con el objetivo de proponer una nueva variante de combustible para generar electricidad en fábricas de azúcar en el período posterior a la zafra azucarera, y brindar una información general de los resultados más significativos a esperar en una fábrica que realiza una inversión para generar electricidad después de la zafra con este combustible. En él se realiza un análisis financiero comparativo de la alternativa de combustible propuesta con otros posibles, se efectúa un diagnóstico de emisiones de gases y también un análisis económico de la inversión en una fábrica que operará con este combustible fuera de zafra. Se obtienen como resultados más importantes que la alternativa de combustible propuesta ofrece los mejores resultados financieros, que disminuyen de manera general las emisiones de gases que provocan efecto invernadero, y que una fábrica que opere con este régimen tendrá ganancias en todos los productos que se obtengan de las materias primas.

Palabras clave: Generación de electricidad, combustible, industria azucarera.

Abstract

This paper was written with the purpose of proposing a new fuel choice for electricity generating in sugar cane factories in the period after the sugar-cane harvest and thus providing general information of the most significant results to be expected in a factory which is making an investment to generate power with this fuel. A financial analysis is made comparing the choice of using this fuel in relation to others. A diagnosis on gas emissions is also made along with an economic analysis on the investment in a factory that will operate with this fuel out of the harvest period. Among the most important results are that the fuel proposed provides better financial results, reduce greenhouse gas emissions and in addition to all these benefits, a factory which operates with this fuel will have profits with all the products derived from the raw materials.

Key words: Electric power generation, fuel, sugar cane industry.

Introducción

En las fábricas de azúcar donde se quiera instalar tecnologías modernas para cogenerar y donde las zafra son cortas, menores de 150 días, se hace necesario la búsqueda de un combustible económicamente viable para generar después del período de zafra, ya que dado los altos costos de inversión de estas tecnologías deben explotarse durante todo el año más de 7 000 h, para garantizar la recuperación económica de la inversión.

Cuando se revisan las alternativas de combustibles para fuera de zafra, reportadas por [Osgood, 1991; Grupo, 1995; MINAZ 2001 (a)] se hace referencia al bagazo, pero del ahorro de la zafra azucarera, lo cual está limitado por su disponibilidad, la paja de caña y los residuos agrícolas de esta planta (RAC), biomasa que según [Castillo, 1998], sólo podrían almacenarse por un período máximo de 90 días, se consume una cantidad de energía en su recolección equivalente a casi 50 % de su potencial y su aprovechamiento no debe ser superior a 50 % del disponible, lo que limita su utilización para períodos largos después de la zafra o recolectar de varias fábricas para asegurar la generación en una de ellas; no pueden perderse de vista además los inconvenientes que para el suelo puede tener el uso total de los RAC, ya que como se sabe influyen en el control de las malas hierbas al romperse la denominada cobertura de paja de los campos; esto implica además el uso de mayor cantidad de herbicidas químicos, influye también en la compactación del suelo y dificulta el reciclaje de los nutrientes al suelo. Este tema es tratado por [Lima y Hassuani, 2000; Manechini, 2000], cuando al analizar el impacto sobre la agricultura de la recolección de los RAC hacen referencia a todo lo anterior e incluyen lo referente a la erosión del suelo, así como una mayor susceptibilidad a plagas de las plantaciones cañeras.

Otras alternativas incluyen el uso de biomasa de Eucalipto u otras plantas herbáceas, lo que estaría limitado por el tiempo necesario para producir la biomasa en estos bosques, que generalmente sobrepasa los cuatro años, en contraposición con los campos de caña que producen toda la biomasa en períodos entre 12 y 18 meses [MINAZ, 2001 (b); Morand, 2004]. Por otra parte, la extensión de la zafra azucarera encuentra varias limitaciones para utilizarse como alternativa de producción de combustible, ya que en el período lluvioso estas variedades poseen bajos rendimientos azucareros y para extender la zafra todo el año deben duplicarse prácticamente las áreas cañeras actuales. Por su parte el uso de combustibles fósiles, además de no existir amplia disponibilidad en Cuba, su uso en plantas de centrales azucareros no compite en eficiencia con las termoeléctricas ni ofrece las ventajas ambientales de la biomasa.

Se puede resumir que la instalación de una planta moderna de cogeneración necesita de un combustible alternativo para generar después de la zafra y asegurar una operación de la planta superior a las 7 000 h, que en el caso de Cuba no existen elevadas disponibilidades de combustibles fósiles con estos fines, aunque su uso en este tipo de planta no sería competitivo con las termoeléctricas convencionales; además, no disminuiría el efecto ambiental del uso de estos combustibles con fines energéticos; por otra

parte, la utilización de caña azucarera estaría limitada en este período por los bajos rendimientos agrícolas, mientras que el uso de los RAC sería útil para cubrir una parte del tiempo, pero para todo el período tendría algunas limitaciones, dado por problemas en el almacenamiento y en los sistemas de recolección, por lo que se requiere buscar una alternativa viable para continuar la generación de electricidad después de la zafra.

Por ello el objetivo del presente trabajo es informar sobre una nueva alternativa de materia prima para procesar fuera de zafra en fábricas de azúcar, con el objetivo de obtener el combustible para generar electricidad durante todo el año, así como de la forma de operación y los resultados más generales que se pueden obtener de una planta de cogeneración que genera después de la zafra con el combustible que se obtiene de esta materia prima.

Desarrollo

Para extender la generación de electricidad en fábricas de azúcar se propone procesar variedades de caña de alto contenido de fibra, llamadas energéticas. Estas variedades se obtienen comúnmente en los centros de producción de variedades y tienen la característica de producir mayor cantidad de biomasa que las variedades azucareras, así como de crecer vigorosas en suelos de mediana y baja fertilidad y producir rendimientos superiores a las 100 t/ha. Las variedades energéticas tienen una composición aproximada de 30 % de jugo y 70 % de bagazo, en contraposición a 30 % de bagazo y 70 % de jugo de las variedades azucareras. La tabla 1 brinda información de la producción de biomasa de estas variedades y otras plantas.

Tabla 1. Materia seca (MS) por hectárea y por año

Cultivo	t de MS/ha/año
Caña tradicional	30 a 52
Maíz (PC)	8,5
Arroz (PC)	4 a 15
Yuca (PC)	8 a 32
Eucalipto, ciclo 7 años	12
Pino	10 a 20
Caña energética	60 a 90

PC: Planta completa. Fuente: ICIDCA, 1986.

Por lo que la propuesta de extensión de la zafra para una fábrica que tenga una destilería anexa y que realice una inversión en una planta moderna de cogeneración consiste en lo siguiente.

- *Zafra azucarera.* Se desarrollará en el período de tiempo que normalmente se realiza según las condiciones climáticas de cada región o país. En este período se procesará solamente la caña azucarera y se recuperarán los RAC, se produce azúcar, electricidad a partir del bagazo y alcohol de la miel final.
- *Zafra energética (No. 1) en molienda.* Se desarrollará al terminar la zafra azucarera, en la que se procesará caña energética como materia prima en el TANDEM de la fábrica; la caña energética aportará bagazo para generar electricidad y jugo, que será utilizado como sustrato en la producción de alcohol.
- *Zafra energética (No. 2) sin molienda.* Se desarrollará al terminar la zafra energética en molienda o en aquellos días en que la operación del tándem, durante la zafra azucarera, deba interrumpirse por problemas ajenos a la fábrica; en este período sólo se generará energía eléctrica con biomasa almacenada. La figura 1 muestra los resultados financieros de una inversión en la fábrica Melanio Hernández, seleccionada para el estudio, si se realiza una inversión de 23 MW de potencia para generar electricidad en una turbina de extracción condensación, que recibe vapor a 6 MPa y 490 oC y el suministro de combustible después de la zafra se obtiene por diferentes fuentes.

Se analizaron cuatro variantes de combustibles, que son: RAC, generar después de zafra con residuos de la cosecha cañera recuperados durante la zafra azucarera. RAC +C Energ., Recuperar RAC en la zafra azucarera y procesar caña anergética al terminar la zafra. RAC +C AzuC., extender la zafra azucarera a todo el año. Fuel oil, generar después de zafra con petróleo crudo.

Puede observarse en el gráfico 1 que a pesar de considerarse inversiones iguales, el mayor VAN debe esperarse cuando se usa la variante con caña energética, demostrándose que esta sería la mejor variante para esta fábrica.

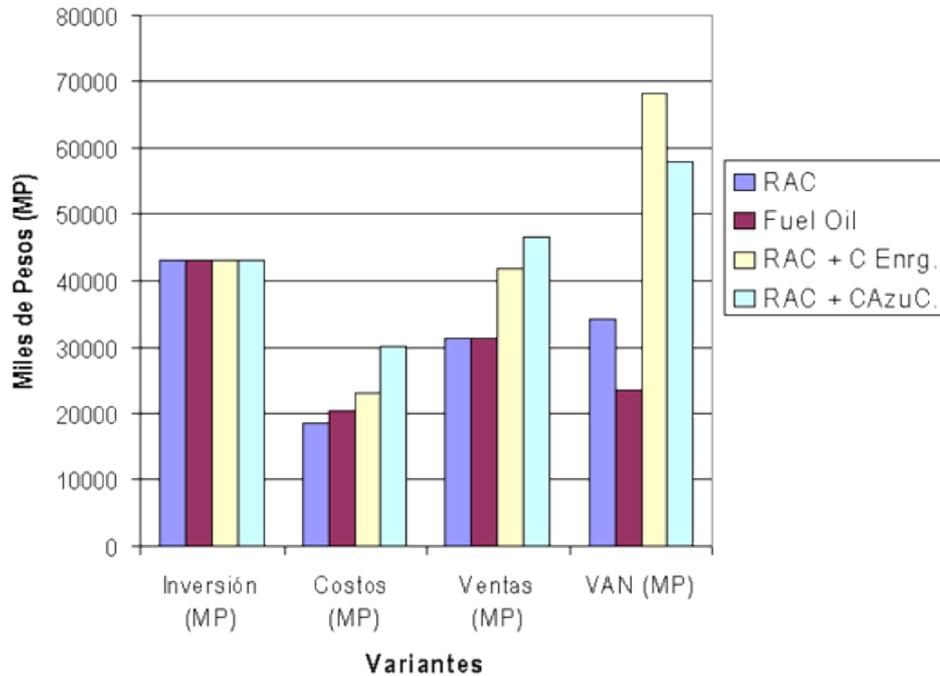


Fig. 1. Comparación del VAN entre variantes de combustible para después de zafra.

La figura 2 informa de los resultados de la simulación de las emisiones de CO₂ que se originan al generar 176,8 GWh de electricidad en la planta propuesta para Melanio Hernández o en la termoeléctrica del Mariel. Por su parte el gráfico 3 da cuenta de las emisiones de otros gases.

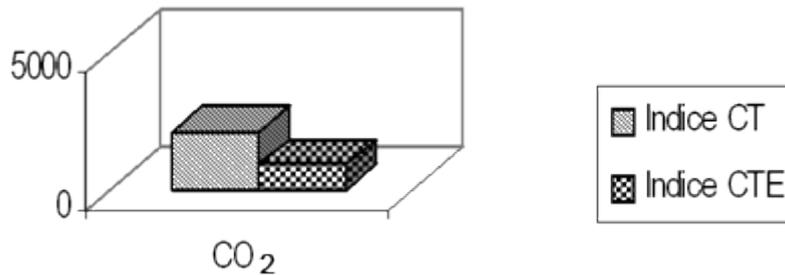


Fig. 2. Índice de CO₂ de la CTM Hernández y la CTM Mariel.

Puede verse que para generar 176,8 GWh de energía eléctrica durante un año en la central termoeléctrica de Melanio Hernández, las áreas cañeras de este central demandarán de la atmósfera 957 017,6 t de CO₂ ; si la emisión total es de 375 815, 6 t, entonces la emisión neta será de – 581 202 t anuales, esto significa un índice de emisiones de – 3 285, 5 t/GWh; adicionalmente en la termoeléctrica se dejarían de emitir 930 t/GWh, al no tener que generar esa energía, esto hace que al generar la electricidad en la fábrica de azúcar el índice de emisión de CO₂ sería de – 4215,15 t/GWh.

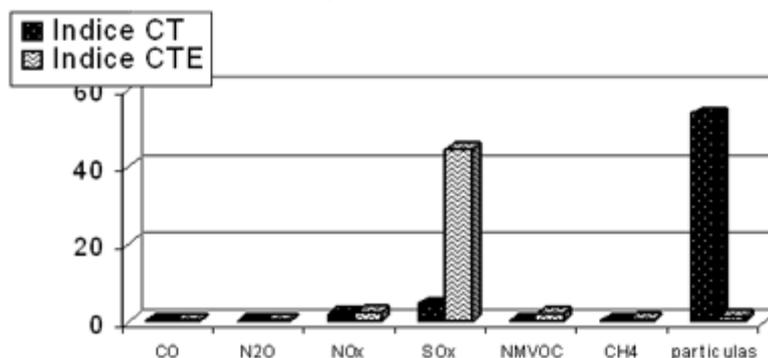


Fig. 3. Índice de emisiones para gases diferentes de CO₂ .

Puede observarse en la figura 3 que las emisiones de gases va a ser siempre menor en la planta que se propone para generar con caña energética, solo se emitirá más partícula que la planta que genera con vapor.

Tabla 2. Costo de producción estimado, precio de venta y ganancias estimadas para los diferentes productos de la fábrica, cuando se procese caña energética al terminar la zafra

Producto	Costo de Producción	Precio de venta	Ganancias	Producción estimada	Ganancias estimadas \$/a	%
Azúcar	228,18 \$/t	279,2 \$/t	51,02 \$/t	87 976,6 t/a	4 488 566,1	48
Alcohol	20,35 \$/HI	35 \$/HI	14,65 \$/HI	297 000 HI/a	4 351 050	46
MWh	50,69 \$/MWh	54,98 \$/MWh	4,29 \$/MWh	12 5125 MWh/a	536 786,3	6
Costo total de producción estimado (\$/a)					32 461 036,8	
Valor de las ventas totales (\$/a)					41 837 439,2	
Ganancia total estimada (\$/a)					9 376 402,4	
Ganancias estimadas por peso invertido (\$/\$)					0,29	

Puede observarse que al procesarse caña energética después de la zafra se logra que en los resultados económicos anuales todos los productos de la fábrica brinden ganancias al balance. La tabla 3 ofrece la ficha de costo de cada uno de los productos para cada período de operación.

Tabla 3. Ficha de costos obtenida para cada producto del complejo integrado

Partida de costo (MUSD anuales)	Azúcar (t)	Alcohol (HI)	Electricidad (MWh)	
Caña azucarera	16 062,7	-	-	
Caña energética	-	3 115,6	4 673,4	
Miel comprada	-	2 330,9	-	
Residuos agrícolas (RAC)	817,0	-	-	
Agua	33,6	11,2	14,6	
Costos variables (CV)	16 913,3	5 457,7	4 688,0	
Salario y seguridad social	975,0	136,2	119,6	
Gastos de administración	264,7	13,6	11,9	
Gastos de mantenimiento	256,2	187,3	74,6	
Otros gastos	63,6	13,2	11,3	
Gastos comerciales	73,5	-	-	
Depreciación	1 528,2	235,3	1 437,5	
Costos fijos (CF)	3 161,2	585,6	1 654,9	

Costos totales (CT)	20 074,5	6 043,3	6 342,9	
Ventas anuales estimadas	87 976,6 t	297 000 HI	125 125 MWh	
Costo unitario (USD / t, HI o MWh)	228,18 \$ /t	20,35 \$ /HI	50,69 \$ /MWh	
Desglose de los costos según los períodos de operación				
Zafra azucarera	Azúcar	Alcohol	Electricidad	Total
CV	16 913,3	1 064,4	6,6	17 984,3
CF	3 161,2	266,2	752,2	4 179,6
CT	20 074,5	1 330,6	758,8	22 163,9
Costo unitario	228,2 \$/t	9,9 \$/HI	14,74 \$/MWh	
	CV = 0,81 CF = 0,19			
Zafra energética 1				
CV	-	1 513,2	1 612,4	3 125,6
CF	-	110,0	310,9	420,9
CT	-	1 623,2	1 923,3	3 546,5
Costo unitario	-	29,1 \$/HI	76,0 \$/MWh	
	CV = 0,88 CF = 0,12			
Zafra energética 2				
CV	-	2 879,9	3 068,9	5 948,8
CF	-	209,4	591,7	801,1
CT	-	3 089,3	3 660,6	6 749,9
Costo unitario	-	29,1 \$/HI	76,0 \$/MWh	
	CV = 0,88 CF = 0,12			

Tabla 4. Resultados del análisis financiero de la inversión para cogenerar en Melanio Hernández

TIR (%)	PR (años)	VAN (MUSD)	RVAN (\$/\$)
27	4,36	19 833, 0	0,53

Puede observarse del análisis financiero que para la vida útil estimada de la inversión, el VAN será de más de 19,8 millones de pesos y la inversión se recupera en 4,36 años.

En la figura 4 se muestra un análisis del VAN de la inversión en dependencia de los días de producción de azúcar de caña, puede observarse que es necesario producir al menos 94,4 días azúcar para lograr que la inversión sea factible; esto indica que una inversión para generar todo el año con caña energética no es factible, ya que las ventas del azúcar desempeñen un papel muy importante en los resultados financieros del complejo integrado.

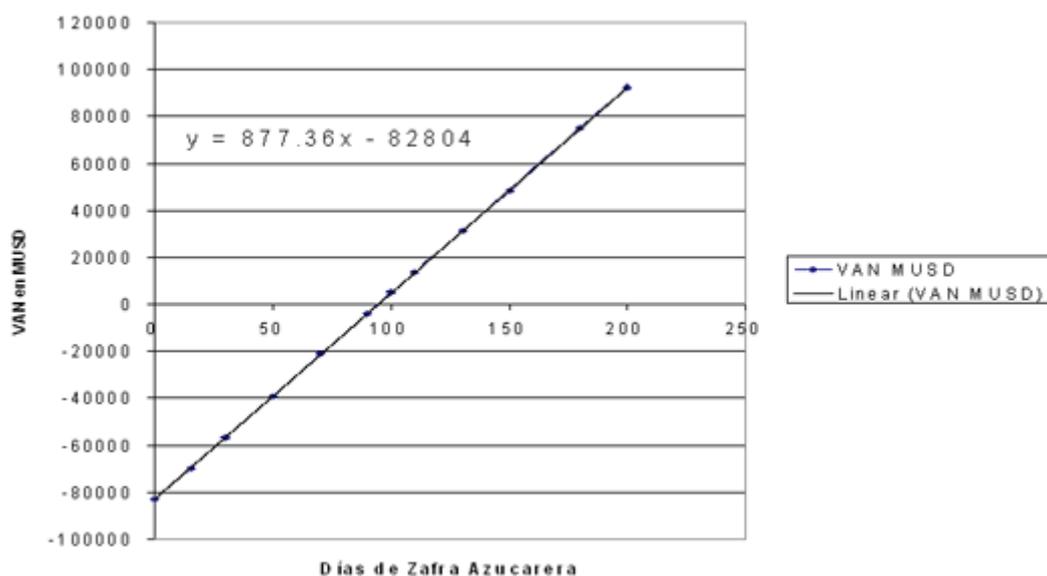


Fig. 4. Relación del VAN con los días de zafra azucarera para la planta Melesio Hernández.

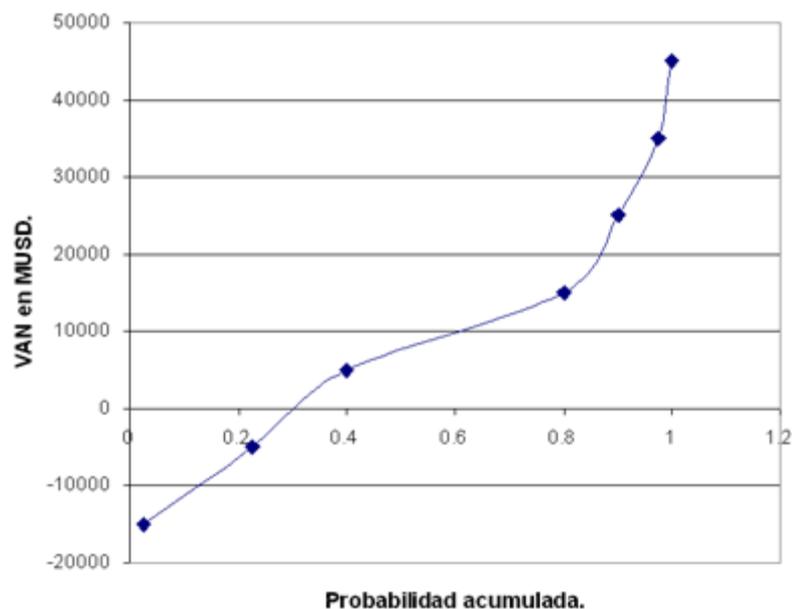


Fig. 5. Perfil de riesgo del proyecto.

En la figura 5 se presenta el perfil del riesgo de la inversión para generar todo el año en Melanio Hernández, procesando caña energética después de la zafra azucarera; obsérvese que existe 60 % de probabilidad de que el VAN de esta inversión sea mayor que cinco millones, lo que indica que los riesgos de la inversión son bajos.

Finalmente se realizó una optimización de la operación anual de la fábrica, obteniéndose como resultado que para alcanzar las máximas ganancias la fábrica debe operar 150 días con caña azucarera, 135 con caña energética y 45 con biomasa almacenada.

Conclusiones

1. Se propone una nueva alternativa de combustible para generar electricidad después de la zafra en fábricas de azúcar, basada en procesar caña energética en el tándem de la fábrica para recuperar el bagazo con fines energéticos y jugo para producir alcohol por fermentación.
2. La alternativa propuesta ofrece mejores resultados financieros que otras variantes de combustible para generar fuera de zafra.
3. El desarrollo de una inversión con estas características en la industria azucarera provocaría un índice negativo de emisiones de CO₂ a la atmósfera y una reducción en las emisiones de otros gases, por la captación de CO₂ de las plantaciones cañeras y por las emisiones evitadas en la termoeléctrica.
4. Los resultados económicos de una inversión que utiliza esta materia prima después de la zafra son de un VAN mayor de 19,8 millones de pesos, ganancias de 29 centavos por peso invertido de la planta en operación, con aporte de todos los productos; todo ello con una recuperación de la inversión en 4,36 años.

5. Para hacer factible la inversión, la fábrica debe producir azúcar más de 94,4 días anuales y para que las ganancias sean las mayores la operación óptima es de 150 días con caña azucarera, 135 con caña energética y 45 con biomasa almacenada.

Bibliografía

Castillo Coto, A. L.; D. Rivero Cañizarez y E. González Suárez. « Guía para evaluar uso de biomasa como combustible para la generación eléctrica en la industria azucarera cubana » . *Centro Azúcar*. No. 2, 1998. p. 51.

Grupo de investigaciones energéticas. « La cogeneración en la industria azucarera, una solución necesaria para el desarrollo sostenible » . Proyecto de investigación. Sancti Spiritus, 1995.

Lima Verde Leal, M. R. y José Hassuani. The Collection of Sugar Cane Bagasse and Trash for an Advanced Cogeneration System. ISSCT Engineering and Energy Workshop, Cogeneration. Mauritius. 22-29 October, 2000.

Manechini, C. The Impact of Cane Trash on Wedd Control. Newsletter of the International Cane Energy Network. International Cane Energy News, April, 2000. p. 7.

MINAZ. Ed. Brasil: Estudio alternativo de la caña de azúcar como recurso alimenticio y energético. Un modelo integrado (I). Boletín de alerta informativa para los cuadros de dirección del MINAZ. Año 2, No 1. La Habana. Enero 2001 (a).

MINAZ. Ed. Brasil: Estudio alternativo de la caña de azúcar como recurso alimenticio y energético. Un modelo integrado (II). Boletín de alerta informativa para los cuadros de dirección del MINAZ. Año 2, No 2. La Habana. Febrero 2001 (b).

Morand, A. Bagasse Cogeneration. Global Review and Potential. World Alliance For Decentralized Energy. Junio, 2004.

Osgood, H. « Alternative off-season biomass fuels for sugarcane factories » . *Proceeding of the International Conference of Energy from Sugar Cane*. Hawaii: septiembre, 1991.

Carga térmica en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar

Thermal Loads in Controlled Air-Conditioner Chambers Using Solar Energy

*Sergio Corp Linares
Manuel Álvarez González
Lisandro Vázquez Hernández
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA),
Ciudad de La Habana , Cuba.
e-mail: sergio@cubaenergia.cu*

Resumen

La determinación de la carga térmica es un paso obligado previo a la selección de equipos de climatización, ya que brinda cómo se comporta térmicamente un local. El conocimiento de la carga térmica no es para el confort humano solamente, sino con otras finalidades, como es el caso de locales con materiales combustibles almacenados que debe ser evaluado el riesgo de incendio, y en las cámaras de clima controlado posibilita estimar de forma precisa las condiciones térmicas naturales que deben ser modificadas para el desarrollo de organismos. En todos los casos un balance térmico preciso conlleva a realizar una selección fiable del sistema de climatización. En este artículo se muestra el análisis de la carga térmica de una cámara de clima controlado solar denominado «climate controled chamber».

Palabras clave: Carga térmica, cámara de clima controlado, energía solar.

Abstracts

Thermal load determination is a compulsory previous step regarding the selection of air-conditioner equipments, since it shows the thermal behavior of a given room. Knowledge of thermal load is not only for human comfort but features other aims as the case of sites with stored fuel materials where the fire risk should be evaluated and in controlled air-conditioning chambers, since it allows to accurately measure the natural thermal conditions which should be modified to contribute to the development of microorganisms. In all cases, an accurate thermal balance leads to a reliable selection of an air-conditioning system. This article also shows the analysis of a thermal load in a climate controlled solar chamber known as "climate controled chamber".

Key words: Thermal load, controled climate chamber, solar energy.

Introducción

Las cámaras de clima controlado son recintos en el que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para un grupo de actividades, como son la micropropagación y el crecimiento de plantas, entre otras.

Estos ambientes controlados resultan de gran utilidad, ya que permiten la obtención de un producto fuera de su hábitat natural y durante diferentes estaciones climatológicas.

En calidad de cámaras de clima controlado se han utilizado obras civiles con iluminación artificial; es decir, locales con cientos de lámparas fluorescentes que suplen la iluminación natural que necesitan las plantas. Otro elemento empleado en estas construcciones lo constituyen las claraboyas en techos y paredes, ubicadas únicamente o combinadas con iluminación artificial, y también se han empleado los invernaderos para dichas funciones. Todos estos diseños tienen la particularidad que incrementan la carga térmica en su interior y consecuentemente la carga de climatización obligada que llevan dichas instalaciones.

Gracias al desarrollo alcanzado en esta temática se ha obtenido una cámara de clima controlado solar que permite sólo el paso de la radiación solar fotosintéticamente activa disminuyendo la carga térmica y por lo tanto el consumo de energía por concepto de climatización. Esta aplicación denominada veranero es una patente cubana [Bérriz, *et al.*, 1995] que ya ha sido validada en la obtención de vegetales y frutas y se está evaluando su efectividad en la técnica de cultivos in vitro.

La carga térmica, también nombrada carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área, para establecer determinadas condiciones de temperatura y humedad. En esencia es la cantidad de energía en forma de calor que se retira de un espacio definido, para así lograr aplicaciones específicas deseadas, como el confort humano, reproducción de ambientes controlados y conservación de productos, por citar un grupo.

Para determinar la carga térmica es un requerimiento indispensable evaluar los siguientes aspectos:

1. Datos atmosféricos del sitio. Este implica obtener datos o medir parámetros climatológicos como: radiación solar horaria, humedad relativa del aire, velocidad del viento, debe incluirse recopilación estadísticas sobre lluvias y estudio de las sombras.
2. Características y orientación de la edificación. Deben considerarse las dimensiones físicas, la orientación del edificio, materiales de construcción empleados, característica y espesor del aislamiento y la utilización de superficies acristaladas.
3. Concentración de personal en el local.
4. Las fuentes de calor internas.
5. La ventilación requerida.

A pesar de que durante la concepción del veranero se verificaron teóricamente los principios físicos de este y que además se comprobó la efectividad de un prototipo, consideramos que el estudio termodinámico del comportamiento de la carga térmica de este equipo es imprescindible no sólo para repetir su diseño para otras aplicaciones, sino para implementar mejoras en su eficiencia. Por este motivo este artículo tiene como objetivos: mostrar el análisis físico y las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de la carga térmica en el veranero, exponer los resultados del programa de cálculo CALTERM y adicionalmente brindar información actualizada sobre el tema.

Desarrollo

Como se sabe, la finalidad inmediata una vez calculada la carga térmica es elegir el sistema de climatización que permite establecer las condiciones de trabajo de un local. Para el veranero se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos:

- El flujo de aire puede perjudicar los organismos vivos.
- Las condiciones de los cultivos requieren de un servicio ininterrumpido y estable.
- Debe brindarse el servicio en zonas aisladas y con ausencia temporal del fluido eléctrico.
- El sistema de clima debe ser capaz de absorber la mayor parte de la carga térmica de forma rápida.

La selección de los equipos comerciales, ya sea split, aire acondicionado de ventana o consolas no satisfacen los requerimientos descritos; por lo tanto, esta tarea se convirtió en diseñar un sistema de climatización que sea capaz de absorber la radiación solar con la mayor rapidez posible, en el que la transferencia de calor se verifique por convección natural y que se acompañe de un sistema de acumulación de frío que posibilite acomodar la carga térmica.

Métodos de cálculo de la carga térmica

Se reconoce internacionalmente la vigencia de los siguientes métodos de cálculo de cargas térmicas normalizados para seleccionar la capacidad de los equipos de aire acondicionado [ASHRAE, 2004].

1. Método de «Función de transferencia» (tmf).

Es uno de los procedimientos más utilizados y tiene como fundamento estimar las cargas hora por hora lo que predice en alguna medida las condiciones del espacio interior. Esto debe ser apoyado con programas de control y de operación. El mismo es aplicado para el cálculo de flujo unidimensional de transferencia de calor en paredes y techos soleados.

2. Método de «Cálculo de cargas por temperatura diferencial y factores de carga de enfriamiento» (cltd/clf).

Es el método que debe ser aplicado al considerarse como la primera

alternativa de procedimiento el cálculo manual y computarizado. Resulta simplificado, por utilizar el coeficiente global de transferencia de calor para calcular la carga de enfriamiento para techos y paredes, presentando resultados satisfactorios por lo que es adecuado para cálculos ingenieriles. Así, la ecuación básica para carga de enfriamiento en superficies exteriores es: $q = K \cdot A \cdot (CLTD)$. Siendo K el coeficiente global de transferencia de calor, (A) el área de transferencia de calor y (CLTD) la diferencia de temperaturas. En la actualidad los valores de K están tabulados en la literatura especializada.

3. Método de «Valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio» (t_{etd}/t_a).

Este procedimiento es recomendado para usuarios experimentados. El procedimiento aplicado es similar al método TMF estimando la carga horaria y además el diferencial de temperaturas en el tiempo. Es muy importante tener en cuenta la diferencia total de temperaturas equivalentes, que se aplican a paredes y techos; efectos de la radiación solar, efecto de retardo o efecto de almacenamiento y diferencias en la temperatura del aire.

Esta diferencia de temperatura se produce realmente por la acción simultánea de la conducción, radiación y convección, se muestran en las tablas «Diferencias de temperaturas equivalentes para paredes sombreadas y soleadas» y «Diferencias de temperaturas equivalentes para ganancias de calor a través de techos planos». Estas dan las diferencias de temperaturas equivalentes para varios tipos de construcciones en distintos momentos del día para techos y paredes respectivamente y están incluidas en manuales.

4. Actualmente está en desarrollo experimental el método «Cálculo de cargas térmicas por balance de calor».

Debido a la existencia de diferentes métodos de cálculo de cargas térmicas la ASHRAE ha sometido una propuesta de investigación para desarrollar un método alternativo de cálculo de ganancias de calor bajo el título «Aprobación experimental del cálculo de cargas térmicas por balance de calor». El equilibrio de calor (HB) es un método científicamente riguroso que se basa en la aplicación del primer principio de la termodinámica. Este método que en un inicio es comprobatorio pudiera ser en el futuro una herramienta recomendada para la determinación de la carga de frío.

Aunque el cálculo de la carga térmica se realiza utilizando datos de diseño tabulados su exactitud se incrementa siempre que se realiza la mayor cantidad de mediciones experimentales tanto en interiores como en exteriores.

Existen los llamados medidores de carga térmica y confort, que son dispositivos que censan fundamentalmente temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo, de globo y velocidad del aire. Calculan directamente el índice TGBH en interiores y exteriores a partir del que se obtiene la temperatura efectiva con referencia a un reloj de tiempo real y tienen salida a impresoras y computadoras personales. La figura 1 muestra un modelo marca Quest Technologies. Como se aprecia, no se puede determinar la carga térmica usando este equipo, pese a su nombre de referencia. En ocasiones, las traducciones acarrearán estos problemas por lo que es obligado conocer las características técnicas del equipamiento.

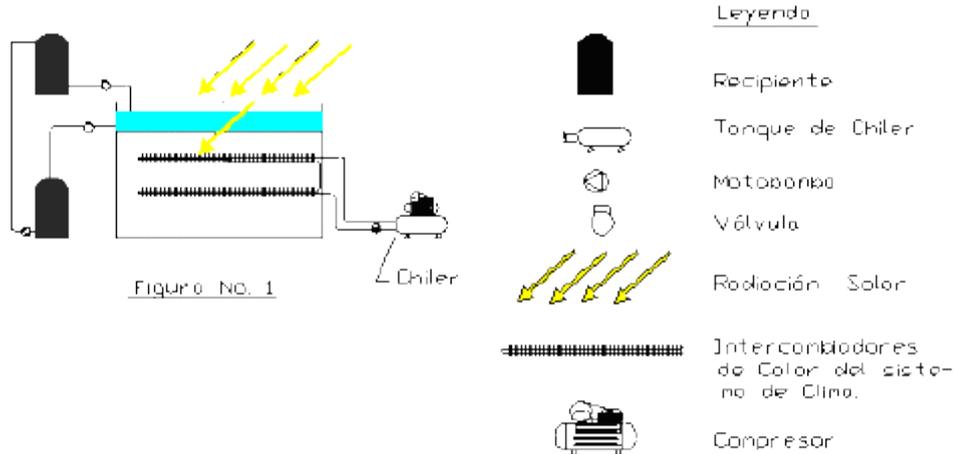


Fig. 1. Medidor de carga térmica.

Determinación de la carga térmica en el veranero

Para ayudar a la comprensión del complejo proceso de transferencia de calor que se efectúa en la figura 1 se muestra un veranero y los equipos auxiliares que permiten su funcionamiento.

ESQUEMA GENERAL DEL VERANERO



Para determinar la carga térmica del veranero se empleará el método «Cálculo de cargas por temperatura diferencial y factores de carga de enfriamiento» ($cltd/clf$) combinado con el de función de transferencia TMF, ya que para el cálculo de la radiación solar se realizó un programa de computación que calcula la radiación horaria.

Comportamiento de la transferencia de calor en el veranero

Antes de realizar el cálculo es aconsejable evaluar la ganancia de calor a través de los diferentes componentes estructurales del veranero, detallando el mecanismo de la transferencia de calor.

El mayor peso en el balance de calor se debe a la radiación solar que penetra a través del techo que es el filtro óptico líquido, una vez en el interior la radiación realiza reflexiones múltiples en las paredes del local incrementando la temperatura de estas y del aire interior. Una parte de la misma es reflejada al exterior a través del propio filtro. La transferencia de calor por conducción se verifica a través de las paredes y del techo debido a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el exterior. Toda la ganancia de calor en el veranero, se traduce como un incremento de la temperatura del aire que se transmite por convección natural a todas las zonas del veranero a través del propio aire. La convección también se manifiesta con el flujo de CO_2 que se suministra para el adecuado desarrollo de los organismos. Las luces, los ocupantes y demás aplicaciones ubicadas en el interior, así como las infiltraciones de aire por rendijas y aperturas de puertas intensifican la transferencia de calor convectivo en el veranero.

Como se observa la ganancia de calor es un proceso complejo que se agrega directamente a los espacios interiores por conducción, convección, y radiación y eventualmente influye sobre ella el factor acumulación.

Aplicación del método de cálculo

La aplicación del método se basa en emplear un grupo de ecuaciones matemáticas que se resumen como sigue:

- Balance energético general del veranero.
- Determinación de los datos atmosféricos: Cálculo de la radiación solar y propiedades psicrométricas del aire ambiente y estimación de la velocidad del viento.
- Ganancia de calor directa por el techo.
- Ganancia de calor por conducción a través de las paredes.
- Ganancia de calor con el suministro de CO₂ y renovación de aire.
- Ganancia de calor por infiltraciones y aperturas de puertas.
- Cálculo de las pérdidas por evaporación del filtro óptico.
- Cálculo de la temperatura del aire en el veranero.

Consideraciones

El sistema de referencia seleccionado es el volumen de control de aire en el interior del veranero, el cual es mostrado en la figura 2 como el espacio limitado por la línea discontinua roja.

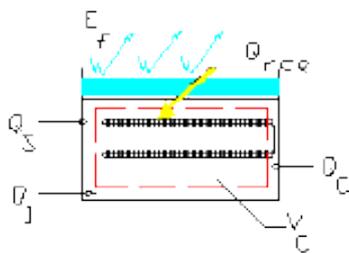


Figura No. 2

Veranero, Componentes del Balance Térmico

Q_c	Ganancia de calor por conducción
Q_i	Ganancia de calor por infiltraciones y apertura de puertas
Q_s	Ganancia de calor con el suministro de CO ₂ y renovación de aire
Q_{rce}	Ganancia de calor por radiación a través de lo cubierto
E_f	Evaporación del filtro
V_c	Volumen de control seleccionado
✓	Evaporación del líquido del filtro

El cálculo de la carga térmica por la radiación incidente es horario y se determina desde las 6 a.m. hasta las 7 p.m.

Parte de la radiación solar sale a través del propio filtro óptico.

Las paredes interiores se pintan de blanco considerando invariable el valor de reflexividad.

En el filtro óptico líquido la superficie no tiene ondulaciones.

No se consideran cultivos interiores.

En los cálculos se considera que la radiación solar que pasa a través del

filtro es la total que incluye la directa y la difusa y para el interior del veranero solo se considerará la radiación solar directa.

Balance energético general del veranero

La aplicación del primer principio de la termodinámica al veranero

$$Q_{RCE} + Q_S + Q_C + Q_I = Q_T \quad (1)$$

Siendo Q_{RCE} Ganancia de calor por radiación a través de la cubierta.

Q_S : Ganancia de calor con el suministro de CO₂ y renovación de aire.

Q_C : Ganancia de calor por conducción a través de las paredes.

Q_I : Ganancia de calor por infiltraciones y aperturas de puertas.

Q_T : Calor total intercambiado.

La cantidad de calor que penetra con la radiación solar es

$$Q_{RCE} = H\tau \quad (2)$$

La cantidad de calor que se rechaza con la radiación después que realiza reflexiones múltiples en el interior del veranero y sale a través del filtro es

$$Q_{RCS} = H\tau\rho_e \quad (3)$$

De manera que la ganancia de calor neta procedente de la radiación solar en el veranero es

$$Q_{RCN} = Q_{RCE} - Q_{RCS} = H\tau(1 - \rho_e) = H\tau\alpha_e \quad (4)$$

Donde:

H : Radiación solar directa

τ : Transmisividad del filtro a la radiación solar directa.

ρ_e : Reflexividad efectiva

α_e : Absorbencia efectiva

Para determinar la absorbencia efectiva de una combinación ventana habitación Duffie y Beckman [Yáñez, 1982] proponen la siguiente expresión la cual será aplicada al sistema filtro óptico-interior del veranero.

$$\alpha_e = 1 - \frac{\tau_D \frac{S_F}{S_T}}{1 - \rho_T \left(1 - \frac{S_F}{S_T}\right)} \quad (5)$$

Donde:

S_F/S_T Área del filtro/Área de todas las superficies interiores

τ_D : Transmisividad de la radiación. ρ_T : Reflexividad de las superficies interiores

De la expresión (5) se desprende que la reflexividad efectiva ρ_e se puede calcular por:

$$\rho_e = \frac{\tau_D \frac{S_F}{S_T}}{1 - \rho_T \left(1 - \frac{S_F}{S_T}\right)} \quad (6)$$

$$\rho_T = \sum \left(\rho \frac{S_f}{S_T} + \rho_{pl} \frac{S_{pl}}{S_T} + \rho_{pa} \frac{S_{pa}}{S_T} \right) \quad (7)$$

La expresión (7) permite calcular la reflexividad de todos los elementos interiores del veranero, los subíndices f , pl y pa se refieren al piso, las plantas y las paredes respectivamente.

La principal fuente de producción del dióxido de carbono en locales suele ser la respiración humana y el fumar. Siendo incoloro, inodoro con densidad absoluta 1,98 g/L el CO₂ puede ser considerado un gas inerte. No se hallan descritos efectos sobre el organismo humano a bajas concentraciones. En cámaras de clima controlado la actividad de las plantas consume las concentraciones existentes por lo que debe suministrarse en las cantidades adecuadas.

Determinación de las reflexividades y transmisividades

En el cálculo de las reflexividades deben diferenciarse las siguientes de acuerdo con la propia estructura constructiva del filtro:

- Reflexividad de la solución utilizada como filtro líquido.
- Reflexividad en la frontera solución vidrio.
- Reflexividad en la frontera vidrio aire.

De la misma manera se subdivide la transmisividad en dependencia de los propios procesos de reflexión y absorción en:

Transmisividad considerando la absorción y las reflexividad en la solución, en la frontera solución vidrio y del vidrio.

Transmisividad considerando la reflexividad solamente.

Transmisividad considerando la absorción del vidrio.

El principio físico de la transmisividad de la radiación solar a través de filtros líquidos y las expresiones de cálculo se discuten en [Álvarez, et al., 2004].

Cálculo de la carga térmica del veranero

Considerando todos los elementos descritos en este artículo se realizó el programa de computación CALTERM en Excel y ambientado con Visual Basic. El método de cálculo utilizado se describe anteriormente en el aspecto titulado «Aplicación del método de cálculo». En la tabla 1 se muestra los resultados del programa para el 16 de junio 2004 en la Ciudad de La Habana.

Tabla 1. Resultados del programa CALTERM

Lugar		Ciudad de La Habana				
Latitud,??		grados	minutos			
		23	6			
Día	Mes	Año				
16	6	2004				
Hora del día	7	8	9	10	11	12
Radiación total horaria, W/m ²	413,47	602,12	743,69	839,52	894,08	911,68
Carga térmica solar, W/m ²	163,55	238,17	294,17	332,082	353,662	360,625
Ganancia de calor convectiva, W/m ²	13,39	26,01	28,52	30,58	31,39	32,53
Ganancia de calor radiante, W/m ²	34,62	38,82	41,34	43,15	44,21	44,50
Variación de temperatura, °C	5,20	10,81	12,01	12,85	13,31	13,50
Temperatura sol aire, °C	35,25	37,87	39,72	40,97	41,69	41,57
Solución evaporada, kg/h	11,02	10,69	10,36	10,02	9,69	8,83
Hora del día	1	2	3	4	5	6

Radiación total horaria, W/m ²	894,08	839,52	743,69	602,12	413,47	182,56
Carga térmica solar, W/m ²	353,662	332,082	294,173	238,174	163,553	72,214
Ganancia de calor convectiva, W/m ²	32,34	31,36	30,00	30,97	28,48	26,47
Ganancia de calor radiante, W/m ²	44,49	43,40	41,63	39,41	36,21	32,40
Variación de temperatura, °C	41,69	40,97	39,72	37,87	35,41	32,39
Temperatura sol aire, °C	13,37	12,90	12,10	11,09	9,54	4,21
Solución evaporada, kg/h	9,16	9,49	9,83	10,16	10,49	13,68
Solución evaporada, L/día	123,42					

Análisis de los resultados

Los resultados se obtuvieron considerando que la sustancia empleada en el filtro óptico líquido es agua con una altura de 10 cm .

Según los valores plasmados en la tabla 1 se puede hacer el siguiente análisis:

1. La radiación solar horaria que incide en el veranero alcanza los mayores valores entre las 12:00 meridiano y las 02:00 p.m. con valores alrededor de 911 W/m² como corresponde al mes de junio en Ciudad de La Habana.
2. La carga térmica solar es la parte de la radiación que penetra al veranero. Se aprecia que alrededor de 60 % de la radiación solar es absorbida y reflejada por el filtro.
3. Debido al calentamiento de las paredes de la cámara veranera la ganancia de calor por convección y radiación incrementa la carga térmica total hasta 77,00 W/m² lo cual representa hasta 17,6 % de la carga total, por lo que debe ser considerado en los cálculos.
4. Si el veranero carece de climatización la temperatura del aire en su interior se incrementa con respecto a la de bulbo seco del ambiente entre 5 y 13 °C como aparece en la tabla 1. Esto demuestra que utilizando el sistema de clima adecuado, la temperatura en el veranero puede oscilar entre 5 y 10 °C por debajo de la ambiente.
5. La cantidad de líquido que hay que reponer luego de 11 horas de trabajo es de 123 litros Este parámetro es fundamental para diseñar el

sistema hidráulico de alimentación de los filtros.

Conclusiones

Las investigaciones realizadas con la finalidad de conocer el comportamiento térmico del veranero implicaron el desarrollo del tema. Como resultado se puede contar con un programa de computación para conocer y/o comprobar la carga térmica y un grupo de parámetros importante para el diseño de los veraneros.

Los valores obtenidos con la ayuda del programa CALTERM fueron verificados a partir de las evaluaciones realizadas al veranero ubicado en el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES). Deben continuarse las comprobaciones sobre todo en el cálculo de la radiación solar.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, M.; L. BÉRRIZ Y L VÁZQUEZ. «Propiedades ópticas de filtros líquidos para veraneros». Revista electrónica *Eco Solar*, No. 9, jul.-sep., 2004. www.cubasolar.cu
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), www.ashrae.org, diciembre de 2004.
- BÉRRIZ, L.; L. VÁZQUEZ. Y M. ÁLVAREZ. «Veranero para el cultivo de vegetales en clima tropical». Certificado de autor de invención No. 22384. Clasif. Int.: A010 9/14. 25.04.1995. Patente.
- YÁNEZ PARAREDA, GUILLERMO. *Energía solar, edificación y clima*. España: Ministerio de obras públicas, 1982.

La reparación de devanados de los motores asincrónicos para una mayor eficiencia, potencia nominal y capacidad de sobrecarga

Coil Reparation of Asynchronous Rotors for a Higher Efficiency, Nominal Potential and Overload Capacity

*Dr. Percy R. Viego Felipe*¹

*M.Sc. Enrique C. Quispe Oqueña*²

¹ *Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA)
Universidad de Cienfuegos, Cuba.*

² *Grupo de Investigación en Energía (GIEN), Departamento de Energética y
Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.
e-mail: pviego@fmec.ucf.edu.cu*

Resumen

Para mantener e incrementar la eficiencia de los motores trifásicos asincrónicos durante el proceso de reparación se han desarrollado procedimientos y tecnologías basados en los principios de la calidad total. Estos procedimientos y tecnologías, tanto los relacionados con la reparación de los devanados como de otras partes y sistemas de estas máquinas, requieren de pruebas que deben ser realizadas antes, durante y después del proceso de reparación. Uno de los aspectos determinantes que los autores del presente trabajo han planteado para alcanzar los propósitos anteriores es lograr un proceso de reparación de los devanados de alta calidad. Pero durante la reparación de los devanados también se pueden realizar acciones que permitan reducir las pérdidas, aumentar la potencia nominal del motor o su capacidad de sobrecarga. En este trabajo se presentan procedimientos determinantes en este proceso en los motores trifásicos (de bajo voltaje y de mediana capacidad), como una parte de la práctica recomendada para una reparación eficiente. Se evalúan aspectos que mejoran la eficiencia, entre los que se encuentran el calibre del conductor y la clase de aislamiento. Se analiza lo relacionado con las posibilidades de incrementar la potencia nominal a través de un recálculo del devanado y su influencia sobre la eficiencia y otros parámetros. Así mismo, se valora el efecto de incrementar la clase de aislamiento sobre la capacidad de sobrecarga y sobre la eficiencia.

Palabras clave: Eficiencia de máquinas asincrónicas, reparación de máquinas eléctricas.

Abstracts

To keep and raise the efficiency of three-phase asynchronous motors during the reparation process, new technologies and procedures have been developed based on the principles of total quality. These procedures and technologies, related to coil reparation as well as the refurbishment of other parts and systems of these machines, demand tests which should be performed before, during and after the reparation process. One of the major aspects, stated by the authors in this paper is to attain the former aims so as to perform a reparation process of high-quality coils. But during these reparations, actions can be taken

to reduce losses, raise nominal potential of the engine or its overload capacity. This paper contains key procedures in this process in the three-phase motors (low voltage and medium capacity) as part of a good practice for efficient repairing. Efficiency improving aspects are the caliber of the cable and the type of insulation material. The possibilities of raising the nominal potential through the re-estimation of the coil and its influence on efficiency and other parameters are analyzed. Likewise, the analysis on the kind of insulation to be used to raise their performance on overload capacity and efficiency are also reviewed.

Key words: Efficiency in asynchronous machines, electrical machine reparation.

Introducción

Para mantener e incrementar la eficiencia de los motores trifásicos asincrónicos (de bajo voltaje y de mediana capacidad) durante el proceso de reparación, se han desarrollado procedimientos y tecnologías basados en los principios de la calidad total [A Guide, 1999; Ramsey y Armintor, 1993; Viego, *et al.*, 2001].

Estos procedimientos y tecnologías, tanto los relacionados con la reparación de los devanados como de otras partes y sistemas de estas máquinas, requieren de pruebas que deben ser realizadas antes, durante y después del proceso de reparación [IEEE, 1992; IEEE, 1984; IEEE, 1996; Viego, 1999(b)].

Uno de los aspectos determinantes que los autores del presente trabajo han planteado para alcanzar los propósitos anteriores, es lograr un proceso de reparación de los devanados de alta calidad [Viego, *et al.*, 2001]. Pero durante la reparación de los devanados, también se pueden realizar acciones que permitan reducir las pérdidas, aumentar la potencia nominal del motor o su capacidad de sobrecarga.

La eficiencia se puede aumentar si se disminuye la resistencia del devanado del estator. Esto se logra fundamentalmente acortando la longitud de las cabezas de bobina e incrementando, siempre que sea posible, el área del conductor. Lo último puede obtenerse con un mayor llenado de la ranura. A esta posibilidad contribuye, en los motores más viejos, el menor espesor de los materiales aislantes actuales. Usualmente, el incremento de la sección del conductor no puede ser mayor que el correspondiente a un número AWG (aproximadamente 1,26 veces). Valores menores pueden ser logrados con combinaciones de hilos en paralelo [AC Motor, 1999; A Guide, 1999, Viego, 1999(a)].

Al reducirse las pérdidas en el devanado, la eficiencia aumenta y el incremento de temperatura disminuye (y con ello aumenta la vida útil de la máquina). El efecto de reducción de las pérdidas por el incremento del área del conductor y el uso de un sistema de aislamiento de una clase superior, pueden también utilizarse para aumentar la capacidad de sobrecarga del motor. En la condición de sobrecarga, el motor tiene mayor deslizamiento. Esto causa una corriente más elevada, lo que lleva a mayores pérdidas e incremento de temperatura. El límite para la sobrecarga lo determina el momento máximo del motor y la capacidad térmica nominal del aislamiento. Si se reducen las pérdidas y se aumenta la temperatura nominal del aislamiento, el motor puede operar a una

mayor sobrecarga. Esto aumenta el factor de servicio, pero no la potencia nominal. (El factor de servicio SF es el porcentaje de sobrecarga que puede tener el motor antes de que su temperatura de operación exceda la temperatura nominal del sistema de aislamiento).

Desarrollo

A. Potencia nominal y capacidad de sobrecarga

En algunos talleres de reparación se piensa que a los motores (sobre todo los viejos) se les puede aumentar la potencia nominal rebobinándolos con una sección de conductor mayor que la original, o incrementado la temperatura nominal a través de mejorar la clase del sistema de aislamiento. Esto casi nunca es cierto. Las normas de la NEMA y la IEC, especifican los valores mínimos del momento de arranque y del momento máximo que corresponden a cada potencia de salida y velocidad nominal. Usando una mayor sección de conductor o aumentando la temperatura nominal, no se incrementan estos momentos, por lo que no se puede aumentar la potencia nominal sin un análisis riguroso. Esto se debe a que el momento de arranque y el momento máximo están determinados fundamentalmente por las reactancias del estator y del rotor [Goldberg, 1984] y éstas se mantienen aproximadamente constantes si las vueltas efectivas no varían, como es el caso.

Así, por ejemplo, si se considera repotenciar un motor Siemens de 100 hp a 125 hp (460 V, 60 Hz, TEFC), el motor repotenciado a 125 hp quedaría con los mismos momentos que a 100 hp (ver datos de catálogo en la Tabla 1): un momento de arranque de 5611 N-m (112 % del nominal) de los 710 N-m de catálogo; y un momento máximo de 842 N-m (168 % del nominal) con respecto a los 1051 N-m de catálogo. Ambos parámetros están por debajo de los mínimos establecidos por la Norma IEC 34-12 para la Categoría N de diseño a la que corresponde este motor (según también la mencionada norma) que son 120 % y 180 %.

Para aumentar la potencia nominal de un motor hay que rediseñar el devanado, al mismo tiempo que se incrementa la clase del sistema de aislamiento.

Con las máquinas construidas con anterioridad a 1960 (en Norteamérica esto incluye las carcasas «U» y anteriores), que tienen aislamiento Clase A, la potencia nominal usualmente se puede incrementar hasta el siguiente valor de potencia en las escalas estándar de la NEMA e IEC, rediseñando el devanado y utilizando un aislamiento por lo menos Clase B.

Tabla 1. Datos de catálogo de motores Siemens

Potencia nominal (hp)	Velocidad nominal (rpm)	Momento nominal (N-m)	Momento de arranque (N-m)	Momento máximo (N-m)
100	1 775	401	561 (140 %)	842 (210 %)
125	1 780	500	701 (140 %)	1 051 (210 %)

Para determinar si la potencia puede ser incrementada aún más, se requiere un riguroso cálculo de las inducciones magnéticas. Aun si las inducciones magnéticas indican que ese incremento puede ser realizado desde el punto de vista eléctrico, es posible que existan problemas desde el punto de vista mecánico. Por ejemplo, un aumento muy grande de la potencia nominal puede causar fallas en los ejes o en los rodamientos.

Tales fallos mecánicos son más probables que ocurran en las carcassas más largas para una altura de eje dada, que en una de carcassas más corta. Así, es más probable la falla en una carcassas 256 que en una 254 o en una 200L que en una 200M (carcassas estándar NEMA).

Si se parte de un motor con aislamiento Clase B que fue construido después de los años sesenta (carcassas T en Norteamérica o carcassas IEC en otras partes del mundo), es difícil incrementar la potencia nominal de salida.

Nunca se debe tratar de incrementar más de un valor en la escala de potencia, y debe asegurarse que se use aislamiento Clase H.

En esto hay que considerar que los motores más pequeños operan con muy altas inducciones magnéticas y también con muy alto factor de llenado de ranura, por lo que el incremento de la potencia resulta usualmente imposible.

En cualquiera de estos casos hay que evaluar la eficiencia resultante (bien utilizando procedimientos de cálculo a partir de las dimensiones [AC Motor, 1999; Viego, 1999(a)], o bien por métodos experimentales) porque ésta variará en función de las nuevas relaciones entre pérdidas .

B. Incremento de la capacidad de sobrecarga y el problema de la eficiencia

Para evaluar cuantitativamente lo que sucede cuando se desea aumentar la capacidad de sobrecarga, es conveniente auxiliarse de expresiones que relacionen la corriente del estator con el producto de la carga lineal por la

densidad de corriente $A_1 D_{COR}$.

De [Goldberg, 1984]:

$$A_1 D_{COR} = \frac{20 P_{CU1}}{\rho_m L_M \pi D_1} 10^3 \quad (1)$$

Donde:

P_{CU1} : Pérdidas de cobre en el estator (W).

ρ_m : Resistividad del cobre a la temperatura de trabajo (Ω -mm² / m).

L_M : Longitud media de una vuelta (mm).

D_1 : Diámetro interior del núcleo del estator (mm).

Dado que la superficie de enfriamiento del devanado del estator se puede considerar proporcional al producto $L_M \pi D_1$, resulta fácil concluir de la Ec. (1) que $A_1 D_{COR}$ caracterizará la carga térmica específica del estator con respecto a las pérdidas de cobre en su devanado.

Haciendo las sustituciones convenientes, se puede expresar la corriente del estator [Viego, *et al.*, 1998; Viego, 1999(a)]:

$$I_1 = \sqrt{\frac{\pi D_1 A_{CON} (c) (a_1^2) (A_1 D_{COR})}{10 N_R S}} \quad (2)$$

Donde:

A_{CON} : Sección del conductor (mm²).

c : Número de conductores elementales en uno efectivo.

a_1 : Número de pasos en paralelo por fase.

N_R : Número de conductores por ranura.

S : Número de ranuras del estator.

Este valor de corriente podrá considerarse como la corriente nominal admisible para que la carga térmica específica produzca un calentamiento que se

corresponda con la clase del aislamiento. El valor de $A_1 D_{COR}$ se obtiene de gráficos empíricos [Goldberg, 1984] para cada tipo de motor; pero lo que aquí interesa es que si se toma el aislamiento Clase F como base [Goldberg, 1984], para otras clases de aislamiento se multiplica el valor hallado por:

Clase A	0,55
Clase E	0,70
Clase B	0,75
Clase F	1,00
Clase H	1,30

En [Viego, *et al.*, 1998] se demostró la validez de estas consideraciones para una amplia población de motores.

Cuando se aumenta la carga (sobrecarga) con sólo el incremento de la calidad del aislamiento para permitir una mayor carga térmica específica, la eficiencia varía. En los motores de mediana y gran capacidad, la tendencia es a variar ligeramente o incluso a permanecer constante. En los de pequeña potencia, la variación es más marcada. La evaluación de la eficiencia puede hacerse por medios experimentales (vía que resulta complicada frecuentemente) o mediante datos de catálogo, según será visto en los siguientes estudios de caso.

Resulta conveniente recordar que la clase de aislamiento quedará siempre determinada por aquel elemento del sistema que sea de menor calidad. Así, si en un motor se coloca aislamiento de ranuras y entre bobinas Clase F, pero el alambre es clase B, hay que considerar el aislamiento como de clase B.

C. Estudio de casos

Caso 1

Se tiene un motor Leroy Somer con los datos de placa y de catálogo que se muestran en la tabla 2.

Si este motor (europeo, con FS = 1) se rebobina con aislamiento Clase H, la corriente I_1 permisible (conexión para 440 V) alcanza, a partir de la ecuación (2):

$$I_1 = \sqrt{1,3} \times 51,5 = 1,14 \times 51,5 = 58,71 \text{ A}$$

ya que $A_1 D_{COR}$ se multiplica por 1.3 (aislamiento Clase H) dentro de la raíz.

De los datos de catálogo, haciendo una interpolación lineal (y a partir de considerar que la potencia es casi proporcional a la corriente):

$$\eta = 90,5 \%$$

$$\cos\theta = 0,866$$

O sea, que este motor tiene ahora una capacidad de sobrecarga continua de 14 % (que equivale aproximadamente a un FS de 1,15), con igual eficiencia, y un factor de potencia sólo ligeramente mayor. Resulta evidente la conveniencia energética de esta solución para el caso particular de este motor si la carga que acciona tiene un ciclo de trabajo en que el período de sobrecarga tenga un peso importante.

Caso 2

Contrariamente, véase este caso de un motor Siemens, cuyos datos de placa y de catálogo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Datos del motor Leroy Somer

Datos de placa			
Tipo	FLS 180L	Eficiencia	90,5 %
Número de polos	4	Velocidad	1760 rpm
Potencia	30 kW	Régimen	Continuo
Frecuencia	60 Hz	Factor de potencia	0,85
Voltaje	220/440 V	Protección	IP 55
Conexión	YY/Y	Aislamiento	Clase F
Corriente	103/51,5 A	Tipo de rotor	Jaula A5L

Datos de catálogo				
Potencia (p.u.)	0,50	0,75	1,00	1,25
Eficiencia (%)	89,5	90,5	90,5	90,5
$\cos\theta$ (p.u)	0,72	0,81	0,85	0,86

Tabla 3. Datos del motor Siemens

Datos de placa			
Número de polos	4	Eficiencia	79,8 %
Potencia	3 hp	Velocidad	1 725 rpm
Frecuencia	60 Hz	Régimen	Continuo
Voltaje	460 V	Factor de potencia	0,859
Conexión	Y	Protección	IP 55
Corriente	4,1 A	Aislamiento	Clase F

Datos de catálogo				
Potencia(p.u.)	0,50	0,75	1,00	1,25
Eficiencia(%)	80,7	81,2	79,8	77,0
$\cos\theta$ (p.u)	0,684	0,794	0,859	0,870

Si igualmente se rebobina con aislamiento Clase H, la corriente I_1 permisible asciende a:

$$I_1 = \sqrt{1,3} \times 4,1 = 1,14 \times 4,1 = 4,67 \text{ A}$$

y de los datos de catálogo, haciendo el mismo procedimiento de interpolación:

$$\eta = 78,3 \%$$

$$\cos \theta = 0,864$$

En este caso, con una sobrecarga igual a la del motor anterior de 14 %, la eficiencia se reduce en 1,5 puntos porcentuales (el factor de potencia se incrementa en 0,005 puntos). O sea, si la carga que acciona tiene un ciclo de trabajo en que el período de sobrecarga tenga un peso importante, al contrario del caso anterior, energéticamente se tiene una situación desfavorable.

Conclusiones

Una de las cuestiones que determinan el mantener e incrementar la eficiencia de los motores trifásicos asíncronos durante su reparación, es el logro de una alta calidad en la parte del proceso concerniente al devanado del estator.

Durante la reparación del devanado se pueden tomar medidas que lleven a reducir las pérdidas, aumentar la potencia nominal del motor o incrementar su capacidad de sobrecarga.

El incremento del área del conductor y la reducción de la longitud de las cabezas de bobina disminuyen las pérdidas del motor e incrementan la eficiencia; pero esto, junto con el uso de un aislamiento de mayor clase, no permite casi nunca (contrario a algunos criterios que abundan) aumentar la potencia nominal, porque los momentos de arranque y máximo no se incrementan con esas medidas. Por estas razones, para aumentar la capacidad nominal de un motor se requiere usualmente recalcular el devanado y utilizar una clase superior de aislamiento.

El uso de una clase superior de aislamiento permite aumentar la capacidad continua de sobrecarga, pero en esas condiciones la eficiencia puede variar favorable o desfavorablemente, en dependencia del diseño del motor.

Bibliografía

A Guide to AC Motor Repair and Replacement. St. Lois: Electrical Apparatus Service Association (EASA), 1999.

AC Motor Redesign. St. Luis: Electrical Apparatus Service Association (EASA), 1999.

GOLDBERG, O. D., *et al.* *Proyecto de máquinas eléctricas*. Leningrado: Energoatomizdat, 1984.

IEEE Std. 112-1996. *Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*. USA: 1996.

IEEE Std. 43-1974, Reaf. 1984. *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery (ANSI)*. USA: 1984.

IEEE Std. 432-1992. *Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electrical Machinery*

(5 hp to less than 10000 hp). USA: 1992.

RAMSEY, M. H Y J. K. Armintor. «Recommended Practice for Repair of Electrical Motors». *IEEE Trans. on Industry Applications*, 29 (1), pp. 52-59, 1993.

VIEGO, P. R. «Cálculo de devanados de motores asíncronos». Cali: Editora de la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1999(a).

_____. «Pruebas de impulso y de alto voltaje de CD para la evaluación de devanados de máquinas rotativas». Cali: Editora de la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1999(b). 67 pp.

VIEGO, P. R., *et al.* «Determinación de la corriente nominal en el cálculo de enrollados de motores asíncronos». Revista *Centro Azúcar*, No. 3, Año 25, sep.-dic., 1998.

_____. «Efficient Induction Machine Repair for Energy Efficiency».

Proceedings of SATIS 2001. Kingston: 2001. pp. 213-220.

El cambio organizacional en el sistema nacional de información de la energía en Cuba

Organizational Change in the National System of Energy Information in Cuba

*Alejandro González García
Alois Arencibia Aruca*

*Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGIA),
Ciudad de La Habana , Cuba.*

*Energy Information and Development Management (CUBAENERGIA)
Havana City , Cuba*

e-mail: alex@cubaenergia.cu y arencibia@cubaenergia.cu

Resumen

El desarrollo energético sostenible requiere de un eficiente proceso de adopción de decisiones basadas en «mejores evidencias científicas» obtenidas a partir de información confiable, relevante y oportuna. Una importante contribución a este proceso en Cuba lo constituye la creación del Sistema Nacional de Información de la Energía (SNIE). Para su primera etapa de desarrollo, en el período comprendido entre los años 1998 y 2000, se concibió una estrategia dirigida a la Gestión de la Información en Energía, la cual permitiría unificar la información con carácter de sistema, involucrando en este proceso a las principales instituciones vinculadas al sector energético cubano. Para la segunda etapa de desarrollo, en el período comprendido entre los años 2001 y 2004, se propone una estructura de trabajo en una Red del Conocimiento en Energía (REDENERG) descentralizada en nodos territoriales, sectoriales y temáticos, que integren los esfuerzos y recursos de las instituciones incorporadas al sistema, todo ello en un marco de intercambio, colaboración e integración. A escala horizontal y vertical con el propósito de gestionar la solución a los principales problemas energéticos identificados. Para la próxima y tercera etapa de desarrollo del SNIE, a iniciarse a partir del año 2005, se prevé iniciar el desarrollo del Sistema de Inteligencia Corporativa, que ha de servir de soporte al proceso de toma de decisiones de las instituciones que participan en sus trabajos. En este trabajo se presentan los principales elementos que caracterizan el proceso de cambio organizacional en el marco del SNIE.

Palabras clave: Cambio organizacional, información, conocimiento, energía.

Abstracts

Sustainable energy development demands an efficient decision-making process, based on “better scientific evidence” obtained from reliable, relevant and timely information. A major contribution to this process in Cuba is the setting up of a National System of Energy Information (SNIE, in Spanish). For its first development stage, in the period 1998-2000, a strategy was designed led to the Energy Information Management, which will allow unifying the information devised as a system, involving the main institutions linked to the

Cuban energy sector. For the second development stage, in the period 2001-2004, a work structure is proposed in an Network on Energy Knowledge (REDENERG, in Spanish), de-centralized in territorial, sector and theme nodes, which involve efforts and resources on the part of institutions involved in the system, in an exchange framework, collaboration and integration at a horizontal and vertical scale, aimed at solving major energy problems which were identified. For the next and third stage of SNIE development, to begin in 2005, a Corporative Intelligency System is to be set up, as a support for the decision-making process of the institutions involved in their works. This paper contains the major elements which characterize the organizational change process in the SNIE framework.

Key words: Organizational change, information, knowledge, energy.

Introducción

La adopción del documento Programa 21 «Declaración de Río sobre el medio ambiente y desarrollo» (División de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible) es un reconocimiento explícito a la utilización y aplicación efectiva y eficiente de información como medios para alcanzar el desarrollo sostenible; y plantea dos esferas de programas que deben aplicarse a fin de velar porque las decisiones se basen cada vez más en información fidedigna, a saber:

- a) Reducción de las diferencias en materia de datos.
- b) Mejoramiento del acceso a la información.

El desarrollo energético sostenible requiere, por igual, de una eficiente adopción de decisiones basadas en «mejores evidencias científicas» obtenidas a partir de información confiable, relevante y oportuna, en temas tales como: política energética, normas oficiales en materia energética, marco jurídico del sector energético, auditorías energéticas, entre otros. Una importante contribución a este proceso en Cuba lo constituye la creación del Sistema Nacional de Información de la Energía (SNIE), en el marco del proyecto: « Implementación de un Sistema Nacional de Información científico-técnico en energía » [Bolufé, 1997].

Para su primera etapa de desarrollo, en el período comprendido entre los años 1998 y 2000, se concibió una estrategia dirigida a la Gestión de la Información en Energía, soportada en una red computarizada, centralizada y gestionada desde un nodo central de comunicaciones conectado a la Red X.25 (RENACYT) de Información Científico-Tecnológica del CITMA, en el cual se unificaría la información con carácter de sistema, involucrando en este proceso a los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE), las universidades, centros de investigación, empresas productivas, Fórum Nacional de Ciencia y Técnica, entre otras instituciones vinculadas al sector energético cubano. Como resultado de esta etapa se libera la primera versión del portal CUBAENERGÍA (<http://www.energia.inf.cu>).

A partir del análisis de los aciertos y desaciertos sucedidos durante la primera etapa de desarrollo del SNIE, se planteó sostener el desarrollo ulterior del SNIE a partir de una estrategia dirigida a la gestión del conocimiento en energía, con

el propósito de gestionar la información sobre los problemas energéticos identificados a lo largo del territorio nacional y de las alternativas de solución, a través de proyectos, consultorías, servicios tecnológicos y desarrollo de productos informativos, soportada en el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Así, para la segunda etapa de desarrollo, en el período comprendido entre los años 2001 y 2004 y en el marco del proyecto: « Mantenimiento y escalabilidad del portal de la Red del Sistema Nacional de Información de la Energía » [González, 2000], se propone una estructura de trabajo en una red del conocimiento en energía (REDENERG) descentralizada en nodos territoriales, sectoriales y temáticos, que integren los esfuerzos y recursos (humanos, de información, tecnológicos, de servicios y materiales) de las instituciones incorporadas al sistema, todo ello en un marco de intercambio, colaboración e integración, a escala horizontal y vertical, como elemento primordial para el éxito de dicho proyecto. Los resultados más importantes para la etapa consisten en la liberación pública de la versión 2.0 del portal de la red, ahora denominado REDENERG con la identidad corporativa del sistema, la creación misma de los nodos, cada uno con un sitio Web en Internet para la distribución homogénea de la información sobre energía en las áreas objetos de negocios identificadas y la creación del Taller Nacional de Gestión del Conocimiento en Energía como foro para sistematizar el intercambio de las experiencias de trabajo en el sistema.

Para la próxima y tercera etapa de desarrollo del SNIE , a iniciarse a partir del año 2005 y en el marco del proyecto « Creación del almacén integrado de información del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba » [González, 2004], se prevé el desarrollo del Sistema de Inteligencia Corporativa , que ha de servir de soporte al proceso de toma de decisiones de las instituciones que participan en sus trabajos. A continuación se presentan, de forma detallada, los elementos que caracterizan cada una de las etapas de desarrollo del SNIE.

Etapas de desarrollo del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba

Las organizaciones «como entidades distinguibles, se encuentran insertas en un entorno con el cual interactúan mediante el intercambio de información, energía, materiales y valores; y que de la forma como se verifiquen estas interrelaciones adaptativas depende drásticamente su subsistencia. Sin embargo, tal como las organizaciones surgieron en algún momento de la historia de la humanidad determinadas por el desarrollo cultural, las necesidades sociales, los avances científicos y las tecnologías emergentes, del mismo modo también su operar y transformaciones que puedan experimentar permanecen indisolublemente unidas a los cambios que puedan darse en estos contextos»

[Maturana, 2002].

Así el SNIE, una organización virtual para el trabajo en red de instituciones e individuos vinculados al sector energético en Cuba, está siendo sometida a un cambio organizacional profundo (Tabla 1), definido éste como el proceso

necesario y sostenido de transformaciones orientado al crecimiento y desarrollo de los procesos internos y mejoras organizacionales, para su adaptación a un entorno dinámico y complejo, lo cual exige un nuevo comportamiento organizacional.

La génesis del cambio organizacional se identifica en la evaluación de los aciertos y desaciertos sucedidos durante la primera etapa de desarrollo del SNIE, cuyos principales resultados fueron [González, 2001]:

- Creación del nodo central de comunicaciones de la red del SNIE, ubicado en CUBAENERGIA.
- Liberación de la versión 1.0 del portal CUBAENERGÍA (<http://www.energia.inf.cu>) del SNIE, canal de distribución para los productos informativos: catálogo colectivo de publicaciones, bases de datos en línea, directorio energético nacional, promoción y seguimiento de eventos, boletines, publicaciones, revistas; además de información de proyectos, trabajos presentados al Fórum de Ciencia y Técnica, etc.

El presupuesto inicial, asignado para esta etapa del proyecto, cubriría los costos de adquisición de las tecnologías informáticas requeridas para la instalación del nodo central de comunicaciones, así como los costos de operación durante la puesta a punto de la red; quedando sentado que con los ingresos recibidos a través de las prestaciones de la red se generaría el presupuesto para su mantenimiento ulterior, lo cual habría de garantizar el desarrollo sostenible de la red.

En esta etapa se incorporaron al SNIE:

- Centro de Información de la Energía Nuclear (CIEN), hoy CUBAENERGÍA, como centro gestor del proyecto nacional para su creación.
- Departamento de Inspección Estatal Energética del MEP, como centro coordinador de la gestión de la información relacionada con la actividad de auditoría energética del país.
- División de Industria y Energía de la Agencia de Ciencia y Tecnología (ACYT), hoy GEPROP, como elemento viabilizador de los vínculos entre los organismos relacionados con la temática energía y la red de información.
- Organización No Gubernamental CUBASOLAR, como proveedora de la información relativa al uso de las fuentes renovables de energía en sustitución de las fuentes no renovables y contaminantes, el ahorro, la eficiencia energética y el respeto ambiental.

No así, los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE), universidades, centros de investigación, empresas productivas, Fórum Nacional de Ciencia y Técnica, entre otras instituciones vinculadas al sector energético cubano, según estaba previsto, constituyendo esta una debilidad del sistema que junto al insuficiente desarrollo de productos informativos propios y de asimilación de terceros, comprometían la sostenibilidad del SNIE.

El mantenimiento de las prestaciones, la implementación de nuevos servicios científico-técnicos y la escalabilidad nacional de la red constituyen los objetivos propuestos para la segunda etapa de desarrollo del SNIE, en la que se inicia el proceso de cambio, basado en el empleo de la técnica de Desarrollo Organizacional combinada con una Estrategia de Gestión del Conocimiento en Energía y orientado al diseño de un modelo de gestión sostenible del SNIE.

La Estrategia de Gestión del Conocimiento supone [González, 2003] :

- Crear una red del conocimiento en energía , como una estructura de nodos – central, territoriales, sectoriales y temáticos– interconectados e interdependientes, que vincula instituciones e individuos a escala local, regional y nacional, para coordinar acciones, en particular aquellas destinadas a mejorar la gestión del desarrollo energético sostenible en Cuba.
- Distribuir los contenidos de energía a través del portal REDENERG (Fig. 1).
- Crear nodos territoriales de energía , como un grupo de centros de un mismo territorio, vinculados al sector energético, que se nuclean y organizan alrededor de un centro cabecera; para gestionar la información sobre energía que se genera en el territorio y potenciar la solución de los problemas energéticos identificados, a partir de la explotación de las competencias de los recursos humanos que participan en un marco de intercambio, colaboración e integración establecido en el proceso de ejecución de proyectos y prestación de servicios, que fomentan además el desarrollo de capacidades de gestión y aprendizaje a nivel individual y colectivo en el sistema en las catorce provincias y el municipio especial Isla de la Juventud , cada una con sitio Web en Internet. Cada sitio Web está alojado en los servidores en explotación en la provincia y están enlazados desde el portal REDENERG.
- Crear nodos sectoriales para instituciones u organismos cuya actividad energética resulte de gran relevancia y de alcance nacional; siendo este un recurso para impulsar, definir y regular las formas de incorporación de sus entidades, ubicadas en cada territorio, al SNIE a través de cada nodo territorial. Se potencia el nodo sectorial nuclear conformado por las instituciones de la AEN &TA, el nodo sectorial de la Inspección Estatal Energética del MEP y el nodo sectorial PAEC, cada uno con sitio Web en Internet.
- Crear nodos temáticos para gestionar la información sobre energía en temas de relevancia e impacto. Se crea el nodo temático FÓRUM y se comienza a potenciar el nodo temático de Eficiencia Energética como espacio de colaboración con la red de Eficiencia Energética del MES. El primero con sitio Web en Internet desarrollado en el marco del proyecto.
- Potenciar la ejecución de proyectos y servicios vinculados con la gestión de la información y el conocimiento en energía , para atraer la atención al SNIE de los actores principales del sector energético en Cuba. Destacan los siguientes servicios prestados: alojamiento del sitio Web del Grupo de Inspección Estatal Energética del MEP (<http://www.energia.inf.cu/iee-mep/default.htm>) y del PAEC (<http://www.energia.inf.cu/PAEC/index.htm> ; la creación y alojamiento de los sitios Web del Grupo de Cooperación Tecnológica para la Comisión 4 del

Fórum de Ciencia y Técnica Nacional (<http://www.energia.inf.cu/sitioforum/>) y del Centro de Investigaciones de la Economía Mundial (<http://www.energia.inf.cu/ciem/>); la liberación del servicio de acceso a la Biblioteca de Tecnologías Apropriadas, el servicio de Panorama Nacional Energético, la prestación de sendos cursos a distancia en la red en las temáticas de Programación Web y AUTOCAD 2000; así como la contratación del servicio de gestión de la información para el PAEC. Se presta el servicio provisional de alojamiento de los sitios Web de los nodos territoriales que no cuentan con la tecnología propia. Para el mantenimiento del sitio Web del Grupo de Cooperación Tecnológica para la Comisión 4 del Fórum de Ciencia y Técnica Nacional y la extensión de los trabajos de gestión de la información vinculados al Forum de Ciencia y Técnica celebrado en las instituciones pertenecientes a la AENyTA , se contrató un proyecto no asociado por el financista AENyTA para dos años de ejecución.

- Crear el Taller Nacional de Gestión del Conocimiento en Energía, como el fórum para el intercambio de experiencias y la proyección estratégica del SNIE, así como para la presentación de los principales resultados de trabajo del SNIE y la difusión de las experiencias de la implementación del proceso de Gestión del Conocimiento en empresas del sector energético cubano, en lo fundamental. El taller cuenta con un libro electrónico, registrado con ISBN, y un sitio Web para la publicación de sus trabajos.

Esta estrategia ofrece un rango de beneficios que caen en dos amplias categorías: eficiencia y efectividad. En este contexto, eficiencia significa perfeccionamiento de los mecanismos de intercambio de información en energía , venciendo los obstáculos logísticos para obtener y disseminar información oportuna y relevante. Efectividad habla del impacto del SNIE en la prestación de servicios con un alto valor científico-técnico agregado, el alcance de la colaboración y la toma de decisiones en el sector energético cubano.

En esta segunda etapa de desarrollo se alcanza una propuesta preliminar de diseño informacional, que supone la recogida gradual y actualización sistemática de la información a escala territorial y nacional y que comprende las siguientes áreas objeto de negocios:

- Banco de problemas energéticos.
- Proyectos de I+D, Desarrollo Tecnológico e Innovación Tecnológica.
- Fórum de Ciencia y Técnica.
- Directorio de instituciones del sector energético (incluidas las que pertenecen a otro sector industrial y que participan en los trabajos del nodo) en el territorio.
- Directorio de especialistas del sector energético (incluidas las que pertenecen a otro sector industrial y que participan en los trabajos del nodo) en el territorio.
- Panorama energético (Servicio Informativo de Noticias).

- Eventos.
- Programas (FER, PAE y otros).
- Publicaciones (revistas, boletines y otras).
- Educación y cultura energética (cursos de pregrado, postgrado, diplomados, maestrías y otras).
- Auditoría y eficiencia energética.
- Proveedores (de servicios: informativos, mantenimiento, refrigeración, de tecnologías energéticas y otros; de financiamiento de proyectos y otros).

Así como el diseño de la política orientada a asegurar la calidad de los trabajos que se realizan en este marco, la cual comprende una serie de documentos que la explicitan, entre los que se encuentran los siguientes:

- Requisitos a cumplir por el centro gestor de proyecto de nodo territorial de energía .
- Metodología para la elaboración de proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica a presentar en el marco de los trabajos del SNIE.
- Contrato marco para la realización de los trabajos en el SNIE.
- Organización del trabajo por comisiones en el nodo territorial de energía .
- Procedimiento para la Gestión de la Información en el marco del SNIE. Establece entre otros elementos: la identidad corporativa del sistema, las áreas objeto de negocios en las que se gestiona información sobre energía y el modelo para el registro de la entrega de información por los actores del nodo.
- Procedimiento para la confección del informe final de los proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica financiados por el SNIE.
- Anexos para la certificación de los trabajos realizados por el SNIE.
- Interfase modular Consultor para la gestión de la tarea de consultoría que soporta los trabajos del SNIE.
- Metodología para la evaluación del proceso de cambio organizacional en el SNIE.

El SNIE evalúa la propuesta de proyecto para la creación del nodo territorial, considerando como premisa fundamental la viabilidad de tal herramienta para gestionar la información de energía generada en el territorio; verifica el cumplimiento por la organización, que presenta el proyecto de los requisitos establecidos para gestionarlo; y coordina a través de ella una visita de trabajo en el territorio con el propósito de comprobar la existencia de las condiciones

para su creación. En la visita de trabajo se presenta el proyecto nacional a las organizaciones vinculadas al sector energético en el territorio y se discuten los objetivos del proyecto territorial, contratando los trabajos pertinentes al primer año de trabajo, con el supuesto de aprovechar la capacidad instalada –de recursos: humanos, de información, tecnológicos, de servicios y materiales– en cada territorio. El financiamiento para el mantenimiento de los trabajos del nodo territorial creado se prevé sea obtenido por las siguientes fuentes: Programa de Ciencia y Técnica Nacional, Programa de Ciencia y Técnica Territorial, venta de productos y servicios informativos, instituciones internacionales donantes y financistas.

El SNIE prevé, además, la realización sistemática de auditorías para la verificación del estado de cumplimiento con calidad de los trabajos contratados en cada etapa.

La tercera etapa de desarrollo prevé el acceso a la tecnología para la creación del Sistema de Inteligencia Corporativa, soporte al proceso de toma de decisiones de las instituciones incorporadas al SNIE; y el desarrollo con profundidad del SNIE, con un impacto en el desarrollo local sostenible.

Propuesta metodológica para la evaluación de la evolución del proceso de cambio organizacional en el Sistema Nacional de Información de la Energía

La evaluación sistemática de la evolución del proceso de cambio organizacional permite visualizar los cambios generados por el comportamiento de la organización.

Para la evaluación de la evolución del proceso de cambio organizacional en el marco del SNIE se propone la adopción de una metodología [González, 2004] que consta, en lo fundamental, de las siguientes etapas :

Etapa 1: Diagnóstico de la organización.

Etapa 2: Análisis estructural.

Etapa 3: Establecimiento de los indicadores de desempeño.

Etapa 4: Análisis de tendencias.

Etapa 5: Análisis causal.

Se presentan a continuación los resultados del análisis realizado, desde la visión de los especialistas que gestionan el nodo central de la red del SNIE, para las tres primeras etapas que cubre esta metodología y que resultan pertinentes con el propósito de los trabajos preliminares al establecimiento de la proyección estratégica del SNIE.

Diagnóstico del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba

En esta etapa se considera como punto de partida para el trabajo la matriz DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas, oportunidades) resultante del diagnóstico realizado para el sistema en el año 2003, la cual es revisada, analizándose la actualidad de cada uno de sus elementos y que en caso positivo son incluidos en la matriz DAFO para el período 2004 (Tabla 2), junto a los elementos nuevos que han de ser considerados.

A modo de simplificar la presentación de los enunciados de los problemas vinculados con cada elemento de la matriz DAFO, en el caso de los elementos presentados como debilidades y amenazas, por su evidente coincidencia, se indica a continuación de estos y entre paréntesis el o los tipos de problemas en que se clasifican, los cuales por convención son: (1) Proyección del desarrollo, (2) Sostenibilidad y (3) Funcionamiento; en el caso de los elementos correspondientes a fortalezas y oportunidades, se presenta a continuación el enunciado para aquellos problemas a ellos asociados y que resultan pertinentes para este análisis:

F1. Heterogeneidad en el funcionamiento del sistema (1, 2, 3).

F2. Hay una infraestructura y capacidad tecnológica mínima en los centros gestores de proyecto de nodos territoriales y el nacional a disposición del sistema para su gestión y la divulgación que compromete su desarrollo (1, 2, 3).

F3. No se explotan al máximo las potencialidades de colaboración, cooperación e integración a nivel vertical y horizontal del sistema (3).

F4. CUBAENERGIA es una Unidad de Servicios Científico-Técnicos, autofinanciada, que prioriza aquellas prestaciones que le ofrecen un marco favorable para sus ingresos económicos (2).

F5. Heterogeneidad en los enfoques para la implementación de los procesos de gestión de la información y el conocimiento en instituciones que pertenecen al sistema (1, 2, 3).

F6. Falta de proyección estratégica del evento. Evento de reciente creación. No conocimiento público de la existencia del evento. Falta de garantía en el financiamiento para la realización del evento (1, 2, 3) . Insuficiente proyección estratégica de la publicación electrónica (1, 3).

F7. Nivel muy heterogéneo de la capacidad instalada disponible para el uso de las TICs en las entidades incorporadas al sistema (1, 3).

F8. No estructurada explícitamente la consultoría que sostiene los trabajos del sistema (1, 3).

F9. No se cuenta con un directorio de los recursos humanos del sector energético (3).

F10. Heterogeneidad en los resultados obtenidos por el sistema a nivel de nodos territoriales (3).

F11. Insuficiente la gestión de calidad en el sistema (3).

O1. La información en energía dispersa (2). Tratamiento heterogéneo a la información en energía entre las distintas instituciones (1, 3).

- O2. Insuficiente cultura y conciencia energética en el país (1).
- O3. Experiencias no satisfactorias en la incorporación de las instituciones en otros foros para compartir conocimiento e información (1, 3).
- O4. No conocimiento del mercado real y potencial para productos y servicios informativos a desarrollar en el marco del sistema (1, 2, 3).
- O5. Insuficiente gestión para la solución de los problemas energéticos en el territorio
(1, 3).
- O6. No existe una estrategia para el establecimiento de alianzas con redes análogas
(1, 2, 3).
- O7. Desconocimiento de todas las fuentes de financiamiento para el sistema (1, 2, 3).
- O8. Visión insuficiente con relación al uso óptimo y seguro de la capacidad tecnológica
y de servicios instalada en todo el país (1, 3).
- O9. El CITMA no está declarado como un cliente del sistema (1, 2, 3).

Análisis estructural del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba
El SNIE es un sistema – un objeto formado por elementos interrelacionados o interactuantes – abierto y se encuentra insertada en un ambiente o contexto estratégico externo, con el cual interactúa mediante el intercambio de información, energía, materiales y valores. Su operar y las transformaciones que pueda experimentar permanecen indisolublemente unidas a los cambios que puedan darse en este contexto estratégico externo.

El análisis estructural del sistema – SNIE y su contexto estratégico externo – persigue el objetivo de establecer la red de relaciones entre las variables que caracterizan los elementos que lo componen, puesto que toda vez que esta estructura de relaciones conserva cierta permanencia permite conocer la evolución del sistema. Este estudio comprende tres fases:

- Identificación de las variables.
- Localización de las relaciones en la matriz del análisis estructural.
- Búsqueda de las variables clave a través del método MICMAC.

Identificación de las variables

A partir del análisis de la matriz DAFO elaborada para el período 2004 y de los problemas asociados a cada uno de sus elementos, además de considerar la estructura de los subsistemas – o organización general, métodos y estilos de dirección, organización de las actividades científico tecnológicas y de las producciones especializadas, gestión de calidad, política laboral y salarial,

contabilidad, precios, costos, control interno, relaciones financieras, planificación, contratación, propiedad intelectual, mercadotecnia y comercialización, información – establecidos según la guía para el diagnóstico del Perfeccionamiento Empresarial de las organizaciones [CITMA, 2000], se propone una lista de 48 variables «de inicio» (Tabla 3), que caracterizan el comportamiento del sistema.

Esta lista comprende las definiciones conceptual y operacional de cada variable; la última permite «guardar en la memoria» todo lo que está implícito en la definición conceptual de la variable, estableciéndose un lenguaje común, sin el cual la reflexión y la identificación de las relaciones serían imposibles o no tendría ningún sentido.

Al final de la definición conceptual, en la tabla 3, se colocan entre paréntesis los problemas con los cuales resulta más evidente la relación de la variable en cuestión.

Localización de las relaciones en la matriz del análisis estructural

El planteamiento de un modelo de gestión para el desarrollo sustentable del SNIE requiere de un enfoque holístico – derivado de la consideración de las interrelaciones entre las variables que caracterizan los elementos que lo componen y su contexto estratégico externo – que permita «pensar» en los problemas y sus soluciones desde una perspectiva de desarrollo sustentable a escala territorial y nacional, para lo cual se requiere identificar las conexiones entre los aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales de los distintos problemas y entre éstos y las posibles soluciones.

La segunda fase del análisis estructural consiste precisamente en interrelacionar las variables que caracterizan los elementos del sistema en un cuadro de doble entrada ó matriz. El grupo de expertos evalúa el impacto o influencia directa de cada variable sobre cada una de las otras variables, considerando los siguientes criterios:

1. No se tendrá en cuenta el impacto o influencia directa de una variable sobre sí misma, entonces se seleccionará el valor 0.
2. Si la variable en cuestión tiene un impacto o influencia directa sobre la otra variable, entonces se seleccionará el valor 1; en caso contrario se seleccionará el valor 0.

De ahí resulta la matriz estructural del sistema (Fig. 2).

Búsqueda de las variables clave

Tras un examen sencillo de la matriz estructural se pueden identificar las variables que ejercen la mayor influencia directa, pero ello no resulta suficiente para revelar las variables «ocultas» que algunas veces ejercen una fuerte influencia sobre el problema estudiado. Una matriz que incluya varias decenas de variables puede comprender varios millones de interacciones en forma de cadenas de influencia y bucles de retroacción; o sea, de relaciones indirectas,

por lo que imaginar e interpretar una estructura de relaciones de tal magnitud resulta prácticamente imposible para la mente humana.

En esta fase se identifican las variables clave «las variables más motrices (aquellas cuya evolución condiciona más el sistema) y las más dependientes (las más sensibles a la evolución del sistema)» sobre las cuales es necesario actuar para lograr los objetivos del SNIE; empleando el método MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados - Multiplicación Aplicada a una Clasificación), que es un programa de multiplicación matricial aplicado a la matriz estructural y que permite estudiar la difusión de los impactos por los caminos o cadenas de influencias y bucles de retroacción, y jerarquizar las variables de la siguiente manera:

- Por orden de motricidad, teniendo en cuenta el número de caminos y bucles de longitud 1, 2, ..., n salidos de cada variable.
- Por orden de dependencia, teniendo en cuenta los caminos y bucles de longitud 1, 2, ..., n que llegan a cada variable.

A la salida del MICMAC obtenemos un plano motricidad - dependencia (Fig. 3), donde aparecen distribuidas cada una de las variables en los siguientes cinco sectores:

- Sector 1: variables motrices: V.8, V.10, V.11, V.12, V.13, V.17, V.26, V.27, V.31; son muy motrices y poco dependientes. Son las variables explicativas que condicionan el resto del sistema.
- Sector 2: variables de enlace: V.4, V.7, V.14, V.21, V.36; son a la vez muy motrices y muy dependientes. Resultan inestables por naturaleza. En efecto, cualquier acción sobre estas variables repercutirá sobre las otras y tendrá un efecto «boomerang» sobre ellas mismas que amplificará o desactivará el impulso inicial. Las variables de enlace son variables clave <<reto>> del sistema, aquellas a cuyo alrededor se van a desarrollar peleas entre los actores en razón de su carácter inestable.
- Sector 3: variables resultantes: V.1, V.2, V.6, V.23, V.24, V.30, V.38, V.45, V.48; son muy poco motrices y muy dependientes. Su evolución se explica por las variables de los sectores 1 y 2.
- Sector 4: variables excluidas y próximas al origen: V.3, V.9, V.18, V.20, V.22, V.25, V.32, V.33, V.34, V.39, V.43, V.44, V.46, V.47; constituyen tendencias fuertes o factores relativamente autónomos, ligeramente desconectadas del sistema, con el cual sólo tienen pocos puntos de unión. En la literatura se consideran como no determinantes de cara al futuro.
- Sector 5: variables del pelotón : V.5, V.15, V.16, V.19, V.28, V.29, V.35, V.37, V.40, V.41, V.42 ; son medianamente motrices y/o dependientes. Nada se puede decir a priori de estas variables.

Las variables clave resultan, entonces, las localizadas en los sectores 1 y 2 y se recomienda, a partir de la reflexión y consideración del grupo de trabajo involucrado en la proyección estratégica del SNIE, priorizar las acciones sobre ellas para lograr los objetivos de la organización.

Establecimiento de los indicadores de desempeño

Los indicadores de desempeño se establecen con el propósito de evaluar la evolución del proceso de cambio organizacional en el SNIE, toda vez que permiten conocer en el tiempo – una variable de transformación – el estado de las variables que caracterizan el comportamiento organizacional.

Para la selección de los indicadores de desempeño (Tabla 3) se aplicaron los siguientes criterios: cuantificable o cualificable, relevante para la sostenibilidad, vinculante, comprensible, llamativo, interesante, se basa en causas, desarrollado por el territorio, resonante, válido para todo el territorio, orientado a la acción, comparable, creíble y costo-efectivo.

Correspondería, en las etapas siguientes del estudio sobre el comportamiento del proceso de cambio organizacional del SNIE, determinar las necesidades de datos para cada indicador, identificar las fuentes de información, recopilar la información, realizar un análisis de tendencias para cada indicador y el análisis causal correspondiente según sea el problema-objeto identificado, siempre desde una visión global del sistema, a lo cual ayuda la revisión sistemática de su matriz estructural.

Conclusiones

1. La creación del SNIE es un fenómeno cultural.
2. La transición desde una estrategia dirigida a la gestión de la información a la actual estrategia, dirigida a la gestión del conocimiento en energía, toda vez que deberá garantizar la sostenibilidad del SNIE, ha de constituir un aporte significativo al desarrollo energético sostenible en Cuba, pues está dirigida a fortalecer la capacidad local, provincial y nacional de reunión, análisis y utilización de información multisectorial en los procesos de adopción de decisiones, con vistas a resolver los diversos problemas del sector energético y fomentar una sólida cultura y conciencia energética en los especialistas, directivos y en la población.
3. La creación de nodos de energía y la realización de sus trabajos en un marco de intercambio, colaboración e integración a escala horizontal y vertical, caracteriza el desarrollo actual del proceso de gestión del conocimiento en el SNIE.
4. La tercera etapa de desarrollo del SNIE comprenderá dos momentos esenciales: la escalabilidad tecnológica del SNIE, que comprende el desarrollo de su Sistema de Inteligencia Corporativa y su impacto en el desarrollo local sostenible.

5. El establecimiento de un sistema de indicadores ha de permitirle a los actores del SNIE lo siguiente:

- Definir su propia visión de sostenibilidad.
- Definir sus propias prioridades.
- Aumentar su capacidad de participación y organización.
- Adquirir nuevas habilidades.
- Establecer un diálogo en torno a los temas de interés común que afectan a la organización.
- Fortalecer su capacidad de argumentación frente a las autoridades.
- Hacerse más consciente de su entorno.
- Actuar en forma comunitaria.
- Asumir un rol protagónico.
- Potenciar su identidad.
- Potenciar la descentralización y el desarrollo local.

Bibliografía

BOLUF É, A. *Implementación de un Sistema Nacional de Información científico-técnico en energía , PNCT- CITMA: Desarrollo Energético Sostenible*. CIEN, 1997.

Capítulo 40. Información para la adopción de decisiones. Programa 21. Declaración de Río sobre medio ambiente y desarrollo .

<http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21sp/index.htm> CITMA. *Guía metodológica para la elaboración del expediente de perfeccionamiento de las entidades autofinanciadas de investigación científica, innovación tecnológica, producciones y servicios especializados*. La Habana : 2000.

GONZÁLEZ, A. *Mantenimiento y escalabilidad del portal de la Red del Sistema Nacional de Información de la Energía , PNCT 00613053-CITMA: Desarrollo Energético Sostenible*. CUBAENERGÍA, 2000.

GONZÁLEZ, A.; E. VIANT, A. ARENCIBIA, *et al*. *El Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba*. CUBASOLAR 2001 Taller Territorial de Energías Renovables y Respeto Ambiental, La Habana , 2001.

GONZÁLEZ, A.; ARENCIBIA, E. VIANT, *et al* . *La creación de nodos de energía , una novedosa estrategia para el desarrollo del proceso de gestión del conocimiento en el marco del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba*.

<http://www.energia.inf.cu/evento-gce/index.htm> , *Memorias del Primer Taller Nacional de Gestión del Conocimiento en Energía*, Santiago de Cuba, 2003. ISBN 959-7136-22-8.

GONZÁLEZ, A. *Metodología para la evaluación del proceso de cambio organizacional en el Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía*. <http://www.energia.inf.cu/evento-gce/trabajos-2.htm> , *Memorias del II Taller Nacional de Gestión del Conocimiento en Energía*, Camagüey, 2004. ISBN 959-7136-26-0.

GONZÁLEZ, A. *Creación del almacén integrado de información del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba*, PNCT/CITMA: *Desarrollo Energético Sostenible*, CUBAENERGÍA, 2004.

Anexos

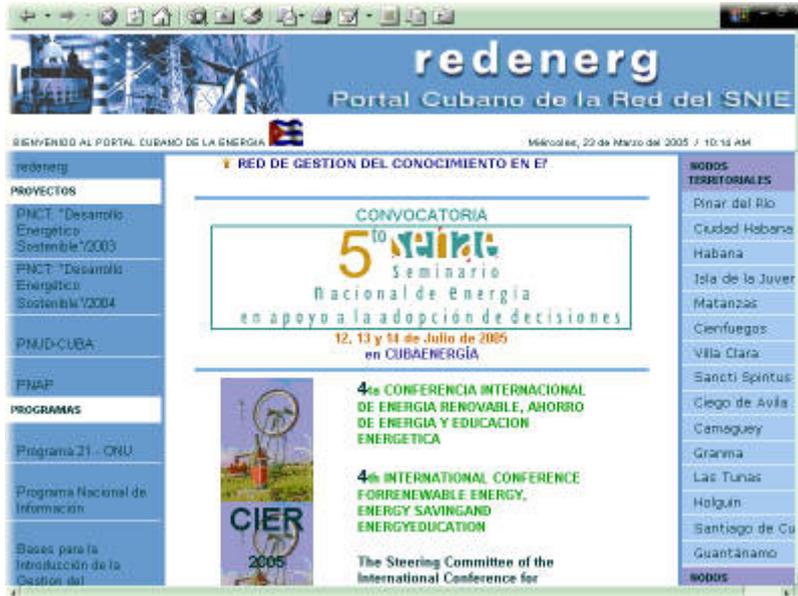


Fig. 1. Home page del portal REDENERG.

Definición	Variable	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Definición	Variable	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Cumplimiento de las tareas contratadas	Respuesta a las tareas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Efectividad de la organización del trabajo	Organización del trabajo	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Existencia de contratos o cartas de intención	Marco contractual	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Existencia de un modelo sostenible de gestión	Sostenibilidad del sistema	4	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
6	Domnio de la información sobre los problemas	Conocimiento de los prob	5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
7	Capacidad del sistema para resolver contingencias	Solvencia de la organizac	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Nivel de la gestión del proceso gradual y sostenido de transformaciones orientado al crecimiento y desarrollo del sistema	Gestión del cambio organi	7	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
9	Conocimientos, habilidades y experiencia de los recursos humanos	Competencias para la ges	8	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
10	Sistema de información integrada como soporte de la gestión	Sistema de información in	9	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
11	Existencia real de financiamiento para el mantenimiento y desarrollo	Financiamiento para el sis	10	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
12	Infraestructura propia de soporte y comunicación	Autonomía en las prestaci	11	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
13	Generación de soluciones por el sistema para el cliente	Impacto socioeconómico	12	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
14	Existencia de la cartera de productos y servicios	Cartera de negocios	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	Nivel de homogeneidad en el funcionamiento	Funcionamiento del sisten	14	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
16	Suficiencia de medios y equipamientos para el desarrollo	Disponibilidad de medios	15	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
17	Existencia de una estrategia encaminada a la mejora continua	Estrategia de colaboración	16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
18	Acciones emprendidas por el sistema para el desarrollo del negocio	Conocimiento del mercad	17	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
19	Existencia de procedimientos y documentos para el control de calidad	Aseguramiento de la calid	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Gestión de los recursos humanos para el desarrollo del negocio	Gestión de los recursos hu	19	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
21	Nivel de eficiencia en la gestión económica	Gestión económica - finan	20	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
22	Capacidad para establecer planes de crecimiento	Expansión	21	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
23	Systematicidad en el análisis del cumplimiento de los contratos	Estado de los contratos	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 2. Vista de la matriz estructural del sistema-SNIE y su contexto estratégico externo.

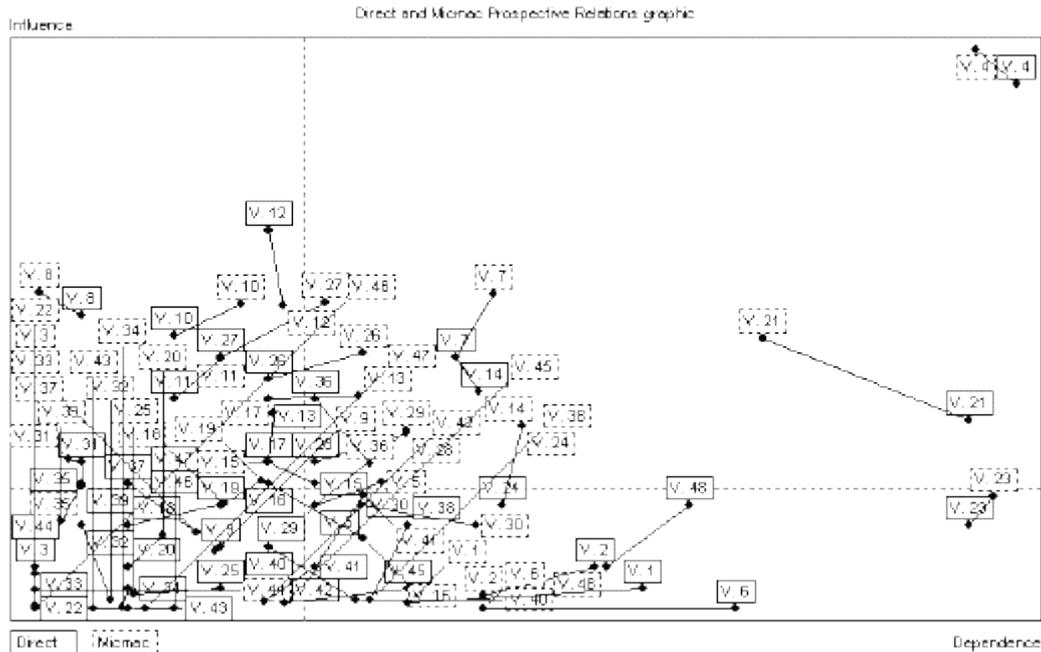


Fig. 3. Plano de motricidad-dependencia con las relaciones Directa y MICMAC del SNIE.

Tabla 1. Caracterización del proceso de cambio organizacional del SNIE

	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa
Propósito	Creación del sistema	Escalabilidad nacional de la red	Desarrollo local Escalabilidad tecnológica de la red
Estrategia	No definida	Definida	Definida
Proceso rector	Gestión de la información	Gestión del conocimiento	Desarrollo local
Estructura Organizacional	Organización jerárquica	Organización virtual	Organización virtual
Marco institucional	Sistema de Información Científico-técnico de Energía	Red del Conocimiento de Energía	Red del Conocimiento de Energía para el desarrollo local
Marco de desarrollo	Proyecto nacional	Proyectos nacionales Proyectos territoriales Proyectos internacionales Servicios informativos Consultorías Taller Nacional de	Proyectos nacionales Proyectos territoriales Proyectos locales Proyectos internacionales Servicios informativos Consultorías Taller Nacional de Gestión del Conocimiento en

		Gestión del Conocimiento en Energía	Energía Talleres regionales
Identidad corporativa	No definida	Definidas la marca y diseño gráfico e informacional del sistema	Registrada la marca Diseñada la identidad corporativa
Canal de comunicación	Red X.25 (RENACYT)	Internet	Internet Intranet
Soporte tecnológico	Externo	Propio	Propio
Soporte de servicios	Externo	Propio	Propio
Canal/es de distribución principal	Portal	Portal y sitios Web	Portal, sitios Web Intranet
Nivel de desarrollo tecnológico Web	Web estática	Web estática y dinámica	Web dinámica Sistema de Inteligencia Corporativa
Política de calidad	No definida	Definidos documentos que la explicitan	Sistema de Gestión de la Calidad

Debilidades

- D1. No explicitada la proyección estratégica del sistema. (1)
- D2. No esta acotado el segmento de mercado para el potencial de productos y servicios a desarrollar. (2)
- D3. No existe una experiencia comercial dentro del marco del sistema. (2)
- D4. Hay carencia de estrategias comerciales. (2)
- D5. Incipiente estrategia de comunicación del sistema. Poco fluida la comunicación interpersonal dentro del sistema . (3)
- D6. Insuficiente financiamiento en ambas monedas. (2)
- D7. No se conoce un marco de financiamiento para el mantenimiento del trabajo del sistema. Se presentó a la AEN &TA y no fue aprobado la propuesta de proyecto de servicio científico-técnico con tal propósito. (2)
- D8. Insuficiente infraestructura tecnológica propia del sistema. (2)
- D9. Heterogeneidad en el dominio de las TICs como soporte a la gestión de la información en el territorio. (3)
- D10. Insuficiencia en el trabajo con la base de datos del sistema. (3)
- D11. Insuficiente gestión de los recursos humanos incorporados al sistema. (3)
- D12. Heterogeneidad en los intereses de las instituciones participantes en el sistema impactan en el desempeño del sistema. (3)
- D13. No cumplimiento de algunas tareas contratadas a los nodos territoriales. (3)
- D14. Falta de sistematicidad en la actualización de la información en el sistema. (3)
- D15. Insuficiente organización del trabajo en los nodos . No asumida la estrategia de organización por comisiones de trabajo en el nodo. (3)
- D16. Carencia de otros proyectos que contribuyan al desarrollo del sistema. (2)
- D17. No existen contratos marco o cartas de intención firmadas entre las instituciones que conforman el nodo territorial, que expliciten el compromiso y un plan de trabajo para su participación real en las tareas del nodo. (1, 2, 3)

- D18. No existe transporte a disposición del proyecto, y la gestión del pasaje para viajar a provincia la tienen que realizar los mismos especialistas. (2)
- D19. Infraestructura de soporte y comunicación del nodo central del sistema pertenece a CUBAENERGIA y se subordina a las estrategias de servicios de esta institución. (2)
- D20. Insuficiente capacidad del sistema para resolver contingencias. (1, 2)
- D21. Insuficiente el nivel de gestión del cambio organizacional. (1, 2, 3)

Fortalezas

- F1. Presencia del sistema en todo el territorio nacional y en Internet.
- F2. Hay una infraestructura y capacidad tecnológica mínima y suficiente en los centros gestores de proyecto de nodos territoriales y el nacional a disposición del sistema para la gestión del mismo y la divulgación .
- F3. Existencia de un marco de colaboración, cooperación e integración en el sistema.
- F4. Interés de CUBAENERGIA en mantener los trabajos del sistema.
- F5. Hay experiencias en la implementación de los procesos de gestión de la información y el conocimiento en instituciones que pertenecen al sistema.
- F6. El sistema cuenta con un evento anual y una publicación electrónica.
- F7. Están incorporadas a la red importantes entidades del país .
- F8. Gestión del sistema a través de una consultoría.
- F9. Participan en el sistema recursos humanos calificados y de reconocido prestigio en el ámbito nacional e internacional.
- F10. Los resultados del sistema han sido avalados por los clientes en los territorios y han sido reconocidos como resultados científico-técnicos destacados a nivel de centro en CUBAENERGIA.
- F11. Implementados documentos para la gestión de calidad del sistema

Amenazas

- A1. No institucionalizado el sistema . (1)
- A2. No reconocido por el contexto estratégico externo el papel que como actor del sector energético cubano ha de desempeñar el sistema en el proceso de toma de decisiones. (1)
- A3. Falta de visión sistémica en la gestión de la solución de los problemas energéticos en el territorio. (3)
- A4. El mayor porcentaje de los OACE no se han incorporado al sistema. (3)
- A5. Falta de financiamiento para el mantenimiento del sistema, comprometiendo su existencia. (2)
- A6. El MINBAS tiene una Intranet para la gestión de información entre sus instituciones. (1, 3)
- A7. Mecanismos de regulación vigentes en la gestión económica del país que dificultan una adecuada gestión financiera del sistema. (2)
- A8. Insuficientes condiciones (materiales y financieras) para el alojamiento y alimentación de los especialistas que visitan los territorios. (2, 3)
- A9. Falta de cultura en el uso integrado de la información de energía para la toma de decisiones a nivel de país. (1, 3)
- A10. Monopolios de información. (1, 3)
- A11. Estado actual del transporte interprovincial. (2)
- A12. Componente en divisas para la participación en los eventos. (1)
- A13. Heterogeneidad en las necesidades de los actores vinculados al sector energético con relación al sistema. (1)

Oportunidades

- O1. Dispersión de la información en energía y su tratamiento no uniforme.
- O2. Necesidad de incrementar una cultura energética en el país.
- O3. Necesidad de un fórum para compartir conocimientos en el tema de energía.
- O4. Mercado real y potencial para productos y servicios informativos a desarrollar en el marco del sistema.
- O5. Necesidad de un enfoque integrador para la gestión de la solución de los problemas energéticos en el territorio.
- O6. Posibilidad de establecimiento de alianzas con redes análogas.
- O7. Existencia de programas de financiamiento internacionales, nacionales y territoriales vinculados a la temática de energía y a soluciones locales o comunitarias.

O8. Insuficiente explotación de capacidad tecnológica y de servicios instalada en todo el país.
 O9. El CITMA gestiona el Frente de Energías Renovables.

Tabla 3. Variables de inicio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores de desempeño
V.1	Respuesta a las tareas (D13, D14)	Cumplimiento de las tareas contratadas	1. Porcentaje de cumplimiento de las tareas contratadas anualmente
V.2	Organización del trabajo (D15, F8)	Efectividad de la organización del trabajo	1. Nivel alcanzado de participación de las instituciones del nodo en la ejecución del plan de trabajo
V.3	Marco contractual (D17)	Existencia de contratos o cartas de intención que comprometa a las partes que conforman los nodos del sistema	1. Número de contratos marco firmados entre el nodo central y los nodos territoriales 2. Número de cartas de intención firmados entre instituciones del nodo territorial
V.4	Sostenibilidad del sistema (A1, A2, A5)	Existencia de un modelo sostenible de gestión del sistema	1. identificado un modelo sostenible de gestión del sistema 2. Nivel alcanzado de sostenibilidad del sistema
V.5	Conocimiento de los problemas en la organización	Dominio de la información sobre los problemas fundamentales que existen en el sistema	1. Nivel alcanzado de actualización anual de la matriz DAFO de cada nodo del sistema
V.6	Solvencia de la organización	Capacidad del sistema para resolver contingencias	1. Crecimiento anual de un 15 % en la solución de problemas identificados como vitales para el sistema
V.7	Gestión del cambio organizacional	Nivel de la gestión del proceso gradual y sostenido de transformaciones orientado al crecimiento y desarrollo del sistema	1. Nivel alcanzado de gestión del cambio organizacional
V.8	Competencias para la gestión	Conocimientos, habilidades y experiencia de los jefes de proyectos	1. Número de jefes certificados de proyectos de nodos
V.9	Sistema de información integrada para la gestión (D10)	Sistema de información integrada como soporte del proceso de toma de decisiones	1. Nivel alcanzado en el uso del sistema de información integrada como soporte del proceso de toma de decisiones
V.10	Financiamiento real de la organización (A5, F6)	Existencia real de financiamiento para el mantenimiento del sistema.	1. Presupuesto mínimo calculado para la sostenibilidad del sistema 2. Número de proyectos de

			<p>nodos con financiamiento real para su ejecución</p>
V.11	Autonomía en las prestaciones (D19)	<p>Infraestructura propia de soporte y comunicación del sistema</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de nodos con servidores web propios en explotación 2. Número de nodos con servidores de bases de datos propios en explotación 3. Número de nodos que prestan servicio de Internet a la red 4. Número de nodos que prestan servicio de correo a la red
V.12	Impacto socioeconómico	<p>Generación de soluciones por el sistema para los problemas energéticos identificados</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de nodos que han gestionado con éxito la solución a más de 10 % de los problemas energéticos de cada territorio
V.13	Cartera de negocios	<p>Existencia de la carpeta de productos y servicios que oferta el sistema</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de productos y servicios prestados por cada nodo y que están vinculados con la solución a los problemas energéticos de cada territorio
V.14	Funcionamiento de la organización (F1)	<p>Nivel de homogeneidad en el funcionamiento del sistema.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de nodos que organizan su gestión por comisiones de trabajo
V.15	Disponibilidad de medios y equipamientos (D8, D18, F2)	<p>Suficiencia de medios y equipamientos para cumplir la actividad fundamental del sistema.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nivel de disponibilidad de medios y equipamientos para dar cumplimiento a la misión del sistema
V.16	Estrategia de colaboración (O6)	<p>Existencia de una estrategia encaminada a lograr una colaboración nacional e internacional para el crecimiento y desarrollo del sistema</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de proyectos nacionales gestionados por el sistema con la participación de varias instituciones 2. Número de proyectos internacionales gestionados por el sistema con la participación de varias instituciones 3. Número de servicios que presta el sistema con la participación de varias instituciones
V.17	Conocimiento del mercado (O4,D 2, D4)	<p>Acciones emprendidas por el sistema para conocer el mercado, competidores y todo aquello del ambiente externo que la afecta</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizada la investigación del mercado
V.18	Aseguramiento de la calidad (F11)	<p>Existencia de procedimientos y documentos suficientes y</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecida la política de calidad del sistema

		necesarios para el aseguramiento y control de la calidad de los trabajos del sistema	2. Existencia de procedimiento para la gestión de información en el sistema
V.19	Gestión de los recursos humanos (D11)	Gestión de los recursos humanos para el cumplimiento de las tareas y objetivos estratégicos del sistema	1. Actualizado el directorio de recursos humanos del sector energético en Cuba 2. Nivel de prioridad real para la gestión de cada nodo territorial por cada jefe de proyecto
V.20	Gestión económico-financiera	Nivel de eficiencia en la gestión económico-financiera	1. Nivel de relación ingresos/costos para cada actividad del sistema
V.21	Expansión (F1, D6, D7,D16, F6)	Capacidad para establecer planes de crecimiento y desarrollo del sistema.	1. Establecidos los indicadores de desempeño y sostenibilidad del sistema
V.22	Estado de los contratos	Periodicidad en el análisis del cumplimiento de los contratos	1. Nivel alcanzado para el control mensual del cumplimiento de los contratos
V.23	Gestión de la imagen corporativa	Nivel de consolidación de la imagen del sistema	1. Elaborada la identidad corporativa del sistema. 2. Porcentaje de resultados satisfactorios alcanzados en las encuestas sobre la imagen corporativa del sistema
V.24	Atención a los clientes	Focalización hacia las necesidades de los clientes y conocimiento del grado de satisfacción de los clientes	1. Número de servicios prestados por el sistema/ numero de servicios solicitados por clientes 2. Porcentaje de resultados satisfactorios alcanzados en las encuestas a los clientes
V.25	Gestión de la propiedad intelectual	Nivel de gestión para la protección de los resultados obtenidos en el sistema.	1. Protegida la identidad corporativa del sistema 2. Número de resultados protegidos y que son generados por el sistema/número de resultados a proteger
V.26	Estrategia de gestión de la información	Existencia de una estrategia de gestión de la información, orientada a la identificación de las necesidades de información de los clientes, así como una posición de apertura para compartir información, con otras entidades	1. Nivel de uso de la estrategia de información del sistema
V.27	Estrategia de gestión del conocimiento	Existencia de una estrategia de gestión del conocimiento	1. Nivel de uso de la estrategia de gestión del conocimiento del sistema

V.28	Estrategia para el uso de las TICs (D9)	Existencia de una estrategia orientada a potenciar una cultura del uso eficiente y seguro de las TICs como soporte al proceso de gestión de la información y el conocimiento	1. Nivel de uso de la estrategia de tic del sistema
V.29	Estrategia de comunicación (D5)	Existencia de una estrategia de comunicación adecuada a la misión, visión y objetivos estratégicos del sistema	1. Nivel de uso de la estrategia de comunicación del sistema
V.30	Capacidad de integración (F3, D12)	Nivel de integración de las instituciones participantes en el sistema	1. Nivel alcanzado de integración real de las instituciones del nodo
V.31	Experiencia en la gestión de soluciones (O5)	Experiencia del personal en la gestión de proyectos y servicios	1. Número de proyectos gestionados en los nodos 2. Número de servicios gestionados en los nodos
V.32	Coherencia de la política de información en energía (O1)	Nivel de coherencia de la política de información en energía en el país	1. Establecida la política nacional de información sobre energía
V.33	Programas vinculados a líneas de trabajo de la organización (O7)	Existencia de programas nacionales e internacionales que signifiquen un potencial de financiamiento para las principales líneas de trabajo del sistema	1. Número accesible de programas marco nacionales con impacto en el tema de energía 2. Número accesible de programas marco internacionales con impacto en el tema de energía
V.34	Expectativas sobre la organización (A13)	Heterogeneidad en las necesidades de los actores vinculados al sector energético con relación al sistema	1. Identificadas las necesidades o expectativas de información de los clientes reales y potenciales del sistema
V.35	Institucionalización de la organización (A1)	Institucionalización del sistema.	1. Sistema institucionalizado
V.36	Reconocimiento al rol de la organización (A2, A6)	Reconocimiento por parte de los actores vinculados al sector energético del rol del sistema	1. Porcentaje de avales satisfactorios emitidos por clientes del sistema
V.37	Visión sistémica del entorno para la gestión (A3)	Existencia de una visión sistémica en la gestión de la solución de los problemas energéticos en el país	1. Presencia de la dimensión económica en el análisis para la solución a los problemas energéticos identificados 2. Presencia de la dimensión social en el análisis para la solución a los problemas energéticos identificados 3. Presencia de la dimensión ambiental en el análisis para la solución a

			los problemas energéticos identificados 4. Presencia de la dimensión institucional para el análisis de la solución a los problemas energéticos identificados
V.38	Inercia en los actores potenciales para su incorporación a la organización (O3, A4)	Nivel de resistencia de los actores vinculados al sector energético para su incorporación al sistema	1. Número de nuevas incorporaciones al sistema
V.39	Acondicionamiento para los trabajos de la organización (A8, A11)	Nivel de acondicionamiento (alojamiento, transportación y alimentación) para la realización de los trabajos del sistema	1. Nivel de acondicionamiento para la realización de los trabajos del sistema
V.40	Cultura en el uso de la información (A9)	Existencia de una cultura en el uso de la información para la toma de decisiones en el sector energético	1. Nivel de uso de la información sobre energía para la toma de decisiones
V.41	Mercado para los productos y servicios (O4)	Existencia de un mercado real y potencial para los productos y servicios informativos sobre energía	1. Incremento del 10 % anual de las ventas de productos y servicios de la red 2. Identificado un banco de necesidades reales de productos y servicios de información a prestar por la red
V.42	Monopolio sobre la información (A10)	Nivel del control sobre la información	1. Numero de instituciones no incorporadas al sistema con un alto impacto en la información sobre energía
V.43	Coherencia de los enfoques de gestión por el entorno (F5)	Nivel de homogeneidad en los enfoques para la implementación de los procesos de gestión de la información y el conocimiento	1. Nivel de homogeneidad alcanzado para la implementación de los procesos de gestión de la información y el conocimiento en el sector energético
V.44	Regulaciones económicas vigentes (A7)	Mecanismos de regulación vigentes en la gestión económica del país que impactan en la adecuada gestión financiera del sistema	1. Existencia de orientación metodológica de la actividad de precios y costos desde el nivel central 2. Nivel de información sobre regulaciones vigentes en la gestión económica del país
V.45	Tratamiento de la información de energía por el entorno (O1)	Caracterización del tratamiento de la información en energía por los actores vinculados al sector energético	1. Nivel de heterogeneidad en el tratamiento de la información sobre energía
V.46	Competencia real y potencial	Existencia de competencia real y potencial para los productos y	1. Número de instituciones que se dedican a la venta

		servicios generados por el sistema	de productos y servicios de información en el tema de energía
V.47	Cambio tecnológico	Cambio tecnológico	1. Nivel de impacto del cambio tecnológico para la gestión del sistema
V.48	Dispersión de la información de energía (O1)	Nivel de dispersión de la información de energía	1. Nivel de dispersión de la información de energía

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 Bérriz 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 Bérriz 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

<http://www.cubasolar.cu>