



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

**39**



Explotación de los depósitos solares para la estabilización de la calidad de la mena en la minería del níquel .....	1
Normas técnicas y sistemas fotovoltaicos conectados a red.....	13
La geografía de la provincia de Pinar del Río y los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	31
Gestión energética eficiente a un proceso de producción de alcohol.....	43
Sistema de ordenamiento de las fuentes renovables de energía en Cuba. Propuesta de Geoportal de Energía.....	55

## **Explotación de los depósitos solares para la estabilización de la calidad de la mena en la minería del níquel**

### **Exploitation of solar deposits for the stabilization of the quality of the ore in nickel mining**

*Por Ing. Severo Estenoz Mejías\* y Dr.C. Luis Bértiz Pérez\*\**

*\* Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa, Holguín, Cuba.*

*\*\* Presidente de CUBASOLAR.*

*e-mail: sestenez@ecg.moa.minbas.cu y berriz@cubasolar.cu*

#### **Resumen**

Las oscilaciones en la calidad de los minerales lateríticos se manifiestan tanto en los perfiles como entre cuerpos minerales, sectores o yacimientos. Tales oscilaciones requieren, durante el laboreo minero, de varias etapas de control y compensación para la regulación de la calidad de los flujos de salida de las minas o campos mineros. La explotación de los depósitos mineros ocupa el marco de investigación en este trabajo. Se estudiaron los factores que influyen en la calidad del mineral abastecido, evaluando alternativas tecnológicas para el diseño y aplicación de un monitoreo minero de la calidad de todos los flujos de menas unitarios y principales del laboreo minero. Se diseña y aplica una nueva tecnología de formación, evacuación y control de las operaciones con lotes, sectores y pilas de los depósitos mineros. Para la sincronización de tales operaciones se organiza un novedoso sistema informático, el cual se acopla al tradicional sistema de control del despacho de producción en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Se estudió detalladamente el comportamiento de dos meses para la caracterización del potencial anual. La aplicación de la tecnología de monitoreo y operación de los depósitos de estabilización permite reducir las pérdidas anuales de mineral en el laboreo minero, en más de 400 mil toneladas, equivalentes a 4 300 toneladas de níquel producido, con un valor superior a los 75 millones de dólares. Además, con este apilado y evacuación en los depósitos, se logra elevar la compensación y la homogeneización de las menas en más de 70 grados.

**Palabras clave:** Secado solar, fuentes renovables de energía, minerales y materiales a granel

#### **Abstract**

The variations in the quality of lateritic minerals are shown both in the profiles and among mineral bodies, sectors or deposits. Such variations require, during mining, several stages of control and compensation for the regulation of the quality of the outflows of the mines or mining fields. The

exploitation of mining deposits occupies the framework of research in this paper. The factors influencing the quality of the supplied mineral were studied, evaluating technological alternatives for the design and application of a mining monitoring of the quality of all the unitary and main ore flows of the mining works. A new technology of training, evacuation and control of the operations with lots, sectors and batteries of the mining deposits is designed and applied. For the synchronization of such operations a new computer system is organized, which is coupled to the traditional control system of the production office in the Comandante Ernesto Che Guevara Company mine. In order to characterize the annual potential, the results obtained in two months were studied in detail. The application of the technology of monitoring and operation of the stabilization tanks allows to reducing the annual losses of ore in the mining works in more than 400 thousand tons, equivalent to 4 300 tons of nickel produced, with a value exceeding 75 million dollars. In addition, with this stacking and evacuation in the tanks, it is possible to raise the compensation and the homogenization of the ores in more than 70 degrees.

**Keywords:** Solar drying, renewable energy sources, minerals and bulk materials

## **Introducción**

Cuando se explotan cuerpos minerales o yacimientos de minerales sólidos con alto grado de agrietamiento, o elevada distribución granulométrica y mineralógica, se manifiesta una alta variabilidad en su composición físico-química, sus propiedades mecánicas y su composición mineralógica. Este fenómeno genera una desigual distribución espacial cuantitativa y cualitativa de todas o algunas de las variables particulares o específicas requeridas como indicadores de calidad, las cuales deben considerarse en las exigencias para alcanzar altos rendimientos y eficiencia en los procesos de preparación y tratamiento químico o metalúrgico. Se requiere entonces organizar sistemas de almacenamiento y dirección de los flujos de menas para compensar esa diversidad natural, y alcanzar la estabilización de sus características en los flujos resultantes de la mina, cantera o campos de minas que abastecen de materia prima a las plantas metalúrgicas o químicas.

Hasta junio de 2004, en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG) existía dificultad para compensar los flujos de menas que operativa y puntualmente surgían y se desplegaban durante el avance de uno de los tajos en los frentes de arranque de las excavadoras. Los elevados regímenes de lluvias durante casi todo el año, así como el método de amontonamiento y apilado empleado para la formación de los depósitos mineros, no permitían un uso eficiente de la capacidad disponible, ni la

compensación de los flujos resultantes de menas en la mina, en cada momento productivo ni que fuese necesaria o factible la mezcla compensatoria con menas pobres o ricas en unas u otras propiedades físicas, químicas o mineralógicas para el proceso metalúrgico. El objetivo de nuestro trabajo es explotar operativa y eficientemente los depósitos mineros a la intemperie, en las condiciones climáticas naturales.

## **Materiales y métodos**

En el desarrollo del trabajo se identificaron los principales antecedentes y deficiencias en el uso y explotación eficiente de los depósitos mineros de compensación y estabilización, los cuales fueron estudiados detalladamente. Los aspectos estudiados fueron:

- Grado de incertidumbre en la calidad del mineral extraído puntualmente en los frentes de extracción.
- Deficiente delimitación e identificación de los bordes y superficies de contacto por el piso de las menas, en los depósitos mineros disponibles.
- Insuficiente viabilidad y acceso de los caminos hacia los depósitos.
- El incompleto grado de drenaje de las aguas dentro y en las periferias de los depósitos.
- Existencia de un control parcial y de baja precisión para el monitoreo y cómputo de la cantidad y calidad de mineral depositado y manipulado hacia o desde los depósitos.
- Inexistencia de un monitoreo dinámico y operativo de la calidad de los flujos de menas abastecidos o evacuados de los depósitos mineros.

La interpretación y estudio de la situación anterior permitió organizar la selección de los lugares del campo de minas con mejores características minero-geológicas, para la ubicación, construcción y explotación de cada depósito de compensación y estabilización de la calidad de los flujos de menas. Con la valoración de esas alternativas, se procede al diseño y aplicación de un sistema de monitoreo de la calidad de todos los flujos de menas en los frentes y depósitos.

La obtención del sistema de monitoreo y la realización de pruebas exigió la organización, diseño, programación e implementación de un sistema informático que permitiera la inserción en el actual sistema de despacho, con la entrega y suministro operativo de la información a la dirección de operaciones de la mina de la Empresa.

## Resultados

Para comenzar la instrumentación de los resultados se creó una primera zona de operación, de acuerdo a las exigencias de las operaciones y la disponibilidad del equipamiento minero existente. Esta primera zona se ubicó cercana a las instalaciones de la planta de preparación de mineral de la Empresa; se construyeron tres depósitos a la intemperie, cuyos datos más significativos se muestran en la tabla 1. Todos los depósitos se construyeron aproximadamente con el mismo peralte, entre 2 y 2,5%.

*Tabla 1. Parámetros básicos de los depósitos mineros construidos en la primavera de 2004*

Depósito	Ubicación	Largo, m	Ancho, m	Alineación	Capacidad, t
1	Bloques S51-S52	240	180	E-O	170 000
2	Bloque R52	160	130	E-O	90 000
3	Bloque R53	140	90	E-O	60 000

A partir de junio de 2004 se comenzó la utilización de estos depósitos de monitoreo y estabilización de la calidad del mineral, de acuerdo a la disponibilidad del equipamiento minero existente.

Inicialmente se utilizaron los depósitos para el monitoreo de la calidad, descargando 4 viajes de camiones procedentes de cada uno de los frentes de arranque que se encontraban trabajando.

Esta operación se realizó cuatro veces al día: temprano en la mañana, al comenzar la tarde, de noche y en la madrugada.

El monitoreo de la calidad del mineral de los camiones descargados y muestreados en los depósitos, permitió inicialmente corregir y dirigir mejor la organización de los flujos dinámicos de menas provenientes de los frentes, y lograr una resultante más exacta y constante durante la alimentación directa a la fábrica. Por otra parte, con la descarga diaria en los depósitos de 40-60 viajes de camiones, el volumen de mineral procesado durante el muestreo alcanzó entre 20 y 40 mil toneladas mensuales. Este mineral, caracterizado y con exacta ubicación en los depósitos, permitió su utilización efectiva para compensar calidades extremas en los flujos de abasto a la fábrica, durante las 24 horas del día.

En la tabla 2 se muestra la cantidad de mineral abastecido y evacuado en los depósitos, desde junio del 2004 hasta la fecha, y la cantidad de muestras tomadas durante la manipulación del mineral.

*Tabla 2. Cantidad y calidad del mineral abastecido y evacuado de los depósitos de estabilización desde junio de 2004 hasta la fecha*

Trimestre Años	Masa de mineral abastecido				Masa de mineral evacuado				Muestras
	TM	%Ni	%Co	%Fe	TM	%Ni	%Co	%Fe	Número
III-04	44 640	1,22	0,113	39,6	12 600	1,20	0,12	39,3	250
III-04	94 480	1,34	0,104	42,5	45 096	1,35	0,10 1	42,3	767
IV-04	105 000	1,34	0,092	40,8	138 137	1,34	0,09 9	41,1	919
<b>2004</b>	<b>244 120</b>	<b>1,32</b>	<b>0,100</b>	<b>41,2</b>	<b>195 833</b>	<b>1,34</b>	<b>0,10 1</b>	<b>41,2</b>	<b>1 936</b>
I-05	138 218	1,33	0,095	39,4	148 225	1,32	0,09 2	39,8	945
II-05	184 976	1,25	0,099	39,3	153 056	1,26	0,09 9	39,0	1 170
III-05	361 630	1,32	0,102	37,9	364 602	1,33	0,10 2	38,3	1 982
IV-05	118 520	1,34	0,095	39,5	165 688	1,32	0,09 5	39,0	1 401
<b>2005</b>	<b>803 344</b>	<b>1,31</b>	<b>0,099</b>	<b>38,7</b>	<b>831 571</b>	<b>1,31</b>	<b>0,09 8</b>	<b>38,8</b>	<b>5 498</b>
I-06	178 400	1,36	0,093	39,5	164 640	1,37	0,09 2	39,4	1 416
II-06	259 392	1,29	0,110	41,8	226 140	1,30	0,10 6	41,1	1 699
III-06	222 580	1,32	0,102	41,2	208 145	1,35	0,10 4	41,3	1 390

IV-06	126 600	1,31	0,161	39,9	182 340	1,30	0,14 4	40,4	848
<b>2006</b>	<b>786 972</b>	<b>1,32</b>	<b>0,112</b>	<b>40,8</b>	<b>781 265</b>	<b>1,33</b>	<b>0,11 1</b>	<b>40,6</b>	<b>5 353</b>
I-07	52 920	1,26	0,110	40,2	49 680	1,24	0,10 9	40,7	763
II-07	162 980	1,24	0,098	39,9	141 000	1,28	0,09 6	38,5	1 115
III-07	179 960	1,24	0,106	42,0	108 260	1,23	0,11 3	41,6	665
IV-07	53 020	1,19	0,109	43,5	151 372	1,22	0,10 4	42,6	767
<b>2007</b>	<b>445 220</b>	<b>1,24</b>	<b>0,104</b>	<b>41,2</b>	<b>424 752</b>	<b>1,24</b>	<b>0,10 4</b>	<b>40,8</b>	<b>3 050</b>
I-08	135 260	1,19	0,105	42,1	130 626	1,20	0,10 7	42,4	1 107
II-08	159 740	1,26	0,109	43,4	82 715	1,21	0,11 6	43,4	999
III-08	194 560	1,40	0,104	40,5	194 420	1,28	0,10 7	42,3	1 125
IV-08	263 960	1,27	0,105	40,7	367 596	1,34	0,10 5	40,3	1 289
<b>2008</b>	<b>753 520</b>	<b>1,28</b>	<b>0,106</b>	<b>41,5</b>	<b>775 357</b>	<b>1,290</b>	<b>0,10 7</b>	<b>41,5</b>	<b>4 520</b>
<b>Total</b>	<b>3 036 836</b>	<b>1,30</b>	<b>0,105</b>	<b>40,5</b>	<b>3 034 338</b>	<b>1,30</b>	<b>0,10 5</b>	<b>40,4</b>	<b>5 613</b>

Para ilustrar las potencialidades de los depósitos de estabilización, mezcla y homogeneización de la calidad en la Empresa, estudiamos detalladamente las operaciones de abril y mayo de 2006. Se consideraron valores extremos por el borde inferior, los contenidos de níquel, iguales o inferiores a 1,0%, y por el borde superior se consideraron valores extremos los iguales o superiores a 1,6%. En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de esos meses, considerando el trasiego real (25%) y el total posible de los minerales minados y a trasegar por los depósitos mineros,

donde se puede observar que en 14,4% de los muestreos, los contenidos de níquel se encontraban por debajo del borde inferior para 7,4% de las veces, y promediaban contenidos de 0,8% de níquel y 41,6% de hierro.

Estos flujos de menas se amortizan y se compensan cuando se mezclan en las pilas de los depósitos mineros existentes, pero son rechazados durante la organización y regulación de la calidad de los flujos de abasto a la planta; de esta forma, esos volúmenes de menas pobres pasan a ingresar en las reservas de minerales que se consideran perdidos durante la planificación de la operación minera. Lo mismo puede ocurrir con los altos contenidos de níquel, generalmente presentes en los minerales más saprolíticos, los cuales se desperdician sí entran al proceso metalúrgico en concentrados puntuales, por cuanto las operaciones no están ajustadas para esa densidad o concentración de metales.

*Tabla 3. Compensación de los flujos mineros de abasto a la planta metalúrgica con menas pobres y ricas en níquel, mediante el trasiego por los depósitos, en abril de 2006*

<b>Magnitud de la compensación</b>	<b>Masa, t</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Co</b>	<b>%Fe</b>	<b>%Casos</b>
Menas pobres a 25% de trasiego	5 420	0,80	0,088	41,6	7,4
Menas pobres a 100% de trasiego	15 540	0,80	0,088	41,6	29,4
Menas ricas a 25% de trasiego	5 780	1,69	0,131	40,8	7,0
Menas ricas a 100% de trasiego	14 700	1,69	0,131	40,8	27,5
Menas ricas y pobres a 25%	11 200	1,26	0,111	41,2	14,4
Menas ricas y pobres a 100%	30 240	1,23	0,109	41,2	56,9

*Tabla 4. Compensación de los flujos mineros de abasto a la planta metalúrgica con menas pobres y ricas en níquel, mediante el trasiego por los depósitos, en mayo del 2006*

<b>Magnitud de la compensación</b>	<b>Masa, t</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Co</b>	<b>%Fe</b>	<b>%Casos</b>
Menas pobres a 25% de trasiego	7 600	0,89	0,129	43,5	11,1
Menas pobres a 100% de trasiego	24 360	0,89	0,129	43,5	42,8

Menas ricas a 25% de trasiego	4 640	1,70	0,107	35,8	5,9
Menas ricas a 100% de trasiego	13 020	1,70	0,107	35,8	23,4
Menas ricas y pobres a 25%	12 240	1,20	0,121	40,6	17,0
Menas ricas y pobres a 100%	37 380	1,17	0,121	40,8	66,2

*Tabla 5. Potencial de compensación de los flujos mineros de abasto a la planta metalúrgica, a partir de los valores del estudio en abril y mayo de 2006*

<b>Magnitud de la compensación</b>	<b>Masa, t</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Co</b>	<b>%Fe</b>	<b>%Casos</b>
Suma de ambos meses a 25%	23 440	1,23	0,116	40,1	15,7
Suma de ambos meses a 100%	67 620	1,20	0,115	40,1	61,5
Valor medio mensual a 25%	11 720	1,23	0,116	40,1	15,7
Valor medio mensual a 100%	33 810	1,20	0,115	40,1	61,5
Valor medio anual a 25%	140 640	1,24	0,114	39,8	14,6
Valor medio anual a 100%	405 720	1,21	0,111	39,2	57,5

<b>Homogeneización 2008</b>	<b>Masa, t</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Co</b>	<b>%Fe</b>	
Agosto		-64,7	-139,7	-5,1	
Octubre		-93,6	-194,6	-75,9	
Noviembre		-44,0	-243,7	-14,4	

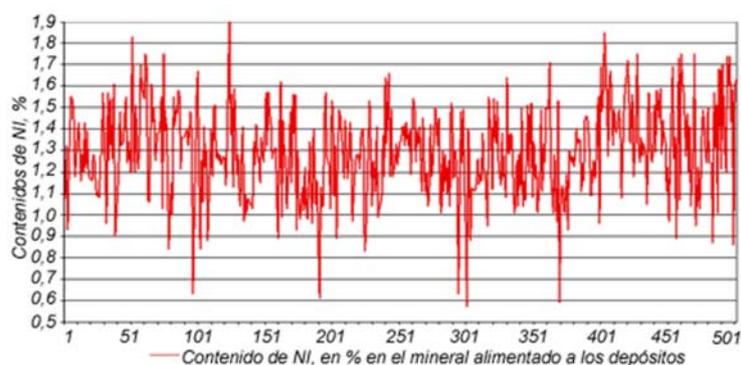
*Tabla 6. Niveles de homogeneización de los flujos de abasto y evacuación en los depósitos*

<b>Actividades</b>	<b>Níquel</b>	<b>Cobalto</b>	<b>Hierro</b>	<b>Media</b>
Alimentado en abril de 2006	-55,0	67,0	-18,1	-2,0
Alimentado en mayo de 2006	-55,8	65,1	-8,9	0,1

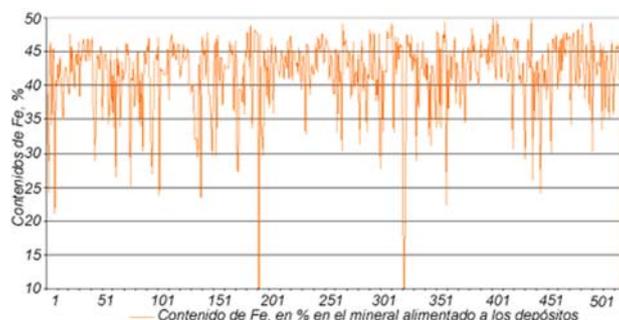
Evacuado en abril de 2006	85,4	64,9	84,4	78,3
Evacuado en mayo de 2006	83,1	66,7	79,6	76,5

De mantenerse el muestreo minero y el manejo de minerales en los depósitos a los ritmos de abril y mayo del 2006, se podrían recuperar más de 140 mil toneladas de minerales extremos, pobres y ricos en níquel, con una adecuada compensación de su calidad. Además, en la tabla 5 se dan los estimados para el trasiego a través de los depósitos de todos los minerales extraídos, lo cual muestra cómo se podrían recuperar, sin detrimento de la calidad final de la mezcla, más de 405 mil toneladas de menas, que actualmente se pierden por no cumplir con las exigencias de calidad del proceso fabril.

Los elevados niveles de variabilidad de la calidad en los flujos de menas que abastecen a los depósitos mineros, se caracterizan por valores muy bajos de homogeneización. En las figuras 1 y 2 se muestran la alta y amplia frecuencia de las oscilaciones de los contenidos de hierro y níquel en dichos flujos de alimentación.



*Fig. 1. Contenido de níquel en el mineral de alimentación a los depósitos en abril de 2006.*



*Fig. 2. Contenido de hierro en el mineral de alimentación a los depósitos en mayo de 2006.*

El grado de homogeneización de los flujos de alimentación para abril y mayo, resultó extremadamente bajo, oscilando el valor medio para hierro, níquel y cobalto, entre -2 y 0,1 grados, respectivamente. La tabla 6 muestra los valores del grado de homogeneización de los flujos de menas que se abastecen y evacuan de los depósitos mineros. En ella se puede apreciar que la homogeneización en el mineral de evacuación aumentó 80 grados en abril, y 76 grados en mayo.

*Tabla 6. Niveles de homogeneización de los flujos de abasto y evacuación en los depósitos*

<b>Procesos tecnológicos</b>	<b>Níquel</b>	<b>Hierro</b>	<b>Mena</b>
<b>Flujos de minerales alimentados a los depósitos</b>			
Primera decena de abril	-11,9	-5,1	-38,0
Segunda decena de abril	-9,6	20,1	-166,4
Tercera decena de abril	-18,0	13,8	-46,0
Primera decena de mayo	-25,3	-5,8	-119,0
Segunda decena de mayo	-17,9	19,7	-104,5
Tercera decena de mayo	-24,1	26,5	-54,4
<b>Flujos de minerales evacuados desde los depósitos</b>			
Primera decena de abril	78,8	73,8	61,1
Segunda decena de abril	81,9	77,1	64,9
Tercera decena de abril	76,8	80,5	73,1
Primera decena de mayo	76,4	84,6	71,7
Segunda decena de mayo	70,6	90,3	69,9
Tercera decena de mayo	85,7	85,5	75,6

En las figuras 3 y 4 se graficaron las oscilaciones de la calidad en uno y otro mes para los contenidos de hierro y níquel; las regularidades de los contenidos alrededor de una línea de tendencia, o valor medio, son evidentes con respecto a las oscilaciones extremas e irregulares de la calidad de los minerales extraídos directamente desde los frentes mineros, durante el mismo periodo y representados en las figuras 1 y 2.



Fig. 3. Contenido de níquel en el mineral evacuado de los depósitos, en abril y mayo de 2006.

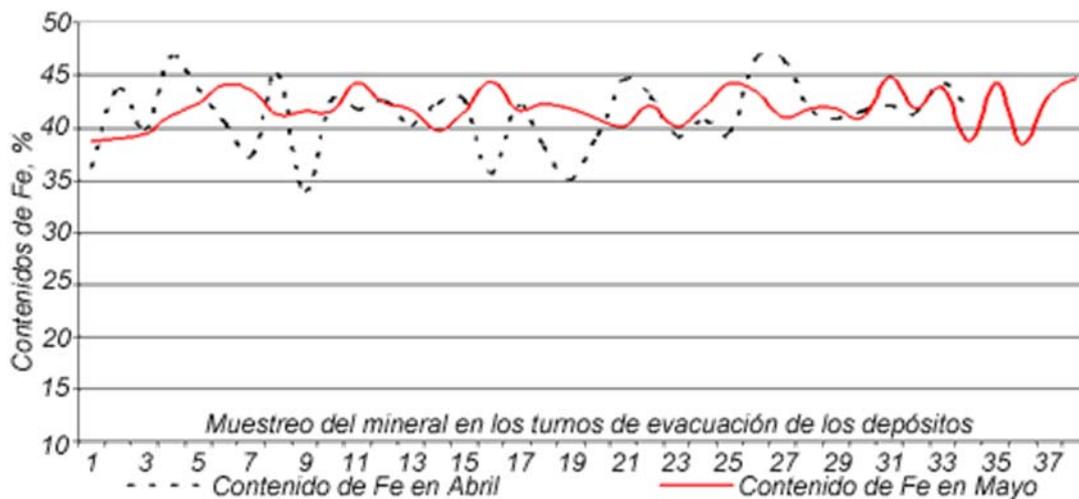


Fig. 4. Contenido de hierro en el mineral evacuado de los depósitos, en abril y mayo de 2006

## Conclusiones

1. La homogeneidad de los flujos de menas que se extraen de los frentes de arranque y se abastecen a los depósitos mineros, o de la planta de preparación de mineral, es generalmente nula y en otros casos, es negativa.
2. El diseño y aplicación del sistema de monitoreo de la calidad en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, desde junio de 2004 hasta el cierre de 2008, ha permitido desarrollar una minería más dinámica y aumentar hasta 30% la realización de mezclas selectivas y compensatorias.
3. El trasiego de los minerales por los depósitos mineros elevó los niveles de homogeneización de los flujos de menas en el orden de los 60-85 grados, con los mayores resultados en abril y mayo, respectivamente.
4. Mediante los procesos de manipulación y desmenuzamiento de los minerales en los depósitos mineros, se han recuperado más de 400 mil toneladas de minerales con calidades extremas, o parcialmente fuera de especificaciones. Estas generan producciones de níquel y cobalto, con un valor en el mercado superior a los 37,7 millones de pesos convertibles.

## Bibliografía

Certificación mensual de operaciones realizadas en el Servicio Científico-Tecnológico 1239: «Monitoreo Minero y Operación de los Depósitos de Estabilización», desde junio de 2004 hasta marzo de 2008, ECECG-CEINNIQ, Servicio.

ESTENOZ, S. M., A. ALDERÍ, N. BATISTA, A. DONATIÉN y otros (2005).

«Resultados en la industria minera del secado solar y la homogeneización de minerales en pilas a la intemperie», en *Memorias en CD del Evento CIEMA '05*, Noviembre 8-11, ISBN 959-2007-198-5, UO-CEEFE, Santiago de Cuba.

ESTENOZ, S. M., N. PÉREZ, I. RAMÍREZ y otros (2004). «Secado solar y homogeneización de minerales a la intemperie en la industria cubana del níquel», en *Memorias del Evento CUBASOLAR-2006*, Hanabanilla, Villa Clara.

*Reporte diario del monitoreo minero y operación de los depósitos de estabilización*. Desde junio de 2004 hasta marzo de 2008, ECECG-CEINNIQ, Servicio Científico-Tecnológico 1239.

## **Normas técnicas y sistemas fotovoltaicos conectados a red**

### **Technical standards and grid-tied photovoltaic systems**

*Por Antonio Vázquez Pérez\*, Raynel Díaz Santos\*\*,  
María Rodríguez Gámez\* y Raúl Espino Ares\**  
*\* Centro de Investigaciones  
y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL),  
Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba.  
\*\* Empresa de Hidroenergía, La Habana, Cuba.  
e-mail: antoniov@tesla.cujae.edu.cu,  
y raynelds@electrica.cujae.edu.cu*

### **Resumen**

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red han surgido como una alternativa viable de diversificación de la base energética a nivel mundial, siendo capaces de inyectar energía eléctrica al sistema, y con ello reducir el consumo de combustibles fósiles. La energía solar es la más distribuida de todas las fuentes renovables; como principio, su aprovechamiento supone la mayor aproximación a este modo de generación, es decir, generar allí donde se consume la energía, implicando la búsqueda de soluciones técnicamente adecuadas a dicho principio. El marco regulatorio para el proceso inversionista establece las exigencias y requerimientos a desarrollar durante la etapa conceptual de proyectos, que deben ser cumplidos para la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. En el trabajo se proponen los parámetros que deben considerarse en la creación de las normas técnicas cubanas para la etapa conceptual del proyecto, vinculada a la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

**Palabras clave:** Sistemas fotovoltaicos conectados a la red, fuentes renovables de energía, normas técnicas

### **Abstract**

Grid-tied photovoltaic systems have emerged as a viable alternative to diversify the world energy mix. These systems introduce electrical energy into the grid, and thereby reducing the consumption of fossil fuels. Solar energy is the most distributed of all renewable sources; so it's harnessing, that is, generating where the energy is consumed, implying the search for technically adequate solutions to this principle. The regulatory framework for the investment process establishes the requirements to be developed during the concept stage of the projects which must be fulfilled for the introduction of grid-tied photovoltaic systems. The current paper proposes the

parameters that should be considered in the creation of Cuban technical standards for the concept stage of grid-tied photovoltaic systems projects. **Keywords:** grid-tied photovoltaic systems, renewable energy sources, and technical standards

## **Introducción**

Los sistemas fotovoltaicos están integrados por tecnologías complejas con una alta fiabilidad, que se diseñan para ser instalados de forma modular empleando métodos sencillos y que durante su operación requieren un mínimo de recursos humanos, técnicos y económicos; pudiendo trabajar en condiciones críticas de aislamiento.

Cuando se comparan con las instalaciones de generación eléctrica que tradicionalmente se han utilizado, parecen desde el punto de vista tecnológico mucho menos complicadas para la solución de los problemas técnicos que puedan presentarse, y menos riesgosas en su operación. Esta idea de simplicidad técnica puede conducir a un pensamiento lineal de simplificación tecnológica, que deje a un lado las exigencias de los estudios y evaluaciones que deben desarrollarse acerca de la factibilidad energética, económica y medioambiental desde la etapa conceptual de proyectos, manteniendo un control sistemático durante el montaje y la operación del sistema a lo largo del ciclo de vida.

Esa línea de pensamiento puede estimular la introducción de esta tecnología, pero al final suele traducirse en rendimientos energéticos y conflictos técnicos inesperados, que generalmente implican para su solución gastos imprevistos que debían haberse planificado desde la etapa de inversión, ocasionando impactos económicos negativos que atentan contra la credibilidad técnica de estos sistemas.

La realidad es que el concepto de simplicidad atribuido a las tecnologías de aprovechamiento de la radiación solar es pura apariencia, pues durante la etapa conceptual de proyecto, así como en el montaje y operación de los sistemas, pueden presentarse problemas y complicaciones técnicas nada despreciables, atendiendo a sus consecuencias energéticas, económicas y medioambientales.

La carencia de normas técnicas aprobadas que regulen los procesos de inversión, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, puede conllevar a la improvisación de proyectos carentes de una fundamentación técnica adecuada, que lleven demasiado lejos los principios de simplificación técnica en función de viabilizar la introducción de la tecnología, así como la aplicación de soluciones que

pueden incrementar los costos de las inversiones, sin considerar los resultados de estudios certificados por expertos.

Actualmente la productividad energética de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, está regida por las limitaciones que implica la disponibilidad natural de la radiación solar, motivando que la recuperación económica se estime mediante un proceso lento que comprende entre 10 y 15 años, por lo que resulta importante la garantía de la calidad y confiabilidad técnica que debe asegurarse para todo el periodo de vida útil (25 años) de estos sistemas. El peso de este argumento obliga a que, en el momento de emprender una inversión, sea necesario profundizar en los estudios y evaluaciones que aseguren el mayor aprovechamiento energético del sistema, las medidas de protección, seguridad y una gestión económica rentable.

Lo expuesto corrobora la necesidad de cumplimentar las normas técnicas asociadas con el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, al igual que las normas jurídicas que permitan la ordenación de estas fuentes, fundamentalmente los sistemas fotovoltaicos conectados a la red por resultar los más costosos.

Debe observarse rigurosamente lo previsto en el sistema de gestión de la calidad, establecida en la familia de las normas ISO-9000 [Pérez, 2009], entendida como las formas de administrar y ejecutar con eficiencia los recursos financieros y materiales, que sean puestos a disposición de una determinada organización económica, y por otro lado, el marco regulatorio para las inversiones [Ministerio, 2006] que establece las exigencias y procedimientos para ejecutar el proceso inversionista, comenzando por los estudios de prefactibilidad y preinversión dirigidos a lograr una gestión energética, económica y medioambiental eficiente, sustentada en la confiabilidad tecnológica de las instalaciones.

Las centrales eléctricas convencionales dependen básicamente para su funcionamiento de combustibles fósiles, que deben ser extraídos en muchos casos a grandes profundidades, procesados, transportados y suministrados, constituyendo este el principal problema de abastecimiento técnico, ya que se materializa de forma constante al ritmo de la generación eléctrica; pero que una vez resuelto, junto con una adecuada operación técnica del sistema, puede asegurar el funcionamiento confiable y estable del proceso de generación.

Las tecnologías de generación fotovoltaica que en la actualidad se comercializan, dependen en todos los casos de diversos factores externos para su funcionamiento confiable, que desde el punto de vista técnico influyen en la estabilidad y confiabilidad operacional de la tecnología.

El estudio de los impactos energéticos, económicos y medioambientales en Cuba concluye que, para sistemas fotovoltaicos iguales o mayores de 40 kWp, es necesario evaluar la calidad de la radiación solar, ya que constituye el combustible de estos sistemas, además de la influencia que sobre ella ejercen los componentes climáticos del sitio donde se instalen (temperatura, humedad, nubosidad, viento), la posición de la tierra con respecto a la geometría solar, los elementos orográficos y estacionales, la contaminación del aire, la disponibilidad del espacio para su instalación, la micro fauna existente y hasta los aspectos vinculados con la cultura y tradiciones sociales de los sitios escogidos para su instalación.

Un aspecto importante a tener en cuenta, lo constituye la distancia del sitio de instalación con relación a la ubicación de los centros de carga que serán suministrados, asegurando que las pérdidas asociadas a los procesos de transmisión y distribución sean mínimas.

Estos y otros elementos van a conformar un patrón de conceptos técnicos, que constituyen la base para los estudios de prefactibilidad desde la etapa conceptual de proyectos, y que deben ser tenidos en cuenta por el proyectista a la hora de brindar los servicios de arquitectura e ingeniería, con una especial importancia en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, en los que un descuido al respecto puede representar una carga económica significativa para el inversionista.

La desatención de estas exigencias puede afectar los resultados energéticos esperados en correspondencia con el diseño certificado de la tecnología empleada, creando una posible confusión sobre las causas de un fallo técnico o de un bajo rendimiento del sistema, dificultando la aplicación de medidas para la solución de los problemas.

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

### **Antecedentes**

En 2002 fue presentado por la Agencia de Cooperación Técnica Internacional del Japón (JICA), con la cooperación del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y el Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), ambos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba, un informe con la guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural [Akio, et al., 2002].

Como paso previo a la elaboración de dicho informe se desarrolló un proyecto basado en trabajo de campo, para conocer la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos y comprobar la efectividad técnica, montaje y operación de los sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia Santiago

de Cuba, instalados para la electrificación de escuelas, salas de televisión y consultorios del médico de la familia.

Durante la realización de los trabajos prácticos se pudo verificar que la etapa conceptual de este proyecto se realizó de manera apresurada, dada la urgencia para la instalación y generalización de los sistemas en todo el país, simplificándose los estudios de prefactibilidad y preinversión, a partir de la generalización de determinadas experiencias obtenidas en los sistemas aislados.

Se pudo comprobar en la práctica un grupo de irregularidades que afectaban la calidad de las instalaciones y la prestación de los servicios a que estaban destinadas. Entre las dificultades detectadas se encontraban la falta de aseguramiento para el suministro y reposición de piezas y componentes, problemas técnicos de conexión eléctrica, paneles orientados al Oeste cuando la orientación adecuada debe ser al Sur, el grado de inclinación se estandarizó a  $30^\circ$  cuando el adecuado por la latitud del lugar correspondía a los  $20^\circ$ ; mala calibración de algunos cables y violación de los códigos de color, falta de sistemas de protección eléctrica, débil estudio de demanda, dimensionado incorrecto de sistemas, inadecuada operación y mantenimiento; insuficiente capacitación, atención y asesoramiento técnico a los usuarios, y no se designó ningún grupo de expertos o un tercero que controlara la fase de instalación, montaje y explotación de los sistemas [Akio, et al., 2002].

Estas deficiencias, detectadas apenas a cuatro años de instalada la tecnología, ya habían provocado el colapso de algunos de los sistemas, fomentando la falta de credibilidad por parte de los usuarios y el propio inversionista, además del impacto económico al no lograrse el cumplimiento del objeto social de las inversiones.

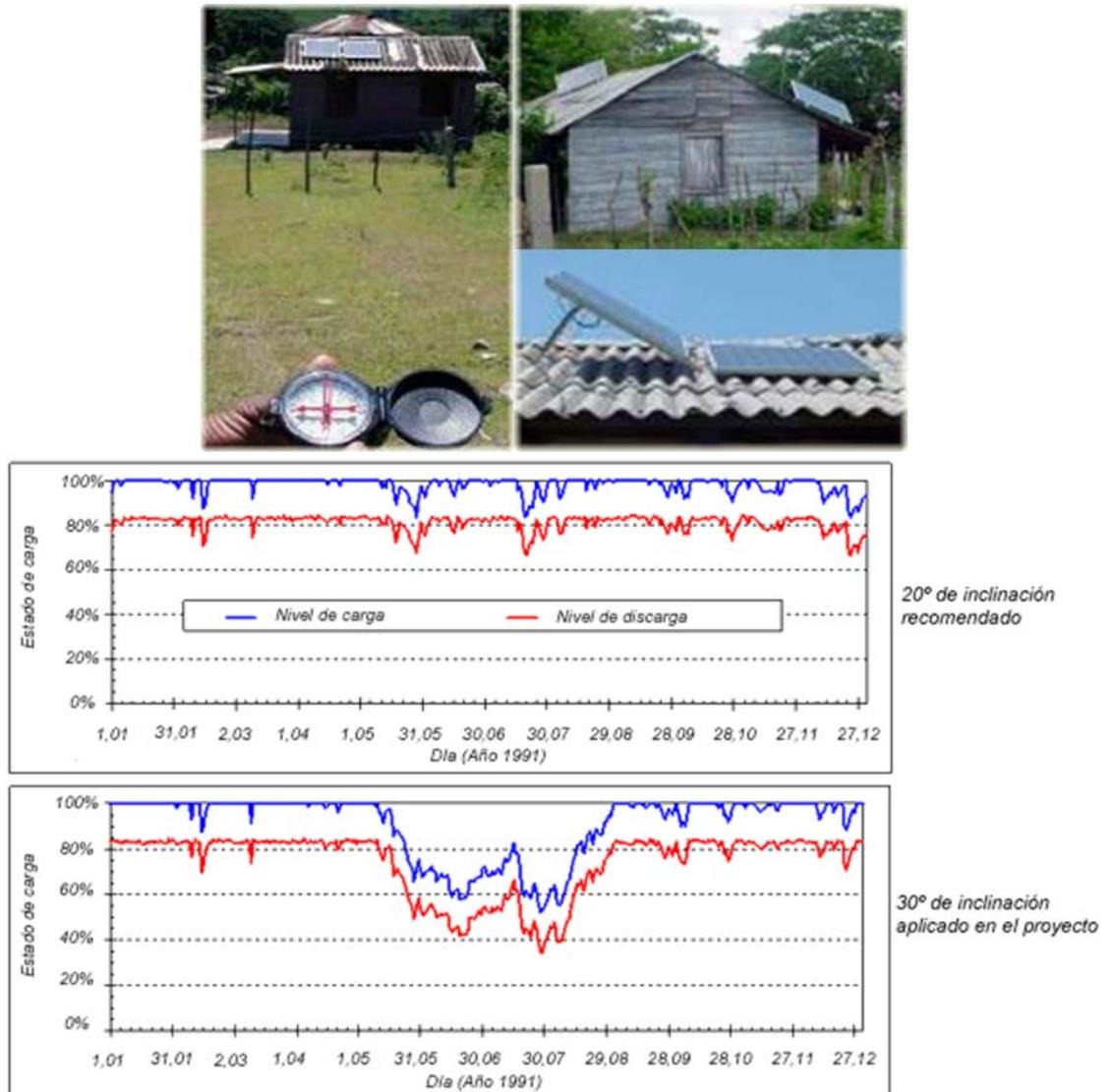
En la figura 1 se observan la ilustraciones 1a, 1b y 1c, en las que se muestran las dificultades detectadas en el módulo, pudiéndose apreciar el desprendimiento de la capa protectora de la parte posterior del módulo, el corrimiento de la placa interior de la estructura y la mala calidad de la estructura metálica [Akio, et al., 2002].



*Fig. 1. Dificultades detectadas en el módulo.*

En la figura 2 se muestra la incorrecta orientación y grado de inclinación de los paneles. En las ilustraciones

2a y 2b se pueden apreciar paneles mal orientados, en la 2c, el incorrecto grado de inclinación, y en la 2d los efectos en rendimiento que provoca la selección inadecuada del grado de inclinación [Akio, et al., 2002].



*Fig. 2. Incorrecta orientación y grado de inclinación.*

Entre las dificultades, se encontraron problemas técnicos de conexión eléctrica y efectos de corrosión: En la figura 3, en la ilustración 3a se pueden apreciar los efectos de la corrosión por falta de mantenimiento, y en las 3b, 3c y 3d se muestran instalaciones eléctricas mal realizadas [Akio, et al., 2002].



*Fig. 3. Conexión eléctrica y efectos de corrosión*

Estas malas prácticas demuestran que a pesar de las experiencias adquiridas en el país, referentes a la aplicación de los sistemas fotovoltaicos, se requiere profundizar durante los estudios de pre factibilidad en un grupo de elementos y conceptos técnicos que pueden afectar la calidad y confiabilidad de los sistemas, máxime cuando no se trata de pequeños sistemas autónomos, en los que las afectaciones pueden producir un impacto económico relevante.

### **Principales requerimientos técnicos que deben ser evaluados durante la etapa conceptual del proyecto**

Para la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a red, durante la organización y fases del proceso inversionista deben identificarse las necesidades; obtener los datos del mercado; desarrollar y determinar la estrategia y los objetivos de la inversión; desarrollar la documentación técnica de ideas conceptuales y del anteproyecto, que se fundamenta mediante los estudios de prefactibilidad y factibilidad técnico-económica.

La fase de preinversión constituye el inicio del proceso inversionista y se corresponde con el proceso de identificación del objetivo que motiva la inversión [Ministerio, 2006]; es decir, se precisa definir el objetivo por el cual se introduce la tecnología fotovoltaica, que en el caso de los sistemas conectados a la red coincide con lograr un aporte de energía con fuentes renovables, reduciendo el consumo de electricidad generada con petróleo. De este objetivo se desprende, por su peso, que deben priorizarse los centros de mayor demanda en horarios diurnos, como los frigoríficos, escuelas, algunos centros de producción y servicios, etcétera.

De manera paralela, se comienzan a formular la inversión y la proyección de su posterior explotación, generación de alternativas y su selección mediante un proceso de evaluación. Esta fase comprende el conjunto de investigaciones, proyectos y estudios técnico-económicos, encaminados a

fundamentar su necesidad y conveniencia, con un alto grado de certeza en su viabilidad y eficacia, en las etapas siguientes de su desarrollo [Ministerio, 2006].

Entre los requerimientos técnicos principales que deben ser evaluados en esta etapa del proyecto por el inversionista, se encuentran: determinar la macrolocalización, y dentro de esta, los posibles sitios de instalación de la tecnología; evaluación puntual de la radiación solar incidente; la influencia de los factores climáticos; el grado de inclinación adecuado para los paneles; evaluación de la influencia que pueden ejercer los desastres naturales en el territorio; evaluación de impactos y riesgos medioambientales; y la evaluación de las variantes de conexión del sistema a la red.

### **Selección de la macrolocalización y los posibles sitios de instalación de la tecnología**

La macrolocalización va a estar determinada por la necesidad y los objetivos que se persiguen con la introducción de las tecnologías fotovoltaicas conectadas a la red. Deben priorizarse las regiones con las mayores demandas de servicio eléctrico, donde están incluidos los grandes centros urbanos y concentraciones de industrias, así como centros de producción y servicios.

Se deben realizar un análisis y una evaluación de la demanda por horas del día; la prioridad dentro de este grupo recae en los objetivos que concentran la mayor carga en horas del día, cuando es aprovechable la radiación solar.

Como paso posterior se deben evaluar las posibilidades de utilización del espacio, aplicando las técnicas de la ordenación territorial, priorizando las áreas techadas que presenten condiciones estructurales adecuadas, así como espacios perimetrales, solares yermos, y por último, los espacios a campo abierto que no sean afectados por sombreado durante las horas del día, y que no se encuentren comprometidos con actividades priorizadas de la sociedad, como la producción de alimentos.

Estos análisis permiten argumentar la solicitud de la microlocalización al organismo competente, y constituyen documentos del expediente del proyecto.

### **Evaluación puntual de la radiación solar incidente**

La radiación solar no se comporta de forma homogénea en todo el territorio, sobre ella inciden múltiples factores de carácter estacional, climático y medioambiental, implicando que en sitios relativamente cercanos existan diferencias significativas que influyen en el aprovechamiento energético de

la tecnología, y por ende, provoquen impactos de tipo energético, económico y medioambiental [Acosta y Portuondo, 2010].

Si se parte de que el objetivo principal de la introducción de esta tecnología está asociado a la disminución del consumo de electricidad generada con el combustible fósil, entonces sería lógico suponer que la prioridad la tienen los sitios con la mayor radiación solar diaria promedio anual.

Debe caracterizarse de forma puntual la radiación solar diaria promedio anual en cada uno de los sitios seleccionados, y establecer un orden de prioridad a partir de este indicador. Paralelamente, elaborar y registrar los datos referidos a la productividad específica, el estimado de energía que puede generarse durante un año por el sistema que se pretende instalar y durante el ciclo de vida, y los estimados de impactos económicos y medioambientales, así como los cálculos de generación a partir de la radiación solar máxima absoluta y la más crítica.

En la tabla 1 se aprecia el impacto que presupone la calidad de la radiación solar en la productividad energética, el ahorro económico por concepto de combustible dejado de consumir y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera de un sistema fotovoltaico conectado a red de 1 MWp. Los estudios se realizaron en dos municipios de la misma provincia, en este caso, Cienfuegos.

*Tabla 1. Datos estimados de los impactos energéticos, económicos y medioambientales a partir de la radiación solar incidente durante un año de generación de un sistema fotovoltaico conectado a red de 1 MWp*

<b>Municipios</b>	<b>Radiación solar diaria promedio anual, Wh/m<sup>2</sup>día</b>	<b>Productividad específica promedio anual, kWh/kWp</b>	<b>Estimado de aporte de energía en un año, MWh/MWp</b>	<b>Ahorro económico estimado, USD</b>	<b>Impacto medio ambiental estimado, t CO<sup>2</sup></b>
Abreus	5 000,962	1 650,71	1 650,71	227 385,30	1 431,83
Rodas	6 000,005	1 662,62	1 662,62	229 025,91	1 442,15
Diferencia	43	11,91	11,91	1 640,61	10,32

*Fuente: [Rodríguez, et al., 2012].*

Los resultados del análisis mostrado anteriormente pueden implicar que los impactos pudieran ser mayores en la medida en que se desarrollen estas tecnologías en el territorio.

## **Evaluación de la influencia de los componentes climáticos**

Entre las variables que más pueden afectar la radiación solar se encuentra la nubosidad. La estimación de la generación de energía debe considerar el carácter inestable de la fuente primaria (el Sol), la cual presenta fluctuaciones durante el día debido a la nubosidad, que como promedio anual en el territorio nacional corresponde a los 3,9 octavos, pero que puede variar, incrementando o disminuyendo, de acuerdo a las estaciones del año, y específicamente en algunos territorios puede ser mayor o menor.

Esta influencia debe ser estudiada puntualmente y considerada en las evaluaciones sobre el aprovechamiento del potencial solar, pues los resultados pueden indicar que la irradiación promedio de las mañanas y las tardes son diferentes, debido a las turbonadas o lluvias en las tardes del verano.

El análisis puede partir de la hipótesis de que la irradiación promedio anual por las tardes sea inferior a la de las mañanas, lo cual indica que la orientación de los paneles para máxima generación esté orientada entre el Sur y el Este, debiéndose determinar como resultado del estudio, y a partir de los datos puntuales de la nubosidad, cuántos grados corresponde orientar el panel hacia el Este.

La temperatura ambiente es otro parámetro que debe ser estudiado y evaluadas sus consecuencias en el aprovechamiento energético de la central fotovoltaica, pues a mayor temperatura menor será la eficiencia de conversión eléctrica.

Se trata de alcanzar la estimación de la productividad energética de la tecnología, ajustada a las condiciones y características de cada sitio, donde cada elemento puede impactar en diferente medida sobre la capacidad de generación eléctrica de la tecnología. Ello dejará menos margen a la incertidumbre característica en estos sistemas, pudiendo identificar si los fallos corresponden a problemas de calidad de la tecnología, o a la influencia de esos factores.

## **Grado de inclinación de los paneles**

Los resultados de investigaciones experimentales desarrolladas por el Centro de Investigación de Energía Solar (CIES) en Cuba, corroboran que la no observancia de la adecuada inclinación de los paneles fotovoltaicos, procurando la mayor perpendicularidad posible a los rayos solares, puede afectar entre 5 y 10% la eficiencia en la captación de la radiación y la conversión eléctrica. Este aspecto ha sido abordado por varios autores internacionales, llegándose a conclusiones similares [Rodríguez, et al., 2012].

La energía captada por el módulo está en dependencia, entre otros factores, de su inclinación con respecto a los rayos solares; se recomienda un ángulo de inclinación igual a la latitud del sitio de instalación, lo que favorece la máxima captación de energía durante todo el año.

En la tabla 2 se muestran los resultados del estudio realizado sobre el impacto en la captación de la radiación solar y conversión energética, según diferentes grados de la inclinación de los paneles para la latitud de la provincia de Cienfuegos.

*Tabla 2. Resultados sobre la captación y conversión energéticas de las celdas fotovoltaicas a diferentes ángulos de inclinación*

Grados de inclinación de los paneles							
5°	10°	15°	22°	25°	30°	35°	40°
Pérdidas en la captación de energía, Wh/m <sup>2</sup>			Inclinación adecuada para la provincia de Cienfuegos	Pérdidas en la captación de energía, Wh/m <sup>2</sup>			
-176	-59	-18		-23	-63	-103	-143
Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp				Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp			
-32,4	-11,4	-5,0		-6,4	-17,4	-28,5	-39,6

*Fuente: [Rodríguez, et al., 2012].*

Los resultados demuestran que la inclinación idónea de los paneles fotovoltaicos para la provincia Cienfuegos corresponde con los 22°, y aunque las cifras por sí solas pueden parecer insignificantes, cuando se tiene en cuenta la potencia instalada y se calcula el tiempo de vida útil para el que están diseñados estos sistemas, ello puede representar pérdidas económicas de consideración.

Por ejemplo: Un sistema fotovoltaico (central fotovoltaica) de 2 MWp de potencia instalada en este territorio con 15° de inclinación de los paneles, puede reportar pérdidas durante su vida útil, estimadas en unos 250 MWh, con un impacto económico y ecológico, calculado solo por concepto del combustible, en 34 437,5 USD y 216,85 t de CO<sub>2</sub>.

La inclinación de los paneles también contribuye a evitar que en su superficie se depositen basuras, hojas de árboles, pedazos de papel o nylon, yerba seca y otros materiales que pueden provocar sombreado

parcial de los módulos. Esto resulta de importancia si se tiene en cuenta que ello puede hacer surgir puntos calientes, causa directa en la reducción de eficiencia energética del sistema, requiriéndose mantener la observación constante de este parámetro y su solución rápida.

Los puntos calientes constituyen uno de los fallos típicos de la tecnología fotovoltaica, que dada la forma de instalación de las celdas, módulos y paneles (en serie-paralelo), la obstrucción de una de ellas puede provocar un fallo en cadena, con la caída de la tensión del sistema [Ramos, et al., 2012].

### **Influencia de los riesgos de desastres naturales**

En los países tropicales como Cuba es frecuente la influencia de fenómenos atmosféricos tales como ciclones, tornados, mangas de viento y tormentas locales severas, los que generalmente se presentan acompañados de fuertes vientos con rachas superiores a 150 km/h, constituyendo un potencial de daños a las instalaciones cuando no se han adoptado las medidas adecuadas para su reducción.

Para el caso de las estructuras de poste, que son las más usuales, se ha demostrado que en dependencia del tipo de terreno en el cual se va a colocar la estructura, profundidades de 50 cm como mínimo resultan suficientes en la mayoría de los casos. Se puede construir una base de hormigón, y soldarle al tubo principal travesaños horizontales que queden soterrados, lo cual es más barato y al mismo tiempo, resistente.

Otras medidas colaterales pueden exceder los costos y encarecer la inversión, haciéndolas impracticables desde el punto de vista económico, por lo que debe ser un asunto de extremada precaución; no obstante, existen regiones en que por el alto riesgo ciclónico y de tormentas locales severas, pueden justificarse los gastos adicionales.

La desconcentración de las fuentes de generación puede representar una efectiva medida para garantizar más estabilidad ante esos fenómenos en zonas de alto riesgo; la estructura modular de la tecnología posibilita la aplicación de esta medida sin incurrir en gastos colaterales de inversión. Esta constituye una variante con posibilidades de aplicarse en los sitios más amenazados, pudiendo incluso aprovecharse las superficies techadas de edificios, garantizando al mismo tiempo conectar la generación a nodos y centros de carga de forma directa, con lo que se reducen las pérdidas por distribución y transportación de la electricidad.

Otra de las medidas que pueden adoptarse para proteger las instalaciones contra los vientos fuertes es el fomento de cortinas rompe vientos que

puedan regular la intensidad de los vientos y objetos que se proyectan, mitigando sus efectos contra las instalaciones.

Otro de los fenómenos naturales que pueden impactar con más daños al sistema eléctrico, son los sismos de gran intensidad, y en Cuba, la región sur oriental del país es la más amenazada por esos eventos. En estos casos, la desconcentración de los sistemas fotovoltaicos puede contribuir a incrementar la vitalidad del servicio cuando colapsa el sistema centralizado como consecuencia del sismo.

En los territorios amenazados por movimientos telúricos, puede considerarse la instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos para el alumbrado público, de forma combinada con el del sistema tradicional; además, en los sistemas de bombeo de agua, puestos de dirección, postas médicas, etc., de forma tal que en tiempo normal puedan reducir el consumo de electricidad generada con combustibles fósiles, y garantizar la estabilidad del servicio cuando colapsa el sistema centralizado.

### **Evaluación de impactos y riesgos medioambientales**

Desde el punto de vista de los impactos medioambientales, las tecnologías fotovoltaicas ofrecen más beneficios que afectaciones, pues conllevan una reducción gradual del consumo de recursos agotables, así como de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera; sin embargo, ninguna tecnología es totalmente inocua, siendo necesaria su evaluación para cumplir lo establecido en el marco regulatorio del proceso inversionista, y la consiguiente obtención de la Licencia Ambiental.

El aprovechamiento fotoeléctrico de la energía solar requiere valorar las afectaciones ambientales provocadas por la introducción de dicha tecnología. En el paisaje ello se detecta de inmediato, debido a que las infraestructuras que se implantan van a producir una modificación paisajística.

En realidad, en lo concerniente al medio ambiente las tecnologías fotovoltaicas son de las más benignas; no obstante, se deben identificar aquellas acciones que incidirán directamente sobre las variables ambientales, y de esta manera realizar los análisis para adoptar las medidas necesarias que mitiguen aún más sus efectos. El resultado irá dirigido a armonizar las variables y hacer más sostenible la inversión.

En las instalaciones que se ubican a campo abierto, durante la fase de construcción es necesario realizar el desbroce y limpieza de la superficie de la instalación, construcción de obras civiles necesarias para la infraestructura, así como para la cimentación estructural de los paneles. De

manera general, se considera que los impactos en este tipo de instalaciones, en la fase de obra son mínimos y poco significativos.

Ya durante la etapa de funcionamiento y operación de la central fotovoltaica, se producen otros impactos como son: la ocupación permanente del suelo por un espacio de 25 años como mínimo; impacto sobre la variable paisajística provocado por una superficie cubierta por las placas solares; y contaminación lumínica debido a la reflexión de la luz solar en los cristales que cubren los dispositivos.

A diferencia de los sistemas tradicionales de energía, el equipamiento fotovoltaico puede armonizarse razonablemente con los atributos naturales del paisaje. Su impacto puede manejarse de manera controlada en sitios o locales específicos, y su explotación no suele generar impactos irreversibles en la perspectiva medioambiental. Además, es importante asumir que sus ventajas económicas y la mejora de calidad de vida que representan, justifican su aplicación.

Los riesgos asociados a las condiciones ambientales pueden tener múltiples causas, entre ellas las condiciones locales de la humedad y la contaminación ambiental del sitio seleccionado para ubicar la instalación.

La alta humedad relativa del ambiente y la composición química del aire y del agua que entran en contacto con el metal, así como su exposición por tiempos prolongados a esos elementos, pueden desencadenar procesos acelerados de corrosión de las estructuras metálicas.

A excepción del panel, los demás componentes del sistema deben estar protegidos contra la lluvia, el polvo, la radiación y la humedad. Estos factores tienden a provocar corrosión, bajo rendimiento energético y deterioro, que pueden evitarse con medidas sencillas y puntuales.

Estos riesgos, al igual que los anteriores, deben ser tenidos en cuenta desde la etapa de preinversión, previendo y aplicando las medidas encaminadas a su reducción o erradicación.

Del total de los materiales que conforman una central fotovoltaica conectada a la red, más de 60% son metálicos, y en dependencia de su composición (ferrosa y no ferrosa) pueden ofrecer más o menos resistencia a la corrosión.

La humedad relativa del aire y del suelo también debe ser evaluada, principalmente la de la tierra, que puede acelerar procesos de corrosión de las estructuras metálicas y afectar la estabilidad estructural de la instalación.

Existen sitios que de forma puntual presentan alteraciones de la humedad en el suelo debido a la cercanía de embalses, ríos, decantaciones, canales, cuencas hídricas superficiales, salideros en conductoras, zonas bajas y otras causas. Esto también debe ser valorado y controlado.

Dentro de las medidas que pueden preverse para reducir los procesos corrosivos, se encuentran las siguientes: control de la humedad del terreno, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje; evitar que crezca la hierba e impedir que los rayos solares contribuyan a la reducción natural de la humedad; evitar la acumulación de agua en el área de la instalación; mantener con pintura anticorrosiva la estructura metálica del sistema, y realizar un chequeo sistemático de la corrosión, concentrando los esfuerzos en las partes cercanas al suelo, o en contacto con él.

### **Evaluación de las variantes de conexión del sistema a la red**

En países como Alemania y España, líderes europeos en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red [Amtmann, 2009], prevalece el concepto de concentrar la energía solar en grandes instalaciones, para luego distribuir y transportar la electricidad bajo los mismos criterios aplicados al esquema energético tradicional; sin embargo en las condiciones del sistema eléctrico cubano, dicho modo de aprovechamiento de la energía fotoeléctrica no en todos los casos puede resultar eficientemente rentable, siendo factible aplicar otros modos de conexión que garanticen reducir pérdidas que les son características a los sistemas convencionales.

La energía solar es la más distribuida, predecible y estable de las fuentes renovables, no siendo necesaria su distribución ni transportación para ser suministrada y consumida. El suministro a nodos de distribución, o de forma directa a los centros de demanda, puede representar en unos casos una relación de ahorro de 1,5 kWh generado con petróleo por cada kWh consumido de generación fotovoltaica, y en otros casos dicho ahorro puede llegar a 1,16 kWh, por cada kWh de fotovoltaica consumido.

En la tabla 3 se puede apreciar un análisis comparativo de los impactos energético, económico y medioambiental, en dos variantes de conexión a la red de una central fotovoltaica de 1 MWp.

Tabla 3. Análisis comparativo de los impactos energético, económico y medioambiental en dos variantes de conexión a red

Variante	Productividad específica	Cálculo de energía que puede generarse en un año	Estimado de energía FV que puede entregar a la red	Estimado de energía que puede ser suministrada al consumo	Cálculo del ahorro de energía generada por petróleo	Estimado del impacto económico	Estimado del impacto medio ambiental
	kWh/kWp	MWh/MWp	MWh	MWh/año	MWh/año	USD	t CO <sup>2</sup>
Conectado a la red de distribución	1 700,55	1 700,55	1 615,52	1 534,74	1 688,22	105 260,4	1 464,4
Conectado directamente al centro de carga	1 700,55	1 700,55	*	**1 666,54	1 833,19	114 299,4	1 590,1

\* Pérdidas evitadas

\*\* Pérdidas reducidas

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la evaluación, deberá realizarse la caracterización del sistema eléctrico del territorio donde se pretende instalar la tecnología, definiendo los centros que presentan su máxima demanda durante las horas del día, sus condiciones técnicas para la conexión de la energía generada, y la ubicación de los nodos de distribución donde sea posible conectar el sistema.

### Otros requerimientos técnicos y medidas de protección que deben ser evaluadas

Además de los requerimientos expuestos, existen otros que por su influencia en la estabilidad y confiabilidad técnica de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, también deben ser evaluados: influencia de micro faunas propias residentes en los sitios preseleccionados para la instalación; aseguramientos necesarios para el mantener la limpieza del área de la instalación y la superficie de los módulos; disponibilidad de los recursos humanos y calidad operacional del sistema; posibles impactos económicos y sociales que puede provocar la introducción de la tecnología [Rodríguez, et al., 2006].

Las medidas de protección deben estar dirigidas a garantizar la confiabilidad técnica del sistema durante todo su ciclo de vida, las que deben preverse desde la etapa de preinversión, mediante estudios

puntuales de los riesgos y la aplicación de las medidas que garanticen su reducción o erradicación.

Toda instalación fotovoltaica requiere de dispositivos de protección para la prevención de accidentes, y los fundamentales han de estar dirigidos a: protección eléctrica del panel fotovoltaico; protección contra riesgos ceráneos; protección contra vientos; protección física contra animales y personas; protección contra corto circuitos.

## Conclusiones

1. En Cuba no existe ninguna norma técnica que regule las actividades y requisitos a tener en cuenta durante la etapa conceptual de proyectos para la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, resultando necesaria su elaboración y aprobación para garantizar la estabilidad y confiabilidad técnica de los sistemas durante su vida útil.
2. Existen experiencias en el diseño, instalación y montaje de sistemas fotovoltaicos, que pueden servir de base para la elaboración de las normas técnicas aplicables a la introducción de estos sistemas en la práctica social.

## Bibliografía

ACOSTA, B. H. Y T. L. PORTUONDO (2010). «Elementos para una evaluación técnico económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red electro energética de Cuba», en *Resúmenes Convención Científica de Ingeniería y arquitectura*. ISBN 978-959-31-1, 2010.

AKIO, S., MARÍA RODRÍGUEZ GÁMEZ, INAUDIS CISNERO VERANES, ALONSO TORRES TEN, ORLANDO ALFARO VIVES, OSCAR L. JIMÉNEZ, GUSTAVO MARTÍN MORALES, RUBÉN RAMOS HEREDIA, SOE DEL C. MARQUÉZ MONTOYA, EMILIO CAMEJO CUÁN, MARÍA CARIDAD FERRER (2002). «Guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural». Archivos de informes del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y el Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPPOP) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba.

AMTMANN, M. (2009). *Nichos de mercado para los sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México*. Forever Print S.A. de C.V., 2009 ([www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)).

Ministerio de Economía y Planificación (MEP) (2006). *Indicaciones para el proceso inversionista*. Resolución 91, 2006. Gaceta Oficial de la República de Cuba. No. 8 distribuida gratuita en soporte digital. 25 pp..

PÉREZ., R. J. R. (2009). *El servicio ingeniero en los proyectos de construcción «Project Management»*. Editorial Obras, UEB-ICT aicros,

Ministerio de la Construcción. La Habana, 2009. Manual. 223-338 pp. ISBN: 978 959 247 0743.

RAMOS, RUBÉN, JOSÉ R. DÍAZ LÓPEZ, MARILYN ALONSO G., MARÍA RODRÍGUEZ GÁMEZ, ALEXIS BORGES G., CARLOS VIOLA CASER, J. EMILIO CAMEJO Y RAÚL HERNÁNDEZ (2012). *PVSosft, herramienta virtual sobre sistemas solares Fotovoltaicos*. Diseño, montaje y explotación de los SFV, Capítulo VIII, 2012. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Centro de Investigaciones de Energía Solar, División Fotovoltaica.

RODRÍGUEZ GÁMEZ, MARÍA; ANTONIO VÁZQUEZ, MIRIAN VILARAGOUT LL., ANTONIO SARMIENTO SERA, RAYNEL DÍAZ S., ARIEL SANTOS F. Y GUILLERMO SANCHEZ G. (2012). *Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de FV conectados a la red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos*. Informe Técnico, 2012. Archivo de datos digitales del CIPEL. 35 pp.

RODRÍGUEZ GÁMEZ, MARÍA, IDELISA BERGUES CABRALES, ALONSO TORRES TEN, ORLANDO ALFARO VIVES, OSCAR L. JIMÉNEZ, GUSTAVO MARTÍN MORALES, RUBÉN RAMOS HEREDIA, SOE DEL C. MARQUÉZ MONTOYA, C.; EMILIO CAMEJO CUÁN Y MARÍA CARIDAD FERRER (2002). *Guía de recomendaciones para el uso de las energías renovables en la electrificación rural*. Archivos de informes del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y el Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba, 2002.

————— (2006). «Rural Electrification in Cuba as a Resource for Community Sustainability», en *La Jornada* (México), 2006. (<http://www.jornada.unam.mx/2006/01/30/eco-j.html>): 1-14 pp.

## **La geografía de la provincia de Pinar del Río y los sistemas fotovoltaicos conectados a la red**

### **The geography of the province of Pinar del Río and grid-tied photovoltaic systems**

*Por Liudmila Fuentes Pomares\*,  
Antonio Vázquez Pérez\*  
y María Rodríguez Gámez\**

*\* Centro de Investigaciones y Pruebas  
Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior  
Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE),  
La Habana, Cuba. e-mail: liudmila@electrica.cujae.edu.cu*

#### **Resumen**

Las afectaciones que en lo económico y medioambiental se reportan producto de la utilización del petróleo en la producción energética del país, abren un espacio de análisis para la búsqueda de alternativas sostenibles en la generación eléctrica, basadas en el empleo del potencial renovable que existe en los territorios. En el trabajo se presenta la evaluación del territorio de la provincia Pinar del Río que puede ser utilizado para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, como una alternativa energética viable que propicie la reducción de los impactos medioambientales y los desastres naturales, a la vez que constituye una solución económicamente sustentable, al no tener que incurrir en gastos para adquirir el combustible que hoy es utilizado con esos propósitos. Este territorio a través de los años ha sido impactado por fenómenos hidrometeorológicos extremos, razón por la que se comenzó el programa de la generación distribuida con el objetivo de darle vitalidad al servicio eléctrico. En el trabajo se demuestran las posibilidades de la utilización del espacio para el desarrollo de centrales fotovoltaicas conectadas a la red, ofreciendo los cálculos de la capacidad que puede instalarse en este territorio, y con ello mejorar la vitalidad del servicio eléctrico en situaciones extremas.

**Palabras clave:** Ordenación territorial, generación distribuida, potencial solar, paisaje

#### **Abstract**

The negative economic and environmental impacts reported as a result of the use of oil in the energy production of the country, open a space to analyze for searching sustainable alternatives in electricity generation, based on harnessing the territorial renewable energy potential. The current paper presents the evaluation of the territory of Pinar del Río province that

can be used for the development of grid-tied photovoltaic systems, as a viable energy alternative that promotes the reduction of environmental impacts and natural disasters, at the time it represents an economically sustainable solution, by not having to expend financial resources to acquire the fuel that is used today for these purposes. Over the years, this territory has been impacted by extreme hydrometeorological events, which is why the program of distributed generation was started with the aim of making giving electric service more resilience. The paper demonstrates the possibilities of the use of space for the development of grid-tied photovoltaic power stations, offering calculations of the power that can be installed in this territory, and thereby improving the vitality of the electric service in case of extreme meteorological events.

**Keywords:** Territorial ordering, distributed generation, solar potential, landscape

## Introducción

La ordenación territorial juega un papel importante en la búsqueda de soluciones de los problemas provocados por el ser humano en su interacción con el territorio, y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta para la planificación y gestión de los territorios, con el fin de alcanzar un mayor equilibrio y sostenibilidad [Peña, 2005].

La ordenación del territorio es la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de la sociedad; es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa, una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, y cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio, como un concepto rector [Leeuwen, 2001].

La ordenación del territorio es una disciplina de una visión amplia, que observa el espacio y que sirve de herramienta para planificarlo, por muy pequeño que este sea. Pone el espacio en relación con otras disciplinas, permitiendo la comunión de enfoques afines, como es el concepto de desarrollo sostenible, referido a: «satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades» [ONU, 1992].

Existe una estrecha relación entre economía, sociedad y naturaleza, las que se desarrollan en el territorio conformando su imagen geográfica. Existen regiones que orientan este objetivo mediante el desarrollo equilibrado y sostenible, basado en las características del territorio y en la gestión nacional de los recursos naturales [BOE, 2004], regulado esto en principios rectores.

Mejorar la calidad de vida requiere acrecentar el desarrollo económico mediante la innovación tecnológica, creando nuevos conocimientos que humanicen el trabajo y aceleren los procesos de producción y reproducción de forma integral. Para lograrlo se hace necesario gestionar los recursos materiales de la naturaleza, de forma racional y sostenible.

La sociedad se encuentra en constante interacción con los procesos de ordenación del territorio, y sus elementos actúan en calidad de cliente principal, ente regulador en los niveles de consumo adecuado, y controlador de estos procesos, a la vez que los dinamizan.

Los procesos y mecanismos se desarrollan en un mismo espacio, el cual es compartido entre todas las especies, infraestructuras, etc.; es donde el hombre desarrolla sus actividades, en el que se gestiona todo lo que se necesita para lograr la calidad de vida deseada; pero también es necesario no destruir lo que existe, sino intercambiar y proteger lo que se tiene.

Los mecanismos de extracción y aporte no deben ser espontáneos, sino responder a diseños y planes de manejo integrado, que permitan la recuperación de lo que se extraiga, basándose en la renovación de los recursos. Es ahí donde la ordenación territorial contribuye de forma decisiva a planificar y gestionar los recursos de forma sostenible en el tiempo.

El planeta no puede suministrar indefinidamente los recursos que se extraen, por lo que estamos obligados a trazar planes estratégicos utilizando la ordenación del territorio como método, y la modelación de los sistemas de información geográfica, encaminados al establecimiento de políticas de autosuficiencia energética de los territorios, en base a sus propios recursos y en especial los renovables, logrando con la planeación propiciar el desarrollo de las localidades, en forma compatible con una explotación racional de los recursos, en especial los no renovables, y la protección del medio ambiente.

Al analizar el espacio geográfico se estudian los procesos y las leyes del espacio vinculadas a ellos. Los métodos utilizados para el análisis espacial son diversos, entre los que se encuentran la estadística, la cartografía y la geo estadística.

Resulta necesario que la ordenación territorial en el marco de la planificación energética, sea vista como un proceso público y técnico de planificación que debe ser flexible, continuo y a largo plazo, incidiendo en los aspectos ambientales, sociales, económicos, políticos y administrativos, donde se hace imprescindible evaluar las capacidades potenciales del territorio para satisfacer la demanda de electricidad cada vez más creciente para el mejoramiento de la calidad de vida.

En este trabajo se preparó cartografía digital para el análisis de los sistemas energéticos apropiados para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos conectados a red.

## **Material y métodos**

Para realizar los estudios se tuvo que reorganizar la cartografía de la provincia en escala 1:100000, logrando seleccionar los elementos cartográficos existentes de la antigua provincia de Pinar del Río.

Se tuvieron en cuenta parámetros que desde el punto de vista técnico y territorial incidían en los análisis de la utilización del espacio para implantar los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Para la evaluación solar se tomaron los datos del proyecto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) que proporcionan el acceso fácil a la información de recursos de energía renovable, y datos de los usuarios en el mundo. Su propósito es ayudar en las políticas de inversión de las energías renovables, brindando la información libremente disponible. Los productos de SWERA incluyen los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y datos de series de tiempo, junto con las herramientas para la optimización de energía [SWERA, 2009].

La información fue utilizada para diseñar y puntualizar el estudio, determinando las áreas aptas con características que no afecten los programas productivos del territorio, para la implantación de la tecnología.

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

### **Ubicación geográfica**

La provincia de Pinar del Río ocupa la región más occidental del país, entre los 21°45' y 22° 54' de latitud Norte y entre 83°5' y 84°58' de longitud Oeste; al Norte limita con el Golfo de México; al Este con la provincia de Artemisa; al Sur con el mar Caribe y el Golfo de Batabanó, y al Oeste con el Canal de Yucatán. Su área es de 8 847,28 km<sup>2</sup>, con una población de 594 560 habitantes, de los cuales 62 % reside en las zonas urbanas, con una densidad poblacional de 67 habitantes por kilómetro cuadrado.

Este territorio dependió del Cabildo habanero hasta 1774, en que se funda la tenencia de gobierno de Nueva Filipinas, cuya jurisdicción se extendió desde el río Los Palacios hasta el Cabo de San Antonio. La cabecera de dicha tenencia y la sede del gobierno, radicaron inicialmente en Guane, después se trasladan a San Juan y Martínez, y por último a Pinar del Río en 1778, año en que se instituye la provincia por Real Decreto del 23 de julio, dictado por Felipe de Fondesviela, Marqués de la Torre y Capitán General de la Isla [ONE, 2007].

### *Medio geográfico*

El conjunto orográfico principal de la provincia es la Cordillera de Guaniguanico, que se extiende longitudinalmente, con dos formaciones montañosas diferentes en cuanto a su geología y geomorfología: con una porción de la Sierra del Rosario al Este, y la Sierra de los Órganos al Oeste; ambas ocupan la parte centro-norte de la provincia.

La Sierra de los Órganos presenta gran variedad de accidentes naturales, como los mogotes, el sistema cavernario de mayor longitud en América Latina (el de Santo Tomás) y valles intramontanos como Viñales, de fama internacional por su belleza paisajística. Alrededor del macizo montañoso Guaniguanico existen llanuras extensas, especialmente en su parte sur. La provincia cuenta con 11% de las cuencas fluviales del país, y sus ríos más caudalosos y largos desembocan por la costa sur. Entre los más importantes se encuentran el Cuyaguaje (112,0 km), Río Hondo (98,4 km) y San Diego (83,0 km). Los embalses principales son La Juventud, El Punto, El Salto y La Paila, y lagunas importantes como Santa María, El Pesquero y Alcatraz Grande. Todo ello constituye un significativo potencial hidráulico, una parte del cual puede ser utilizado para su aprovechamiento en la generación de electricidad.

### **Influencia de los componentes climáticos**

En los últimos años la precipitación media anual ha sido de 1 441 mm, con valores superiores en los municipios de San Juan y Martínez y La Palma. En el año se presentan como promedio 135 días de lluvia, distinguiéndose dos períodos, el primero de mayo a octubre, en el que se produce la mayor precipitación de lluvias, la humedad relativa aumenta y los vientos registran menor velocidad.

El segundo periodo se extiende de noviembre a abril, con precipitaciones escasas, las temperaturas tienden a ser más bajas, la humedad disminuye y los vientos alcanzan mayor velocidad. La humedad relativa media anual es de 78%, la nubosidad media es de 4/8 y los vientos que predominan son del Este, con una velocidad de hasta 7 km/h. La temperatura máxima absoluta es de 34 °C, y la mínima absoluta es de 11 °C, con una media de 22 °C.

La ubicación geográfica de la provincia implica que ocasionalmente sea azotada por ciclones tropicales, habiéndose registrado la afectación de 80 eventos hidrometeorológicos extremos, de los cuales 23 han sido de gran intensidad, 21 de moderada intensidad y 36 de poca intensidad, por lo que se considera un territorio de alto riesgo ante fenómenos naturales de esa índole.

### *Principales características sociopolíticas de la provincia*

En el 2011 la provincia experimentó cambios en su estructura política administrativa, debido a que tres de sus municipios pasaron a la recién creada provincia de Artemisa.

Posee un amplio perfil de renglones económicos y productivos, que abarcan empresas y organizaciones económicas estatales cuyo objeto social es satisfacer las necesidades sociales, y constituyen los eslabones fundamentales de la organización y funcionamiento de la economía.

Se incluyen además las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) y Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), así como las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC). Estas entidades económicas representan una forma avanzada y eficiente de la producción, destacándose el cultivo de tabaco y la agroindustria azucarera, los cereales, hortalizas, viandas (tubérculos y raíces), cítricos, vegetales, frutales y otros cultivos. La provincia también se destaca en la producción de leche y carne vacuna, así como de ganado ovino-caprino, además de la producción de huevos y cebaderos de cerdos, entre otros renglones.

El turismo se encuentra en pleno desarrollo, con ingresos crecientes. Los sistemas de educación, salud y asistencia social cubren todo el territorio, contribuyendo al desarrollo de la provincia. En la figura 1 se aprecia el mapa con la división político administrativa, integrada por 11 municipios.



*Fig. 1. Mapa con la división político-administrativa de la provincia de Pinar del Río  
Fuente: Elaboración propia*

## **Análisis del ordenamiento territorial energético y evaluación del potencial solar**

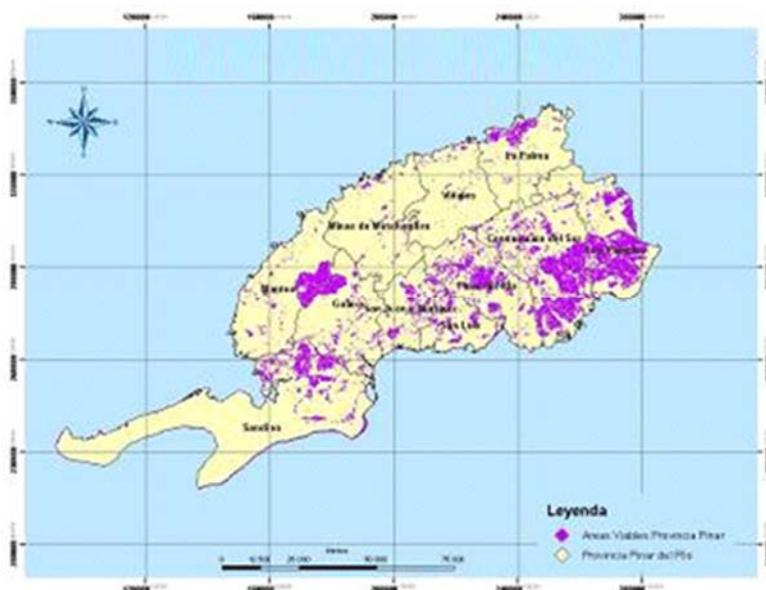
Se valoraron diferentes parámetros para la posible utilización de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, así como la evaluación del potencial solar en el territorio, además de considerar los factores que intervienen en el proceso inversionista de esta tecnología. Se procesó la información de los objetivos que limitan la utilización del espacio para las centrales fotovoltaicas, como son las redes viales, ríos, arroyos, presas, embalses, la orografía, puentes, usos agrícolas y otras barreras físicas.

Un aspecto importante a destacar fue la ocupación del suelo por usos agrícolas, como el cultivo de tabaco, la caña, cereales, café, hortalizas, viandas, cítricos, vegetales, frutales, cultivos rotativos, pastos, viveros, otras labranzas y la capa vegetal, que ocupan de forma permanente 520 625,42 ha. Del empleo de estas áreas depende la producción agrícola y agropecuaria de la provincia, por lo que constituyen una limitante inmediata para la instalación de los sistemas FV, y por ende, no son tomadas en consideración como zonas viables para las inversiones.

Las áreas de pastos artificiales ocupan 105 564,63 ha, las cuales representan 12% del área de la provincia, y también constituyen una limitante para la instalación de los sistemas, no tomándose en consideración para las inversiones.

Existen otros factores de la ocupación del suelo que limitan el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, como son las áreas protegidas, que ocupan de forma permanente 185 531,50 ha, y las zonas bajas con un total de 71 325,84816 ha.

Todas estas áreas limitantes para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, representan 93% del territorio total de la provincia, existiendo 61 930,96 ha viables para el desarrollo de estas tecnologías. Los municipios que presentan una mayor viabilidad del terreno para acometer inversiones de centrales eléctricas fotovoltaicas conectadas a la red, son Consolación del Sur y Viñales. En la figura 2 se aprecia el mapa con las zonas viables para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.



*Fig. 2. Mapa con las zonas viables para desarrollar los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.  
Fuente: Elaboración propia*

Es importante destacar que en estas zonas también se consideraron las áreas pobladas como viables para la instalación de los sistemas, ya que pueden ser utilizadas las superficies techadas de los edificios, solares yermos y otras.

Estimando que solamente 0,3% de las áreas viables estudiadas puedan emplearse para la instalación de dichos sistemas, en el territorio de la provincia pudieran instalarse unos 132,7 MWp con sistemas fotovoltaicos (SFV).

A partir de estas consideraciones y los datos publicados por SWERA en el 2005 referentes a la radiación solar, se elaboró el mapa de radiación solar diaria promedio anual que incide en la provincia; en la figura 3A se muestra el mapa del potencial solar de la provincia, y en la 3B el potencial promedio por municipios.

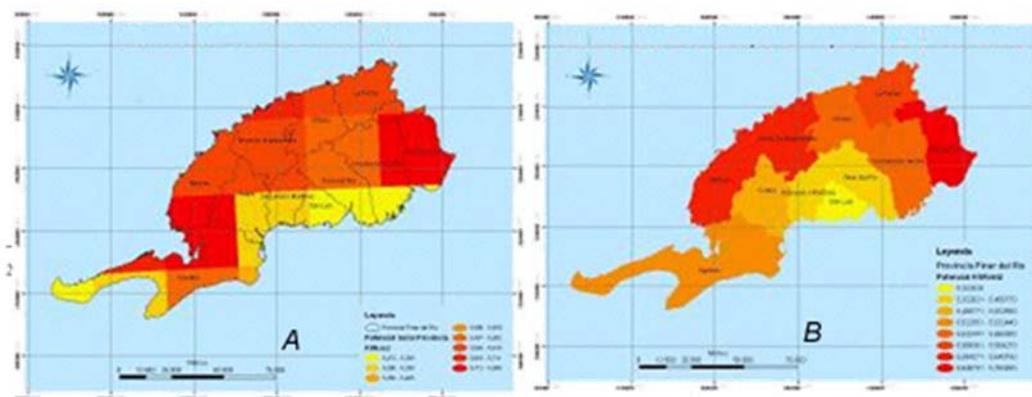


Fig. 3. Potencial solar diario promedio anual (A), potencial solar diario promedio anual de los municipios (B).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se puede apreciar el análisis de los impactos específicos que pudiera producir la instalación de 1 MWp de fotovoltaica en el orden energético, económico por concepto del petróleo dejado de consumir, y medioambiental producto de los gases de efecto invernadero que dejan de emitirse a la atmósfera. Puede observarse la influencia que ejerce la calidad de la radiación solar en el rendimiento técnico de los sistemas.

Tabla 1. Impactos específicos que pudiera producir la instalación de 1 MWp de fotovoltaica

Municipios	Radiación solar diaria promedio anual, kWh/m <sup>2</sup> día	Productividad específica, kWh/kWp	Estimado de energía en un año, MWh	Ahorro económico por consumo de petróleo, USD	GEI dejados de emitir a la atmósfera, t
Consolación del Sur	5,560	1 538,52	1 539	211 931,57	1 153,89
Guane	5,529	1 529,95	1 530	210 749,93	1 147,46
La Palma	5,593	1 547,65	1 548	213 189,43	1 160,74
Los Palacios	5,804	1 606,04	1 606	221 232,16	1 204,53
Mantua	5,619	1 554,85	1 555	214 180,48	1 166,14
Minas de Matahambre	5,635	1 559,28	1 559	214 790,36	1 169,46

Pinar del Río	5,464	1 511,96	1 512	208 272,32	1 133,97
San Juan y Martínez	5,464	1 511,96	1 512	208 272,32	1 133,97
San Luis	5,337	1 476,82	1 477	203 431,43	1 107,61
Sandino	5.635	1 559,28	1 559	214 790,36	1 169,46
Viñales	5,585	1 545,44	1 545	212 884,50	1 159,08
Promedio provincial	5,600	1 549,59	1 550	213 456,25	1 162,19

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Evaluación de impactos en el paisaje**

El término de paisaje puede conceptualizarse como un sistema territorial compuesto por componentes complejos diferentes, formados bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora de la sociedad humana, que se encuentran en permanente interacción y que se desarrollan históricamente [Paisaje..., 1987].

En los estudios de factibilidad para la instalación de los sistemas generadores de energía, los efectos ambientales que producen tanto las energías tradicionales como las renovables, deben ir acompañados de la revisión de la mayoría de los parámetros que determinan las características del territorio sobre el que se asientan las infraestructuras de generación [Paisaje..., 1987].

Si incorporamos el aprovechamiento de la energía solar entre las afectaciones ambientales, debidas a la introducción de estas tecnologías, el elemento paisaje se detecta de inmediato, debido a que algunas de las infraestructuras necesarias para ello tienen un efecto directo sobre la variable paisajística.

Sin duda, las tecnologías encargadas del aprovechamiento de la energía solar son de las más benignas. Desde el punto de vista antropogénico y en relación con el paisaje, se pueden seleccionar aquellas acciones que incidirán directamente sobre las variables ambientales, y de esta manera adoptar las medidas necesarias que logren mitigar y modificar sus efectos. El resultado irá dirigido a armonizar las variables y hacer sostenible la inversión [Rodríguez, 2011].

En la fase de construcción generalmente es necesario desbrozar y limpiar la superficie de la instalación, así como realizar movimientos de tierras para

la construcción de carreteras y pistas para el trabajo, y edificaciones necesarias para la infraestructura de las instalaciones, lo cual implica afectaciones al entorno paisajístico. También resulta necesario crear instalaciones provisionales de obra, y considerar la contaminación atmosférica generada por el tránsito de maquinaria pesada, emisión de gases y contaminación acústica. No obstante, los impactos en la fase de obra son mínimos y poco representativos en cuanto al paisaje.

En la etapa de funcionamiento se producen otros impactos, como son la ocupación permanente del suelo; efecto sobre la variable paisajística provocado por la superficie cubierta por placas solares, de formas geométricas regulares y colores muy diferenciados del entorno; contaminación lumínica provocada por la reflexión de la luz solar sobre los cristales que cubren los dispositivos, lo que afecta a potenciales observadores; y el sistema de transportación eléctrica basado en los postes y el tendido de cables.

Las relaciones entre el aprovechamiento de la luz solar y el paisaje pueden mitigar su impacto y lograr una relación sostenible y armónica con el medio ambiente y el territorio. La introducción de estas tecnologías puede representar una discreta modificación del paisaje, que puede producir alteraciones, pero sin dar lugar a un nuevo sistema paisajístico, siendo la energía fotovoltaica una de las respetuosas con el paisaje.

A diferencia de los sistemas tradicionales de energía, el equipamiento tecnológico que se incorpora puede armonizarse con los atributos naturales del paisaje, y el impacto puede manejarse de manera controlada en sitios o locales específicos. Además las ventajas económicas y la mejora de calidad de vida que trae consigo su introducción, los justifican plenamente.

## **Conclusiones**

Aplicando las técnicas de la ordenación del territorio, se comprobó que en la provincia de Pinar del Río existen amplias posibilidades para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Se determinó que solamente con 0,3% de las áreas viables estudiadas, se podrían instalar 132,7 MWp de dichos sistemas, en la provincia de Pinar del Río.

## **Bibliografía**

BOE (2004). *Ley 4/2004, de 30 de junio, de Ordenación del Territorio y Protección del paisaje*. D.O.G.V. no. 4788, de 2 de junio de 2004; BOE no. 174, 20 de junio de 2006, 2004, (España).

LEEUWEN, A. V. (2001). *Ordenamiento Territorial: Un proceso participativo, sostenible y de democratización*. Proyecto Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible, 2001. (GCP/RLA/126/JPN.).

ONE (2007). *Anuario estadístico de Cuba y sus territorios. Provincia de Pinar del Río*. Oficina Nacional de Estadística, 2007. CD.

ONU (1992). *Agenda 21 de la ONU*. 1992.

*Paisaje, términos y definiciones*. NC, 1987.

PEÑA, L. (2005). *Sistema de Información Geográfica: herramienta para el desarrollo local sostenible*. Centro de Estudio de Desarrollo Agrario y Rural, 2005.

RODRÍGUEZ GÁMEZ, MARÍA (2011). «La ordenación y la planificación de las fuentes renovables de energía en la Isla de Cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de Guamá a partir de un Geoportal», en Memoria presentada para obtener el Grado Científico de Doctora, 2011. Facultad de Humanidades, Universidad Pablo de Olavides, Sevilla, España.

SWERA (2009). *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, 2009. SWERA Web Service. (<http://na.unep.net>).

## **Gestión energética eficiente a un proceso de producción de alcohol**

### **Efficient energy management in alcohol production process**

*Por M.Sc. Rubén Espinosa Pedraja\**

*\* Universidad Central de Las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba.*

*e-mail: respinosa@uclv.edu.cu*

#### **Resumen**

El trabajo muestra el análisis de procesos eficientes para la producción de alcohol. Para ello se realizaron los balances de masa, energía y exergía, y se consideró conveniente descomponer el sistema en áreas específicas. Se aplicaron los métodos de análisis basados en la segunda ley de la termodinámica, y en especial el método o tecnología de Pinch. Este proporcionó de forma eficiente los verdaderos requerimientos de energía en el proceso, permitiendo la integración de todo el sistema, al contrario de la optimización por partes, en un proceso de forma aislada. Conociendo los resultados se trabajó en aquellas alternativas de esquemas y operación influyentes en un mejor uso del vapor, el calor y el combustible, sobre la base de identificar las mayores degradaciones de la exergía. Cuando se aplicó esta tecnología al proceso, se verificó que no se estaba aprovechando el calor eficientemente, y se logró una integración del proceso, en el que se alcanzaron mejoras energéticas y una disminución de los costos debido al ahorro de combustible. En resumen, el diagnóstico realizado a la instalación, la aplicación de tecnologías de punta, la integración de proceso y la inclusión de la cogeneración, dieron como resultado un proceso más eficiente y competitivo, además de ser menos agresivos al medio ambiente.

**Palabras clave:** Producción de alcohol, balance energético, exergía, tecnología de Pinch

#### **Abstract**

The paper shows the analysis of efficient processes for the production of alcohol. To do this, mass, energy and exergy balances were carried out, and it was considered convenient to decompose the system into specific areas. The methods of analysis based on the second law of thermodynamics, and particularly the Pinch method or technology were applied. This method provided the true energy requirements of the process, allowing the integration of the entire system as opposed to the optimization by parts, in an isolated process. Knowing the results, we worked on those alternatives of schemes and operation that influence a better use of steam, heat and fuel, on the basis of identifying the greatest exergy degradation.

When this technology was applied to the process, it was verified that the heat was not being used efficiently, and an integration of the process was achieved with energy improvements that led to cost reduction due to fuel savings. Summarizing, the diagnosis carried out to the facility, the application of state-of-the-art technologies, the integration of the process and the implementation of cogeneration, resulted in a more efficient and competitive process, in addition to being less aggressive to the environment.

**Keywords:** Alcohol production, energy balance, exergy, Pinch technology

## **Introducción**

Dentro de los derivados de la caña de azúcar, un producto de suma importancia lo constituye el alcohol, por su gran cantidad de usos; de ahí que en nuestro país su proceso contempla desde el refinado y absoluto para fines sanitarios y farmacéuticos, hasta su uso como combustible doméstico. Actualmente la demanda de alcohol es superior a las posibilidades de suministro, por lo que resulta importante incrementar su producción [Baloh, et al., 1995].

Este incremento requiere de un mejor uso de la energía, ya que esta industria es altamente consumidora de portadores energéticos, cuyo costo en los últimos años se ha incrementado, siendo necesario hacerla menos dependiente de los combustibles fósiles por su influencia directa en los costos de producción, y para la economía [Blancos, s/a]. Para lograr un proceso más eficiente desde el punto de vista energético, es necesario analizar sistemáticamente el uso de la energía en las instalaciones, y mejorar su equipamiento.

Esta alta eficiencia y el uso racional de la energía se puede lograr mediante la Integración de Procesos, ya que es posible balancear los ahorros en costo de energía con los de inversión en varios conceptos, a fin de identificar los diseños de mayor efectividad en una situación dada [Espinosa, et al., 1984]. Cuando se logra esta eficiencia energética se disminuye la agresión al medio ambiente, ya que se reducen las emanaciones de gases a altas temperaturas, los residuales líquidos y los flujos calóricos [Towsend y Linnhoff, 1983].

Todas estas tareas conllevaron a una serie de propuestas de alternativas que persiguen aumentar la eficiencia energética de la fábrica.

## **Análisis energético en la destilería en las condiciones de operación.**

Para estudiar la economía energética de un sistema, es necesario aplicar 4 balances:

1. Un balance de masa, según Lavoisier (1743-1794).
2. Un balance de entalpía (primera ley de la termodinámica).
3. Un balance de exergía (segunda ley de la termodinámica).
4. Un balance económico para decidir y justificar lo propuesto y/o aplicado.

El uso de la termodinámica en la práctica se ha confirmado por la existencia de formas para optimizar las propiedades termodinámicas de los fluidos y las sustancias.

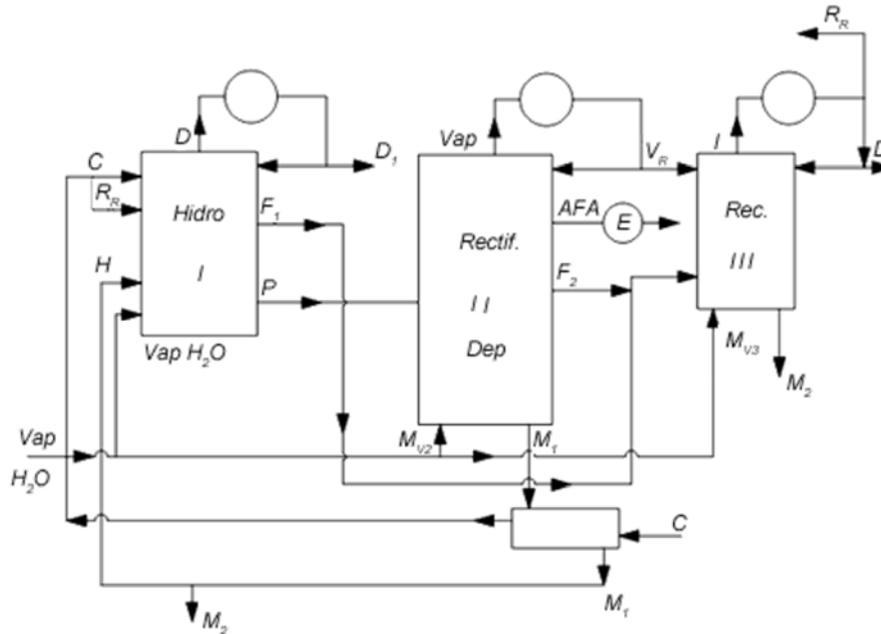


Fig. 1. Esquema de distribución y uso del vapor en la destilería

La destilería cuenta con una caldera de tubos fuego con capacidad máxima de 7,5 t/h de vapor saturado a 12 at de presión; la misma no dispone de superficies recuperativas de calor y utiliza como combustible fuel oil pesado no. 15.

El esquema dispone de una válvula reductora para suministrar el vapor a 70 lbf/ pg<sup>2</sup> (6 at); se alimenta a la columna hidroselectora y a las columnas depuradora-rectificadora, y a la recuperadora de vapor directo, por borboteo. Los condensados obtenidos en la columna hidroselectora, conjuntamente con las condensadas en los sistemas de condensación, son colectados y enviados hacia la torre de enfriamiento con el objetivo de disminuir su temperatura y ser reutilizados en el proceso.

El alcohol crudo es alimentado a la columna hidroselectora después de haber intercambiado calor con los mostos de la columna recuperadora

y depuradora-rectificadora, saliendo a una temperatura entre 80-85 °C; este «alimento» se realiza por el plato 19 y se adiciona un flujo de agua de dilución de 36 l/m en la parte superior de esta columna; se extrae a una temperatura entre 80-84 °C en forma de una mezcla de vapores compuesta por alcohol y compuestos volátiles (aldehídos, ésteres y otros compuestos orgánicos); estos gases se condensan en 4 intercambiadores de calor, y además se realiza una extracción lateral, la cual es enviada a la columna rectificadora, y otra de aceite fuel. El alcohol que se obtiene es clase D y se almacena en el tanque correspondiente para ser utilizado luego como combustible doméstico.

Para realizar los balances de masa, energía y exergía se consideró conveniente descomponer el sistema en las áreas siguientes: generador de vapor, columna hidroseladora, columna depuradora-rectificadora, columna recuperadora e intercambiadores de calor [Castellanos, et al., 2002]. Para el cálculo se aplicarán los principios ya conocidos.

### Área de generación de vapor

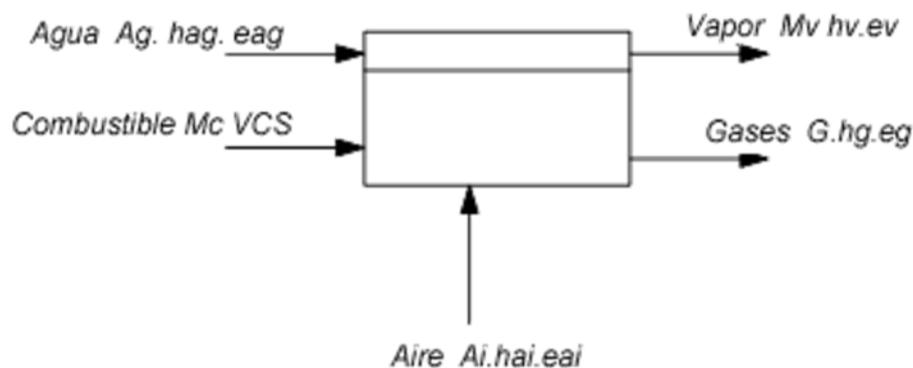


Fig. 2. Esquema del proceso de generación de vapor

Ecuación de balance:

$$\text{Masa: } M_c + A_i + A_g = M_v + G.$$

$$\text{Energía: } M_c \cdot VCS + A_i \cdot h_{ai} + A_g \cdot h_{ag} = M_v \cdot h_v + G \cdot h_G + Q_p$$

$$\text{Exergía: } M_c \cdot VCS + A_i \cdot h_{ai} + A_g \cdot e_{Ag} = M_v \cdot h_v + G \cdot h_G + E_D$$

Después de haberse realizado los balances de masa, energía y exergía, se pueden destacar los aspectos siguientes:

El generador de vapor tiene un índice de generación de 12,62 kg vapor/kg combustible, y una eficiencia de 80,6%. Como aspecto negativo aparece el alto valor de los gases de escape, por no poseer superficies recuperadoras de calor; por no tener capacidad para la misma, el aire comburente se alimenta a temperatura ambiental, mientras el agua se alimenta a 50 °C. Se

necesitan 221,9 kg/h de combustible para generar 2,8 t/h del vapor necesario para el proceso, y se reportan en el laboratorio, en la hoja de análisis, un promedio de 229 kg/h, lo cual corrobora dicho cálculo. La eficiencia energética es de 32,3%, relativamente próxima a 40% señalado en la literatura.

El principal consumidor de vapor es la columna hidroselectora, con 1,42 t/h, dado por los flujos con que opera y su temperatura de alimentación; también influyen las pérdidas por convección y radiación al medio ambiente, los salideros, producto de la corrosión y el poco mantenimiento, y el pase que se extrae por el fondo para la columna rectificadora. En total, entrega 274,6 kWt de calor con un flujo másico considerable. Esta columna opera con una eficiencia energética de 9,26%.

En cuanto al medio ambiente, los residuales líquidos que se vierten están por el orden de 1,5 t/h y 170 kWt de calor, y los mismos no tienen una alta carga contaminante en términos de DQO y DBO; por el contrario, las emanaciones de gases producto de la combustión son de 3,38 t/h, acompañadas de 556,8 kWt de calor, y adicionalmente van al medio ambiente 101,2 kWt de calor. Con la información disponible se puede establecer una relación entre los consumos de vapor, HI de alcohol, energía y exergía, que se muestra en las tablas siguientes.

*Tabla 1. Consumo de vapor por equipos, su porcentaje y t vapor por HI de alcohol producido*

<b>Equipos</b>	<b>Consumo vapor, t/h</b>	<b>% de vapor consumido</b>	<b>t vapor/HI alc. prod. en cada equipo</b>	<b>t vapor/HI alc. prod. total</b>
Columna hidroselectora	1,42	50,7	3,2	0,14
Columna rectificadora	1,05	37,5	0,11	0,10
Columna recuperadora	0,33	12,0	1,07	0,04
Total	2,8	-	0,28	0,28

Tabla 2. Consumo exergético por equipos

Equipos	Eficiencia exergética	ED Exergía degradada	%ED
Columna hidroselectora	9,22	246,14	29,9
Columna rectificadora	0,32	128,52	15,6
Columna recuperadora	14,1	44,75	5,4
Válv. reductora	7,39	403	49,1
Total		822,41	

Como se puede observar, la destilería consume 0,28 t vapor para producir un HI de alcohol, y dentro de los equipos que consumen, la columna hidroselectora necesita 3,2 t vapor para producir un HI de alcohol, además de consumir 50,7% del vapor generado. En cuanto al consumo energético, se necesitan 264,1 kWt para producir un HI de alcohol, siendo el mayor consumidor la columna hidroselectora, con 2426,4 kWt, lo cual representa 39,6%. Desde el punto de vista energético, la columna rectificadora tiene una eficiencia de 32%, la de mejor indicador, mientras que los equipos que más degradan la exergía son la columna hidroselectora y la válvula reductora.

#### **Aplicación de la tecnología Pinch al proceso en las condiciones actuales de operación [Jiménez, 1993; Pérez, 1991; Twaite, 1986]**

A continuación se aplicarán los conceptos establecidos acerca de la integración energética de procesos, mediante métodos basados en la segunda ley de la termodinámica, como es la tecnología Pinch, con lo cual se persigue:

- Obtención de la máxima eficiencia termodinámica en los calores intercambiados entre las corrientes frías y calientes del proceso.
- Obtención del mínimo consumo energético, a partir del intercambio térmico entre las corrientes del proceso y las corrientes utilitarias de calentamiento y enfriamiento.
- Obtención de un HEN que sea el más económico posible, con un mínimo de unidades de intercambio de calor.

Los métodos de análisis basados en la segunda ley de la termodinámica, permiten determinar la verdadera distribución de las pérdidas y su magnitud en la instalación térmica, y proporcionan la valoración cualitativa de las transformaciones de la energía, considerando el potencial de temperatura en los flujos térmicos. Existen varios métodos basados en esta ley, y uno de los más empleados es el método o tecnología de Pinch. Este proporciona de forma eficiente los verdaderos requerimientos de energía en el proceso, permitiendo la integración de todo el sistema, al contrario de la optimización por partes, en un proceso de forma aislada.

Seguidamente enumeraremos los pasos a seguir o reglas heurísticas, necesarias para la aplicación del Pinch.

Reglas heurísticas para la selección de pareja (método-temperatura-intervalo).

- Colocar las corrientes calientes y frías en el orden de las capacidades caloríficas.
- Lograr el apareamiento entre las primeras corrientes calientes y la primera fría, hasta que solamente quede una fría o una caliente en el intervalo.
- Tratar que sobre el Pinch se cumpla lo siguiente:

$$C_{pH} \cdot M_H \leq C_{pc} \cdot M_c$$

Y por debajo lo contrario:

$$C_{pH} \cdot M_H \geq C_{pc} \cdot M_c$$

- Lograr las parejas entre las mayores corrientes remanentes y el residuo también mayor del apareamiento anterior, manteniendo  $GMAT \geq EMAT$ .
- Si queda algún residuo de calor, entonces las parejas serán entre las corrientes de proceso y las utilidades.
- Dividir las corrientes siempre que exista gran diferencia en el valor de las capacidades caloríficas entre las corrientes.

Para aplicar la tecnología Pinch se tomaron todos los datos actuales, así como la forma de su operación, los cuales se ilustran en la tabla 3.

Tabla 3. Tabla de datos de las corrientes

Corrida	Tipo	Masa, kg/s	Cp, kJ/kg°C	C, kW/°C	DH, kW	T <sub>1</sub> , °C	T <sub>2</sub> , °C
Condensado	Caliente (H <sub>1</sub> )	0,394	4,39	1,71		101	50
Mosto 1	Caliente (H <sub>2</sub> )	0,895	4,3	3,85		100	90
Mosto 2	Caliente (H <sub>3</sub> )	0,121	4,3	3,18		98	88
AFA	Caliente (H <sub>4</sub> )	0,2	2,74	0,548		80	35
C (alc.B)	Fría (C <sub>1</sub> )	0,215	3,4	0,731		30	80
Flema	Fría (C <sub>2</sub> )	0,6	4,2	2,54		59	90

Estudios realizados en las destilerías con procesos similares, y no considerando los posibles errores topológicos, han encontrado valores para el  $\Delta T_{\text{min}}$ . óptimo económico del proceso entre 10 y 20 °C, y temperaturas de umbral entre 12 y 20 °C.

En este proceso la temperatura de umbral es de 10,7 °C. Dado que no existen bombas de calor en el proceso, se tomará un valor de  $\Delta T_{\text{mín}} = 10$  °C para todos los casos que serán analizados.

Los principales resultados en cuanto al análisis de la eficiencia energética son los siguientes:

- Se desaprovecha el calor del condensado de la columna hidroselectora.
- La alimentación no se calienta todo lo necesario, ya que el alcohol crudo (B) se alimenta a 70,5 °C, pudiendo ser hasta 80 °C, existiendo un calentamiento deficiente en el intercambio con los mostos de la torre depuradora; además, la flema también se alimenta a 59 °C, la cual puede llegar a 90 °C.
- Alto consumo de vapor de la columna por baja temperatura del alimento.
- Los mostos de la columna recuperadora se vierten directo a la zanja, por lo que se pierde todo ese calor.
- Como se puede observar, esta red de intercambio de calor no aprovecha la energía entre las corrientes para asegurar una alta eficiencia energética en el proceso.

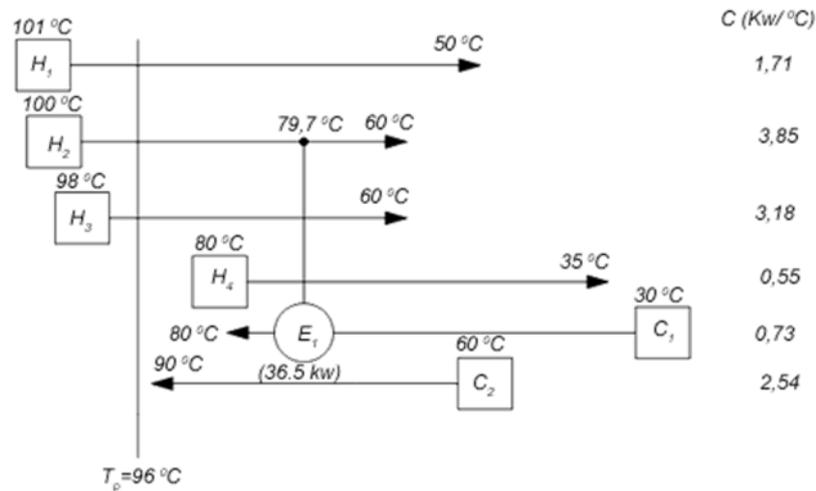


Fig. 2. Red inicial.

### Análisis de alternativas en función del incremento de la eficiencia energética de la destilería

Conociendo los resultados de los balances de masa, energía y exergía, así como los resultados de la tecnología Pinch aplicadas al proceso, se ha trabajado en aquellas alternativas de esquemas y operación influyentes en un mejor uso del vapor, el calor y el combustible, sobre la base de aquellos objetivos donde están ocurriendo las mayores degradaciones de la exergía.

#### 1. Aislamiento térmico en columnas.

##### 1-a) Análisis de la factibilidad de aislar la columna hidroselectora.

Los 2,45 m<sup>3</sup> de amianto equivalen a 490 kg o 0,49 t. Para este espesor de aislante se obtuvo la temperatura superficial para una disminución de las pérdidas en 60% con respecto a las actuales, determinándose que se pueden ahorrar 13 160 W de calor, lo cual equivale a 1,46 kg/h o 7 t/año de combustible, con un valor de 1 330 \$/año.

##### 1-b) Columna depuradora.

A esta columna se le hizo el mismo análisis con L = 9 m, D = 1,2 m, t<sub>s</sub> = 75 °C y t<sub>a</sub> = 27 °C, y se obtuvo el valor de las pérdidas de calor siguiente:

$$Q_p = 19\,370,5 \text{ W.}$$

Como beneficios adicionales, se dejan de enviar al medio ambiente 16 522 W de calor y se dejan de consumir 23 kg/h de vapor en las columnas, disminuyendo en igual magnitud los efluentes líquidos.

## 2. Mejoras energéticas en el proceso.

Variante seleccionada después aplicarse la tecnología Pinch al proceso.

Con la aplicación de esta tecnología se logra un uso eficiente de la energía, ya que se alcanzan las temperaturas requeridas para el proceso, lo cual trae aparejado una disminución de consumo de vapor, al no tener que elevar la temperatura dentro del equipo.

A esta variante se la añadió la corriente fría  $C_3$  de agua para alimentar la caldera.

Tabla 4. Características de la corriente fría

Corr.	Tipo	Masa, kg/s	$C_p$ , kJ/kg°C	C, kW/°C	DH, kW	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C
$C_3$	Fría	0,79	4,19	3,3	-	30	90

Ahora el diagrama de rejillas es como sigue:

Esta variante aprovecha el calor de las corrientes calientes, según las reglas generales del apareamiento de las corrientes frías y calientes en el método aplicado.

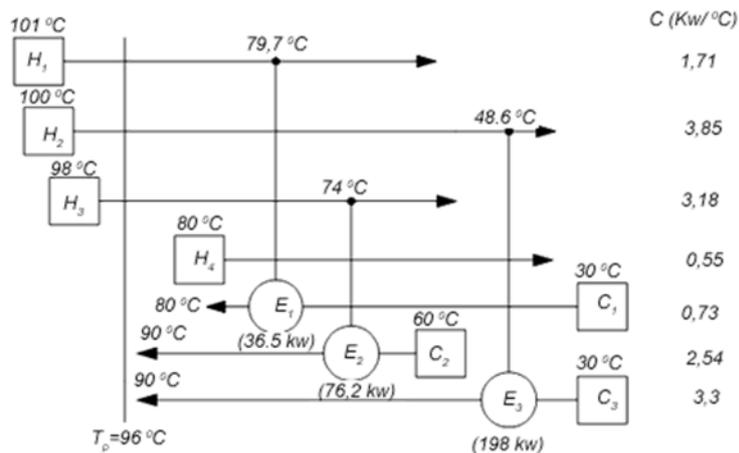


Fig.3. Diagrama de rejillas.

Ahorros logrados:

Por consumo de vapor a la columna hidroseladora, consumo actual = 1,42 t/h.

Consumo de la red propuesta = 1,01 t/h.  
(Temp. de alimentar la flema (H), 90 °C y el alcohol crudo (B) 80 °C.  
Ahorros = 0,41 t/h, equivalen a 32,5 kg/h de combustible y 29 640 \$/año.  
En cuanto al consumo de combustible en calderas, por aumento de temperatura del agua de alimentar calderas se ahorra 1 kg/h, lo cual equivale a 22 800 \$/año.  
Ahorro total: 52 440 \$/año.  
Retorno en %:  $(52\,400 / 39\,410,2) \cdot 100 = 133\%$   
Tiempo de recuperación:  $39\,410,2 \text{ \$/año} = 0,752 \text{ años (9,2 meses)}$ .

Como se puede observar, después de haber realizado el análisis económico a este sistema, llegamos a la conclusión de que cumple con los parámetros necesarios para el proceso de producción, ya que es factible de instalar desde el punto de vista térmico y económico, recuperándose la inversión en un término menor de un año.

### **Análisis económico de todas las mejoras energéticas**

Después de haberse analizado cada una de estas propuestas para lograr un aumento de la eficiencia, y disminuir los costos en función de los ahorros logrados, se determinaron los costos totales y los ahorros logrados para verificar el porcentaje de retorno, y el tiempo de recuperación de toda la inversión.

Costo total de la energía y la inversión.

Aislamiento en columnas: 444 \$.  
Variante seleccionada por aplicar el Pinch: 39 410,2 \$.  
Motor de combustión interna: 242 443,2 \$.  
Ahorros logrados:  
Aislamiento en columnas: 1 668 \$/año.  
Variante seleccionada por aplicar el Pinch: 52 440 \$/año.  
Mejoras en el generador de vapor: 22 800 \$/año.  
Motor de combustión interna: 58 809,6 \$/año.  
Costo total: 282 297,4 \$.  
Ahorro total: 135 717,6 \$/año.  
Retorno en %:  $(\text{ahorro/costo}) = 48\%$ .  
Tiempo de recuperación:  $(\text{costo/ahorro}) = 2,1 \text{ años}$ .

### **Conclusiones**

Cuando se aplica esta tecnología al proceso, se constata que no se está aprovechando el calor eficientemente, y aplicándose los principios que están basados en los conceptos de calor y potencia se logra una integración del proceso, en el que se alcanzan mejoras energéticas y una disminución de los costos de producción debido al ahorro de combustible.

Además, resulta menos agresiva al medio ambiente, ya que al quemarse menos combustible los gases de escape producto de la combustión disminuyen y los residuales líquidos que se vierten son menos agresivos por tener una temperatura menor que en el proceso actual.

El diagnóstico realizado a la instalación, la aplicación de tecnologías de punta, la integración de proceso y la inclusión de la cogeneración, dan por resultado un proceso más eficiente y competitivo, porque disminuyen los consumos energéticos y los costos de producción por concepto de ahorro, además de ser menos agresivo al medio ambiente. Como aspecto fundamental se destaca la reducción de portadores energéticos, es decir, el consumo de combustible, el cual es uno de los problemas fundamentales considerados en este trabajo.

### **Bibliografía**

- BALOH, T., et al. (1995). *Manual de energía para fábricas de azúcar*. Drukhaus am Trepton er Perk, 1995.
- BLANCOS C., G. *La producción de alcohol a partir de la industria azucarera y sus posibilidades*. La Habana: Ed. Científico-Técnica. s/a.
- CASTELLANOS, J., et al. (2002). *Balance de masa y energía. Métodos clásicos y técnicos no convencionales*. Editorial Feijoo, 2002.
- ESPINOSA PEDRAJA, R., et al. (1984). *Sistema de utilización del calor*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1984. 209 pp.
- JIMÉNEZ C., O. (1993). «Análisis energético en un proceso de producción de alcohol», en *Ingeniería Energética*, v. XIV, no. 3, 1993.
- PÉREZ TORRES, H. A. (1991). *Balance de masa y energía para el consumo de vapor en una destilería de alcohol*. Universidad Central de Las Villa, 1991.
- TOWSEND, D. Y B. LINNHOFF (1983). *Heat and Power Network in Process Integration I*. Aiche J, no. 29, 1983.
- TWAITE, N. R. (1986). «Energy Reduction and Process Integration», en *International Sugar Journal*, v. 88, no. 1056, 1986.

## **Sistema de ordenamiento de las fuentes renovables de energía en Cuba. Propuesta de Geoportal de Energía**

### **Organizing System for renewable energy sources in Cuba. Proposal of an Energy Geoportal**

*Por Rolando Heredia Pérez\*, María Rodríguez Gámez\*\*, Antonio Vázquez Pérez\*\* y Alejandro Martínez Linares\*\**

*\* Empresa de Hidroenergía, Guantánamo, Cuba.*

*\*\* Centro de Investigaciones y Pruebas*

*Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. e-mail: roland2k@gmail.com*

### **Resumen**

Actualmente varios sectores de la economía han alcanzado un desarrollo adecuado en las comunicaciones y la informática, ofreciendo ventajas para los diferentes niveles territoriales. Un ejemplo de ello es la base energética que se encuentra dispersa en todo el territorio nacional, ya sea para generación, distribución o transmisión. Las fuentes renovables de energía (FRE) también se encuentran distribuidas en todo el territorio. Dentro del desarrollo energético, las renovables significan un potencial de energía muy atractivo para su consideración en la ordenación territorial. El ordenamiento de las energías renovables se ha realizado mediante la confluencia e integración de diversas tecnologías de avanzada, entre ellas los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la percepción remota (aérea y satelital) y los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG), así como la automatización de equipos y sensores que pueden en un momento determinado transmitir información, en tiempo real, de lo que sucede en los territorios. Se propone el desarrollo de un Geoportal de Energía que servirá de información técnica para desarrollar estrategias adecuadas en la planificación energética y los programas de pronóstico, logrando además determinar los impactos ambientales provocados por la generación de energía, como son el suelo, el aire, el manto freático, etc. Se presenta la base metodológica de la primera experiencia en Cuba de la aplicación de la Geomática a las actividades vinculadas con el área energética, fundamentalmente las fuentes renovables de energía.

**Palabras clave:** Generación distribuida, energías renovables, técnicas de informática y comunicaciones, SIG

### **Abstract**

Currently several sectors of the economy have reached an adequate development in communications and information technology, offering

advantages for different territorial levels. An example of this are the energy technologies dispersed countrywide, whether for generation, transmission or distribution of electricity. Renewable energy carriers (REC) are also distributed nationwide. Within the energy development, renewables are a very attractive energy potential to be considered in territorial planning. The ordering of renewable energies has been made through the confluence and integration of various advanced technologies, including Geographic Information Systems (GIS), remote sensing (air and satellite) and Global Positioning Systems (GPS), as well as as the automation of equipment and sensors that at a given moment can transmit information in real time of what is happening in the territories. The development of an Energy Geoportal is proposed, which will be used as technical information to develop adequate strategies in energy planning and forecasting programs, as well as determining the environmental impacts caused by the generation of electricity on soil, air, water table, etc. The paper presents the methodological basis of the first experience of the application of Geomatics in Cuba to the activities related to the energy sector, mainly renewable energy sources.

**Keywords:** Distributed generation, renewable energies, information technology and communications, GIS

## **Introducción**

La construcción de un modelo energético que garantice la seguridad de abastecimiento, la competitividad de nuestra economía y la lucha contra el cambio climático, constituye una prioridad estratégica. La eficiencia energética y las energías renovables deben ser los protagonistas de la política energética del presente y del futuro, tanto a nivel local como nacional, por sus reconocidos beneficios energéticos, medioambientales, sociales y económicos.

Actualmente se está produciendo un reordenamiento en el país, en el que se desarrollan profundos cambios estructurales en la economía encaminados a la recuperación y el crecimiento, basándonos en la innovación y las nuevas tecnologías, como motores para la satisfacción de los servicios y el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo social con prioridad del nivel local.

Desde la década de los años 80 del siglo pasado, el país se encuentra enfrascado en una apuesta decidida por el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética [Instituto, 1980]; sin embargo, el mismo ha sido relativamente lento debido a las dificultades económicas que han impedido un desarrollo más estable y amplio.

No obstante, ello no ha limitado el desarrollo en la innovación tecnológica y el aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos y limpios, para lo cual hoy se introducen aspectos novedosos a nivel territorial y local, mediante el uso de las Técnicas de Informática y Comunicación (TIC). En este campo se trabaja con el objetivo de explotar los recursos renovables existentes en sitios próximos a la demanda [Rodríguez, et al., 2009].

La clave del éxito para la integración de estas fuentes de energía en la producción eléctrica, es la búsqueda de un marco jurídico-económico que ayude, a través de un sistema de tarifas reguladas, a propiciar un marco que incentive el desarrollo de esas tecnologías.

Actualmente se encuentran operando los primeros parques eólicos conectados a red [Moreno, et al., 2009], se dispone de numerosas experiencias en fotovoltaica [Cabrera, 2005], en pequeñas minihidroeléctricas [García, 2005] y varios centrales azucareros continúan cogenerando [Curbelo, et al., 1991].

Las limitaciones de recursos económicos que enfrenta el país obliga a desarrollar estrategias para satisfacer el desarrollo pleno del hombre en todas las vertientes de la vida social; aplicar soluciones y medidas encaminadas a satisfacer la demanda eléctrica, mediante la diversificación de los sistemas de producción y distribución de energía, introduciendo tecnologías económicamente sostenibles desde el punto de vista medioambiental.

Hoy se trabaja con el objetivo de crear una infraestructura web que permita ir incorporando los estudios potenciales de fuentes renovables, e información de interés, a nivel de la Unión Eléctrica (UNE) [Rodríguez, et al., 2010] que permita al personal científico y empresarial contar con una herramienta que facilite el uso de dicha información, desde el nivel de municipio.

## **Materiales y métodos**

Se utilizan las herramientas del SIG, y las TIC, para desarrollar la gestión energética hasta los menores niveles administrativos. Las páginas Web facilitan la gestión corporativa al ofrecer información de diversos perfiles destinados a mejorar la organización, rapidez, planificación y control de la estructura organizacional vertical, así como la cooperación y coordinación horizontal del sistema.

El Geoportal de Energía viene a llenar un espacio vacío en el sistema de datos espaciales.

El diseño propuesto utiliza software libre, llevando a diferentes niveles corporativos la información, mediante mapas dotados de información cartográfica, integrada en una visión territorial, logrando incorporar en una misma base de datos los elementos relacionados con el sector energético renovable, donde se incluyen los diversos potenciales (solar, eólico, hídrico y de biomasa).

La tecnología propuesta pretende agrupar el complejo volumen de datos e información que hoy existe, incorporando un SIG con capacidad de brindar como producto derivado, un importante nivel de datos e informaciones acerca de todo el espectro energético del país, información que hoy se encuentra dispersa [Rodríguez, et al., 2008].

El alcance de su aplicación no se limita al hecho de llenar espacios, y no se trata por tanto de una solución formal a los típicos problemas de la información. Su esencia se ubica en la pretensión de elevar cualitativamente la composición y estructura de datos de una organización, que tiene ante sí un problema muy complejo, para cuya solución requiere cambios conceptuales y estructurales en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, y que para acometer dichas modificaciones ha de realizar un elevado nivel de análisis donde pueda manejarse, simultáneamente, un gran volumen de información, e incorporar los componentes del estudio científico, así como la consulta social participativa.

Su implantación y puesta en marcha se ha diseñado bajo criterios económicos y de racionalidad, evitando la saturación y derroche de tecnología, así como la inadecuada utilización de fuerza de trabajo. El sistema se aplicará sobre la estructura de datos espaciales, en la escala 1:250000 para el país; 1:100000 para la provincia, y 1:50000 para los municipios, permitiendo ello disponer de la información cartográfica correspondiente para el desarrollo local.

El Geoportal está llamado a promocionar un nuevo enfoque filosófico de independencia energética y desarrollo sustentable de la sociedad, donde los recursos renovables dispersos en el territorio puedan explotarse de forma sustentada, y vinculados a la demanda de las poblaciones locales.

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

Uno de los resultados obtenidos fue diseñar la primera versión del Sistema de Información Geográfica de Fuentes Renovables de Energía (SIGFRE-1), a partir de cartografía 1:250000. En la figura 1 se muestra la pantalla principal del sistema. En ella se agrupa información sobre los elementos de la

infraestructura eléctrica que intervienen en el proceso de pre inversión, como son las líneas eléctricas y las sub estaciones.

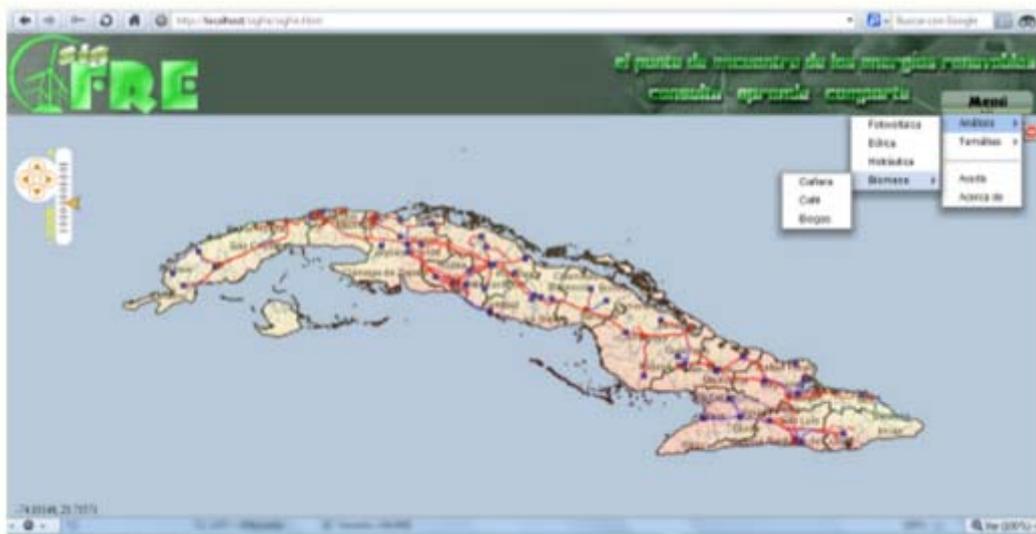


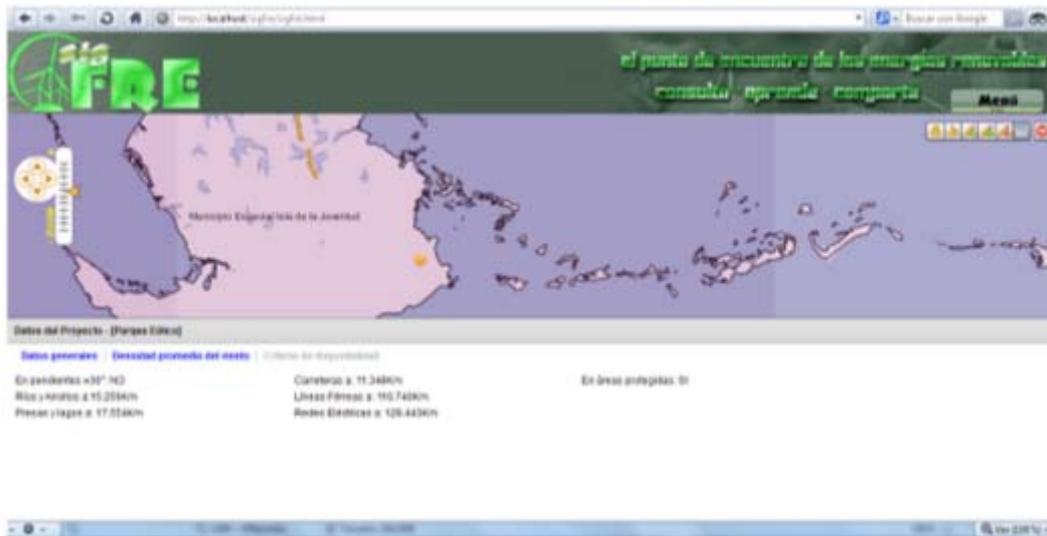
Fig. 1. Pantalla principal del SIGFRE-0

El sistema pretende gestionar un complejo volumen de datos e información hoy existente, incorporando un SIG con capacidad de brindar, como producto derivado, un importante nivel de datos e informaciones espaciales georreferenciadas, acerca de todo el espectro energético del país. Se valoran y aportan elementos del ordenamiento territorial, uso del suelo y el cumplimiento de la legislación vigente relacionada con las nuevas inversiones del perfil energético, hoy plasmadas en la política económica del país, fundamentalmente a partir del potencial renovable, para lo cual se han desarrollado módulos con información de los potenciales existentes (solar, eólico, hídrico y de biomasa). En la figura 2 se puede observar como a partir de señalar un punto en el mapa, el sistema brinda información, en un gráfico de barras, de la velocidad del viento por mes y el promedio anual.



Fig. 2. Cálculo de la velocidad del viento por mes y promedio anual.

En la figura 3 se observa cómo el sistema, además, brinda los datos generales del punto seleccionado, y la disponibilidad que existe a partir del análisis de la información, donde ofrece todos los elementos del medio que resultan de interés para desarrollar los estudios de pre factibilidad; por ejemplo, para el proyecto de un parque eólico, donde son importantes el estudio de las pendientes, ríos, arroyos, presas, carreteras, líneas férreas, redes eléctricas, áreas protegidas, etcétera.



*Fig. 3. Información de datos generales y criterios de disponibilidad.*

O sea, que el sistema es capaz de brindar información de gran utilidad para los estudios de pre inversión. En él se registran aspectos de protección medioambiental, y paisajísticos, del potencial existente de la fuente renovable deseada, elementos que se tendrán en cuenta en el planeamiento energético a los niveles locales, provinciales y de país, facilitando la toma de decisiones para el desarrollo de proyectos sostenibles energéticamente. El esquema de trabajo se proyecta basado en su racionalidad y economía, evitando el uso inadecuado de tecnologías que impacten el medio, proponiendo la tecnología más adecuada para cada potencial, y teniendo en cuenta la ordenación del territorio.

En el caso de los potenciales hidráulicos se muestra un mapa que expone las presas y algunos ríos (puntos anaranjados), y en su parte inferior se incluyen los datos asociados al punto seleccionado. En la figura 4 se expone la imagen del mapa y la tabla de datos con la información del sitio seleccionado.

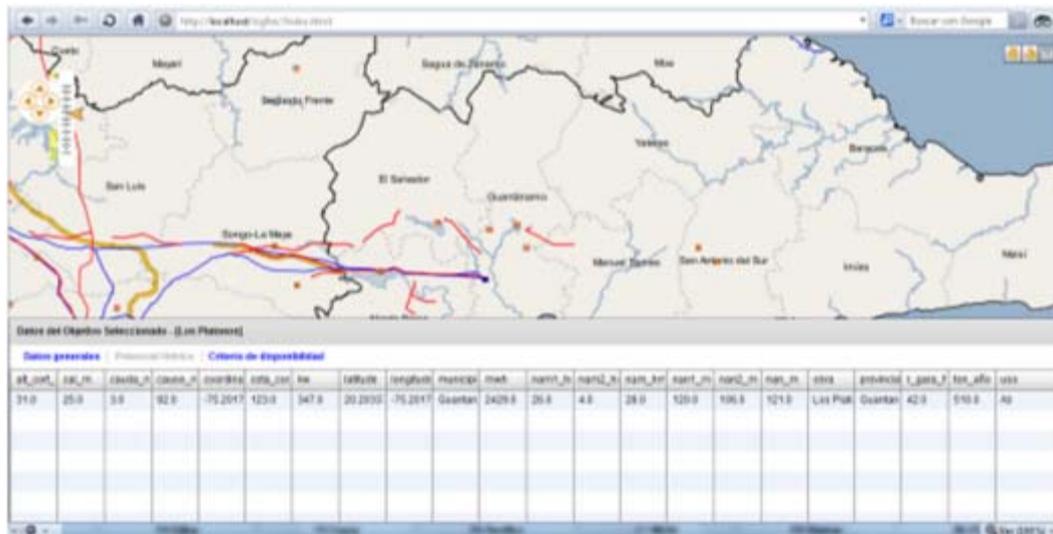


Fig. 4. Potencial hidráulico y tabla de datos asociados.

El SIGFRE-1 es una versión de página web que ha permitido poder seguir estudiando y explotando la herramienta informática con fines energéticos, fomentando el desarrollo basado en una nueva concepción energética, fundamentado en el uso de todos los potenciales renovables disponibles de forma dispersa, pudiendo encauzar los esfuerzos desde la propia organización hacia todos los sectores de la sociedad, mediante la promoción de datos geoespaciales vinculados a los potenciales renovables hoy dispersos en diferentes grupos de investigación del país.

A partir de los análisis realizados con el SIGFRE, se desarrolló el modelo de eficiencia energética mostrado en la figura 5. Este se enfoca hacia el desarrollo de un programa energético sostenible, basado en las fuentes renovables, además de permitir desarrollar tareas complejas de forma simultánea, pudiendo ofrecer información paralela relacionada con los estudios de factibilidad económica, estudios de riesgos, análisis de impactos medioambientales y medidas de reducción de desastres, entre otras.

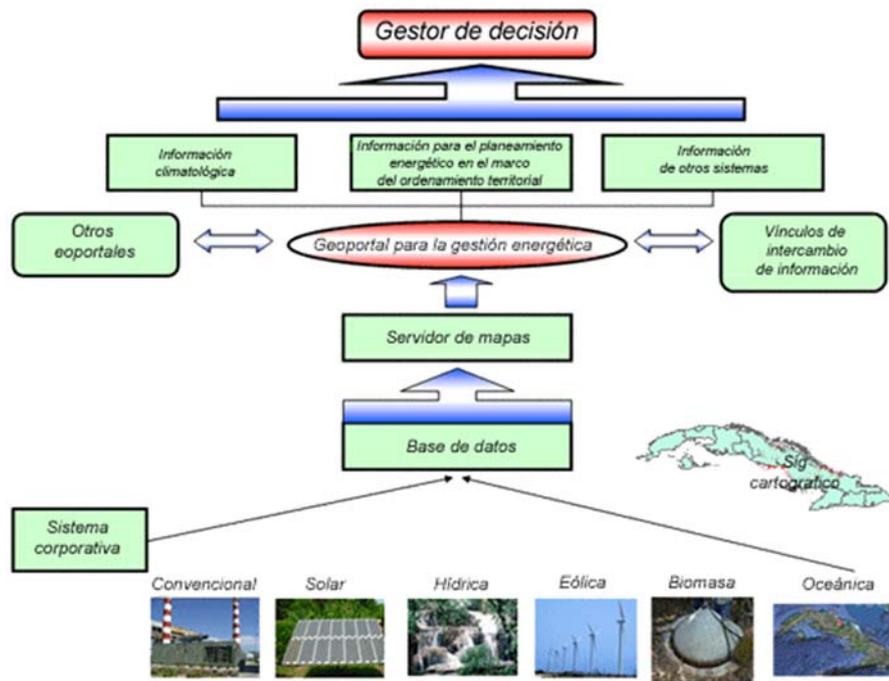


Fig. 5. Modelo de eficiencia energética.

El SIGFRE-0 ha permitido realizar diferentes estudios de áreas disponibles para la inversión en las distintas fuentes de energía. Por ejemplo, en la provincia de Guantánamo se pudieron precisar las áreas disponibles por municipios, y la radiación solar incidente en el plano inclinado, pudiéndose calcular la potencia que se podría generar si se aprovecharan esas áreas. Los estudios realizados se muestran en la tabla 1.

La información ofrecida en la tabla ofrece una visión general del comportamiento de la radiación solar en la provincia y la potencia posible a generar, permitiendo a los decisores trazar estrategias a corto, mediano y largo plazos.

Tabla 1. Áreas viables y potencia que se puede generar

Municipio	Radiación solar promedio, kWhm <sup>2</sup> d	Área, km <sup>2</sup>	Potencia, kW
Baracoa	5,58	583,67	3 202 752,69
Base Naval	6,05	115,30	697 938,34
Caimanera	5,99	166,38	997 185,08
El Salvador	5,94	336,58	2 022 525,87

Guantánamo	5,96	301,81	1 802 920,94
Imías	5,57	489,38	2 743 956,69
Maisí	5,57	374,25	2 084 602,11
Manuel Tames	5,95	34,83	207 892,13
Niceto Pérez	6,05	446,06	2 696 310,41
San Antonio del Sur	5,72	81,51	477 119,07
Yateras	5,71	58,96	335 659,89
<b>Total provincial</b>	<b>5,85</b>	<b>2 614,49</b>	<b>15 184 261,12</b>

El sistema pretende satisfacer el desarrollo energético, apostando por la aplicación de soluciones y medidas encaminadas a satisfacer la demanda eléctrica, mediante la diversificación de los sistemas de producción y distribución de energía, introduciendo tecnologías sustentables económicamente, y sostenibles, desde el punto de vista medioambiental.

El fácil manejo de las herramientas del sistema brinda la posibilidad de acceso ágil a materiales informativos, manuales técnicos y otros datos interesantes que se muestran en forma de mapas temáticos, facilitando que se convierta en un sitio atractivo de consulta, información y superación.

### **Conclusiones**

La novedad del sistema propuesto radica en el complejo volumen de datos e información espacial georreferenciada del país que se acumula y puede ser usado teniendo un carácter cualitativamente superior. Ello se logra al introducir funciones del componente investigativo científico, como el método participativo y el análisis con el diseño, así como con la puesta en marcha de un sitio de consulta social, que favorezca el intercambio de información con las estructuras hasta el nivel de consejos populares.

Se presenta un modelo de eficiencia energética que agrupa las diferentes formas de generación de energía, que permite trazar una estrategia territorial adecuada, con una visión al futuro desarrollo de las fuentes renovables de energía.

## **Bibliografía**

- CABRERA, I. (2005). «Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red», en *Energía y tú*, no. 31, 2005.
- CURBELO, A., B. GAREA Y A. VALDÉS (1991). *Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba*. La Habana: 1991.
- GARCÍA, R. (2005). *La Hidráulica en Cuba: experiencias y resultados (1959-2005)*. 2005.
- Instituto de Planificación Física (IPF). (1980). *Anuario de la Oficina territorial de Planificación Física*. La Habana: 1980.
- MORENO, C., G. LEIVA Y L. MATOS (2009). *Estado actual y desarrollo de la energía eólica en Cuba*. La Habana: 2009.
- RODRÍGUEZ, M., et al. (2008). «Propuesta de un SIG para planeamiento de la electrificación en el país», en *Convención de Energía y Arquitectura*, La Habana: 2008.
- RODRÍGUEZ, M., A. VÁZQUEZ Y R. HEREDIA (2010). «Potencial renovable en Guantánamo», en *GConocimiento. Energía para el desarrollo*, no. 12, 2010. ISSN 2219-6927.
- RODRÍGUEZ, M., J. DOMÍNGUEZ, B. BUJAN Y R. ESPINO (2009). «Incorporación de las energías renovables a la generación distribuida, en Santiago de Cuba», en *Resumen del Congreso*, 2009.

**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:**

M.Sc. Manuel Álvarez González.

**EDITOR JEFE:**

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

**EDITORIA:**

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

**CORRECCIÓN:**

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

**DISEÑO ELECTRÓNICO:**

D.I. Antonio Romillo Polaino.

**WEB MASTER:**

M.Sc. Fernando González Prieto.

**CONSEJO ASESOR:**

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez



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

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

Teléfono: (537) 205-9949.

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

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

<http://www.cubasolar.cu>