



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

4



Generador de imanes permanentes para aplicaciones industriales.....	1
Desarrollo del controlador fotovoltaico CR1215 para uso en sistemas solares fotovoltaicos autónomos.....	7
Destiladores solares para el aumento de la sostenibilidad de sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía.....	13
Interacciones entre las propiedades de los suelos, el manejo y el entorno en el sur de Pinar del Río.....	20
Modelación de la dispersión local de contaminantes atmosféricos en terrenos complejos.....	28
Experiencias prácticas en la explotación del secador solar multipropósito del CIES con microalga Chlorella vulgaris.....	37
Tecnología de explotación del filtro óptico líquido del veranero.....	44

Generador de imanes permanentes para aplicaciones industriales

Generator of Permanent Magnets for Industrial Applications

*M.Sc. Ernesto Yoel Fariñas Wong,
Dr. Ing. Abdel Jacomino Bermúdez
y M.Sc. Idielin Martínez Yong.*

Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera (CETA).

Resumen

En lugares apartados de las redes eléctricas nacionales es necesario un suministro estable de energía eléctrica para determinadas aplicaciones; una fuente muy usada en el mundo es la producción de esta a partir de generadores de imanes permanentes. Si bien es cierto que la adaptación de alternadores de autos para generar brindan resultados satisfactorios para ciertas condiciones de carga y requerimientos de potencia, no es así en aquellos casos donde la fuerza motriz es variable, por lo que se necesita otro tipo de equipamiento, como un generador de imanes permanentes. Este tipo de máquina no requiere de sistemas de transmisión ni alimentación a un circuito de campo. El generador de imanes permanentes también encuentra su aplicación en picocentrales hidráulicas y ruedas hidráulicas. La configuración básica consiste en un rotor de imanes permanentes de neodimio ferrítico, para establecer el flujo magnético de forma axial. Se opta por esta disposición debido a la simplicidad del diseño.

Palabras claves: Generadores, generador de imanes permanentes, turbinas, aeroturbinas.

Abstract

A stable power supply for certain applications is essential in remote places of the national electric grids. The energy production from permanent magnet generators has been a worldwide practice for long time. It is true that adapting car alternators to generate power, has yielded satisfactory results for certain load conditions and power requirements; however, this is not the case when the engine force is variable and another type of equipment is required and it's when the use of permanent magnet generator is indispensable, this type of machine does not need transmission systems nor feeding a field circuit. This generator is also used in hydraulic picocentrales (power centers reaching a peak level), hydraulic wheels and the like. The generator basic configuration consists of a rotor of permanent magnets of ferritic neodymium to establish a magnetic flow in an axial way. This generator was chosen for the simplicity of the design.

Key words: Generator, permanent magnet generator, turbine, wind turbine

Introducción

La problemática de la generación de electricidad en Cuba adquiere en el país una importancia científico-técnica y económica significativa, dada las necesidades de producción de este tipo de energía y las condiciones en que se acomete en la etapa actual.

Como resultado de una línea de desarrollo orientada con bases científicas y a partir de estudios realizados en varios centros de investigación de países desarrollados, dan como resultado un trabajo de desarrollo de generadores a partir de imanes permanentes que ineludiblemente tendrá repercusión social, pues el desarrollo de estos equipos además de poseer un variado uso industrial está vinculado al Programa Nacional de Ciencia y Técnica, donde el partido y los organismos de administración del Estado centran todo su esfuerzo.

Este tipo de generador se viene difundiendo desde hace unos años a partir del desarrollo que ha alcanzado la electrónica, lo que ha permitido el uso de estos equipos por organismos como el MINAZ, el MINAGRI y el MINBAS.

La producción de estos equipos actualmente no se ha desarrollado en nuestro país dada las limitaciones que existían en su uso y explotación; estos trabajos constituyen los primeros que se hacen en el campo de los generadores de imanes permanentes para aplicaciones industriales.

Por medio de este estudio se muestra cómo se puede hacer el diseño de un equipo muy necesario en la industria en general, de gran uso en estos momentos y debido a los avances de la electrónica, que permite la manipulación de estas máquinas con gran precisión.

Descripción general

Rotor de imanes permanentes de ocho polos.

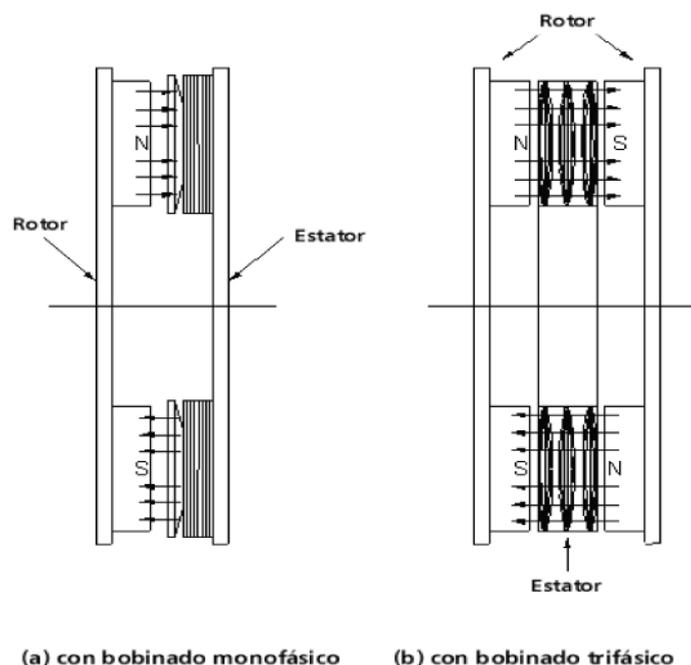
Imanes de neodimio grado N 38.

Estator con bobinado calibre AWG 14.

Carcasa de aluminio.

Las posibles configuraciones para el estator en una máquina de flujo axial son las que se muestran en la figura 1.

Fig. 1. Esquemas de disposiciones de rotor axial.



La configuración elegida es la correspondiente a la disposición (b). Este tipo permite la flexibilidad de conexión estrella o delta de acuerdo con el régimen de operación del generador.

Representa también una ventaja sobre la disposición mostrada en (a) el hecho de que en esta disposición (a) se requiere la presencia de núcleos, lo cual genera mayores pérdidas; así mismo, menos pérdidas se tienen en una rectificación de onda completa para un circuito trifásico que para un monofásico.

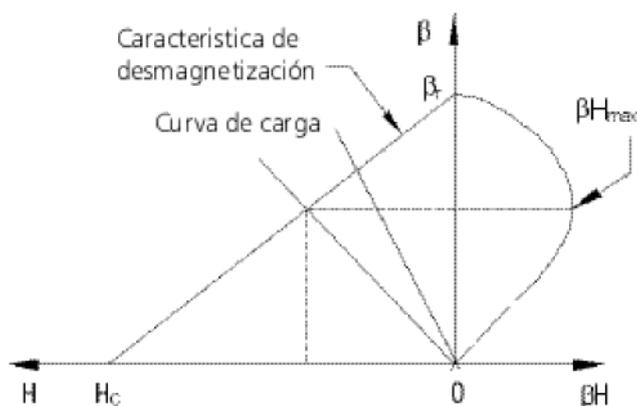
Consideraciones magnéticas

El flujo de campo magnético es establecido por los imanes permanentes; esto a su vez generará el voltaje inducido de acuerdo con la Ley de Faraday. La optimización del flujo de campo magnético dependerá del circuito magnético, es decir, los materiales y la geometría involucrada determinarán un mayor o menor aprovechamiento del campo magnético del imán permanente.

La principal conclusión que se obtiene para este prototipo es que existe dispersión del flujo magnético debido a la presencia de espacios "de aire" entre bobinas y entre imanes. Adicionalmente, las tolerancias de fabricación poseen una gran importancia debido a que el logro de tolerancias exigentes en las superficies de apoyo determinarán la reluctancia del circuito magnético, que opondrá resistencia al flujo del campo magnético.

Como puede observarse en la figura 2, el objetivo es obtener un punto de operación del imán, determinado por la intersección de la curva de carga con la curva de magnetización del imán, por encima del punto de energía máxima del imán (Bh_{max}).

Fig. 2. Curva característica de imán.



Consideraciones eléctricas

El diseño del circuito eléctrico del generador se basa en la Ley de Faraday, para la tensión inducida en vacío se tiene la siguiente relación:

$$E_A = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot N \cdot m \cdot \phi \cdot f$$

donde:

E_A : Tensión inducida.

N: Número de vueltas o espiras por bobina.

m: Número de bobinas.

ϕ : Flujo que atraviesa una bobina.

F: Frecuencia eléctrica.

Las pérdidas en la tensión inducida dependerán del bobinado del estator y de las condiciones de operación del equipo.

La forma de conexión puede ser en delta (triángulo) o estrella. Dado que las máquinas que operarán en regímenes de carga variables deben poseer la capacidad de conmutación entre ambas configuraciones.

En el caso de operar con una línea de tensión de 12 V será conveniente que el generador tenga una configuración delta (triángulo) en el bobinado; para el caso de una línea de 24 V lo conveniente será una configuración estrella.

Adicionalmente deberá considerarse el uso de sistemas electrónicos de control para la regulación de carga y protección de las baterías. Estos equipos tienen como función derivar los excesos de carga, por la presencia de cargas variables, hacia bancos de resistencias de disipación; de esta forma se evitan sobrecargas en las baterías. Si las baterías están sometidas a niveles prohibitivos de descarga, los equipos de protección tienen por misión desconectar las cargas de las baterías, esto es importante pues descargas excesivas de las baterías implican disminución en su tiempo de vida.

Fig. 3.

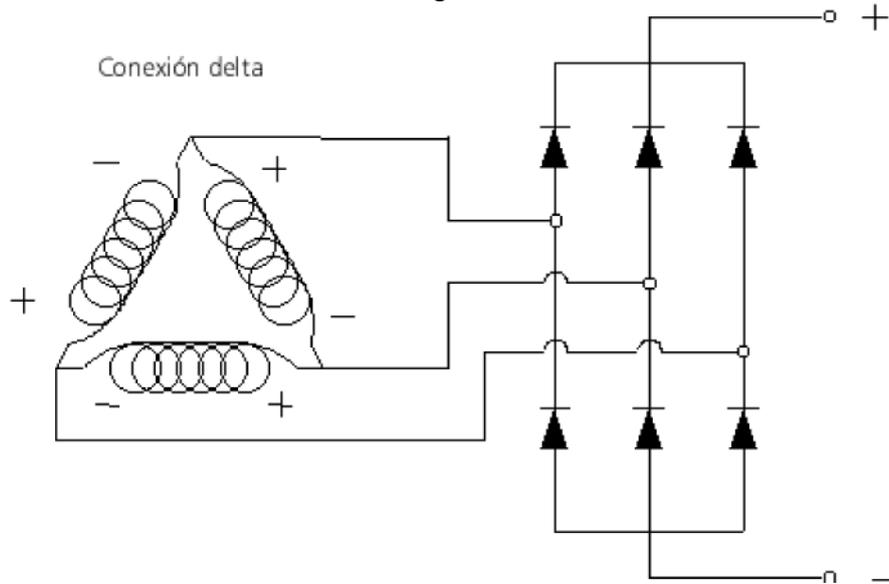
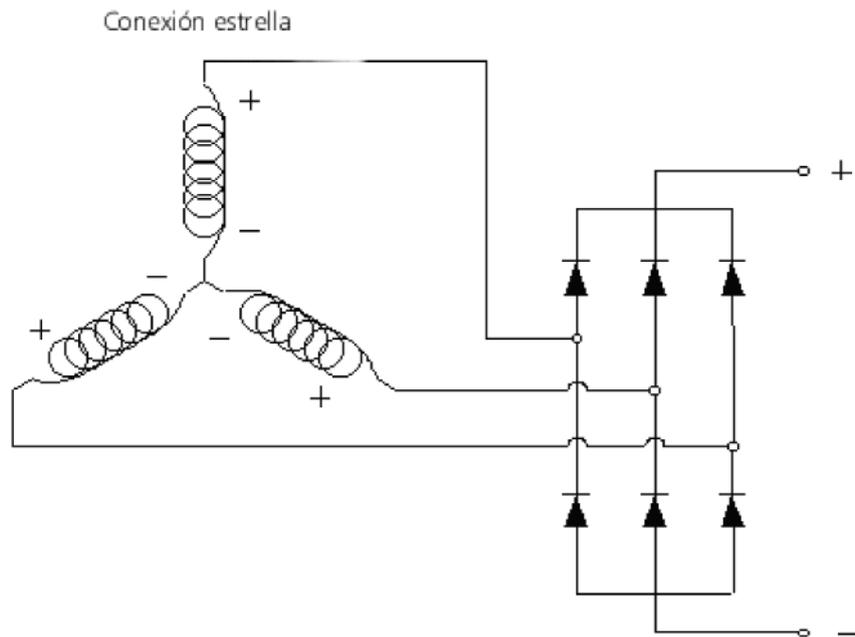


Fig. 4.



Conclusiones

1. No se requiere de corriente de excitación para crear el campo inductor, pues este es proporcionado por los imanes. Esto hace innecesaria la lectura de la velocidad de giro del rotor para controlar la conexión del generador a las baterías solo cuando se alcanzan las revoluciones por minuto de generación. Por consiguiente, se simplifican los dispositivos de control electrónico.

2. Dado el diseño particular del generador de imanes permanentes, no se requiere emplear una transmisión de velocidad, puesto que su acoplamiento con el rotor es directo. De este modo se consigue generar a bajas velocidades de giro. Si bien es cierto que el empleo de una transmisión de velocidad en un

generador con alternador de auto permitía un aumento de dicha velocidad, también aumentaba el torque mecánico; además, se produce una pérdida de potencia en dependencia de la eficiencia de la transmisión.

3. Se logra una simplificación notable del equipo; esto se traduce en un mantenimiento menos complejo y una disminución en la probabilidad de falla de los componentes del equipo.

4. Teniendo en cuenta que los equipos mencionados son de gran aplicabilidad práctica tanto en la industria azucarera como en la industria en general, se propone la fabricación de dichas máquinas para usos industriales.

Bibliografía

- BARDELL, P. R. *Materiales magnéticos en la industria eléctrica*. Bilbao: Ediciones URMO, 1970.
- Essentials of Magnet Design*. http://www.magnetsales.com/design_guide.html. Magnet Sales & Manufacturing Inc.
- HENDERSHOT, J. R. AND T. J. E. MILLER. *Design of Brushless Permanent-Magnet Motors*. New York: Magna Physics Div. Tridelta Industries Inc., Hillsboro, Ohio and Oxford University Press Inc., 1994.
- MILLER, T. J. E. *Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- NASSAR S. A., I. BOLDEA AND L. E. UNNEWEHR. *Permanent Magnet, Reluctance, and Self-Synchronous Motors*. Florida: CRC Press Inc., 1993.
- Página WEB de Magnet Sales & Manufacturing Inc.: <http://www.magnetsales.com>
- REITZ, JOHN R. *Fundamentos de la teoría electromagnética*. Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana, cuarta edición, 1996.
- WEAKLEY, ROBERT H. *Design of permanent-magnet alternators*. AIEE Transactions, Vol. 70, parte II, 1951.

Desarrollo del controlador fotovoltaico CR1215 para uso en sistemas solares fotovoltaicos autónomos

Development of the Photovoltaic Controller CR1215 for Its Use in Autonomous Solar Photovoltaic Systems (APVS)

*Ing. José Emilio Camejo, Ing. Rolando Pupo, Lic. José Raúl Díaz**
*Departamento de Fotovoltaica. Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES),
Micro 3, Rpto. Abel Santamaría, Santiago de Cuba, Cuba.
CP 90800. Tel./Fax: (53 22) 671131. E-mail: camejo@cies.ciges.inf.cu*
**Departamento de Física Aplicada, Universidad de Oriente. Sede Julio Antonio Mella.
Ave. Las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba. CP 90600.
E-mail: jrdiaz@appphys.uo.edu.cu*

Resumen

Se presenta el desarrollo de un controlador fotovoltaico (CF) a partir de componentes electrónicos presentes en el mercado nacional para su aplicación en los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVA) en Cuba, que garanticen un régimen de explotación estable y confiable de las instalaciones y la disminución de los costos por importación y de operación por sustituciones debidas a fallas ocasionadas por una pobre adaptación de los existentes a nuestras condiciones socio-ambientales. Con la finalidad de adaptar eficazmente los resultados más recientes de la tecnología de avanzada de los países líderes y desarrollar tecnologías propias para la difusión masiva de los SFVA en el país, se plantea el desarrollo sobre la base de los criterios de selección y/o desarrollo de controladores fotovoltaicos para su aplicación en la Isla, determinados a partir de las experiencias de más de diez años en la actividad de diseño, montaje y explotación de sistemas fotovoltaicos. Este desarrollo nacional constituye uno de los requisitos más reconocidos en la comunidad internacional con vistas a lograr la sostenibilidad de los sistemas. La operación del prototipo por más de cinco años revela la adecuación del diseño y la factibilidad de construcción y posterior perfeccionamiento nacional en competencia con modelos similares foráneos.

Palabras clave: controlador fotovoltaico, sistemas fotovoltaicos autónomos

Abstract

This paper contains the development of a photovoltaic controller (PC), manufactured using current electronic components found in the domestic market for its application in stand alone photovoltaic systems in Cuba which ensures both a stable and reliable operation in the facilities and cost reduction in terms of importation and operations since replacements have to be made due to failures caused by a poor adaptation of the ones in operation because of Cuban social environmental conditions. Aimed at efficiently adapting the most recent results of the state-of-the-art technology of the leading countries and to develop indigenous technologies for the mass dissemination of APVS in Cuba, the development of the controller is given due consideration based on selection criteria and/or the development of photovoltaic controllers for their application on the island, given the experience gained over 10 years in the photovoltaic

system design, assembly and exploitation. The prototype operation for over five years reveals the suitability of the design and the feasibility of its construction and further improvement on the island competing with similar foreign models.

Keywords: photovoltaic controller, stand-alone photovoltaic systems

Introducción

En la actualidad la forma más conveniente de almacenar electricidad en sistemas fotovoltaicos autónomos es mediante la acumulación electroquímica convencional, fundamentalmente a con de baterías de acumuladores de Pb-ácido; la causa fundamental de ello radica en que los sistemas fotovoltaicos generan una potencia eléctrica relativamente pequeña, para la cual este tipo de acumulación constituye el más apropiado. Es previsible que a corto y mediano plazo, al menos hasta inicio del próximo siglo, este hecho continúe siendo una realidad [Adelmann et al., 1993].

La utilización generalizada de las baterías de Pb-ácido como parte integrante indispensable de un sistemas fotovoltaicos ha condicionado la aparición y perfeccionamiento de los controladores fotovoltaicos (CF) para aplicaciones fotovoltaicas [Capobianco et al., 1993].

Un controlador fotovoltaico puede definirse como un dispositivo electrónico que tiene como función maximizar el tiempo de vida útil de las baterías, optimizando los procesos de carga y descarga que ocurren en ellas.

Dado que los principales problemas que presentan las baterías y que más inciden en la disminución del tiempo de trabajo previsto para ellas están asociados en lo fundamental a las sobrecargas y excesivas descargas que pueden ocurrir en el proceso de explotación normal, el eficaz funcionamiento de un controlador fotovoltaico debe prevenir las sobrecargas y descargas profundas de la batería y ajustarse a las condiciones de diseño del sistema fotovoltaico [Sandia National Laboratories, 1998 y 1991, y Corso, 1995].

A partir de la problemática antes expuesta queda claro que la necesidad del controlador fotovoltaico en un sistema fotovoltaico resulta inobjetable, ya que el tiempo de vida útil de la batería depende de manera directa del buen funcionamiento del controlador, y de manera indirecta se protege los equipos de consumo que pueden sufrir averías si su voltaje de trabajo se sale de los rangos establecidos por el fabricante. Existen diferentes algoritmos o estrategias de control para los controladores fotovoltaicos [Dunlop et al., 1991], que determinan también la efectividad tanto de la batería como de la utilización del sistema fotovoltaico, y en su conjunto determinan la habilidad integral para satisfacer las demandas de consumo.

Una característica inherente de la mayoría de los controladores fotovoltaicos es que están diseñados para condiciones ideales (temperatura de 25 °C) y cuando operan en condiciones climáticas como las tropicales, en la cual confluyen alta humedad relativa y temperatura, estos no operan de forma adecuada [Colectivo de autores, 1996], lo que se manifiesta en un aumento de posibles fallas en el sistema.

Para el diseño de estos controladores fotovoltaicos se tuvieron en cuenta los criterios de selección y/o desarrollo de los controladores fotovoltaicos para su aplicación en los sistemas fotovoltaicos en Cuba [Camejo y Díaz, 1999]. Además de lo anterior, según reportes encontrados en la literatura [Adelmann et al., 1993], el costo del CF adquirido en el mercado representa 2,4 % del costo total de la instalación, hecho este que puede disminuirse, y permitiría mejorar el balance de costo de los sistemas fotovoltaicos.

Características del controlador fotovoltaico CR 1215

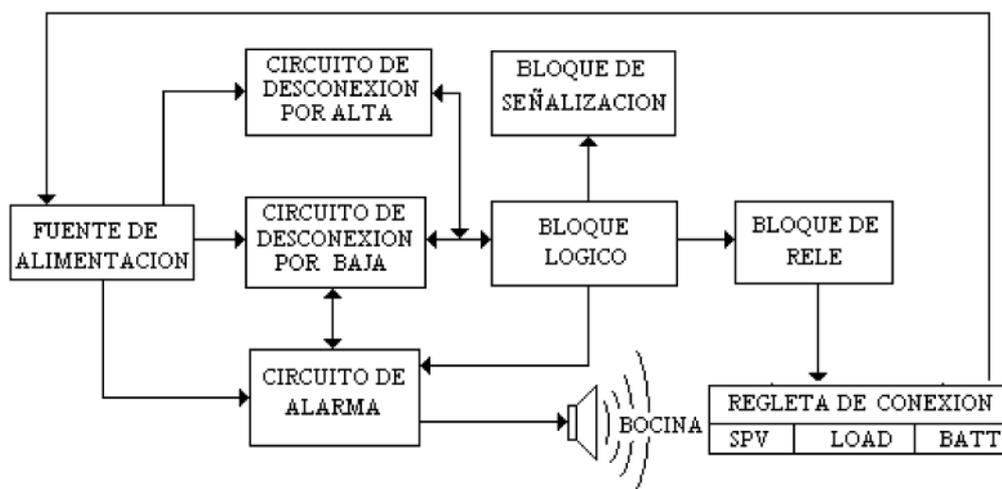
Partiendo de los criterios de selección y/o desarrollo, en este diseño se incluyen las siguientes funciones:

Protección: desconexión de la carga por alta tensión de batería y reconexión a voltajes base predeterminados, desconexión del consumo por baja tensión de batería y reconexión a voltajes base predeterminados, protección contra sobreconsumo mediante fusible instantáneo, protección contra sobrevoltajes mediante varistores, protección contra polaridad invertida, protección contra corriente inversa en la variante de diodo Schotky, señalización mediante LEDs, panel cargando, batería cargada, batería descargada, polaridad invertida y voltaje de panel OK.

Características especiales: ajustabilidad de campo de todos los niveles de control base (a 27 °C) y utilización de relé electromecánico para la conmutación de las líneas de carga y consumo.

En este caso, en el cual los sistemas fotovoltaicos autónomos instalados por regla general son de bajo consumo y utilizan baterías de Pb-ácido y trabajan a 12 V CD, se desarrolló una primera variante del prototipo del controlador tipo serie CR 1215 que funciona según el diagrama de bloques que se muestra en la figura 1.

Fig. 1. Diagrama de bloque del controlador fotovoltaico CR 1215.



Descripción técnica del controlador fotovoltaico CR 1215

El CF CR 1215 está formado básicamente por una tarjeta de control e indicación y alarma sonora, un diodo de potencia y una regleta de conexión.

Los amplificadores operacionales con que cuenta el circuito integrado (CI) LM 324 son empleados como comparadores de voltaje. Dos de ellos, que funcionan como comparadores de voltaje regenerativos, se utilizan para comparar las condiciones de batería cargada y batería descargada. Un tercero se emplea para comparar la diferencia de voltaje existente entre el panel solar fotovoltaico y la batería, y el cuarto se usa para detectar cuándo la batería ha alcanzado un nivel de descarga determinado que la dañe; en ese momento se activará la alarma que avisará al usuario de esta situación para que disminuya el consumo, de lo contrario se le desconectará el sistema completo.

La alarma está implementada con un circuito integrado LM 556, del cual se emplea un temporizador para controlar el tiempo que permanecerá activada; la otra compuerta se utiliza para generar una señal sonora a una frecuencia de aproximadamente 1 kHz. Las compuertas NAND que forman el circuito integrado 7400 o D100D se usan para realizar operaciones lógicas a partir de las señales que entregan los comparadores de voltaje y para adecuar algunas señales a los niveles de voltaje necesarios.

La fuente de voltaje estabilizada 7805 tiene doble propósito: el primero es alimentar los circuitos integrados con que cuenta la tarjeta electrónica del regulador de carga; y el segundo, imponer un voltaje de referencia atenuado, ambos estabilizados, que nos permita comparar el voltaje de la batería, entre el panel fotovoltaico-batería y batería-consumo.

Los dos relés electromecánicos se implementan por la necesidad de intercalar elementos a través de los cuales se realicen las conmutaciones.

Para indicar al usuario el estado de la batería y el panel fotovoltaico, el controlador fotovoltaico consta de cinco LEDs que permiten conocer los diferentes estados por los que puede transitar el sistema.

Histéresis

En el diseño de los controladores fotovoltaicos para aplicaciones fotovoltaicas se hace necesario definir adecuadamente la histéresis de los límites de corte, tanto por alta como por baja, ya que de no tenerse en cuenta esto el elemento de control podrá caer en un ciclo continuo de conexión y desconexión y provocar daños en el elemento conmutador y el consumo.

Por otra parte, elegir la lógica de la histéresis siempre ha sido un problema crítico en los controladores fotovoltaicos. Muchos fabricantes se han decidido porque esta histéresis cambie cuando se varíen los niveles de desconexión (controladores fotovoltaicos con niveles no ajustables), y otros han tomado la variante de que la histéresis no tenga en cuenta las variaciones de estos puntos. Esta última variante tiene la ventaja de que cualquier cambio en los puntos de corte o de operación del controlador fotovoltaico no modificaría los valores de la histéresis.

Por todo lo anteriormente mencionado se tomó la decisión de que el controladores fotovoltaicos desarrollado garantice que si se varían los puntos de corte, la histéresis se mantenga constante con estas variaciones, lo que constituye prácticamente un requisito de la ajustabilidad de campo. A continuación se muestra la curva de linealidad obtenida en las pruebas realizadas al variar los puntos de corte por alto y bajo voltajes y la curva de histéresis del controlador fotovoltaico (Figs. 2 y 3).

Fig. 2. Curva de linealidad de la histéresis con respecto a los puntos de corte.

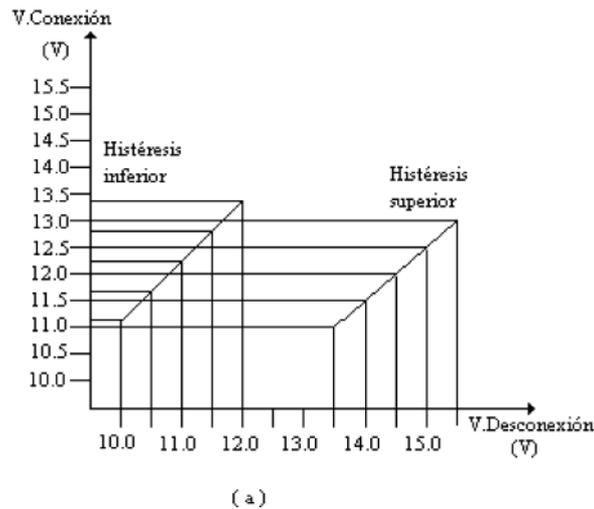
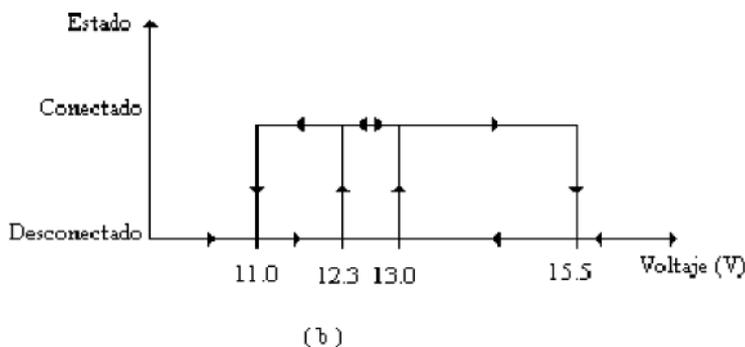


Fig. 3. Curva de histéresis del controlador fotovoltaico CR 1215.



Señalización

El controlado fotovoltaico está dotado de un sistema de señalizaciones formado por cinco LEDs que brindan las siguientes informaciones: panel cargando, voltaje de panel OK, batería cargada, batería descargada y polaridad invertida.

Protecciones

Protección contra cargas inducidas: En el panel fotovoltaico, tanto el terminal positivo como el negativo están protegidos contra cargas inducidas por descargas eléctricas durante tormentas atmosféricas, a través de varistores. Al inducirse una carga en los terminales del panel fotovoltaico, los varistores drenan la carga a tierra, fijando un voltaje de 36 V con respecto a tierra, el cual es seguro para el controlador.

Protección contra sobreconsumo: El controlador está previsto de un fusible instantáneo de 10 A, que se rompe cuando se detecta cortocircuito en el consumo, desconectando de forma inmediata la salida del consumo.

Especificaciones técnicas

Voltaje nominal	12 V CD
Corriente máxima de carga	15 A CD
Corriente máxima de consumo	10 A CD
Límite superior del voltaje de carga	15,5 ± 0,1 V CD
Voltaje de reconexión de la carga	13,0 ± 0,1 V CD
Límite inferior del voltaje de descarga	11,0 ± 0,1 V CD
Voltaje de reconexión del consumo	12,3 ± 0,1 V CD
Voltaje de la alarma sonora	11,5 ± 0,1 V CD

Conclusiones

1. Se desarrolló un prototipo de controlador fotovoltaico (CR 1215) con algoritmo de control reajustado y a partir de tecnología basada en componentes que pueden obtenerse en el mercado nacional.

2. Las pruebas y ensayos realizados corroboran los resultados prácticos obtenidos en su funcionamiento por más de cinco años de explotación en una escuela electrificada con sistema solar fotovoltaico en la comunidad rural La Magdalena del municipio Guamá, provincia de Santiago de Cuba.

Bibliografía

- ADELMANN P., D. GATZEIT AND J. GARCHE. "Regulating-method for solar charging regulators", in *Proceeding ISES Solar World Congress*. Budapest: 1993. Volume 3. Photovoltaics. pp. 229-304.
- CAMEJO J. E. Y J. R. DÍAZ. "Criterios de selección y/o desarrollo de controladores fotovoltaicos para su uso en aplicaciones fotovoltaicas en Cuba", en *Energía & Desarrollo*, No. 14. Bolivia: 1999.
- CAPOBIANCO M., M. A. CASALLA, Z. SALAMEH AND R. JOSCH. "Locally manufactured charge controller and load center with dual battery capacity for PV systems", in *Proceeding ISES Solar World Congress*. Budapest: 1993. Volume 3. Photovoltaics. pp. 287-292.
- COLECTIVO DE AUTORES. *Sistemas solares fotovoltaico*. Inédito. Cuba: 1996.
- Curso de energía solar fotovoltaica*. Capítulo II, volumen II. España: CIEMAT, 1995.
- DUNLOP J., S. HARRINGTON AND W. BOWER. *Performance of battery charge controllers: First year test report*. Proceeding of the 22nd. Las Vegas, Nevada: IEEE PV Specialists Conference, 1991.
- SANDIA NATIONAL LABORATORIES. *Maintenance and operation of stand-alone photovoltaic systems*. U.S.: Department of Energy Multiprogram National Laboratory, Dec., 1991.
- SANDIA NATIONAL LABORATORIES. *Stand-alone PV system. A handbook of recommended design practices*. U.S.: Department of Commerce, 1988.

Destiladores solares para el aumento de la sostenibilidad de sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía

Solar Distillers for Increasing the Renewable Energy Systems Sustainability

*Juan M. Bermúdez Torres. Investigador Agregado.
Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), Santiago de Cuba.
E.mail: bermúdez@cies.ciges.inf.cu.
Ciro Bergues Ricardo.
Investigador Auxiliar. CIES.
Francisco Zenón Cobián.
Especialista en Investigaciones. CIES.*

Introducción

Los seres humanos intercambian materia y energía con la biosfera. Hasta hace poco bastaban los recursos fósiles, la contaminación se absorbía y no se alteraban los recursos biológicos. Ahora el aumento de la población y del consumo per cápita está agotando estos recursos, sobrepasando la capacidad de descontaminación y degradando los recursos biológicos.

Las energías renovables se caracterizan por ser inagotables, abundantes, limpias, distribuidas geográficamente, baratas y de elevado potencial de utilización.

Las principales desventajas que presentan son la dependencia espacial, con gran influencia de la latitud geográfica; la dependencia temporal, como componentes estacionales y diarios, y la imposibilidad de almacenamiento en sí misma.

Las energías renovables son en la actualidad viables por la conjugación de factores tales como: experiencia de investigación y desarrollo tecnológico por varias décadas; existencia de una amplia cooperación internacional (científica, técnica y empresarial); los nuevos subsistemas en contacto directo con las energías renovables son muy satisfactorios; los requerimientos de materia y energía (impacto medioambiental) en la construcción del sistema son bajos; no hay contaminación; muchas aplicaciones aisladas son actualmente más competitivas que las convencionales equivalentes; los costos de los subsistemas renovables han descendido a la mitad en una década; la preocupación activa hacia los problemas ambientales es creciente, sobre todo en los países desarrollados, ello se concreta en la búsqueda y uso de energías limpias, aunque sean más caras o incómodas; las tecnologías renovables, respecto a otras actuales, son generalmente más sencillas en cuanto a instalación, operación y mantenimiento; por tanto, son idóneas para su explotación en comunidades de tecnología poco avanzada; las energías renovables son en sí mismas "blandas" y pacíficas, lo que las convierte en adecuadas para su exportación a países en vías de desarrollo.

Las energías renovables constituyen una solución al problema actual de la polución ambiental debido a que en el ámbito de la biosfera se cuenta únicamente con la materia que existe, buena parte en forma de contaminantes reales o potenciales, y con el aporte de las energías renovables; hay que desarrollar tecnologías que reciclen la limitada cantidad de materia contaminante, contrarrestando la contaminación.

En 1993 la Comisión Nacional de Energía (hoy ya disuelta) presentó ante el Parlamento cubano el documento programático Fuentes Nacionales de Energía, donde por primera vez se presentaba en uno de sus acápitos un programa a corto y mediano plazos para el estudio y aplicación de las fuentes renovables de energía, incluidas, entre otras, las energías solar térmica y fotovoltaica, hidráulica, biomasa y la eólica. Más adelante, en 1995, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) aprobó, dentro de los programas nacionales científico-técnicos, los programas de desarrollo energético sostenible y desarrollo sostenible de la montaña. Recientemente fue creado en el CITMA el Frente de Energía Renovable con el objetivo fundamental de la introducción cada vez en mayor escala de estos tipos de energías en el sistema económico de nuestro país, con los impactos económico, social y medioambiental que de ello se deriva.

Aplicaciones de las energías renovables en Cuba

El territorio cubano posee alrededor de 20 000 km^2 de zonas montañosas, pobladas con 820 mil habitantes aproximadamente, quienes por lo general viven en lugares de muy difícil acceso. La elevación de la calidad de vida de los pobladores de este medio rural constituye un importante objetivo del Gobierno cubano. Uno de los elementos principales para lograr este objetivo lo constituye el servicio eléctrico como vía de acceso a los programas culturales y de educación que lleva a cabo la Revolución para todo el pueblo.

No obstante los grandes esfuerzos realizados a partir de 1959, aún son muchos los pobladores de estas zonas que han quedado sin los beneficios del servicio eléctrico de iluminación de calidad o con uno deficiente: las plantas Diesel instaladas en los primeros años del triunfo revolucionario han sufrido un deterioro técnico creciente, y las dificultades económicas de los últimos años han demostrado su insostenibilidad por la cantidad y el carácter de los insumos necesarios para su mantenimiento y operación.

En la década de los noventa la energía eólica alcanzó cierto nivel de penetración en el escenario energético del país. Con la colaboración de CUBASOLAR y con participación de INEL se instaló por primera vez en Cuba un pequeño parque eólico en la Isla de Turiguanó, situada en la porción norte de la región del Archipiélago, con capacidad de 450 kW . Este parque consta de dos máquinas de 225 kW cada una y fue financiado por ONG's europeas.

En Cabo Cruz, al sur de la provincia Granma, se lleva a cabo actualmente por parte del CETER un proyecto de instalación de cinco turbinas eólicas pequeñas de 10 kW con alta integración de producción nacional, con el propósito de tributar energía eléctrica a la red local.

Otra solución al problema de la electrificación de objetivos remotos que más desarrollo ha alcanzado en los últimos años en el terreno internacional han sido los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVA), pero su introducción en la práctica social mediante amplios programas nacionales plantea una serie de interrogantes aún no resueltas en relación con la adopción social de la tecnología y su sustentabilidad a largo plazo, aspecto que redundaría en su competitividad económica. La práctica internacional de los últimos veinte años ha llegado a establecer con claridad la viabilidad tecnológica de los sistemas fotovoltaicos sobre la base de importantes programas internacionales de aseguramiento de la calidad, pero se reconoce el decisivo papel que desempeñan los factores sociales y de infraestructura tecnológica locales.

En Cuba la electrificación de instalaciones con energía solar está dirigida fundamentalmente a garantizar la iluminación de los objetivos sociales y económicos como primera necesidad. La experiencia en este sentido ha demostrado la factibilidad de los sistemas solares fotovoltaicos para aplicaciones de iluminación. Según estudios realizados relacionados con las fallas en los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica en la provincia de Santiago de Cuba, primera en el país en contar con los beneficios de la electrificación rural con sistemas autónomos de este tipo en poblados y consultorios del Médico de la Familia, comienzan a detectarse los primeros problemas en su funcionamiento.

No fue previsto un suministro de agua especial para las baterías, lo que incidió negativamente en su durabilidad y por tanto en el normal funcionamiento de los sistemas autónomos, porque el agua utilizada no cumplía los requisitos necesarios para los procesos electroquímicos, lo que provocó fallas precoces en los sistemas de acumulación y afectaciones en la vida útil proyectada para los sistemas. El problema que había que enfrentar consistió entonces en garantizar el suministro de agua destilada directamente en el sitio donde se va a emplear esta en el rellenado de baterías estacionarias que forman parte de la acumulación de los sistemas de generación eléctrica.

De los métodos de depuración de agua para su uso específico en baterías acumuladoras, el empleo de destiladores solares resulta el más adecuado en el escenario donde cumplen su función los sistemas de generación eléctrica: la fuente energética primaria (radiación solar) se conjuga con la esencia misma de los sistemas de energías renovables; la calidad del agua obtenida es óptima para lo que se utiliza; la sencillez de los equipos no requiere de personal altamente calificado para su explotación, mantenimiento y reparación; sus costos resultan asequibles; los volúmenes de producto que se obtienen con estos equipos cubren el ciento por ciento de las demandas durante los 365 días del año.

En el CIES se ha desarrollado una serie de prototipos de destiladores, cuyas características principales se refieren a continuación: Destilador de cascada, 1 m^2 , destilador de poceta con cubierta en V de 58 m^2 ; destilador de poceta con materiales de la construcción civil de 3,7 m^2 ; destilador de poceta plástico de 0,5 m^2 . El último prototipo estudiado ha introducido al polietileno negro de alta densidad como un material constructivo apropiado para el régimen de

explotación en que operan los destiladores solares por sus costos relativamente bajos con relación a los metales y su resistencia a la corrosión en nuestras condiciones climáticas. Se encuentran en explotación equipos por más de 5 años consecutivos sin deterioro de las propiedades del material.

Introducción de destiladores solares en la práctica social

La generalización masiva de sistemas para la electrificación en comunidades, escuelas, consultorios médicos rurales y otros objetivos económicos y sociales en todo el país es el resultado más elocuente de este programa de introducción de la tecnología de aprovechamiento de fuentes renovables de energía (FRE) en la práctica social cubana.

La necesidad del suministro con agua destilada a los subsistemas de acumulación energética de las instalaciones basadas en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía ha servido de base para el desarrollo de prototipos y modelos de destiladores solares con vistas a satisfacer las necesidades del producto.

Se ha comenzado la introducción de destiladores solares en sistemas fotovoltaicos autónomos, como por ejemplo el instalado en la comunidad de Santamaría del Loreto en el municipio Songo-La Maya, Santiago de Cuba (Fig. 1), que fue electrificada con una Central Fotovoltaica de 25 kW para la generación de electricidad. En 1997 se inicio la primera etapa quedando instaladas estas capacidades en el banco de batería (3 600 Ah) y el sistema de control (MP-60) aunque solo con una potencia de generación en paneles solares de 11 kW, en sustitución de un viejo grupo electrógeno Diesel que brindaba un servicio intermitente por la falta de combustible, piezas de repuesto y lubricantes, con lo que mejoraron considerablemente las condiciones de vida.



Fig. 1. Destilador solar en funcionamiento en el poblado Santamaría del Loreto, Santiago de Cuba.

Con la ejecución de este proyecto fueron electrificados cincuenta objetivos sociales y económicos (43 viviendas rurales, un círculo social, una escuela, una Posta Médica, una tienda de víveres, una despulpadora, un complejo cafetalero, la Caseta del Sistema de Control y Regulación de la Central Fotovoltaica) y la Avenida Principal de la Comunidad. La población beneficiada es de 184 personas, de los cuales 86 son mujeres (de ellas 34 niñas y adolescentes) y 98 hombres (de ellos 33 niños y adolescentes).

Con la aplicación de la destilación solar se solucionó la problemática anteriormente planteada al sistema, ya que se ha logrado la capacidad de agua destilada necesaria para mantener el nivel de funcionamiento del banco de baterías del SFVA (Fig. 2). Además ha sido de aceptación de los usuarios contar in situ con el agua destilada que permite mantener el funcionamiento normal del sistema.



Fig. 2. Banco de baterías del SFVA del poblado de Santamaría del Loreto.

Sobre la base de las experiencias anteriores, se proyecta la generalización de la introducción de destiladores solares plásticos (Fig. 3) en una primera etapa a los sistemas fotovoltaicos autónomos instalados en la actualidad en las 1944 escuelas rurales electrificadas por el Programa Educativo Audiovisual del Gobierno Revolucionario a todo lo largo y ancho del país, con el fin, en etapas posteriores, de cubrir la demanda de agua en instalaciones que prestan servicios salas de TV y vídeo, consultorios del Médico de la Familia, policlínicos y otros objetos sociales beneficiados por los programas de la Revolución. Para ello se han diseñado dos modelos de destiladores con productividades respectivas de 0,4 a 0,5 L/día ($0,16 m^2$ de superficie de espejo líquido) y de 3 a 4 L/día con un área útil de $1 m^2$. Los costos para cada uno de ellos son de \$ 24,11 y \$ 150,70 en USD para las primeras producciones seriadas. Para la materialización de estas acciones se han elaborado y presentado varios proyectos para lograr financiamiento, tanto en moneda libremente convertible como en moneda nacional.



Figura 3. Modelo de destilador solar para SFVA del Programa educativo audiovisual.

Esta tecnología perspektivamente logrará alcances en otras aplicaciones tales como el recargue de baterías de medios de transporte en general, la potabilización de agua de mar o salinizada para el consumo humano y el regadío en zonas donde la escasez de este líquido y la demanda permitan la instalación de sistemas de forma económica.

Análisis de impactos resultantes de la incorporación de la destilación solar como parte de los sistemas autónomos

Impacto económico

El ahorro energético resultante de la aplicación de la tecnología, que no consume electricidad, comparando los gastos eléctricos del destilador convencional (0,5 kWh/L), es de 1 000 kWh/año por cada equipo, por lo que el efecto global de la propuesta asciende a 36 500 kWh/año. Se añade la eliminación del consumo de agua de enfriamiento (10 L por cada litro de agua destilada en un equipo eléctrico), que resultaría un ahorro anual de 20 000 L. Además, el costo calculado del litro de agua destilada para el equipo analizado es de \$ 0,013, inferior al de un destilador eléctrico (\$ 0,03).

Impacto social

Estudios realizados acerca de los beneficios reportados por la electrificación autónoma utilizando como fuente primaria las renovables han arrojado resultados diversos, básicamente relacionados con los enfoques específicos dados en diversas zonas rurales y los problemas concretos resueltos, ya que se presentan casos en los cuales la aceptación por parte de los beneficiarios es casi absoluta, pero en otros han chocado con intereses infraestructurales anteriores, para los cuales las soluciones propuestas no han cubierto totalmente las expectativas. No obstante, puede considerarse en general el saldo positivo, porque han incidido positivamente en aspectos tales como: De 94 % de electrificación logrado con el Sistema Electroenergético Nacional, se ha logrado aumentar hasta 98 % debido a la utilización de fuentes renovables de energía, tales como hidroeléctrica, fotovoltaica, eólica y sistemas híbridos.

Se ha hecho llegar la electricidad a pobladores de zonas rurales que forman parte de aquellas a las que no es factible incorporar al Sistema Electroenergético Nacional por diversas causas que, como anteriormente se indicaba, son más de 80 000 personas. Ejemplos concretos de ello resultan las 1 974 escuelas rurales y más de 1 000 salas de vídeo que han sido beneficiadas por el Programa educativo audiovisual, 226 consultorios del Médico de la Familia, 85 círculos sociales, 185 viviendas rurales y otros objetivos, para un total de 1 061, beneficios al Sistema Electroenergético Nacional con la instalación de dos parques eólicos de mediana potencia y otros.

La inserción de la destilación solar como complemento lógico de los sistemas que utilizan como fuente primaria la renovable aumenta la sostenibilidad de estos; por tanto, se infiere un beneficio más duradero a los usuarios con la prolongación del tiempo de vida útil de los sistemas. Esto puede constituir un argumento que eleve la confiabilidad de los equipamientos en explotación y su aceptación por parte de los beneficiarios.

Asimismo, se plantea que los beneficiarios se apropiarán de una nueva tecnología que ampliará su campo cognoscitivo en cuanto a los adelantos científico-técnicos actuales, el cual sería muy difícil de asimilar por parte de estas personas si no cuentan con la presencia física de la infraestructura en funcionamiento.

Un aspecto que es necesario tener en cuenta es la necesidad de incentivar el sentido de pertenencia de los sistemas por parte de los usuarios, ya que, por el carácter de entrega gratuita absoluta en la mayoría de los casos y en otros solamente se cobra el servicio que prestan sin que medien costos de infraestructura ni de instalación, se ha notado la tendencia de desinterés por el cuidado y mantenimiento sistemático de los sistemas, por lo que se impone estudiar formas de pago individual al alcance de las posibilidades de los beneficiarios y la formación de fondos para el mantenimiento de la técnica. En esto, la educación económica, energética y ambiental a la población desempeña un papel importante respecto a lograr una mayor asimilación de la relación existente entre las fuentes renovables de energía y la ecología, base del desarrollo sostenible y premisa fundamental para que nuestro país alcance niveles de bienestar material acordes con su sistema económico-político-social y los esfuerzos que hace la Revolución con el objetivo de que a todos los cubanos lleguen los beneficios por el camino del Sol.

Impacto medioambiental

El impacto medioambiental de los equipos se reduce a la cantidad de energía consumida y de emanaciones de gases de efecto invernadero equivalente generados durante la elaboración de los materiales que integran los equipos.

Coefficiente de inversiones energéticas (CIE) y cantidades de CO₂ emitidas según la fuente de energía.

Material	CIE en <i>MJ/m²mat</i>	Proporción de la fuente			<i>KgCO₂/kg mat</i>
		Electricidad	Petróleo	Carbón	
Polietileno de alta densidad	2082,0	520,5	1561,5	-	123,0
Vidrio plano 4 mm	138,0	20,7	117,3	-	8,7
Totales	2220,0	541,2	1678,8	-	131,7

Conclusiones

1. El aumento de la sostenibilidad de los sistemas mediante la introducción de la destilación solar incide positivamente en la confiabilidad de los sistemas y, por tanto, en el aumento su nivel de aceptación.
2. Existen opciones reales de producción cooperada de destiladores solares para cubrir todas las necesidades plantadas fundamentalmente para aplicaciones tales, como el llenado de baterías de sistemas de acumulación eléctrica, la utilización en necesidades propias de policlínicos y consultorios del Médico de la Familia y en perspectiva la potabilización de agua de mar.

Interacciones entre las propiedades de los suelos, el manejo y el entorno en el sur de Pinar del Río

Interactions between the properties of soils, the managing and the environment in the south of Pinar del Río

*Vicente Gálvez (1), Luis Rivero (1), Lázara Otero (1), Norys Navarro (1), Juan Miguel Pérez (1), Josefina Rodríguez (1) y Eduardo Garea (2).
(1) Instituto de Suelos Ministerio de la Agricultura de Cuba.(2) GEOCUBA.*

Resumen

Los suelos de la llanura sur de Pinar del Río en su proceso de formación son poco fértiles y de baja productividad; han sido tan severamente explotados que sus índices de fertilidad han decrecido por la incidencia de la salinidad y/o sodicidad, como consecuencia del mal manejo. Debido a que el suelo es un elemento interactuante con el medio, sus pésimas condiciones se reflejan en el ecosistema en general, e influye directamente sobre este de forma negativa, lo que se valora mediante el pobre estado que manifiestan los cultivos agrícolas que se desarrollan en toda la llanura sur. Entre los problemas fundamentales que inciden en el sur de la provincia hacemos énfasis en dos elementos fundamentales: los suelos y el manejo de estos. En el trabajo se expone el estudio de caso del área de referencia: La Deseada (municipio San Cristóbal, en Pinar del Río), donde se caracterizan elementos degradativos y su dinámica en relación con el medio; además, se establecen sus efectos y las medidas para su recuperación. Para ello se utilizaron técnicas del Sistema de Información Geográfico (SIG), con el uso del TeleMap.

Palabras clave: Sistema de Información Geográfico, manejo del suelo

Abstract

The soils from the south plain of Pinar del Río, based on their formation process are low fertile having low productivity as well. These soils have been so severely exploited, that some fertility indices have been decreased by the incidence of salinity (and or) sodicity as a result of mishandling. As the soil is an interacting element with the environment, their bad conditions is a reflex and also a consequence of the ecosystem, in this way it makes a direct negative influence that can be appreciated in the crops states growth in all the south flatness. Among the fundamental problems that have the mayor impact, we make emphasis in two main elements: SOILS AND THEIR MANAGEMENT. The present paper deals with the case study on the so-called reference area "La Deseada" (Municipality of San Cristobal, Pinar del Rio province, where the degrading agents are characterized regarding their dynamic in relation to the environment. The effects of the agents and the measurements for the

rehabilitation of the soil are established. For this a Geographic Information System (GIS), with the use of TeleMap was applied.

Keywords: Geographic Information System, soil management

Introducción

La degradación del medio cobra particular significación por el deterioro de las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas de los suelos, lo que desencadena una serie de complejos procesos, interrelacionados con un gran número de factores que intervienen en el agroecosistema.

En Cuba hay más de un millón de hectáreas de tierras agrícolas afectadas por la salinidad, y algo más de un millón potencialmente salinas, fenómeno relacionado con la sequía y el sobrehumedecimiento, sobre el cual podrían tener gran influencia los cambios climáticos. Al mismo tiempo, la salinización de los suelos es el proceso que mayor influencia negativa tiene en el medio, sobre todo en agroecosistemas situados en llanuras aluvio-marinas, las cuales ocupan más del 15 % del territorio nacional.

Resulta muy significativo el avance de este proceso degradante, el cual tiene lugar bajo la influencia antropogénica. Según Ortega (1986), casi todos los suelos afectados poseen salinización secundaria (provocada por la acción directa o indirecta del hombre), mientras que la salinización primaria (debido únicamente a factores naturales) alcanza poca extensión y está asociada a las ciénagas costeras.

La parte superior de los suelos más extendidos en la llanura sur de Pinar del Río son de textura ligera, donde predomina la arena sustentada sobre una capa arcillosa ferruginosa y/o laterizada. Esto conlleva a pobres propiedades coloidales en el horizonte superficial para el desarrollo de procesos vitales que determinan la fertilidad de los suelos, combinado con propiedades hidrofísicas inadecuadas, lo que unido a un manejo indiscriminado e incrementos de la salinidad y/o sodicidad, entre otros, nos da un panorama extremadamente alarmante.

Como el suelo es un elemento interactuante con el medio, sus pésimas condiciones se reflejan en el ecosistema en general, e influye directamente sobre este de forma negativa; esto se valora mediante el pobre estado que manifiestan los cultivos agrícolas que se desarrollan en toda la llanura sur de Pinar del Río.

Materiales y métodos

El área de estudio (contorno representativo), dentro de la llanura sur de Pinar del Río, se localiza entre las coordenadas 283 y 316 E y entre las 302 y 324 N; hojas cartográficas de Artemisa y San Cristóbal a escala 1:50 000. En él se encuentran: el CAI cañero José Martí, Brigada arrocera López Peña, Empresa Agropecuaria M. Fajardo, Brigada 38 Blas Roca, Polígono de Jejenes y Empresa de semillas El Corojal.

El área de referencia se halla en la llanura costera sur junto a la desembocadura del río San Cristóbal; como límite tiene por el norte la carretera

La Deseada; por el sur y el oeste, las proximidades del río San Cristóbal, y por el este la carretera al desembarcadero de Cantón. El paisaje muestra una secuencia desde la línea de la costa sur hasta las partes más altas de la Sierra de los Órganos, formando un sistema en el cual todas las partes se interrelacionan y tienen que ver con la degradación del medio en cualquier punto, aunque los factores actuantes y los procesos específicos se diferencian.

En las partes más bajas, donde los cultivos de arroz y caña de azúcar están muy extendidos, son más graves los estados de degradación, cuyas manifestaciones principales resultan la salinización y baja fertilidad de los suelos, encharcamiento y sequía edáfica dichos suelos se caracterizan por presentar contenidos de materia orgánica menor de 1,5 %; capacidad de cambio catiónica de 3-6 *cmol (+)/kg*; capacidad de cambio de bases menor de 4 *cmol (+)/kg*; relación calcio-magnesio menor de 2, contenidos de fósforo y potasio extremadamente bajos y acidez manifiesta en las áreas (pH de 4,0 a 6,0), acidez hidrolítica menor de 1,34 *me/100 g*, afectaciones por salinidad y sodicidad con altos valores de conductividad eléctrica, predominio de iones tóxicos y manto freático mineralizado próximo a la superficie donde la curva de 1 *g/L*, afecta más de las dos terceras partes del macizo; como consecuencia se derivan propiedades físicas inadecuadas y afectaciones en los rendimientos y el entorno. [Rivero et al., 1998].

El comportamiento histórico de las lluvias como principal índice climático lo ofrece el Instituto de Meteorología (1976). En relación con esto lo más importante es la distribución y redistribución de las aguas de lluvia dentro del suelo y de las que escurren desde las partes más altas. Desde el punto de vista hidrogeomorfológico lo más importante es la influencia del agua de mar sobre las del manto freático, aspecto que ha sido estudiado por varios investigadores, cuyos criterios fueron resumidos por Marrero (1984).

Se utilizó la base cartográfica: 1:10 000; mapa de suelo en 1:10 000; los muestreos de suelos para determinar la salinidad se realizaron en 1992 y 1994 siguiendo la metodología por cuadrículas [Obregón et al., 1988], a una distancia de 200 metros (25 puntos por kilómetro cuadrado). En cada uno de los puntos se tomaron un total de cinco muestras (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 cm); la salinidad se determinó (SST%) con la relación 1:5 y se ajustó a C.E. en el extracto de saturación [Navarro, 1990]; se utilizó mapa de uso de la tierra, imágenes de satélites y TeleMap software para el manejo y análisis de la información geográfica. Se aplicaron elementos del Sistema de Información Geográfico (SIG), sobre la base de los trabajos de Bosque Sendra (1992), y Brabant (1992). Una vez seleccionada la información, se llevó a mapas independientes como paso previo a la digitalización, la cual se realizó con el programa AutoCad-14 y el digitalizador. En el análisis de las capas de información en el sector de referencia se utilizó el programa TeleMap [Rodríguez et al., 1997].

Resultados y discusión

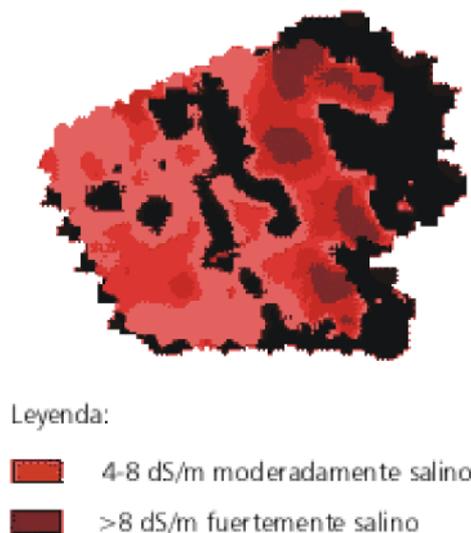
En el contorno, se parte de una base de datos conformada por una serie de capas de información (hidrográficas, suelo, relieve, salinidad, viales y otros), la que se ajustó a un esquema preliminar del Sistema de Información Geográfico

aplicado a los objetivos específicos y características de la zona de estudio, caracterizado este por presentar deficientes sistemas de riego y drenajes y en muchos casos sin concluir; uso de agua de mala calidad, preparación inadecuada de suelos, dificultades en la fertilización, como el no uso de medidas de mejoramiento, entre otras [Rivero et al., 1998].

El monitoreo parte de cuatro factores en genérico: actividad del hombre, clima, suelos y agua, los cuales se monitorean mediante índices específicos que derivan de cada uno de ellos. Por ejemplo, el uso y manejo de los suelos, dentro de la actividad del hombre; la lluvia, dentro del clima; la permeabilidad, dentro de suelos, y la profundidad del manto freático, dentro de agua. Téngase en cuenta que suelos y agua actúan a la vez como factores y como objetos de la degradación, por lo que el monitoreo de sus índices es de suma importancia para conformar los indicadores de la degradación del medio en los agroecosistemas.

Se parte de que, de acuerdo con las características específicas del contorno, es posible detener los procesos degradantes y pasar al mejoramiento progresivo del medio interrelacionando todos los factores incidentes, sin entrar en las cuestiones específicas, que corresponden a los instructivos técnicos de los cultivos; por ejemplo, el simple hecho de lo que puede influir en el estado de los cultivos de áreas considerables se aplica a la red de canales, distribución geográfica de usos de la tierra y otros. Para la caracterización de la salinidad en el sector de estudio (Fig. 1), quedaron establecidas las áreas que presentan comportamientos similares en cuanto a la salinidad; esto permite establecer puntos fijos para su posterior muestreo en dinámica.

Fig.1 Zonas de monitoreo.



Cuestión importante en la degradación del medio es que los suelos que predominan en el contorno son aquellos cuya característica esencial es la de tener un perfil formado por dos capas bien diferenciadas: la superior, entre 20 y 30 *cm*, de textura ligera y buena permeabilidad, y la inferior, de textura más arcillosa y con formación de lateritas y capas de concreciones, por lo que se hace muy impermeable. Ese hecho es favorable a la utilización de estos suelos

para el cultivo del arroz, pero al mismo tiempo es el punto de partida para la formación de un régimen hidrosalino que conduce a la pérdida de fertilidad acelerada del suelo y del medio en su conjunto.

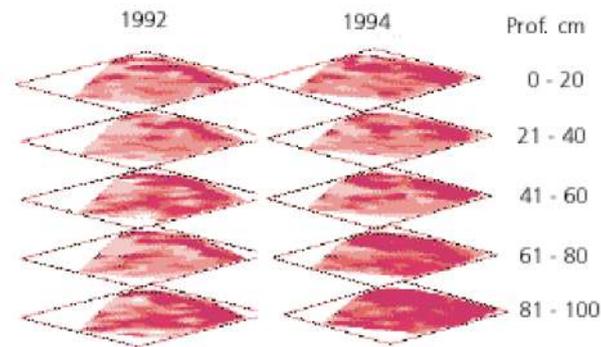
La distribución geográfica del uso de las tierras constituye una capa de información imprescindible para el análisis integral de la degradación del medio. Como aspecto más importante que se debe tener en cuenta está el hecho del peligro actual y potencial que representa el cultivo del arroz en estas condiciones, si no se toman las medidas adecuadas.

La posición del contorno respecto al paisaje general, unido al régimen de lluvias imperante en las partes más altas de ese paisaje, hace que la red hidrográfica sea relativamente densa. No obstante, desde el punto de vista de la conservación del medio es necesario conocer el grado de transformaciones e interrupciones que ha sufrido el drenaje natural, bajo la influencia antropogénica. En particular, es necesario tener en cuenta que existen muchos tramos de carreteras y caminos transversales al sentido del flujo de las aguas, lo que podría tener influencia negativa en el drenaje general. A los efectos de la información necesaria se puede considerar la existencia en el contorno de cinco grandes macizos de riego, donde grandes extensiones de tierra se riegan con la técnica de gravedad. Los sistemas son coincidentes con las áreas dedicadas al cultivo del arroz y a la caña de azúcar.

Al suroeste del contorno, la curva de 1 g/L afecta gran parte de áreas agrícolas de este, y están afectadas por la mineralización de las aguas del manto freático tanto las que se encuentran muy próximas a la superficie, como las que a su vez presentan restricciones para la explotación de sus pozos en el consumo humano. La mineralización de las aguas subterráneas constituye un motivo de preocupación desde el punto de vista de la conservación del medio, pues la utilización inadecuada de esas aguas ha sido la causa principal de los daños de envergadura provocados al suelo y al medio en su conjunto en grandes extensiones de nuestro país [Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 1997].

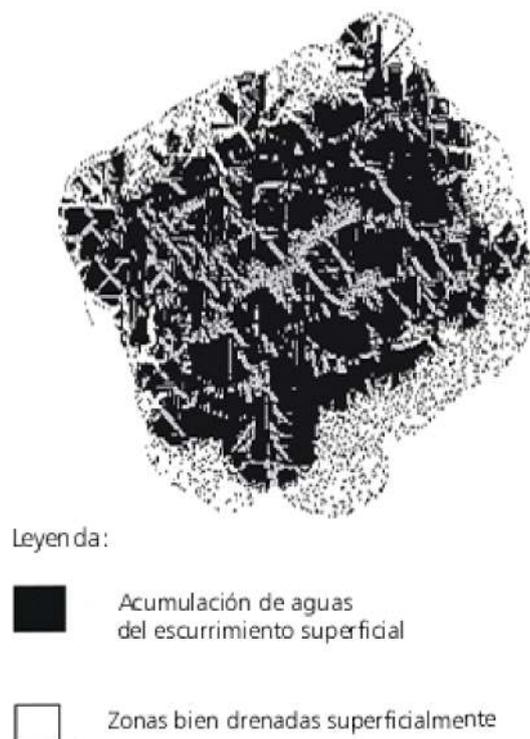
Para la generalidad del contorno existen serias afectaciones por salinidad y sodicidad; las evidencias indican que este problema se halla bastante extendido. Al suroeste del donde se reportan suelos cultivados con arroz que están desde débil hasta fuertemente afectados por sales y es muy probable que el proceso se esté extendiendo hacia el norte, aspecto que hay que profundizar e identificar de inmediato. Puede observarse (Fig. 2), cómo en un período de dos años (de 1992 a 1994) se incrementó significativamente la salinidad, tanto en profundidad como en el tiempo, lo que ha afectado considerablemente los rendimientos; este incremento significativo de la salinidad en la capa superior y en profundidad es consecuencia de los deficientes sistemas de riego y drenajes, y en el mayor de los casos drenajes sin terminar, además del uso de agua de mala calidad, sobreexplotación de los pozos unido a un manejo inadecuado [Gálvez et al., 1998] (Fig. 2).

Fig.2 Variaciones de la salinidad



Como medida para contrarrestar estos efectos [Otero et al., 1993] se señala la efectividad positiva del cieno residual de las fábricas de acetileno para los suelos salinos no carbonatados de pH menor de 7,5 y el uso de otros mejoradores ya estudiados. Otros autores [Flores et. al., 1996] plantean que el manejo debe dirigirse a contrarrestar los efectos adversos y los factores negativos que inciden sobre el suelo, las plantas y el medio. Otro factor importante en el incremento de la salinidad es la obstrucción del drenaje superficial por falta de nivelación, lo que ocasiona acumulación de agua en la superficie producto de una incorrecta nivelación del terreno (representado con colores oscuros en la figura 3); esto es consecuencia de un microrrelieve con grandes variaciones. Por lo que entre una cosecha y otra se evidencian grandes carvas salinas en toda el área producto de las altas temperaturas que provocan la evaporación del agua superficial mineralizada

Fig.3 Agua Acumulada



Conclusiones

1. Se demuestra la alarmante situación que presenta la llanura sur de Pinar del Río, que requiere de un sistema de drenaje, uso de mejoradores y un manejo diferenciado.
2. La situación de la llanura sur nos obliga a preservar y recuperar el agroecosistema de los cambios adversos ocurridos en él.
3. Se logró la implementación de un Sistema de Información Geográfica para el uso y manejo de los suelos.
4. Se determinaron las zonas de monitoreo, a partir de complejos análisis ráster de los rendimientos en el arroz en función de la salinidad.
5. La zona estudiada ha sufrido un notable incremento de la salinidad en profundidad y en el tiempo.

Recomendaciones

1. Selección de tecnologías apropiadas.
2. Establecimiento y mantenimiento de un adecuado sistema de riego y drenaje.
3. Las obras de drenaje con salidas al mar o a causas naturales.
4. Aplicación de materia orgánica (cachaza, abonos verdes, estiércol y otros).
5. Uso de cieno residual (residuo de la fábrica de acetileno).
6. Uso de agua de buena calidad.
7. Mantener monitoreo permanente en zonas preestablecidas en el contorno.
8. Manejo diferenciado.

Bibliografía

- BOSQUE SENDRA, J. *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Ediciones Rialp S.A., 1992.
- BRABANT, P. *Pedologie et systeme d'information géographique. Comment introduire les cartes de sols et les autres données sur les sols dan les SIG Pedologie*, Vol. XXVII, No. 2; pp. 315-347, 1992.
- FLORES A., V. GÁLVEZ, O. HERNÁNDEZ, G. LÓPEZ, A. OBREGÓN, R. ORELLANA, L. OTERO Y M. VALDÉS. *Salinidad: un nuevo concepto*. México: Ed. Colima, 1996. 137 pp.
- GÁLVEZ V., L. OTERO Y N. NAVARRO. "Reflexiones sobre los suelos de la llanura sur de Pinar del Río", en *Rev. Agricultura Orgánica*, año 4, pp. 14-15, abril, 1998.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA. *Resumen climático por estaciones*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, 1976.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS, PINAR DEL RÍO. *Resumen de los trabajos hidrogeológicos realizados en la localidad La Deseada*. Información Interna. Pinar del Río: 1997.
- MARRERO, A. *Principales tipos de suelos como componentes de la cobertura de Suelos de la llanuras sur de la provincia de Pinar del Río*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Suelos, 1984. 136 pp.
- NAVARRO, N. Y M. VALDÉS. "Relación de la CE y el contenido de sales en suelos y aguas", en *Memorias XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo*. 1990.
- OBREGÓN, A. ET AL. *Instrucciones metodológicas para la cartografía de los suelos salinos y salinizados de Cuba*. La Habana: Instituto de Suelos.

ORTEGA F., J. PENA Y N. CASTILLO. "La Salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales", en *Rev. Cienc. Agr.*, 27:137-144, 1986.

ORTEGA, F. "Las causas de la salinidad de los suelos de Cuba", en *Rev. Cienc. Agr.*, 27: 126-136. 1988.

OTERO L., O. HERNÁNDEZ, V. GÁLVEZ, I. VÁZQUEZ Y R. RAMÍREZ. "Utilización del cieno residual de la fábrica de acetileno en el mejoramiento de suelos salinizados del sur de La Habana", en *Memorias del Primer Taller de Utilización del Cieno*, 1993.

RIVERO L., V. GÁLVEZ, I. SÁNCHEZ, J. RODRÍGUEZ ET AL. *Estado de degradación del suelo en relación con algunos factores del medio en las áreas de estudio, utilizando sistemas de información y monitoreo*. Informe de Etapa 01, Proyecto 01305005. Pinar del Río: 1998.

RODRÍGUEZ, J. G., E. GAREA, V. GÁLVEZ, N. NAVARRO Y L. OTERO. *Tecnología SIG para el estudio de áreas salinas en la llanura sur de Pinar del Río*. Instituto del Suelo.

Modelación de la dispersión local de contaminantes atmosféricos en terrenos complejos

Local Dispersion Modeling of the Atmospheric Contaminants in Complex Terrains

*Leonor Turtós Carbonell y Norberto Díaz Rivero
CUBAENERGÍA, Calle 20 No. 4111, e/ 18-A y 47, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba.
Tel. : 2027527. Fax: 2041188.
E-mail: leonort@cien.energia.inf.cu*

Resumen

Este trabajo modela la dispersión local de las emisiones de SOX de la Central Termoeléctrica de Santa Cruz, usando el ISCST3 teniendo en cuenta las alturas del terreno obtenida del modelo digital de elevación. La modelación de la dispersión local de acuerdo con el relieve del terreno se realiza por primera vez en el país y la comparación de sus resultados con los obtenidos considerando el terreno plano muestra su importancia al obtener diferencias superiores al 60 %.

Palabras clave: calidad aire, dispersión local, terrenos complejos, modelo digital del terreno.

Abstract

This paper models the local dispersion of the SOX emissions from Santa Cruz Power Station using the ISCST3 taking in account the terrain elevation obtained from the digital elevation model. The evaluation of the local dispersion for elevated terrain is carried out for the first time in the country and the comparison of its results with those obtained considering flat terrain shows the importance of taking in account because the differences are bigger than 60 %.

Keywords: air quality, local dispersion, complex terrain, digital elevation model.

Introducción

Uno de los aspectos que más influye en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera es la topografía del terreno.

La Norma Cubana [NC 39: 1999] sobre calidad del aire propone utilizar, para evaluar la concentración instantánea (20 minutos) de contaminantes debido a su dispersión local, una variante no Gaussiana desarrollada por Berlyand [Berlyand, 1975], mejorada y adaptada a las condiciones de Cuba por especialistas del Instituto de Meteorología (INSMET) [Álvarez R, 1978; Álvarez R, 1987; Álvarez O, 1992 y López, 1985]. Este modelo es aplicable para contaminantes emitidos desde chimeneas de instalaciones localizadas en regiones llanas o poco accidentadas en un radio de hasta cincuenta veces la altura de la chimenea (para una chimenea de 180 m, la más alta en las centrales termoeléctricas actuales, el modelo solo es válido hasta 9 km).

Dicha norma no propone ninguna metodología para el cálculo de las concentraciones promedio diarias a pesar de que los trabajos antes mencionados, realizados para aplicar el modelo de Berlyand a las condiciones de Cuba, incluyen dos propuestas. En el marco del Proyecto nacional Generalización de experiencias y ampliación de capacidades para la planificación integral del desarrollo electroenergético las propuestas para la adaptación de este modelo para el cálculo de las concentraciones promedio diarias fueron esclarecidas, desarrolladas completamente y publicadas a partir de la revisión de numerosos informes técnicos y publicaciones y de consultas personales con sus autores.

Se demostró que los resultados obtenidos al aplicar ambas propuestas no coinciden [Turtós et al., 2000] entre sí y se diferencian considerablemente de los resultados al aplicar modelos Gaussianos. El uso de esta clase de modelo en Cuba fue descartado a partir de los resultados obtenidos por un programa basado en esta metodología, elaborado por especialistas del INSMET. Las mediciones realizadas para llegar a estas conclusiones y para corroborar la validez del modelo de Berlyand mejorado, hoy no están disponibles.

Por todo lo referido anteriormente podemos plantear que Cuba no dispone hoy de un modelo validado que satisfaga los requerimientos mínimos para evaluar la dispersión de contaminantes a escala local. Desde este punto de vista, hasta que no se realice un ejercicio de evaluación de modelos, es completamente válido aplicar modelos internacionales.

Ninguna de las variantes de la adaptación del modelo de Berlyand para Cuba tiene en cuenta la topografía del terreno.

Los modelos Industrial Source Complex Long and Short Term (ISCLT y ISCST) son modelos de pluma Gaussiana creados, distribuidos y propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) como básicos (regulatory models) para preparar y revisar las licencias ambientales de toda nueva fuente industrial, que evalúan la dispersión de gases y partículas hasta 50 km alrededor de la fuente, tal y como requieren los modelos locales.

Estos modelos son ampliamente usados por muchos países, proyectos y organismos internacionalmente. De hecho, el ISCST2 es el modelo incluido en el Sistema EcoSense [Krewitt et al., 1995], desarrollado en el marco del proyecto ExternE, aplicado a 15 países de la Unión Europea; se implementa actualmente para América del Sur, China y Rusia; mientras que el ISCLT2 resulta el usado en las metodologías simplificadas para la determinación de los costos externos de la generación eléctrica [Spadaro, 1999] y que bajo un Proyecto Coordinado de Investigación del OIEA se aplica hoy en varios países en desarrollo con condiciones geográficas y climatológicas similares a las de Cuba.

La versión 3 de dichos modelos está disponible en la página web de la Agencia de Explotación Ambiental, con acceso público en calidad de usuario anónimo (<http://www.epa.gov>), como antes lo estuvo la 2 (códigos fuentes, manual de usuario, metodología en que se basan, casos de prueba). Esto ha contribuido a que dichos modelos se mejoren constantemente a partir de las mejores prácticas internacionales.

La asimilación de los modelos Gaussianos ISCST y ISCLT y su comparación con el modelo de Berlyand, tal y como ha sido aplicado hasta el momento a las condiciones cubanas, nos han permitido detectar algunos beneficios que reportaría la posible aplicación de los primeros en el país. Uno de los aspectos más importantes es que estos modelos tienen en cuenta la topografía del terreno.

Ambos modelos, ISCST y ISCLT, han sido aplicados en Cuba, pero hasta el momento sin considerar la topografía del terreno, por cuanto esto implica obtener el modelo digital del terreno en una resolución apropiada.

Este trabajo modela la dispersión local de las emisiones de SOX de la Central Termoeléctrica de Santa Cruz, usando el ISCST3 teniendo en cuenta la topografía del terreno obtenida del modelo digital de elevación. La modelación de la dispersión local considerando el relieve del terreno se realiza por primera vez en el país. Algunos trabajos han abordado este tema de forma cualitativa [Álvarez R, 2001]. El trabajo incluye la modelación de la misma fuente considerando el terreno plano y compara los resultados obtenidos de ambas modelaciones.

Selección de la fuente emisora: central termoeléctrica (CTE) de Santa Cruz

Los estudios señalados se hicieron dentro del marco del proyecto nacional al programa de desarrollo energético sostenible Externalidades ambientales atmosféricas de la generación eléctrica en Cuba simulando las condiciones para la validación de los modelos de dispersión local de contaminantes.

De todas las centrales termoeléctricas del Sistema Electroenergético Nacional, Antonio Guiteras y la del Este de la Habana (Santa Cruz) se consideraron como las más adecuadas para usarse como foco emisor durante los experimentos. La central termoeléctrica Antonio Guiteras reúne las siguientes características favorables:

1. Cercanía a la Ciudad de La Habana.
2. Alta disponibilidad.
3. Existencia de una sola chimenea.
4. Existencia de una sola unidad generadora.
5. Ubicación en terreno relativamente llano.

Esta central termoeléctrica tiene como aspecto negativo la existencia de focos contaminantes cercanos provenientes de otras instalaciones industriales.

La otra alternativa, que fue la central termoeléctrica seleccionada, es la del Este de La Habana, que reúne las siguientes características:

1. Cercanía a la Ciudad de La Habana.
2. Alta disponibilidad.
3. Existencia de una sola chimenea.
4. Ausencia de focos contaminantes cercanos, excepto el central Camilo Cienfuegos durante el período de zafra.

Como aspectos negativos están la existencia de tres unidades generadoras, lo cual dificultará la medición de emisiones si no se logra hacer mediciones en la chimenea.

El relieve del terreno, que presenta una variación abrupta provocada por la primera terraza, de unos 80 m de altura, a muy poca distancia de la CTE, por una parte hace más complicada la modelación para los modelos que lo consideren, pero por otra permitirá comparar los resultados entre los modelos que consideran o no los efectos del relieve.

Para los cálculos se tuvieron en cuenta los datos de entrada mostrados en la tabla 1 que corresponden al trabajo de las tres unidades y a parámetros medios dados por el valor real del factor de utilización de la potencia instalada y la composición promedio del combustible que se indica en la tabla 2.

Tabla 1. Características de la planta.

Características		100H
Combustible		Crudo
Capacidad bruta	MWe	300
Capacidad neta	MWe	270
Factor de utilización de la potencia Instalada	%	0,68
Emisiones SO _x	g/s	1989,56
Velocidad de los gases de escape	m/s	21,25
Temperatura de los gases de escape	°C	150
Altura de la chimenea	m	180
Diámetro de la chimenea	m	6

Tabla 2. Composición promedio del combustible.

Elemento	Contenido másico (%)
C	80,93
H	10,01
S	6,87
H ₂ O	1,1
VCI (kC/kg)	9194,1
VCS (kC/kg)	9739,8

Modelo digital del terreno

Se creó el modelo digital de elevación (MDE) en un área de 10 km alrededor de la planta, en escala 1:25000, por lo tanto se tienen los valores de altura del terreno cada 25 m.

La metodología empleada para confeccionar el MDE fue la siguiente:

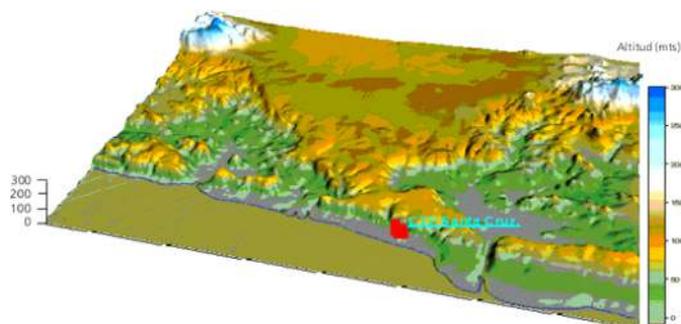
1. Escanear las hojas cartográficas 1: 25 000 del área de trabajo.
2. Georreferenciar las imágenes obtenidas del escaneo.
3. Extracción de las curvas y ríos de las hojas.
4. Vectorización de las curvas de nivel, o sea, darles el valor de altura.
5. Trazado de la red de drenaje, parteaguas, puntos de cimas (elevaciones), simas (depresiones) y otros puntos de interés.
6. Asignación de cotas a los ríos.
7. Generación del modelo digital de elevación.
8. Validación de los resultados obtenidos y corrección del modelo.

En el modelo obtenido se pueden observar algunas características del relieve importantes de señalar.

En los primeros 600 a 800 m la elevación del terreno va aumentando gradualmente desde el nivel cero (nivel del mar) hasta los 10 o 15 m de altura; a continuación se observa un cambio brusco en el relieve (escarpe), tomando alturas de más de 100 m rápidamente; aparece entonces un relieve bastante llano en la mayor parte del área, excepto hacia los extremos sudeste y sudoeste, donde se puede observar un nuevo cambio y el relieve vuelve a elevarse muy rápidamente; se observan, entonces, valores de altura entre los 250 y 300 m.

Es de destacar también las depresiones que se observan hacia los extremos noreste y noroeste del área, las cuales se forman entre el escarpe ya descrito y la especie de meseta a continuación del escarpe.

Fig. 1. Modelo digital del terreno del área de estudio.



Modelación de terrenos complejos con el ISCSTL3

El modelo ISCST [EPA, 1995] incorpora los algoritmos de dispersión para receptores en terreno complejo, es decir, donde la elevación del receptor está por encima de la altura de elevación de la fuente. El usuario tiene la opción de indicar que se hagan cálculos considerando el terreno sencillo solamente, sólo el terreno complejo o el uso de ambos algoritmos. En este último caso, el modelo selecciona el más alto de los cálculos de terreno sencillo y complejo, sobre la base de hora-a-hora, fuente-a-fuente y receptor-a-receptor para receptores en terreno intermedio, es decir, terreno entre la altura de liberación y la altura de la pluma.

El usuario también puede indicar la altura del receptor para modelar los efectos del terreno por encima (o por debajo) de la base de la chimenea y especificar elevaciones de receptores por encima del nivel del terreno para modelar receptores tipo "asta". Para cálculos de terreno sencillo, cualquier dato de entrada de altura de terreno por encima de la altura de liberación se "trunca" para quedar a la altura de liberación de la fuente. El modelo ISCST incluye los algoritmos de terreno complejo provenientes del modelo de sondeo COMPLEX1. Si se usan estos algoritmos, el modelo calcula impactos en el terreno por encima de la altura de liberación.

El usuario puede cambiar fácilmente entre modelar terreno plano o elevado. El modelo supone por defecto un terreno plano, es decir, todos los receptores se suponen a la misma elevación de la base de la fuente si no se indica lo contrario. Si el usuario desea modelar receptores en un terreno elevado, entonces debe usarse la palabra clave TERRHGTS en la parte CO. Esta palabra clave acepta una de dos posibles palabras clave secundarias, ya sea FLAT (plano) o ELEV (elevado). Su significado es obvio. Nótese que la entrada CO TERRHGTS FLAT tiene el mismo efecto que no usar la palabra clave TERRHGTS en absoluto. Si el usuario prefiere modelar en terreno plano (FLAT) para una aplicación en particular, el modelo ignora cualquier información de terreno elevado dada en la parte RE (información de los receptores).

El procesamiento continúa como terreno plano y se generan mensajes de advertencia para prevenir la aparición de alturas de terreno elevado en el archivo, pero que fueron ignoradas en el procesamiento. La ventaja de este enfoque es que si una aplicación se prepara para modelación de terreno

elevado, un sencillo cambio de la palabra clave secundaria en la línea TERRHGTS de ELEV a FLAT sería todo lo necesario para ejecutar el modelo en un modo de terreno plano. La información de la altura del terreno no necesita ser modificada en el archivo de datos de entrada.

Resultados

Con los mismos datos de entrada se ejecutó el ISCST3 usando las opciones ELEV y FLAT para receptores ubicados en una rejilla cuadrada cartesiana de $10 \times 10 \text{ km}$ alrededor de la chimenea con pasos de un kilómetro, evaluándose por tanto 440 puntos. Las figuras 2 y 3 muestran las isolíneas de concentración al usar ambas opciones respectivamente. Como puede observarse, al considerar la topografía del terreno (opción ELEV) las concentraciones máximas pueden ascender hasta valores cercanos a 10 ?g/m^3 y en general son superiores que cuando se modela el terreno como plano (opción FLAT) donde los máximos son ligeramente superiores a 5. La diferencia puede ser superior a 60 % y depende proporcionalmente de la elevación real del terreno tal como indica la línea de tendencia de la figura 4.

Fig. 2. Modelación considerando la topografía del terreno.

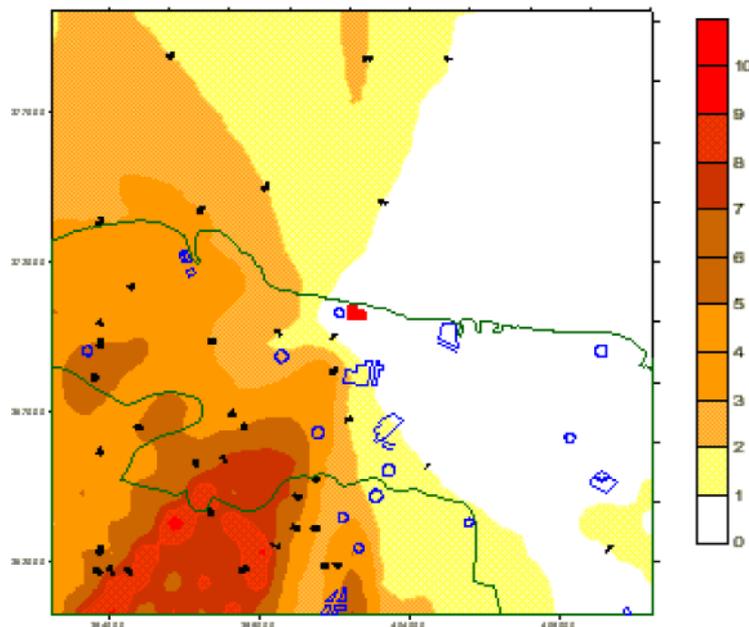


Fig. 3. Modelación considerando terreno plano.

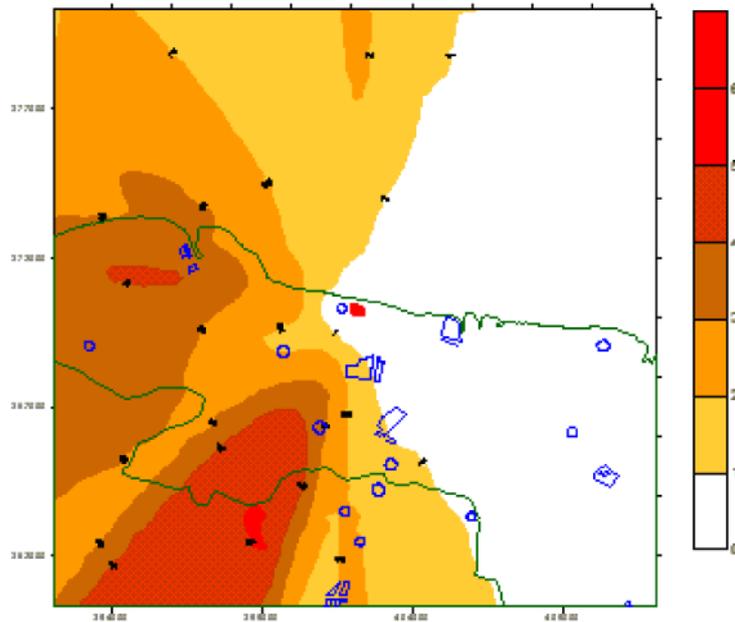
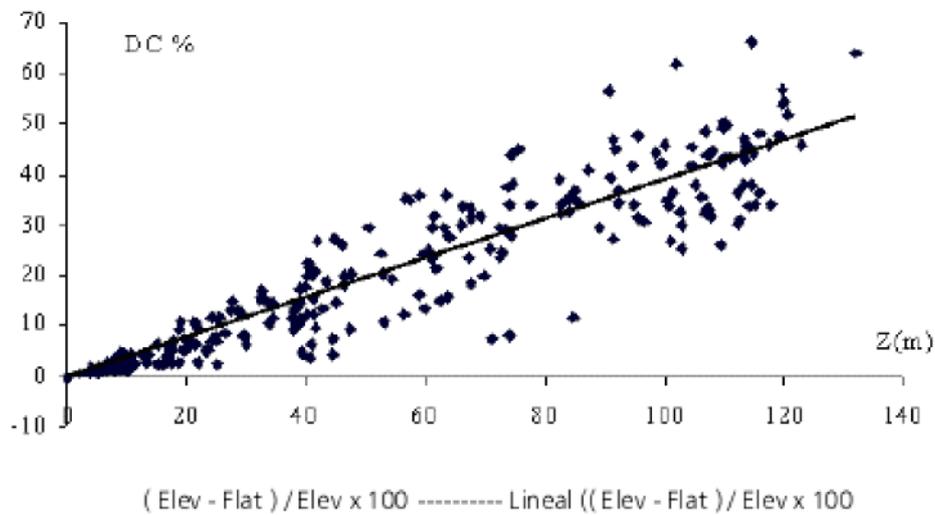


Fig. 4. Comportamiento de la diferencia entre una modelación y otra en dependencia de la altura real del terreno.



Conclusiones

Independientemente de los resultados absolutos obtenidos, los cuales deben ser validados en etapas posteriores del proyecto, el trabajo prueba la importancia de considerar la topografía del terreno al modelar la dispersión local de contaminantes atmosféricos.

La modelación de la dispersión local considerando el relieve del terreno se realiza por primera vez en el país y la comparación de los resultados obtenidos

con los de la modelación considerando el terreno plano muestra diferencias superiores a 60 %.

Referencias

- ÁLVAREZ, O. *Diagnóstico y pronóstico de la contaminación del aire por SO₂ y H₂S en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano*. Tesis de Doctorado. La Habana: 1992.
- ÁLVAREZ, R. ET AL. "Análisis de la dispersión anómala debido al relieve del terreno en la región de Juraguá, Cienfuegos", en *Revista Cubana de Meteorología*, Volumen 8, Número, 2001.
- ÁLVAREZ, R. ET AL. "Método mejorado para el pronóstico de la contaminación por gases producida por un centro industrial en la atmósfera tropical", en *Memorias del Fórum del Instituto de Planificación Física*. La Habana: 1987.
- ÁLVAREZ, R. ET AL. *Diagnóstico y pronóstico de la contaminación del aire en la zona de Nicaro*. Informe resultado del Contrato 11225, INSMET-IPF. La Habana: 1978.
- BERLYAND, M. E. *Modern problems of atmospheric diffusion and air pollution*. Leningrado: Gidromet, 1975.
- EPA. "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3)", *Dispersion Models*, Volume II, Description of model algorithms, EPA, Office of Air Quality Planning and Standards. 1995.
- KREWITT, W., A. TRUKENMUELLER, P. MAYERHOFER AND R. FRIEDRICH. "ECOSENSE - An Integrated Tool for Environmental Impact Analysis", in *Kremers, H. and W., Pillmann (Ed.), Space and Time in Environmental Information Systems*. Umwelt-Informatik aktuell, Band 7, Metropolis-Verlag, Marburg, 1995.
- LÓPEZ, C. *Factores meteorológicos de la contaminación regional del aire en Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Físico-matemáticas*. La Habana: INSMET, 1985.
- NC 39:1999. *Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Requisitos higiénico sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria*. La Habana: 1999.
- SPADARO, J. V. "Quantifying the Health Impacts of Air Pollution", *Prepared for the International Atomic Energy Agency, Planning and Economics Studies Section, Nuclear Division*. Vienna: 1999.
- TURTÓS L., A. ROQUE Y E. MENESES. Informe de los trabajos realizados en el marco del Sub-contrato de Investigación-Desarrollo e Innovación Tecnológica No 064407/00 entre el Centro de Tecnología Nuclear (CTN), y el Instituto de Meteorología (INSMET): Desarrollo y aplicación de la metodología para la evaluación local de la dispersión de contaminantes emitidos en Centrales Termoeléctricas. La Habana: octubre, 2000.

Experiencias prácticas en la explotación del secador solar multipropósito del CIES con microalga *Chlorella vulgaris*

Practical Experiences Gained in the Use of CIES's Multipurpose Solar Drier Using *Chlorella vulgaris* Microalgae.

Amado Ramírez Matos, Armando Leal G. y Lisandro Vázquez H.

Resumen

En el presente trabajo se muestran y analizan los resultados obtenidos en el secado solar de microalgas de la especie *Chlorella vulgaris*, después de un proceso de centrifugación, en el secador solar multipropósito de 36 m² existente en funcionamiento en el Centro de Investigaciones de Energía Solar, a partir de la explotación de los ventiladores del intercambiador de calor del aire de reposición, para valorar su influencia en la disminución del consumo de energía convencional.

Palabras clave: secador solar, microalgas

Abstract

In the present paper we show and analyze the results obtained during the microalgae solar drying process using the 36 sq. m multipurpose solar drier with *chlorella vulgaris*, which is working at the Solar Energy Research Center in Santiago de Cuba, from the exploitation of the air heat exchanger fans, to evaluate its influence to diminish the conventional energy consumption.

Keywords: solar dryer, microalgae

Introducción

El secador solar multipropósito de 36 m² de área horizontal (SSM-36) desarrollado por el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) es básicamente una cámara de secado en forma de paralelepípedo, ubicado por su longitud coincidente con el eje norte-sur, con techo transparente tipo dos aguas, paredes de bloque en su mitad inferior y completadas con doble cubierta de vidrio ordinario cubano de 4 mm de espesor, igual que en el techo. En su interior posee falso techo y apantallamiento lateral con planchas de acero ordinario de 1,2 mm de espesor, ennegrecidas como elemento captador de la radiación solar. Su funcionamiento está fundamentado en el principio del efecto invernadero.

En la parte superior del techo posee ocho ventiladores axiales de 300 W cada uno para remover el aire interior de la cámara y distribuir el calor (esto promueve la homogenización de la temperatura de dicho aire y el secado del producto), para lo cual estos ventiladores se hallan provistos de un mecanismo que permite cambiar el sentido de rotación en el momento adecuado y garantizar el tiro de aire de la pared más caliente a la de menor temperatura.

En la parte posterior de la cámara está instalado un intercambiador de calor de placas de aluminio con dos ventiladores de 300 W, uno de los cuales trabaja

como extractor. El aire caliente saturado extraído cede calor al aire ambiente no saturado, que es introducido en el secador.

En su interior los productos se pueden ubicar y acomodar de diversas formas. En este caso se utilizan carros con estructuras de angulares que permiten colocar bandejas metálicas con dimensiones interiores de 960 x 260 *mm* en 15 camadas con una altura de separación de 100 *mm*.

Esta instalación fue diseñada para secar una carga de aproximadamente 200 *L* de *Chlorella*, previamente centrifugada, y llevarla a una humedad base seca menor de 10 % en tres jornadas, valor por encima del cual no debe extraerse el producto, ya que provocaría su deterioro bioquímico debido a la aparición de hongos, bacterias y otros gérmenes dañinos que eliminan completamente la calidad del producto.

Durante el período de introducción y generalización de esta instalación surgió el inconveniente del déficit en el mercado de los motores eléctricos para los ventiladores axiales ubicados en la parte superior del techo de la cámara, debido a sus altas exigencias técnicas producto de las severas condiciones de trabajo a que están sometidos. Deben cumplir la norma IP-55, lo que garantiza un régimen de trabajo normal a 55 °C.

Por otra parte, en los motores eléctricos de los ventiladores que se encuentran instalados en la parte superior del techo de la cámara está ubicado 80 % de toda la potencia eléctrica del secador, consumidora de energía convencional de alta calidad, lo que obliga y motiva a un estudio de las posibilidades de ahorro energético a partir de un conocimiento más profundo de los procesos que aquí se verifican.

Las dos necesidades antes expuestas son el motivo del presente trabajo: déficit en el mercado del motor eléctrico que cumpla la norma IP-55 y necesidad de ahorro de electricidad como energía convencional de alta calidad. La solución de ambas necesidades se halla comprometida con la calidad del producto resultante del proceso de secado solar. Un acercamiento a la conjugación armónica de la solución de ambas necesidades con la calidad exigida por el producto es el objetivo fundamental de este trabajo.

Pruebas de explotación

La biomasa de microalgas sufre un proceso de centrifugación, previo al secado solar, con el objetivo de elevar su concentración, ya que sale de los cultivadores en forma de solución al 1 %. Esto es prácticamente agua para los efectos de un proceso de secado. Después de centrifugada adquiere la forma de una masa pastosa de gran viscosidad, con una concentración que oscila desde 10 hasta 15 %, y en la superficie exterior de la biomasa en contacto con el aire caliente de la cámara se crea una capa sólida no porosa que obstaculiza el proceso de secado solar; después se acelera con el agrietamiento posterior de dicha capa, que aparece al segundo día. Esto es aún más decisivo en la mitad inferior de la altura de carga de los carritos, pues el perfil de temperaturas a lo largo de dicha altura indica valores inferiores hacia el piso de la cámara, lo que exige un buen movimiento de aire entre las camadas de las

bandejas. En trabajos anteriores [Deás et al, 1992] se definió la capacidad de carga óptima de las bandejas y por consiguiente su altura.

Por otra parte, la distribución de la humedad relativa durante el día en las condiciones de nuestro clima indica valores máximos en la mañana y la noche, con valores mínimos en el horario del mediodía.

Lo que seca el producto realmente es el aire caliente en movimiento con baja humedad relativa. Esto hace que los cambios totales o parciales del aire interior de la cámara más o menos saturado, por aire exterior no saturado y a temperatura ambiente, deben hacerse preferentemente en esos horarios cercanos al mediodía, y desde el primer día, ya que la disminución mayor de la humedad del producto se obtiene en la primera parte del tiempo total de secado, según indican las curvas clásicas del comportamiento del secado de productos, donde se aprecia una tendencia asintótica hacia el valor de la humedad de equilibrio. De acuerdo con esto, se definió hacer diferentes tipos de pruebas inicialmente:

1. Con un ventilador axial añadido de cuatro paletas con diámetro de 59 *cm* tipo SEGERE de 450 *W* de potencia, colocado frente a los carritos a una altura de 114 *cm* con respecto al piso, removiendo el aire interior de la cámara en la dirección norte-sur y manteniendo sin funcionar el sistema de tiro del intercambiador de calor.

2. Solamente funcionando con el sistema de tiro del intercambiador de calor fue eliminado el ventilador axial añadido al inicio.

En el primer caso se observó que el tiempo de secado fue de tres días aproximadamente; no llegaba a las 72 horas y el consumo energético promedio resultó de 27 *kWh* por tanda de secado en un período de 2,5 a 3 días. Además, se observó que el índice de consumo energético por kilogramo de biomasa seca osciló entre 1,2 y 4,1 *kWh/kg*.

En el segundo caso se apreció que el tiempo de secado aumentó hasta aproximadamente 84 horas. El consumo energético promedio fue de 7,1 *kWh* por tanda de secado en un período de 3 a 4 días. Asimismo se apreció una oscilación del índice de consumo energético de 0,47 a 1,1 *kWh/kg* por unidad de biomasa seca.

También se hizo otra prueba de control eliminando totalmente ambos sistemas de ventilación, en días de buena insolación. El tiempo de secado se incrementó hasta 120 horas (5 días), pero esta prueba se desechó porque durante todo ese período el producto estaba mucho tiempo con un contenido de humedad por encima del valor permisible de 10 % y un incremento excesivo del tiempo de secado, cuyo efecto combinado facilitó la aparición de hongos que deterioraron completamente el producto. Por los resultados previos alcanzados se determinó la necesidad de definir un compromiso entre ambas aportaciones, a partir de lo cual se realizaron diferentes mediciones (aproximadamente 30) con ambos sistemas trabajando intermitentemente.

Análisis de los resultados

Se realizaron mediciones de las características del producto y del funcionamiento energético de la cámara, en cuanto a consumo de electricidad de los motores de los ventiladores, los cuales fueron ordenados en tablas. Las mediciones de la radiación solar global diaria fueron registradas por la Estación Actinométrica del CIES y se seleccionaron las correspondientes a los días con un promedio por encima de $4\ 500\ W/m^2$. Los datos más representativos se exponen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Datos de humedad y masa de producto.

<i>Fecha</i>	<i>Biomasa seca (kg)</i>	<i>Humedad residual (%)</i>	<i>Masa centrifugada (L)</i>	<i>Concent centrifugado (g/L)</i>	<i>Masa seca perdida (kg)</i>
15.03.96	6,5	-	105	61,90	-
19.03.96	8,3	-	133	62,50	-
29.03.96	6,6	8,40	156	50,77	1,3
02.04.96	12,0	8,91	168	74,07	0,44
05.04.96	28,0	6,31	194	145,10	0,149
09.04.96	14,8	6,30	169	87,6	0,004
15.04.96	22,8	-	191	128,6	1,76
24.04.96	18,2	-	148	215,3	-
30.04.96	15,0	3,52	206	75,4	0,53
03.05.96	6,2	4,33	70	82,5	-
06.05.96	-	5,00	187	127,2	-
10.05.96	14,4	4,33	102	124,8	-
13.05.96	15,4	8,42	120	153,0	2,96
21.05.96	12,8	4,07	143	106,2	2,39
27.05.96	12,8	-	91	149,3	0,78
06.06.96	18,5	-	148	12,5	-
11.06.96	5,0	7,66	69	106,2	2,33
26.06.96	18,4	-	177	104,0	-
05.09.96	7,4	5,2	71	131,0	2,30
09.09.96	12,5	5,89	102	112,6	-
13.09.96	9,0	5,49	154	68,3	1,50
17.09.96	14,0	-	175	83,1	0,50
27.09.96	10,0	5,54	53	-	-

09.10.96	14,5	14,25	108	131,8	-
16.10.96	9,0	-	109	98,7	1,80
06.11.96	18,4	-	160	135,2	3,20
27.11.96	-	-	77	163,0	-
11.02.97	6,0	-	36	166,6	-
24.02.97	14,0	-	81	172,8	-
04.03.97	10,0	-	77	129,9	-
11.03.97	-	-	144	-	-

Tabl

a 2. Datos energéticos del proceso.

Fecha	Horas sol	Tiempo	Consumo de electricidad (kWh)		Evaporación
	<i>de secado</i>	<i>de secado (días)</i>	<i>Ventilador axial añadido</i>	<i>Sistema de ventilación del I.C.</i>	<i>media en proceso (L/h)</i>
15.03.96	40,0	3,0	4,05	-	2,46
19.03.96	64,0	5,0	5,40	0,90	1,95
29.03.96	30,5	3,0	5,40	1,05	4,99
02.04.96	32,0	3,0	10,57	1,95	4,88
05.04.96	42,0	3,5	2,48	1,26	3,95
09.04.96	28,0	3,0	12,60	1,50	5,51
15.04.96	31,0	3,0	6,80	1,50	5,43
24.04.96	12,5	2,0	5,67	0,45	10,38
30.04.96	30,0	2,5	6,53	2,55	6,36
03.05.96	20,0	3,0	1,60	-	3,19
06.05.96	33,0	3,0	11,75	1,50	-
10.05.96	30,0	2,5	16,20	2,70	2,92
13.05.96	48,0	4,0	14,40	2,70	2,18
21.05.96	30,0	3,0	11,50	2,70	4,34
27.05.96	25,5	2,0	21,20	0,75	3,10
06.06.96	38,0	3,0	32,40	-	3,40
11.06.96	16,0	2,0	21,60	-	4,00
26.06.96	-	-	-	-	-
06.09.96	40,0	3,5	12,83	1,50	1,60

09.09.96	38,0	2,5	13,05	1,80	2,40
13.09.96	38,5	3,0	4,73	0,18	3,80
17.09.96	32,0	2,5	9,23	1,50	5,00
27.09.96	-	-	-	-	-
09.10.96	39,0	3,5	9,23	0,75	2,40
16.10.96	83,0	4,5	8,33	1,20	1,20
06.11.96	38,0	4,0	7,88	2,00	3,73
27.11.96	-	-	-	-	-
11.02.97	28,0	2,5	-	6,60	1,10
24.02.97	28,0	2,5	-	3,60	2,39
04.03.97	36	3,0	-	8,10	1,86
11.03.97	-	-	-	---	---

A partir de estos datos, se elaboraron los índices de consumo de energía por unidad de biomasa seca, y además se tuvo en cuenta el porcentaje que representó el consumo energético del extractor con respecto al valor de energía eléctrica total consumida por la instalación.

A partir de estos datos, se elaboraron los índices de consumo de energía por unidad de biomasa seca, y además se tuvo en cuenta el porcentaje que representó el consumo energético del extractor con respecto al valor de energía eléctrica total consumida por la instalación.

Tabla 3. Evaluación preliminar del consumo de electricidad en el Secsol-36 con microalgas.

No.	Tiempo en días	Consumo del ventilador axial (kWh)	Consumo del sistema de intercambio de aire (kWh)	Consumo total de electricidad (kWh)	Porcentaje de consumo en intercambiador de calor	Biomasa seca (kg)	Índice de consumo por unidad de masa (kWh/kg)
1	3,0	4,05	-	4,05	0,0	6,5	0,62
2	5,0	5,40	0,90	6,30	14,3	8,3	0,75
3	3,0	5,40	1,05	6,45	15,0	6,6	0,96
4	3,0	10,50	1,90	12,40	15,4	12,0	1,03
5	3,5	2,48	1,26	3,74	33,7	28,0	0,13
6	3,0	12,60	1,50	14,10	10,7	14,8	0,95
7	3,0	6,80	1,50	8,30	18,1	22,8	0,36
8	2,0	5,70	0,50	6,20	8,1	18,2	0,34
9	2,5	6,50	2,6	9,10	28,6	15,0	0,60

En la tabla 3 se puede observar que con los menores valores del índice de consumo de energía eléctrica por unidad de biomasa seca existe una correspondencia de mayor grado de utilización del sistema de ventilación del intercambiador de calor, lo que corrobora el planteamiento anterior de que para lograr una determinada cantidad de producto seco, con un valor bajo de cantidad de humedad, es conveniente la renovación del aire saturado por aire fresco. Asimismo, estos bajos valores del índice coinciden con los menores tiempos de secado.

Conclusiones y recomendaciones

1. El menor valor del índice de consumo de electricidad por unidad de biomasa seca fue de 0,13 kWh/kg, con un tiempo total de secado de 3,5 días.
2. El incremento del tiempo de trabajo del sistema de ventilación del intercambiador de calor hasta aproximadamente 35 % del consumo total de electricidad, redundó en un beneficio del proceso de secado que se verificó en buenos valores de la humedad final del producto (por debajo de 10 % requerido).
3. En este rango de combinaciones de consumo de electricidad entre el ventilador axial y el sistema de ventilación del intercambiador de calor se obtuvieron buenos valores del tiempo total de secado, el cual fue de alrededor de días días.
4. Es conveniente ampliar la cantidad de mediciones con la carga máxima del Secsol-36 para profundizar en los resultados obtenidos.

Bibliografía

- BÉRRIZ L., ET AL. "Secador solar de madera", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: 1992.
- BÉRRIZ L., ET AL. "Secador solar multipropósito", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: 1993.
- DEÁS D., A. LEAL Y A. RAMÍREZ. "Secado solar de microalgas", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: 1992.

Tecnología de explotación del filtro óptico líquido del veranero

Technology for Using the Optical Liquid Filter of the Veranero

*J. Bermúdez T., M. Álvarez G., L. Bériz P., L. Vázquez H.
Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES).
Carretera a Siboney, Km 5½, Rpto. Abel Santamaría, Micro 3,
Santiago de Cuba, Cuba.
CP 90800. Tel: (53-226) 47131 y 47186.
Fax: (537) 405260 y (53-226) 41579.*

Resumen

En el presente trabajo se plantea la tecnología de explotación del filtro óptico del prototipo de climate controled chamber de 6 x 6 m construido en el CIES con fines experimentales. El filtro óptico en la instalación funge como escudo térmico selectivo. Contiene aspectos esenciales del funcionamiento del climate controled chamber y del filtro óptico en específico, así como la carta tecnológica para su explotación.

Palabras clave: filtro óptico, climate controled chamber

Abstract

This paper deals with the technology for using the optical liquid filter of the climate controled chamber, prototype of 6 x 6 m, manufactured at CIES for experimental purposes. The optical filter of the facility works as a selective thermal shield. This paper contains essential aspects of the climate controled chamber operation and specifically that of the optical filter and the technological chart for its use

Keywords: optical filter, climate controled chamber

Introducción

El cultivo de especies vegetales en clima controlado es un imperativo en las técnicas de cultivo intensivo durante todo el año para la obtención de semillas híbridas de alta calidad y otras esferas de vital importancia en el desenvolvimiento agrícola del país.

El objetivo fundamental del cultivo en cámaras de clima controlado es crear condiciones de vida y reproducción óptimas a las plantas: temperaturas adecuadas a cada especie, niveles de iluminación solar que permitan el desenvolvimiento de la fotosíntesis, humedad relativa del aire adecuada a las características metabólicas de cada especie, composición química del aire, disponibilidad de agua y nutrientes en cantidades y con la calidad necesarias, aislar el cultivo del medio con el fin de prevenir la contaminación con plagas y enfermedades, etcétera.

La parte funcional o activa de la selectividad de la transmisión de la radiación está constituida por un recipiente que hace la función de techo de la cámara, con fondo transparente a la radiación visible, el cual contiene una solución con sustancias ópticamente activas. Este recipiente con la solución se denomina filtro óptico y su función se explica por sí misma.

Para el cumplimiento óptimo de las funciones inherentes al filtro óptico del veranero se precisa observar estrictamente los parámetros tecnológicos establecidos por los fabricantes y mantener en el rango de trabajo durante todo el proceso de explotación de la instalación.

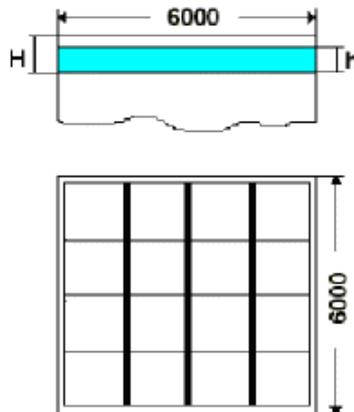
Parámetros tecnológicos fundamentales del filtro óptico líquido Radiación solar incidente en el interior del recinto útil

La porción espectral de las radiaciones visibles (350-759 *nm*), denominada zona de las radiaciones fotosintéticamente activas (RFA) es aprovechable desde el punto de vista global por el organismo vegetal. Esta zona representa aproximadamente 50 % de la radiación global. Sin embargo, la zona del espectro utilizable por las plantas es aproximadamente de 15 %.

En la fotosíntesis desempeña también un papel fundamental el nivel de iluminación solar, y para los valores pequeños de esta la asimilación es proporcional a ella. A partir de cierta intensidad luminosa, la influencia es cada vez menor; puede llegar a tener efectos negativos.

En la regulación, tanto de la composición espectral de la radiación incidente como del nivel de intensidad luminosa, el filtro óptico variable juega el papel preponderante. Tanto el agua como la sustancia que se utiliza como pigmento absorben las radiaciones pertenecientes al rango del IR y transmiten hacia el interior de la cámara aquellas cuyas longitudes de onda correspondientes principalmente al espectro visible, reduciendo la carga térmica dentro de la cámara. Esto significa que el filtro óptico es un excelente escudo térmico, el cual minimiza el paso de radiaciones que no aportan energía al proceso de fotosíntesis, sino que al penetrar en la cámara se transformarían en calor a extraer por el sistema de refrigeración. Otro aspecto que demuestra la efectividad global del filtro óptico es la magnitud del nivel de iluminación que se alcanza en el interior del recinto útil (Fig. 1), la cual representa 30 % de la incidente sobre la superficie terrestre.

Fig. 1. Esquema de funcionamiento del filtro óptico del veranero de 6 x 6 m.



Composición y régimen de trabajo de la solución utilizada en el filtro óptico
En los experimentos realizados sobre sustancias para la elaboración del filtro óptico fueron utilizadas sales inorgánicas, las cuales se caracterizan por su alta transmisividad en la zona de longitudes de onda correspondientes al visible y altos valores de absorción en el IR. Algunos estudios referidos anteriormente [Álvarez et al., 1998] demuestran que el elemento que influye en las propiedades ópticas de las sustancias tratadas es el catión metálico. Para el filtro óptico del veranero se seleccionó como colorante para la solución filtrante el sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), en concentraciones que oscilan entre 0,1 y 0,3 % (1-3 g/L), correspondiente una altura máxima de columna líquida de 10 cm en el recipiente. Para lograr la estabilidad de los iones Cu^{2+} se precisa mantener el pH de la solución por debajo de 5, para lo cual se añade ácido sulfúrico (H_2SO_2) al preparar la solución, en cantidad suficiente con el fin de establecer su pH en el rango entre 3,0 y 3,5.

Para mantener el filtro óptico en óptimas condiciones de explotación es necesario, ante todo, que la concentración de los componentes fundamentales se mantenga constante. En esto incide grandemente el valor del pH de la solución, que si sobrepasa el valor de 5,5 [Vázquez et al., 1998] precipita el Cu^{2+} y se pierde en forma de CuOH , insoluble en agua, que además incide en la transmisividad al depositarse en el fondo del recipiente en forma de precipitado. El descenso del pH de la solución a valores por debajo del rango establecido no ocasiona efectos negativos en la propiedades ópticas de la solución filtrante, pero a los efectos del consumo de reactivos y posibles ataques corrosivos de la solución por contacto con partes metálicas del equipamiento tecnológico es conveniente evitar la acidificación excesiva de la solución.

Espesor de la columna líquida filtrante

La transmisividad de la película filtrante disminuye al aumentar su espesor. Estudios anteriores realizados fijaron la altura máxima de la columna líquida a la concentración de trabajo, en 100 mm [Álvarez et al., 1998]. Asimismo, para mantener los niveles de radiación en el rango de trabajo exigido en el interior

de la cámara se concibió la variación del nivel de la capa filtrante en dependencia del valor de la radiación solar incidente.

El control de la altura de la columna líquida puede simplificarse en dependencia del horario de insolación en cada época del año y programarse un régimen de carga y descarga del filtro óptico según este parámetro, teniendo en cuenta además regímenes fortuitos de nublados continuos durante uno o varios días.

Otro aspecto relacionado con la altura de la columna líquida de solución del filtro óptico es la pérdida de agua por evaporación. En las condiciones normales de explotación del filtro óptico del veranero se evaporan (según cálculos y experiencias anteriores) entre 4 y 6 L/m^2 de superficie de espejo líquido diarios. Esto provoca aumento en la concentración de la solución, lo cual puede ocasionar efectos negativos debido a que concentraciones por encima del 3 % (3 g/L) afectan parcialmente las radiaciones fotosintéticamente activas. Esto impone la necesidad de la reposición del agua perdida por evaporación.

Contaminación de la solución del filtro óptico

La contaminación del filtro óptico está relacionada con la exposición a la intemperie de un área de espejo líquido relativamente grande con relación al volumen total de la solución, producto de lo cual se incorporan sólidos contenidos en el aire, líquidos producto de las precipitaciones atmosféricas y existe además intercambio gaseoso con la atmósfera circundante.

La incorporación de sólidos contenidos en el aire puede contaminar la solución por varias vías: sólidos insolubles que se precipitan hacia el fondo del recipiente; crean una capa opaca que se interpone al paso de la radiación hacia el interior del recinto de trabajo; otros sólidos insolubles que se mantienen por más o menos tiempo en suspensión en la masa líquida, que influye en la turbidez de la solución; otros sólidos que reaccionan químicamente con los componentes de la solución variando su composición. Todos estos sólidos pueden variar la composición de la solución y sus propiedades ópticas.

Las precipitaciones atmosféricas arrastran consigo los sólidos en suspensión en la atmósfera, y causa los efectos antes mencionados; además, contienen niveles de ácidos (H_2SO_4 y HNO_3 - lluvias ácidas) que influyen en el pH de la solución; los líquidos que se incorporan a la solución; asimismo, la diluyen, y esto puede servir para la reposición del agua perdida por evaporación, pero también puede bajar la concentración de los componentes de esta agua e influir en sus propiedades ópticas.

El intercambio de gases y vapor entre la solución y la atmósfera circundante no ejerce influencia sobre la estabilidad del filtro óptico, dentro de los rangos del experimento realizado.

Carta tecnológica para la explotación del filtro óptico del veranero de 6 x 6 m
Para la disminución de la carga térmica producto de la incidencia de la radiación, se hace pasar dicha carga a través de un filtro óptico líquido (Fig. 1), que de forma selectiva permite mayormente el paso de la radiación solar, cuyas

longitudes de onda son de interés para la actividad que se debe realizar en el interior del recinto útil.

La solución para lograr el efecto de filtración de la radiación solar es relativamente sencilla, por lo que, con una manipulación y mantenimiento adecuados, puede durar varios años de explotación.

Parámetros fundamentales del filtro óptico

Características físicas

Dimensiones lineales del recipiente	
Largo	6 000 <i>mm</i>
Ancho	6 000 <i>mm</i>
Altura	150 <i>mm</i>
Dimensiones de trabajo	
Superficie del espejo líquido	36 <i>m</i> ²
Altura de la columna líquida	0,1 <i>m</i>
Volumen máximo de trabajo	3,6 <i>m</i> ²

Solución para el filtro óptico	
Composición	
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,1-0,3 % (1-3 <i>g/L</i>)
H ₂ SO ₄	Ajuste del pH
Régimen de trabajo	
Temperatura	Ambiente
pH	3,0-3,5
Espesor de la columna líquida	0-10 <i>cm</i>

Preparación de la solución del filtro óptico

Materiales para la solución del filtro óptico	
Para la puesta en marcha	
CuSO ₄ .5H ₂ O	10 <i>kg</i>
H ₂ SO ₄	5 <i>L</i>
NaOH	1 <i>kg</i>
Para el mantenimiento	

CuSO ₄ .5H ₂ O	2 kg/año
H ₂ SO ₄	2 L/año
NaOH	2 kg/año

Preparación de la solución de trabajo

1. Pesar 8,5 kg de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O).
2. Cargar el tanque filtro óptico con 2 000 L de agua potable (Anexo III).
3. Acidular con 1 L de ácido sulfúrico (H₂SO₄).
4. Disolver el CuSO₄.5H₂O pesado previamente utilizando agua potable de la contenida en el filtro óptico.
5. Trasvasar la mezcla obtenida, a los tanques colectores.
6. Enrasar hasta 4 000 L.
7. Tomar muestra y medir el pH de la solución.
8. Ajustar el pH hasta valores ente 3,0 y 3,5. Para ello utilizar H₂SO₄ si se precisa disminuir el valor del pH; emplear NaOH si es necesario elevarlo.
9. Circular la solución a través del sistema tanques colectores-filtro óptico-tanques colectores.
10. Recoger muestra de la solución y realizar análisis de la composición: Concentración de iones [Cu⁺⁺] y de la sal correspondiente (en nuestro caso CuSO₄.5H₂O), por alguna de las metodologías planteadas en el Anexo.

Explotación del filtro óptico

El filtro óptico del veranero cumple la función de hacer incidir, de forma selectiva, la radiación solar, garantizando niveles energéticos y espectrales suficientes para el metabolismo de las especies en el interior de la cámara. Basado en este principio, la altura de la columna líquida, la presencia o ausencia de solución en el recipiente de trabajo en el techo del veranero están íntimamente relacionadas con posibilitar el proceso de fotosíntesis, con el mínimo posible de carga térmica.

Carga y descarga del filtro

Para las labores de carga y descarga del filtro de forma manual, se emplea la siguiente secuencia (Fig. 2):

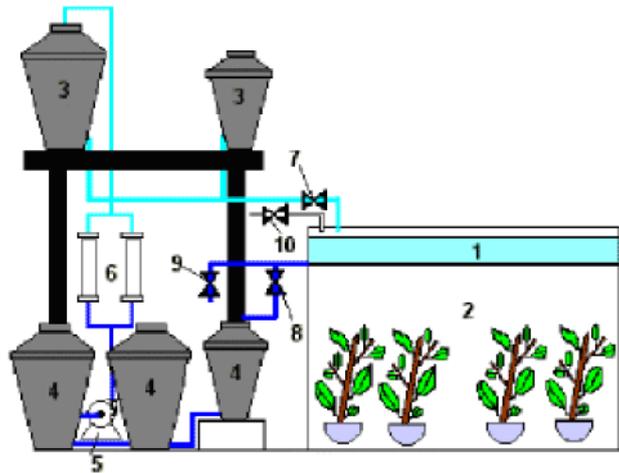
Para la carga del filtro (1) se acciona la válvula (7), a través de la cual por gravedad, se trasvasa la solución contenida en los tanques (3); para completar el nivel (10 cm como máximo) se procede a bombear solución desde los tanques (4), con la bomba (5).

La descarga se realiza a través del conducto regulado por la válvula (8), que vierte la solución en los tanques (4) por gravedad. Después que quede vacío el recipiente del filtro óptico, se cierra la válvula (4).

La separación de los sólidos contenidos en la solución se materializa durante las operaciones de bombeo, ya que en la línea de elevación de la bomba (5), se encuentra insertado el filtro de línea (6).

La válvula (9) se utiliza para la toma de muestra con vistas al análisis de la solución; para esto se abre la válvula y se recogen 3 L, que se incorporan al tanque o al recipiente del filtro óptico; posteriormente se recoge la cantidad necesaria para hacer los análisis. También se utiliza para la evacuación de las aguas de limpieza del filtro óptico del veranero.

Fig. 2. Esquema de funcionamiento del filtro óptico del veranero de 6 x 6 m.



1. Filtro óptico. 2. Cámara de clima controlado.
3. Tanque elevados de solución para carga.
4. Tanques para descarga. 5. Bomba centrífuga. 6. Filtro de línea.
7. Válvula para la carga. 8. Válvula de descarga.
9. Válvula de purga y toma de muestras. 10. Válvula.

La reposición de las pérdidas de agua por evaporación o derrame se realiza a través de la válvula (10) procedente de la red de agua potable de la instalación.

Control tecnológico del filtro óptico

Régimen de trabajo del filtro

El filtro óptico deberá permitir el paso de intensidades de radiación adecuadas hacia el interior del recinto útil ($150-250 \text{ W/m}^2$), por lo que la altura de la columna líquida filtrante debe ser variable atendiendo al ángulo de incidencia de la radiación. Deben coincidir los momentos de máxima intensidad de radiación solar con el máximo de altura de la columna líquida, por lo que la carga de filtro se realiza paulatinamente por gravedad a partir de 2½ horas antes de que se alcance el máximo valor de radiación. De forma similar se efectúa la descarga.

Solución filtrante

Para la preparación de la solución y la reposición del agua perdida por derrame y evaporación se utiliza agua potable.

Control de la concentración de los componentes de la solución
La concentración de la sal de cobre define las propiedades ópticas de la solución. Para la determinación de la concentración del cobre y la sal correspondiente contenidos en la solución se utiliza uno de los métodos descritos. El rango de concentraciones de sulfato de cobre pentahidratado para el normal funcionamiento del filtro es entre 0,1 y 0,2 % (1,0-2,0 g/L). Las correcciones se realizan mediante la adición de las cantidades de la sal correspondiente, según los resultados de los análisis químicos realizados.

Mantenimiento de la instalación del filtro óptico

El filtro óptico del veranero está preparado para operar largos períodos, pero una revisión periódica y la corrección de los defectos detectados a tiempo, ayudan a su normal funcionamiento, lo cual es imprescindible para mantener la instalación dentro de los rangos de explotación.

Semestralmente se revisan los elementos componentes del recipiente del filtro óptico: paredes laterales, fondo de policarbonato y estructuras metálicas soportes.

En caso de detectarse puntos de corrosión o ampolladuras en la capa protectora u otros defectos en la superficie de la estructura metálica, se procede a eliminar la parte afectada y corregir el defecto con masilla epóxica; posteriormente se aplica una capa de pintura de esmalte blanco. Si se detectan grietas o perforaciones en el material del fondo, de inmediato se procede a sellar la parte afectada con el fin de evitar derrames de la solución hacia el interior del recinto; para el sellaje se recomienda desbastar con tela de esmeril 180-240 la zona, secar bien la superficie, desengrasar con solvente orgánico (tetracloruro de carbono, tetracloroetileno, cloroformo, acetona, etc.; aplicar el sellante que corresponda (silicona) y curar la superficie según las recomendaciones del fabricante del sellante.

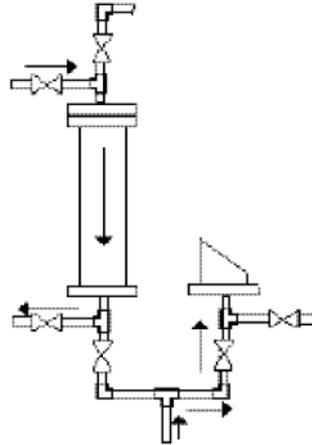
Anualmente se revisan los elementos hidráulicos, mecánicos, eléctricos de la bomba. Se ajustan y engrasan todos los elementos.

La acumulación de sólidos en los elementos filtrantes obstruye el paso del líquido, por lo que se concibió un filtro de línea doble para tener uno en mantenimiento. Para la limpieza del filtro de línea se hace pasar agua a presión a contracorriente tal y como se muestra en la figura 3.

Cada año también se realiza una inspección ocular de los tanques descargados. Si se detecta deterioro se toman las medidas correspondientes. Cada seis meses se revisa el estado general de las redes y se procede a realizar las reparaciones necesarias.

También en este tiempo se realiza un control integral de la solución, mediante análisis químicos. Se envían muestras a laboratorios especializados y se solicitan corridas de análisis cuantitativos para la detección de sustancias parásitas que puedan interferir en las propiedades ópticas de la solución, tales como iones metálicos, otras sustancias inorgánicas y sustancias orgánicas que puedan incorporarse a la solución.

Fig. 3. Esquema de limpieza del filtro de línea.



Conclusiones

La tecnología de explotación del filtro óptico líquido es sencilla y fácil de aplicar a otras instalaciones similares. Con esta se garantiza que en la cámara se mantengan los parámetros requeridos en la fotosíntesis de las plantas y la calidad adecuada de los diferentes cultivos.

Para mantener los parámetros de funcionamiento del veranero dentro del rango establecido es necesario observar las normas y recomendaciones que se plantean en la tecnología de explotación, la cual permite tomar decisiones con vistas a que las variaciones de los parámetros ambientales no incidan negativamente en las condiciones dentro de la cámara de cultivo, de modo que las variables termofísicas se mantengan dentro del rango establecido. Se indican los tipos de decisiones que se deben tomar para la operación y manipulación de las bombas y otros equipos con el fin de mantener el nivel de iluminación, radiación solar, temperatura y humedad relativa adecuados.

Anexo I

Determinación de la concentración de cobre y la sal correspondiente de la solución del filtro óptico del veranero

Toma de muestras

Antes de tomar las muestras para el análisis se verifica el volumen nominal de la solución: se enrasa hasta la capacidad total preparada de solución; después se toman las muestras (120 mL aproximadamente de solución) utilizando la válvula (9) de la figura 2. La muestra se toma en un erlenmeyer de 200 mL y se lleva al laboratorio para proceder a los análisis.

Determinación de la concentración de cobre

La concentración de cobre puede determinarse el método electrogravimétrico o el volumétrico.

Método electrogravimétrico

Materiales y reactivos necesarios: electrodos de malla de platino, fuente de corriente directa (3-5 V y 3-2 A), agitador magnético con calentamiento, beakers de 150 mL, pipeta de 50 mL, H₂SO₄ conc. y HNO₃ conc.

Procedimiento:

Se toma una muestra de 100 mL de la solución y se trasvasa para un beaker de 150 mL; se agregan 2 mL de H₂SO₄ conc y 2 mL de HNO₃ conc.; se pesa el electrodo que fungirá como cátodo; se introduce el par de electrodos en la solución hasta dejar fuera aproximadamente 1 cm de las mallas. Se conecta la fuente de corriente a los electrodos con la polaridad correspondiente y se realiza el proceso de electrólisis con agitación y calentamiento, controlando que la temperatura se mantenga entre 50 y 70 °C. Pasados 50-60 minutos, o cuando la solución se decolore, se introducen completamente los electrodos en la solución mediante la adición de agua.

Si después de 15 minutos de esta operación no aparecen vetas de color cobrizo en la parte recientemente introducida de los electrodos, se da por terminada la electrólisis. El proceso de electrodeposición puede prolongarse hasta 6-8 horas en caso de que se realice la electrodeposición en frío y sin agitación; sin embargo, este período puede reducirse hasta una hora si se cumplen las prescripciones anteriores. Terminado el proceso se enjuagan los electrodos, se lavan profundamente con agua destilada; se sumerge el electrodo de trabajo en alcohol etílico; se seca en estufa a temperatura de 100-105 °C y finalmente se determina el peso.

La concentración se calcula por la siguiente fórmula:

$$[\text{Cu}] = A \cdot 10 \text{ (g/L)}$$

donde A es el incremento en peso del electrodo.

$$[\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = [\text{Cu}] \cdot 3,927 \text{ (g/L)}$$

Método volumétrico

Materiales y reactivos necesarios: hidróxido de amonio (solución al 30 % en volumen), ácido acético diluido (solución al 50 % en volumen), fluoruro de sodio o amonio, yoduro de potasio, solución valorada de tiosulfato de sodio 0,1 N, e indicador almidón.

Procedimiento:

Se toman 100 mL de solución de filtro óptico. Se neutraliza justamente con hidróxido de amonio y a continuación se agregan 2 g de fluoruro de sodio o potasio para retener cualquier traza de hierro. Se acidula levemente con solución de ácido acético; se enfría y después se agregan entre 2 y 5 g de yoduro de potasio. Se titula con la solución valorada de tiosulfato de sodio 0,1 N, utilizando como indicador almidón.

El cálculo de la concentración se calcula por la siguiente fórmula:

$$[Cu] = A (0,636) (g/L).$$

Donde: A es el volumen de tiosulfato de sodio 0,1 N gastado en la valoración.

Bibliografía

ÁLVAREZ M., L. BÉRRIZ Y L. VÁZQUEZ. "Determinación espectral de la ganancia térmica por insolación a través de filtros ópticos líquidos de radiación para veraneros", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: junio, 1998.

ÁLVAREZ M., L. BÉRRIZ Y L. VÁZQUEZ. "Propiedades ópticas de filtros líquidos para veraneros", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: junio, 1998.

ÁLVAREZ M., L. BÉRRIZ, L. VÁZQUEZ, J. BERMÚDEZ, G. OLIVARES, J. MICO Y R. IGLESIAS. "Veranero para el cultivo de plantas en clima tropical", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: junio, 1998.

BÉRRIZ L., M. ÁLVAREZ Y L. VÁZQUEZ. "Veranero para el cultivo de vegetales en clima tropical. Propuesta de desarrollo", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: marzo, 1992.

BÉRRIZ L., M. ÁLVAREZ Y L. VÁZQUEZ. "Veranero para el cultivo de vegetales en clima tropical. Principios básicos y concepción general", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: octubre, 1992.

BÉRRIZ L., M. ÁLVAREZ Y L. VÁZQUEZ. "Veranero para el cultivo de vegetales en clima tropical", *Certificado de autor de invención No.22384*. Clasif. Int.: A010 9/14. 25.04.1995.

Manual de acondicionamiento de aire. Barcelona: Ed. Marcombo S.A., 1976.

VÁZQUEZ L., L. BÉRRIZ Y L. ÁLVAREZ. "Análisis de la carga térmica de un veranero", en *Informe CIES*. Santiago de Cuba: junio, 1998.

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

DIRECTOR GENERAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

DIRECTOR:

Lic. Manuel Álvarez
González.

EDITOR:

Lic. Alejandro Montecinos
Larrosa.

CORRECCIÓN:

M Sc. Roberto Manzano
Díaz.

Ing. Jorge Santamarina

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

TRADUCCIÓN:

Lic. Lázaro O´Farril Lazo.

CONSEJO ASESOR:

Dr. Luis Hernández (Energía fotovoltaica)

Dr. Conrado Moreno Figueredo (Energía
eólica)

Lic. Bruno Henríquez Pérez (Física
ambiental)

Dr. Jorge Luis Paretas (Energía hidráulica)

Dr. Dania González Couret (Arquitectura
bioclimática)

Dr. Jorge Guardado (Biomasa)

Dr. Sergio Corp Linares (Energía solar
térmica)

Lic. Leonor Turtós Carbonell (Impacto
ambiental)

Lic. Alejandro Montecinos Larrosa (Energía
humana)

Lic. Ricardo Bérriz Valle (Educación
ambiental)



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

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

Teléfono: (537) 205-9949.

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

e-mail: editora@cubasolar.cu

<http://www.cubasolar.cu>