



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

8



Uso de energías renovables en la industria cubana del níquel.....	1
Estudio de materiales y sistemas protectores anticorrosivos para equipos solares.....	10
Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente.....	18
Torrefacción de residuos agrícolas y forestales.....	29
Carga térmica en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar.....	40
Recomendaciones de diseño para disminuir el consumo de energía en los hoteles de playa en Cuba.....	51

Uso de energías renovables en la industria cubana del níquel

Use of Renewable Energies in the Cuban Nickel Industry

*Severo Estenoz Mejías
Marianny Espinosa Frómata
Niurka Pérez Melo
Centro de Investigaciones del Níquel,
Nickel Research Center,
Carretera Moa-Baracoa Km 6 s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330.
Tel. 53-24 67123 y 67976.
e-mail: sestenez@cil.moa.minbas.cu*

Resumen

El uso y explotación de las energías solares, eólicas, el calor natural y otras fuentes naturales cobran particular relevancia en el mundo actual, por cuanto son fuentes limpias de energía que permiten disminuir el impacto ambiental de las fuentes tradicionales. La implementación de procedimientos y equipos para el secado preliminar de los minerales lateríticos en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se considera una etapa dentro del sistema integral de preparación del mineral. En los estudios de evaluación de la viabilidad técnica del secado solar para las condiciones naturales en la región de Moa se efectuó una comparación de las condiciones naturales con respecto a Tocantins en Brasil y Río Tuba en Filipinas, cuyo resultado fue que el secado solar en Moa tiene mayor potencial energético. Se diseñó una forma de apilar, remover y recoger las pilas que se adapten a las condiciones del microclima de la región. En los estudios estadísticos, modelos computarizados y pruebas semiindustriales se estudiaron el tiempo de secado, el número de hileras y pilas, sus dimensiones y volúmenes, la disposición en el terreno, los horarios y frecuencias para la remoción de las capas de material seco, y otros parámetros de productividad y equipamiento. El análisis de viabilidad económica y social de la tecnología en la Empresa Ernesto Che Guevara, produciendo 52 000 t de níquel se obtendrían 24,6 millones de USD anuales por concepto de ahorro de combustible, además de la disminución del 40 % en la emanaciones de gases y polvo al medio ambiente, y otros beneficios en la calidad general del mineral, los indicadores mineros y el rendimiento específico de la materia prima no renovable.

Palabras clave: Almacenamiento y homogeneización de minerales, secado solar, materiales a granel.

Abstract

The use of solar, eolian energies, the natural heat and other natural sources are very significant in today's world, since they are clean sources of energy which allow to lower the environmental traditional sources. The implementation of procedures and the use of equipment for a preliminary drying of the laterite minerals in the mine of the Comandante Ernesto Che Guevara Plant, are regarded as a stage within the comprehensive system for the mineral preparation. In the technical feasibility evaluation studies of solar drying in

natural conditions in the region of Moa, a comparison was made on the natural conditions among Tocantins in Brazil and Tuba River in the Philippines and Moa region in Cuba and results have shown that solar drying performed at Moa has more energy potential. A way of piling up, removing and collecting the piles was designed, aimed at their adaptation to the microclimate of the region. Drying time, the number of rows and piles, their size and volumes, the land lay-out, timetable and frequencies designed to remove the dried material layers and other parameters of productivity and equipments were studied using statistical studies, computerized models and semi-industrial tests. The analysis of economic and social feasibility of the technology used at the Ernesto Che Guevara Plant showed that producing 52,000 tons of nickel, there will be a fuel saving of US\$24.6 million a year, plus 40% of gas release and powder reduction in the environment along with other benefits in the mineral quality, mining indicators and the specific yield of the non renewable raw material.

Key words: Mineral storage and homogenization, solar drying and bulk materials.

Introducción

La implementación de secado solar en la industria minera representa un considerable ahorro de energía y la reducción ostensible de las emanaciones de gases tóxicos y aerosoles a la atmósfera.

La aplicación del secado solar en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECECG) ha sido considerada a partir de la inserción en el Sistema de Preparación Integral del Mineral, el cual considera el aprovechamiento integral de los recursos minerales, el desarrollo de una minería de excelencia y la entrega de la materia prima a la industria con el mayor grado de calidad.

Metodología de la investigación

El sistema de preparación integral del mineral en la ECECG incluye dentro de sí tres elementos fundamentales: una minería flexible y de precisión que permita considerar los parámetros de calidad y los cambios del mercado internacional, un proceso de beneficio en varias etapas adecuado a las etapas del control de calidad de la materia prima y relacionados ambos con las etapas de secado solar y homogeneización.

La inserción de las operaciones del secado solar y la homogeneización dentro del sistema de preparación integral del mineral se pueden observar en el esquema general de la Figura 1.

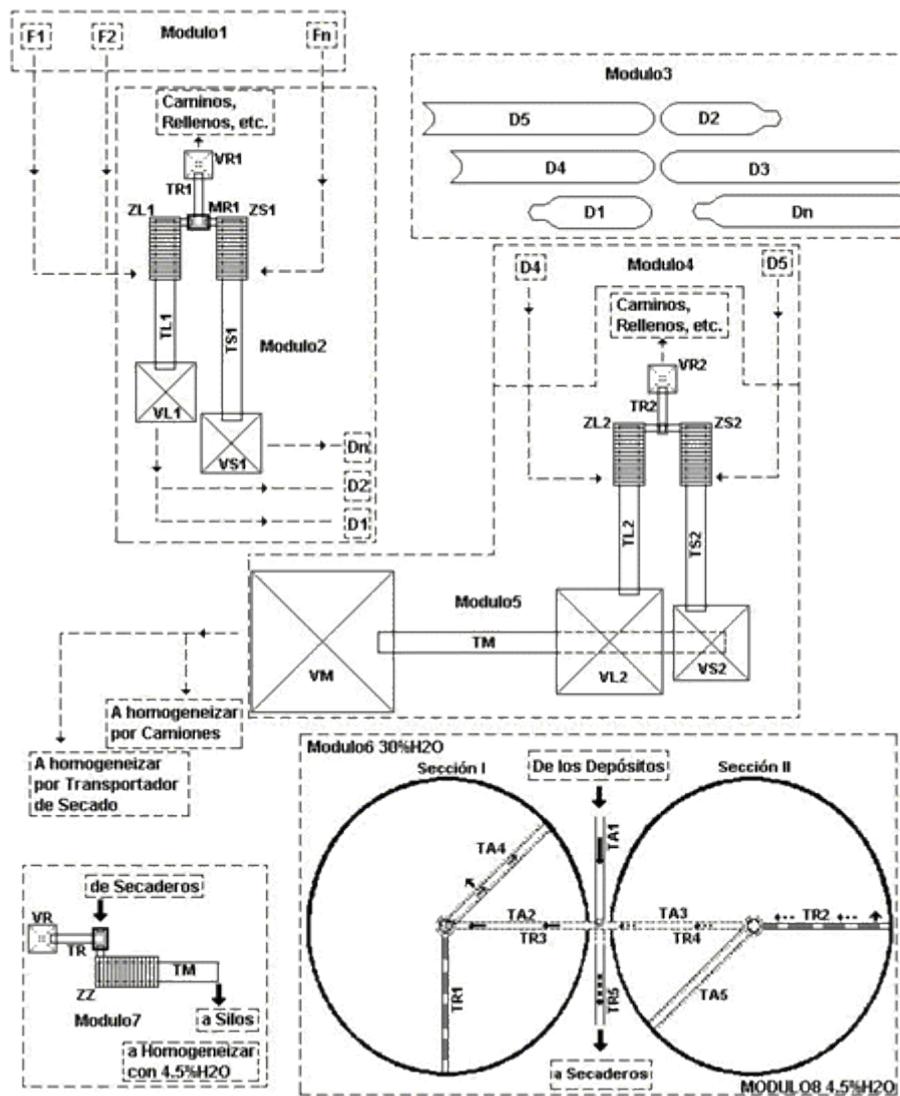


Fig. 1 Esquema general del sistema de preparación integral del mineral para la ECECG. En dicha Empresa se agrupan por módulos las diferentes operaciones, como se describe a continuación:

Módulo 1. Minería separada de LB y SB (F1- primer frente de minería, F2- segundo frente de minería, Fn- enésimo frente de minería).

Módulo 2. Estación de separación primaria (ZL1-separador de la LB, ZS1-separador de la SB, MR1-triturador de quijada hasta 40 mm, TR1-transportador de rechazo, VR1-tolva de rechazo, rocas trituradas, TL1-transportador de mineral de LB, TS1-transportador de mineral de SB, VL1-tolva del mineral fino (-150 mm) para LB, VS1-tolva del mineral fino (-150 mm) para SB, D1-mineral al primer depósito de secado y mezcla, D2-mineral al segundo depósito de secado y mezcla, Dn-mineral al enésimo depósito de secado y mezcla).

Módulo 3. Depósitos de secado solar y mezcla (D1 y D2- primero y segundo depósitos de mineral, D3, D4 y D5- tercero, cuarto y quinto depósitos de mineral Dn- enésimos depósitos de mineral) [Estenoz, 2001].

Módulo 4. Premezcla en los depósitos de secado (D4-recogida de mineral LB en los depósitos de secado, D5-recogida de mineral SB en los depósitos de secado).Módulo 5. Proceso de beneficio en húmedo (ZL2-separador de LB de las rocas +40m, ZS2- separador de la SB de las rocas +40 m, LF-limpiador de la fracción +40 m, TR2-transportador de rechazo, VR2-tolva de rechazo de las rocas limpiadas de +40 mm, TL2-transportador de mineral de LB, TS2-transportador de mineral de SB, VL2- tolva del mineral fino (-40 mm) para LB, VS2-tolva del mineral fino (-40 mm) para SB, TA-transportador de mineral de alimentación a secaderos o (a la homogeneización en húmedo).

Módulo 6. Homogeneización en húmedo (TA-transportador de alimentación, TA2 y TA3 transportadores de alimentación de la sección I y sección II, TA4 y TA5 apiladores de mineral de la sección I y II, TR1 y TR2 reclamadores de mineral de la sección I y II, TR3 y TR4 transportadores de recogida de la Sección I y II, TR5 transportador de entrega).

Módulo 7. Proceso de beneficio en seco (ZZ-separadores de la fracción +10 (1÷4), LF2- limpiadores de la fracción +10 m (1÷2), TR3-transportador de rechazo, VR3-tolva de rechazo 28 m³, TES-transportador de entrega a silos).

Módulo 8. Homogeneización en seco (TA-transportador de alimentación, TA2 y TA3 transportadores de alimentación de la sección I y sección II, TA4 y TA5 apiladores de mineral de la sección I y II, TR1 y TR2 vibrorrecogedores de mineral en sección I y II, TR5 transportador de entrega o transporte neumático a los silos).

Secado solar del mineral

En las investigaciones realizadas para desarrollar los modelos y diseños del equipamiento y los procedimientos del secado solar del mineral en la ECECG se efectuó una comparación entre las condiciones naturales de Moa y otras dos minas que utilizan la energía solar y eólica, río Tuba en Filipinas y Toncantins en Brasil.

Los objetivos para el desarrollo de los modelos y diseños del secado solar del mineral en la ECECG consistieron en:

- Aprovechar la energía solar, el calor natural y la energía eólica.
- Obtener la mayor productividad del secado por unidad de superficie mediante la remoción periódica de las pilas.
- Regular y controlar los taludes y parámetros de las pilas, de tal forma que se puedan adecuar a las variaciones climáticas y las irregularidades en los regímenes de precipitación.

El procedimiento de secado a la intemperie consta de tres etapas, en la primera de las cuales se produce la disposición espacial y el apilado de las pilas de mineral. Las pilas durante el apilado se forman continuamente por capas longitudinales (Estenoz, 2003).

En la segunda etapa se realiza el destape por capas del material secado en la superficie de la pila, lo cual provoca el desplazamiento periódico y continuo de las pilas en la dirección hacia donde se deposita cada capa de material seco. En la foto 1 se muestra el equipo de remoción utilizado en la prueba a escala piloto, realizada en la primavera de 2003. En la foto 2 se puede observar la

diferencia de coloración del mineral debido a la intensidad del proceso de secado.



Foto 1. Vista del proceso de remoción del mineral y las mediciones durante la prueba de secado solar y homogeneización a escala semiindustrial.



Foto 2. Vista del proceso de remoción del mineral y las mediciones durante la prueba de secado solar y homogeneización a escala semiindustrial.

En la tercera etapa se procede a la recogida del material seco. Estas operaciones permiten mantener de forma continua y estable la máxima capacidad de recepción de material húmedo y la máxima entrega de material seco, así como la continuidad y constancia del proceso de destape en dependencia de la disponibilidad de energía.

En la figura 2 se ilustra una forma particular de organizar el apilado, secado y recogida del material húmedo y seco con equipos de apilado, remoción y recogida (Fig. 3).

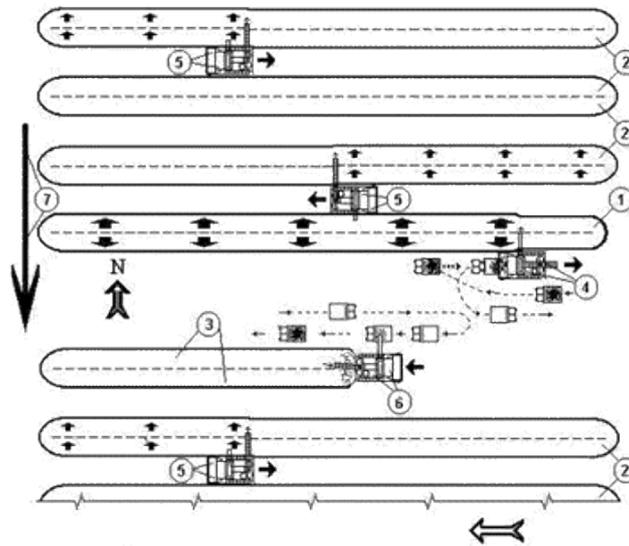


Fig. 2. Disposición espacial esquematizada del conjunto de operaciones del procedimiento. 1. Pila en formación y amontonamiento. 2. Pilas en remoción durante el secado. 3. Pila en la etapa de recogida. 4. Equipo para el apilado. 5. Equipos para la remoción. 6. Equipo para la recogida. 7. Dirección de avance del frente de apilado y recogida durante el proceso de secado.

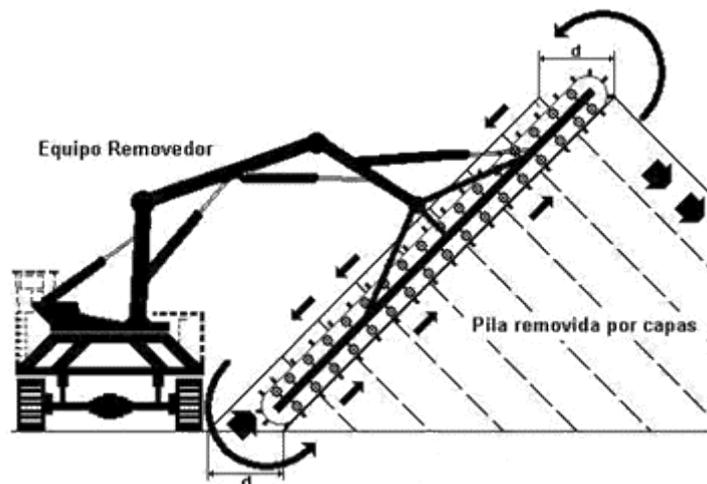


Fig. 3. Corte transversal del equipo de removedor sobre la pila de mineral del diseño propuesto para la explotación a escala industrial.

En la prueba de secado solar a la intemperie y homogeneización a escala piloto [Estenoz, 2003] se obtuvieron disminuciones de humedad considerables en la masa minera; los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Comportamiento de la humedad del mineral y algunos parámetros ambientales en el transcurso del tiempo en la primavera de 2003

Período	Humedad del mineral (%)	Temperatura ambiente (°C)	Velocidad promedio del viento (kph)	Humedad relativa del aire (%)
Abril 23 al 29	38,08	26,00	12,84	76,22
Abril 30 a mayo 6	36,89	27,34	14,01	73,40
Mayo 7 a mayo 13	30,13	28,12	14,86	73,24
Mayo 14 a mayo 20	28,04	28,34	13,77	73,95
Mayo 21 a mayo 27	28,85*	28,59	13,85	77,71
Mayo 28 a junio 3	24,46	28,75	13,40	75,66

Ocurrencia de abundantes lluvias.

Homogeneización del mineral

Los objetivos del procedimiento de homogeneización y almacenamiento del mineral para la ECECG son:

- Incrementar y estabilizar la calidad en los flujos de material homogeneizado que se ha de entregar para mejorar los sistemas de corrección y registro de calidad de material y la eficiencia de las operaciones y procesos metalúrgicos.
- Aprovechar al máximo el espacio disponible y simplificar los procesos de automatización e informatización.
- Perfeccionar el proceso de apilado y repartición del flujo del material para acrecentar la capacidad de recepción y entrega del material.

La elección del área circular responde a la necesidad de aprovechar mejor el espacio por la necesidad de techar el depósito de mineral, aunque en virtud de los beneficios que reporta podría construirse en secciones longitudinales, con tan sólo un incremento máximo de los costos en 19 % por concepto del techado y las paredes.

Los procesos de apilado y repartición están desligados de la recogida de las pilas de material y de su evacuación hacia la industria, lo cual permite dirigir las mezclas y los niveles de homogeneización en los flujos de salida de acuerdo con los requerimientos y exigencias industriales de cada período.

En la figura 4 se muestra el diseño de los equipos principales y la organización general del proceso de homogeneización y almacenamiento del mineral para la ECECG.

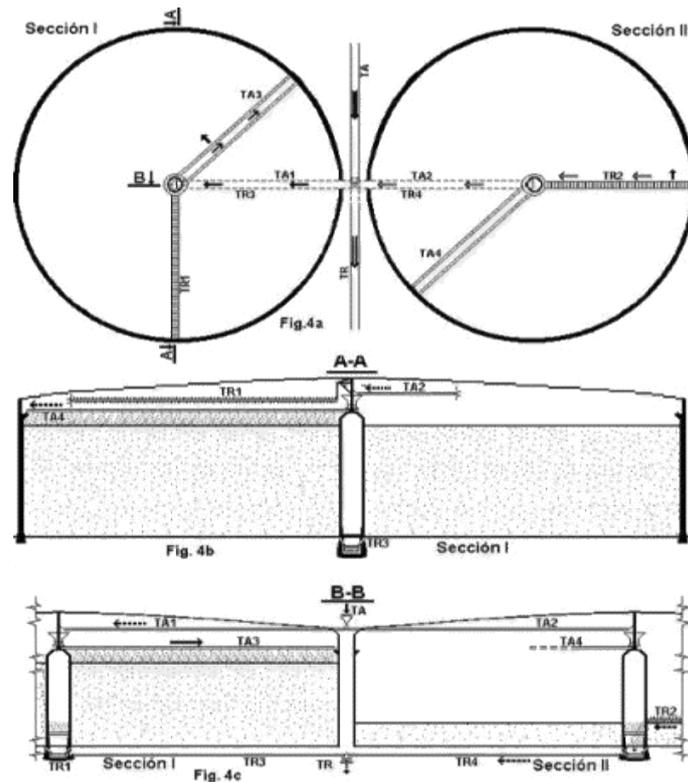


Fig. 4. Sistema de la instalación de homogeneización. a) Conjunto de la instalación vista en planta. b) Vista en sección transversal desarrollada en corte longitudinal a la dirección del brazo de apilado en una sección de almacenamiento en particular. c) Vista en sección transversal desarrollada en corte longitudinal de la dirección de los transportadores de banda y las paredes interiores de ambas secciones de almacenamiento.

Leyenda:

- TA-transportador de alimentación,
- TA1-transportador de alimentación hasta el apilador en la sección I,
- TA2-transportador de alimentación hasta el apilador en la sección II,
- TA3-apilador de mineral de la sección I,
- TA4-apilador de mineral de la sección II,
- TR1-reclamador de mineral en la sección I,
- TR2-reclamador de mineral en la sección II,
- TR3-transportador de recogida en la sección I,
- TR4-transportador de recogida en la sección II,
- TR-transportador de mineral desde el almacén homogeneizador.

Conclusiones

1. Las condiciones geográficas y climáticas de los depósitos mineros en los yacimientos asignados a la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara permiten el secado a la intemperie de los minerales durante casi todo el año; la temporada de febrero a octubre es la más favorable.

2. En la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se disponen actualmente más de setecientos cincuenta mil metros cuadrados de superficie, donde se puede secar y almacenar más de 3,3 millones de toneladas de masa mineral.
3. En el secado a la intemperie del mineral en los depósitos mineros de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se puede disminuir, como mínimo en 24 %, la humedad inicial del mineral.
4. En pilas con siete metros de altura, 40-45 grados de talud y capas de 15 cm de espesor durante su amontonamiento se pueden secar 4,4 toneladas anuales de mineral por metro cuadrado de superficie disponible.
5. La instalación y procedimiento de homogeneización diseñados se pueden usar para el procesamiento de minerales terrosos, independientemente de su grado de adhesión y aglomeración.
6. La aplicación en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara del secado solar generaría entre 14 y 17 millones anuales y unos 10 millones por el procesamiento de mineral homogeneizado a más de noventa grados.

Bibliografía

ESTENOZ, SEVERO. «Incremento y regulación de la eficiencia económica del complejo minero-metalúrgico». *Informe final del proyecto SEMMI*. Centro de Investigaciones del Níquel, 1999. pp.74-93.

------. «Procedimiento y equipo para secado solar de materiales a la intemperie». Solicitud de invención cubana. La Habana: OCPI. No. 175, 2001.

ESTENOZ, SEVERO, MARIANNY ESPINOSA Y NIURKA PÉREZ, et al. «Prueba de homogeneización y secado solar del mineral». *Informe de Investigación* (Parte I). Cuba: Centro de Investigaciones del Níquel, 2003. pp. 24-48.

ESTENOZ, SEVERO Y EULALIA RONDÓN. «Descripción, caracterización y valoración de los flujos y procesos». *Informe final. Etapa 03 del proyecto de I+D: Incremento y regulación de la eficiencia económica del complejo minero-metalúrgico*. Moa: Centro de Investigaciones del Níquel, 1997. pp.22-28.

ESTENOZ, SEVERO; NIURKA PÉREZ Y EULALIA RONDÓN. «Procedimiento de homogeneización y secado solar de materiales a granel e instalación requerida». Solicitud de invención cubana No. 208, La Habana: OCPI. 2001.

------. «Procedimiento para estabilizar y secar los flujos de mena al proceso metalúrgico durante el abasto». Evento IX Sesión Científica, Moa: Centro de Investigaciones del Níquel, 1999. p.12.

FROMMHOLZ, W. Verfahren zum Aufschütten und gleichzeitigen Homogenisieren von Schüttgut in einer im wesentlichen endlosen Rundhalde, Patente Alemana No.3 011 349 (C2), 1983.

GEORG, F.; O. H. MURRY AND W. T. HALZHAUER. Combination stockpiles reclaimer. Patent US, No.3 601 244, 1969.

Estudio de materiales y sistemas protectores anticorrosivos para equipos solares

Survey on Anti-Corrosive Protective Materials and Systems for Solar Equipments

*Juan M. Bermúdez Torres
Liliana Echevarría Difour
Zulema Acosta Vargas
Centro de investigaciones de Energía Solar.
Solar Energy Research Center.
Micro III, Rpto.
Abel Santamaría, Santiago de Cuba. CP 90800.
Tel.: (053 22) 672689 y 671186. Fax: (053 22) 671131.
e-mail: relinter@cies.ciges.inf.cu*

Resumen

El presente trabajo se realiza de acuerdo con las referencias bibliográficas, el aporte de experiencias anteriores en otras aplicaciones y teniendo en cuenta las condiciones de explotación muy severas que enfrentan los equipos utilizados en la generación de energía aprovechable a partir de fuentes primarias renovables. Consiste en el estudio del comportamiento de probetas de acero al bajo carbono, ampliamente utilizado como material constructivo y protegidas con sistemas anticorrosivos orgánicos. La experiencia se realizó aplicando el método de ensayos de corrosión acelerada en cámara de niebla salina que, aunque cuantitativamente no brinda la posibilidad de predecir con exactitud la durabilidad de las estructuras protegidas, en las condiciones específicas de explotación proporcionan criterios válidos para establecer las variantes más adecuadas de recubrimientos protectores que se deben aplicar en cada caso. Se analizan los ensayos efectuados con sistemas protectores desarrollados en el CIES sobre la base del estudio realizado; además, se incluyen probetas con sistemas empleados en la Fábrica de Equipos Médicos RETOMED de Santiago de Cuba utilizados en la fabricación de equipos médicos. Los resultados servirán de base a la normalización de los sistemas anticorrosivos, necesaria para las tecnologías de elaboración de prototipos y equipos solares en el CIES.

Palabras clave: tubos de ensayo bajos en acero al carbono, sistemas orgánicos anticorrosivos, accelerated corrosion method, cámara de niebla salina

Abstract

This paper is written in accordance with the bibliographical references, the contribution of previous experiences in other applications and the severe operational conditions of the equipments used for generation of energy taken from renewable primary sources. It deals with the steel test tube behavior on low carbon, widely used as building material and protected with anticorrosive organic systems. The experience was carried out using accelerated corrosion method in a salt mist chamber, though from the quantitative standpoint, does not contribute to predict the durability of the protected structures under the specific operational conditions, it thus provide valid criteria to establish the most adequate choices for protective coating to be applied in each case. Tests performed with the protective systems made in CIES are analyzed; it also includes test tubes with systems used in RETOMED Medical Equipment Plant in Santiago de Cuba and in the manufacturing of medical equipments. The results will be useful for the standardization of anticorrosive protective systems, needed for the manufacturing technologies of prototypes and solar equipments in CIES.

Key words: Low carbon steel test tubes, organic anticorrosive systems, accelerated corrosion method and salt mist chamber.

Introducción

Entre los materiales constructivos para estructuras metálicas, un volumen importante lo ocupan las aleaciones base ferrosas, caracterizadas por su bajo costo, su alta resistencia mecánica, su ductilidad y otras características que hacen, en muchos casos, insustituible su empleo en la industria de fabricación de estructuras metálicas en general.

La desventaja fundamental que presentan estos materiales es su baja resistencia a la corrosión en condiciones de intemperismo, por lo que prácticamente en la totalidad de los casos es imprescindible su protección anticorrosiva [Bajvalov, 1954].

En el caso específico de los equipos utilizados para la captación y transformación de las energías primarias renovables, sus condiciones de explotación son severas y muy severas, ya que se encuentran ubicados, para su explotación, a la intemperie permanentemente, por lo que todos los factores asociados con los elementos atmosféricos (radiación solar, cambios bruscos de temperatura, humedad relativa, vientos, contaminación ambiental, etc.) inciden sobre las estructuras que los conforman.

Es preciso tener en cuenta que las condiciones ambientales en nuestro país tienden a acelerar el fenómeno de la corrosión por su ubicación geográfica y su configuración física de ser un territorio largo de Este a Oeste y Estrecho de Norte a Sur.

Otro factor que incide en la aceleración del fenómeno de la corrosión en los equipos solares es la presencia de medios líquidos que circulan a través de ellos, fundamentalmente a temperaturas medias y con diversas composiciones

químicas que generan vapores, los cuales resultan altamente corrosivos en estas condiciones.

Métodos para la protección contra la corrosión

Los métodos más usuales [Ulick, Evans 1973] para la protección de metales ferrosos son:

- Eliminación de las causas que provocan la corrosión.
- Protección catódica.
- Empleo de inhibidores de la corrosión.
- Pasivación superficial.
- Recubrimientos metálicos.
- Protección con pinturas.

Para el caso específico de equipos utilizados en el aprovechamiento y la transformación de FRE, los métodos de eliminación de las causas que provocan la corrosión, la protección catódica y la aplicación de pinturas se emplean en mayor proporción debido a que las dimensiones y su configuración compleja limitan la aplicación de los otros.

La aplicación de recubrimientos metálicos y otros métodos pueden ser utilizados en piezas aisladas previamente al ensamble de los equipos. La combinación en el empleo de los métodos de protección anticorrosiva puede dar resultados óptimos para lograr la durabilidad adecuada de los equipos.

Propiedades de los recubrimientos con pinturas

El tipo de protección que brindan las capas de pinturas en relación con los metales ferrosos es mecánico, por lo que resulta un requisito fundamental que los recubrimientos no presenten poros, posean un espesor adecuado y cubran totalmente la superficie; la corrosión puede, asimismo, desarrollarse bajo capas de pintura mal adheridas a la superficie metálica, por tanto es muy importante una preparación superficial previa a su aplicación. Estos factores obligan a los productores a llevar un estricto control de los parámetros de calidad de las capas de pintura, para lo cual se emplean métodos de control del espesor, la porosidad, la adherencia del recubrimiento al sustrato, la adecuación del material a las condiciones de explotación, etc. [Carder, 1984].

Las principales ventajas de los recubrimientos con pinturas [Reibman, 1973] son:

- Aplicación sencilla y factible en configuraciones muy complejas; las fallas pueden ser reparadas en el lugar del montaje.
- Es posible combinar la aplicación de pinturas con otros métodos de protección anticorrosiva, por lo que puede aplicarse al material en condiciones más severas que las permisibles.
- Pueden obtenerse recubrimientos de cualquier color, lo que permite incidir sobre los niveles de absorptividad, reflectividad y otras propiedades de la superficie que coadyuvan al funcionamiento de los equipos solares.

Parte experimental

Materiales y métodos

- Cámara de niebla salina marca Neurtext S.A. España.
- Medidor de espesores magnético.
- Probetas de acero 1 Kp sin recubrimientos y galvanizadas.
- Soporte de plexiglás para probetas.
- Contenedor de plástico para el traslado de probetas.
- Solución de NaCl al 5 %.
- Solución de HCl al 15 %.

Ensayos en cámara de niebla salina. Preparación de las soluciones [NC 10-0415:1986]

Solución de HCl

Se toman 500 mL de agua potable y 500 mL de HCl técnico al 32 %. Se mezclan añadiendo el ácido al agua. Se agita.

Solución de NaCl al 5 %

Se pesan 5 g de NaCl_{téc}, libre de níquel y hierro. Se disuelve en 1 L de agua destilada.

Se calienta hasta la ebullición y se enfría hasta que logre la temperatura ambiente.

Se deja reposar durante 48 horas y se ajusta el pH con solución de HCl en el rango de valores 6,2 -7,2.

Preparación de las probetas

Se cortan planchas rectangulares de acero al bajo carbono, de 1 mm de espesor con dimensiones lineales de 80 x 100 mm. Se elimina la capa de óxidos gruesa con tela de esmeril grano 120 y 240 sucesivamente, de forma manual. Se decapan con solución de ácido clorhídrico, se desengrasan con solución de detergente y se enjuagan con abundante agua. Se ponen a secar en estufa a 60 0C. Una vez secas las probetas, se aplican las capas de pintura que son objeto de estudio, las que son secadas en estufa a 60 0C.

Traslado de probetas

Las probetas tratadas previamente al recubrimiento y protegidas temporalmente en el CIES se trasladaron a RETOMED en contenedores plásticos en presencia de silicagel para evitar la corrosión.

Determinación

Se colocan las probetas en la cámara de niebla salina con el soporte elaborado para ello a un ángulo de 300 con relación al plano vertical. Se mantiene durante todo el tiempo del ensayo una temperatura de 33 0C en el interior de la cámara. La pulverización de la solución de cloruro de sodio se realiza de forma periódica cada 24 horas.

La evaluación se realiza según la Norma Cubana NC 12-04-15:81.

Régimen de trabajo [NC 10-0415:1986]

Temperatura de la cámara	33 0C
Humedad relativa	98 – 100 %
Régimen de aspersión	1 h. Cada 24 horas

La evaluación del deterioro de las capas protectoras en la superficie expuesta se realizó por el método de observación visual, auxiliados por una placa de plexiglás transparente cuadrículada según la metodología de la Norma [Champion, 1970].

Análisis de los resultados obtenidos

Se obtuvieron resultados acerca del comportamiento frente al ataque corrosivo en cámara de niebla salina, de varios sistemas diseñados para su explotación en condiciones muy severas.

Estos resultados se analizan sobre la base de índices comparativos, en cuanto a la adherencia de la capa protectora al metal base, las propiedades anticorrosivas que confieren al metal los diversos sistemas.

Se comprobó que el fosfatado (Figs. 1 y 2) influye tanto en la durabilidad de los sistemas protectores como en la adherencia de las capas al sustrato metálico.

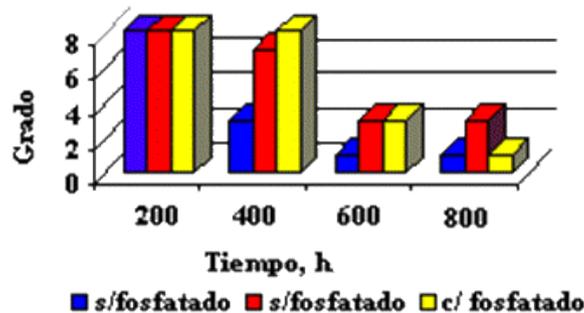


Fig. 1. Influencia del fosfatado sobre la resistencia a la corrosión.

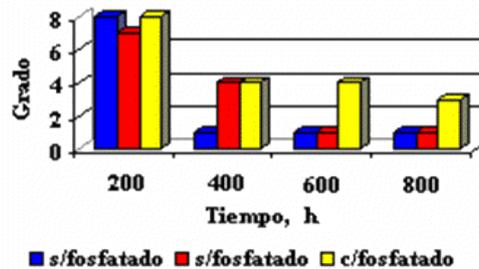


Fig. 2. Influencia del fosfatado sobre la adherencia.

De las variantes de tipos de pinturas empleadas en las etapas experimentales (Figs. 3 y 4), se observa –para la explotación en las condiciones planteadas– que las pinturas base resinas (epóxicas, alquídicas y en polvo) brindan mayores posibilidades de protección anticorrosiva; en el caso de los esmaltes sintéticos se demuestra que son menos resistentes a la humedad y presentan pocas posibilidades de protección en condiciones extremas de factores propiciadores de la corrosión.

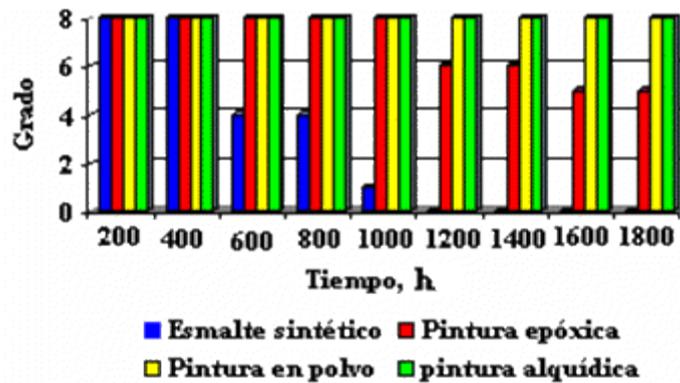


Fig. 3. Influencia de la calidad de la pintura en la resistencia a la corrosión.

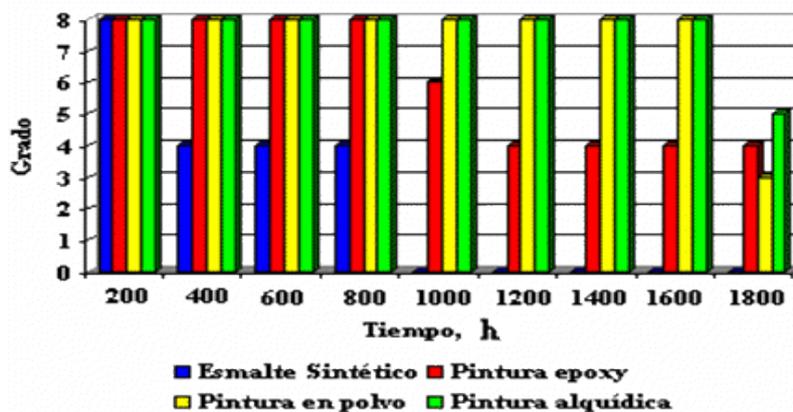


Fig. 4. Influencia de la calidad del material sobre la adherencia.

Las pinturas epóxicas proporcionan una protección eficiente al acero en las condiciones de explotación de los equipos solares, siempre que se apliquen sobre una superficie limpia de toda impureza que atente contra la adherencia de las capas al sustrato y se emplee como capa intermedia el fosfatado (Figs. 5 y 6).

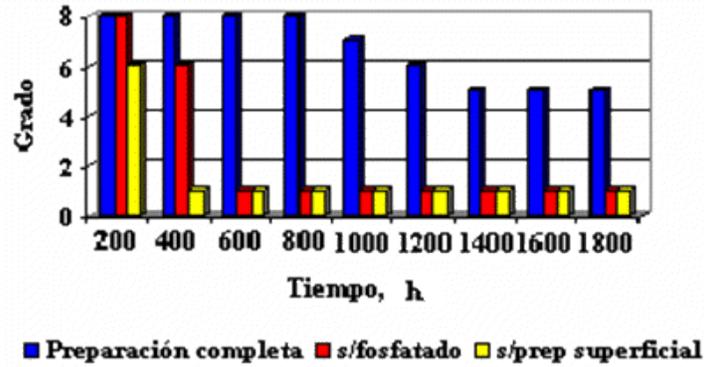


Fig. 5. Influencia de la preparación superficial sobre las propiedades anticorrosivas de los recubrimientos con pintura epóxy.

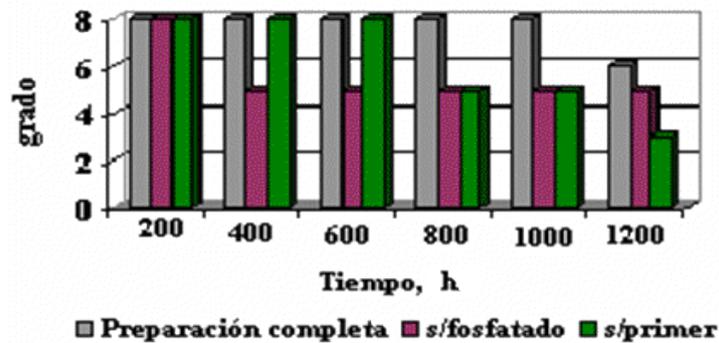


Fig. 6. Influencia de la preparación superficial sobre la adherencia de la capa de sustrato.

Con relación a la protección con pinturas de superficies elaboradas con chapas galvanizadas con «floreado» (Fig. 7), se observa una mala adherencia a éstas, independientemente que se apliquen capas intermedias, como el cromatado.

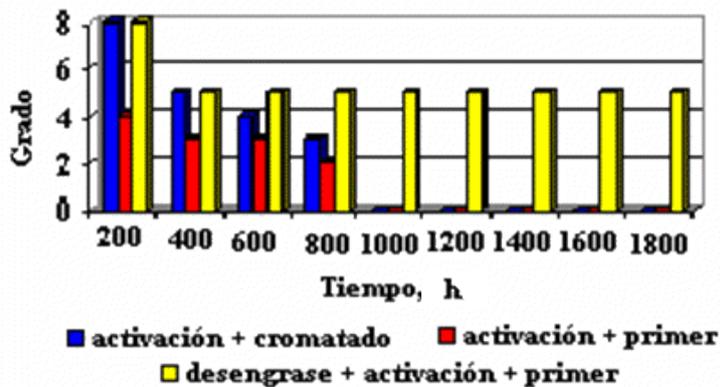


Fig. 7. Influencia del «floreado» en chapas de aceros galvanizadas en la adherencia de la capa al sustrato.

Conclusiones

1. Los resultados obtenidos nos permiten expresar que para la protección anticorrosiva de los equipos que se desarrollan en el CIES, es preciso preparar condiciones mínimas que garanticen la realización de las operaciones de preparación superficial aplicación de capas intermedias y acabados con pinturas a las superficies de las estructuras metálicas que los forman.
2. El acero galvanizado con «floreado» presenta dificultades en cuanto a la adherencia de las pinturas a su superficie, independientemente del tratamiento superficial que se aplique.

Bibliografía

- BAJVALOV, A. G. *Spravochnik Galvanostega*. Moscú: Ed. Mashinostroenia, 1954.
- CALVO, F. A. «Resistencia a la corrosión de acero galvanizado protegido por amalgamación superficial en contacto con agua de distintas composiciones». No. 3, vol. 21, 1985.
- CARDER, J. H. *Adelantos recientes en el niquelado-cromado*. Barcelona: Edit. CEDER, 1984.
- CHAMPION, F. A. *Ensayos de corrosión*. España: Ed. URMO, 1970.
- MORCILLO, M. «La corrosión de los metales en las grandes ciudades». Rev. *Metalurgia*. Moscú: Edit. Metalurgia, No. 2. vol. 19, 1985.
- Norma NC 10-0415:1986. SNPCC. «Recubrimientos de pinturas y barnices. Métodos de ensayos en cámara de niebla salina». CEN. La Habana
- Norma NC 12-04-13:1981. SNPCC. «Recubrimientos de pinturas y barnices. Probetas para ensayos». CEN. La Habana.
- Norma NC 12-04-15:1981. SNPCC. «Recubrimientos de pinturas y barnices. Determinación de la corrosión en estaciones ambientales». CEN. La Habana.
- REIBMAN, A. I. *Zaschitnie lakokrasochnye pokryitia v jimicheskoi promyshlennosti*. Leningrado: Ed. Jimiya, 1973.
- ULICK, R. EVANS. «Introducción a la corrosión metálica». *Provenza 273*. Barcelona: Edit. Metalurgia, 1973.

Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente

Influence of the Inclination Angle of a Sun-Ray Collector Surface on an Incident Radiation

*Luis Bérriz Pérez
Manuel Álvarez González
CUBAENERGIA
Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa.
e-mail: malvarez@cubanergia.cu
berriz@cubasolar.cu*

Resumen

Se presentan los resultados del cálculo de la inclinación óptima de los equipos solares en forma de tabla y gráficos. Se muestra la radiación solar sobre un plano inclinado a diferentes meses del año, distintos ángulos de inclinación de la superficie captadora y el valor medio mensual de la radiación incidente sobre un plano para diversos ángulos de inclinación, en Imías, Guantánamo.

Además, aparece el efecto del ángulo de inclinación sobre la radiación solar incidente con relación a una superficie horizontal y se mencionan algunos factores que se deben tener en consideración en un proyecto de instalaciones solares relacionadas con la inclinación de los planos de captadores solares.

Palabras clave: Radiación solar, ángulo inclinación, orientación, superficie captadora.

Abstract

Optimal inclination estimations of solar equipments in tables and graphics are presented. Solar radiation on an inclined plane in different months of the year is also presented here as well as several inclined planes of the surface sensor and the average monthly value of the radiation found on a plane for different angles in Imías, Guantánamo. In addition, the inclined plane effect appears on the incident solar radiation in relation to a horizontal surface and some factors are mentioned which should be taken into consideration in a project of solar installations related to the inclination of the planes of solar sensors.

Key words: Solar radiation, inclination angle, orientation, surface sensor, etc.

Introducción

El ángulo de inclinación óptimo de las superficies captadoras de un sistema solar está determinado por muchos factores, entre ellos la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación, y el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, etc. Además, las características de la instalación, o sea, si es única o híbrida, autónoma o acoplada a la red y el objetivo de la instalación, lo que define el régimen de uso y de consumo. En todo caso, la optimización de un sistema solar está dada por el factor económico de la instalación en su conjunto y no por la eficiencia óptima de una de las partes.

El efecto de la orientación y el ángulo de inclinación de una superficie colectora de la radiación solar, por ejemplo un captador solar plano o un panel fotovoltaico, han sido estudiados en varios trabajos (Garg, 1982). Varios métodos se han propuesto en la literatura para encontrar el ángulo óptimo. Entre los métodos propuestos se obtiene una expresión para determinar el ángulo óptimo para un colector teniendo en cuenta la radiación directa y difusa separadamente. También se considera la variación de la trasmisividad de una cubierta de vidrio con el ángulo de incidencia.

El propósito de este trabajo es el estudio de la influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente en las condiciones de la provincia de Guantánamo, Cuba.

Desarrollo

En el caso de tener un plano orientado al ecuador con una inclinación β sobre el plano horizontal del lugar, se puede calcular el ángulo de incidencia de la radiación solar directa con dicho plano mediante la expresión [Duffie y Beckman, 1996; Bériz, 1977]:

$$\cos \theta = \cos (L - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin (L - \beta) \sin \delta \quad (1)$$

Donde:

θ : Ángulo de incidencia formado por la normal a la superficie y el rayo incidencia de ella.

L : Latitud del punto de la superficie terrestre considerado, el cual es el ángulo que forma el radio terrestre que pasa por dicho punto con el ecuador. Esta comprendido entre $-90^\circ = L = 90^\circ$.

β : Ángulo de inclinación

ω : Ángulo horario

δ : Declinación

La radiación total sobre una superficie inclinada a partir de la radiación horizontal considerando períodos relativamente cortos, por ejemplo de una hora, se obtiene de:

$$I_{\beta} = I_{HD} R_D + I_{HI} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_{HD} + I_{HI}) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \rho \quad (2)$$

I_{β} : Radiación total sobre una superficie inclinada.

I_{HD} : Componente directa de la radiación sobre el plano horizontal.

I_{HI} : Componente difusa de la radiación solar sobre el plano horizontal.

R_D : Relación entre la componente directa de la radiación solar sobre una superficie inclinada y la radiación directa sobre una superficie horizontal.

ρ : Reflexividad del suelo.

$$\frac{1 + \cos \beta}{2} = \text{mide la proporción de bóveda celeste vista por la superficie inclinada respecto a la que ve un plano horizontal.}$$

$\frac{1 - \cos \beta}{2}$ = mide la proporción de suelo que ve la superficie inclinada.

Sin embargo, en los cálculos de las aportaciones solares recibidas por la superficie captadora se hace necesario conocer la relación R entre la radiación media diaria mensual $H_{\beta \text{ media}}$ recibida por la superficie captadora y la radiación media diaria mensual H recibida por una superficie horizontal. Es decir,

$$R_{\text{media}} = \frac{H_{\beta \text{ media}}}{H} \quad (3)$$

El procedimiento para el cálculo de R_{media} es análogo al de R , según Liu, Jordán y Klein [Cañada y Pinazo, 1980; Yáñez, 1982], o sea:

$$R_{\text{media}} = \frac{H_{\beta \text{ media}}}{H} = \left(1 - \frac{H_{\text{directa}}}{H_{\text{media}}}\right) R_{\text{Directa}} + \frac{H_{\text{directa}}}{H_{\text{media}}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (4)$$

Donde:

$$H_{\beta \text{ media}} = H_{\text{media}} \left(1 - \frac{H_{\text{directa}}}{H_{\text{media}}}\right) R_{\text{Directa}} + H_{\text{directa}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + H_{\beta \text{ media}} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (5)$$

Siendo R_{Directa} la relación entre la radiación directa media diaria en el mes considerado, recibida en la superficie inclinada y la recibida en una superficie horizontal.

Resultados y análisis

La tabla 1 muestra los resultados de los cálculos del valor medio mensual de la radiación incidente sobre un plano (H_t) para diferentes ángulos (β) de inclinación en kWh/m² en Imías, Guantánamo. En ella podemos observar que aunque el promedio de la radiación solar en Cuba recibida sobre un plano horizontal es de 5 kW-h/m², el valor en Guantánamo es de 5,76; o sea, 15 % superior.

En la misma tabla se observa que el ángulo óptimo de inclinación para que un panel reciba el máximo de radiación solar durante todo el año es de 18° hacia el Sur, suponiendo simetría entre la mañana y la tarde. Con este ángulo, el promedio anual de radiación es en Guantánamo de 5,97 kW-h/m² al día, o sea, casi 20 % superior al valor promedio nacional de cinco. *Tabla 1 Valor medio mensual de la radiación incidente.*

β	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov.	Dic.	Promedio anual	β
0°	4,73	4,92	6,20	7,23	6,66	6,22	6,42	6,48	5,84	5,67	4,28	4,45	5,763	0°
10°	5,29	5,29	6,44	7,22	6,47	5,98	6,20	6,40	5,96	6,05	4,71	5,03	5,924	10°
15°	5,53	5,43	6,50	7,16	6,33	5,82	6,04	6,31	5,97	6,18	4,89	5,27	5,957	15°
18°	5,65	5,51	6,53	7,11	6,23	5,72	5,97	6,27	6,00	6,25	4,98	5,41	5,972	18°
20°	5,73	5,55	6,53	7,06	6,18	5,67	5,89	6,19	5,95	6,28	5,04	5,49	5,968	20°
25°	5,90	5,63	6,52	6,92	5,96	5,43	5,66	6,03	5,90	6,35	5,16	5,67	5,931	25°
30°	6,04	5,68	6,48	6,74	5,73	5,20	5,43	5,84	5,82	6,38	5,25	5,82	5,871	30°
35°	6,14	5,69	6,40	6,53	5,48	4,95	5,18	5,63	5,70	6,37	5,31	5,94	5,780	35°
40°	6,20	5,68	6,28	6,29	5,21	4,69	4,91	5,39	5,56	6,32	5,34	6,02	5,659	40°
45°	6,23	5,63	6,13	6,01	4,92	4,40	4,62	5,13	5,38	6,24	5,34	6,06	5,509	45°
										Valor máximo promedio anual (kWh/m²)			5,972	18°

Las figuras 1, 2 y 3 muestran la radiación media diaria mensual recibida por la superficie captadora, y la radiación media diaria mensual recibida por una superficie horizontal calculada con la ecuación (5) para diferentes ángulos de inclinación de la superficie captadora en las condiciones de la provincia de Guantánamo, en función de los meses del año. En ellas se puede observar, por la forma de las curvas de la energía que procede del sol y llega a la superficie captadora, que depende fundamentalmente del ángulo de inclinación que forma con la horizontal.

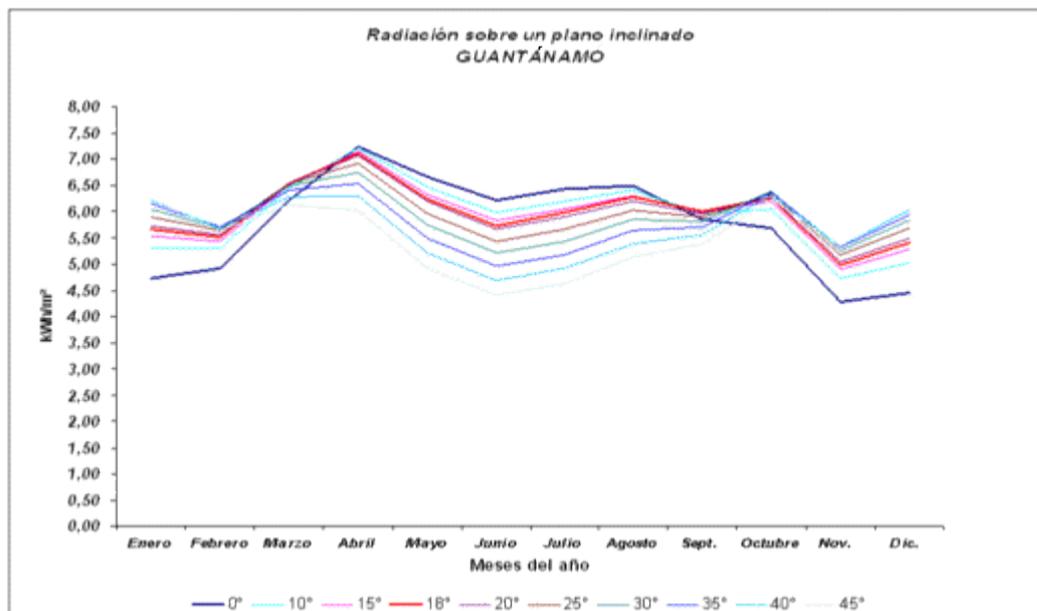


Fig. 1. Radiación media diaria mensual recibida por la superficie captadora, y la radiación media diaria mensual recibida por una superficie horizontal.

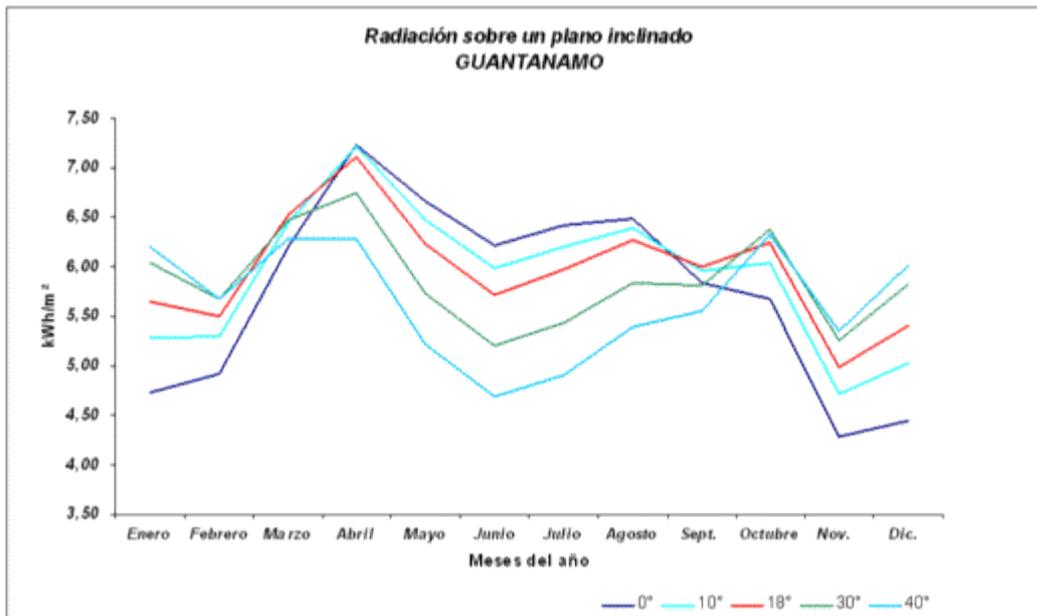


Fig. 2. Radiación media diaria mensual recibida por la superficie captadora, y radiación media diaria mensual recibida por una superficie horizontal.

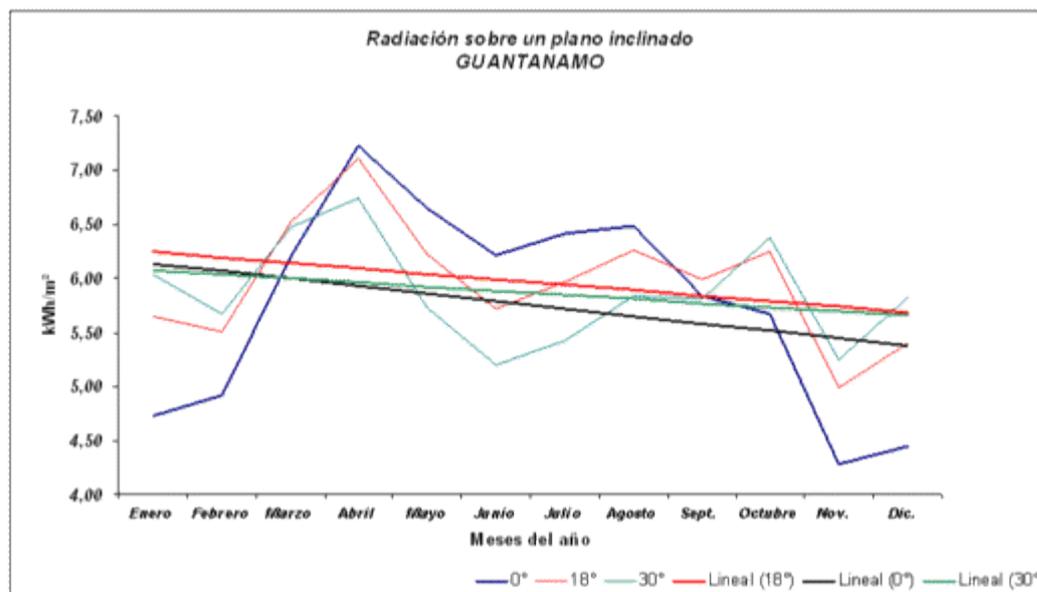


Fig. 3. Radiación media diaria mensual recibida por la superficie captadora, y la radiación media diaria mensual recibida por una superficie horizontal.

En las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran los valores de la radiación solar para un plano inclinado y para ángulos de inclinación de 10, 18, 30 y 40 al Sur para los diferentes meses del año.



Fig. 4. Radiación sobre un plano horizontal.

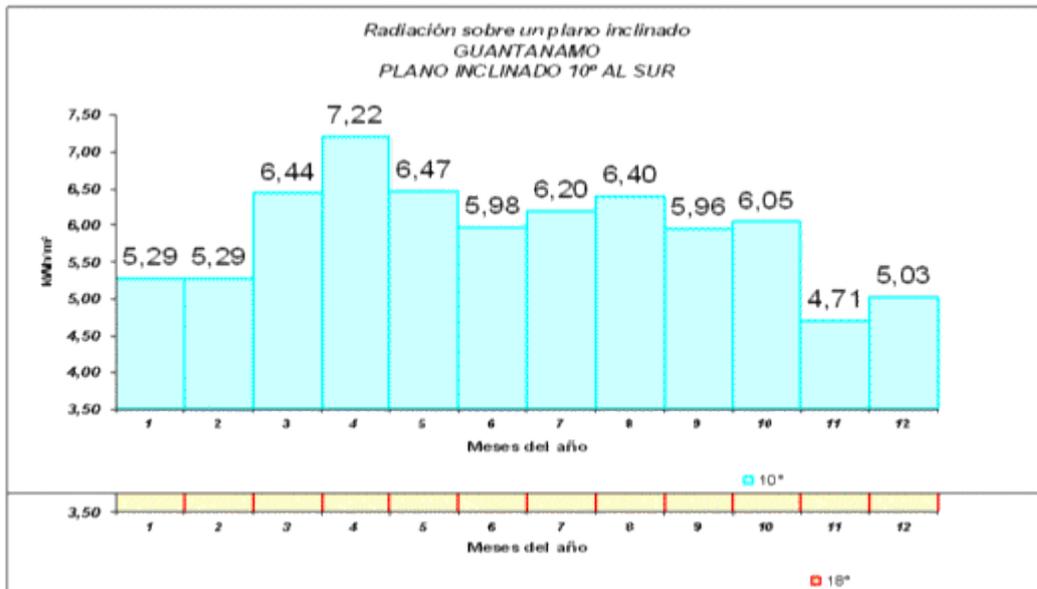


Fig. 5. Radiación sobre un plano inclinado 180 al Sur.

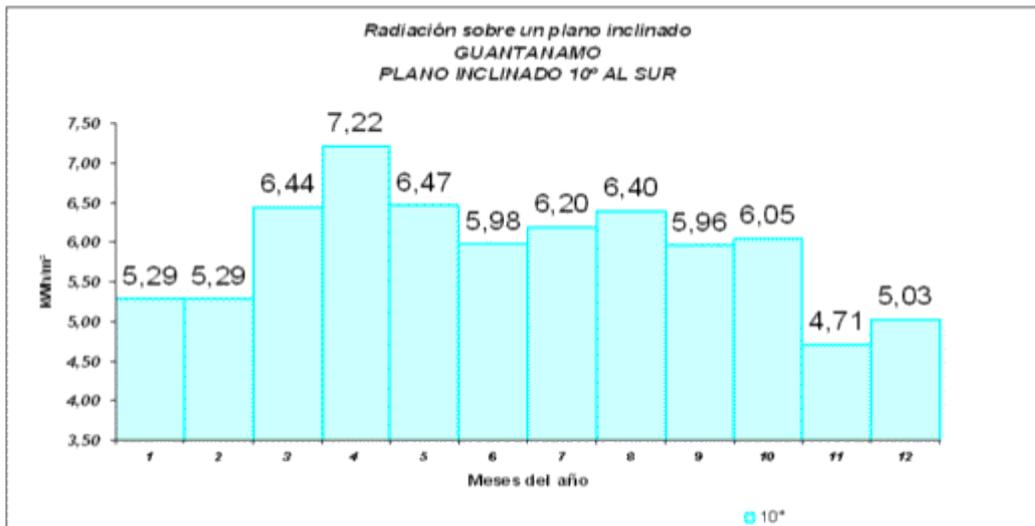


Fig. 6. Radiación sobre un plano inclinado 10° al Sur.

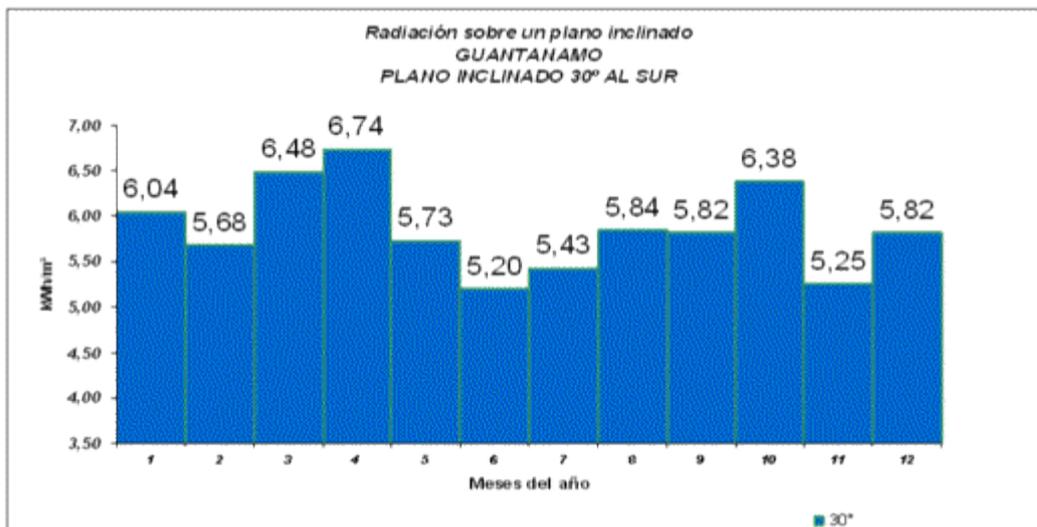


Fig. 7. Radiación sobre un plano inclinado 30° al Sur.

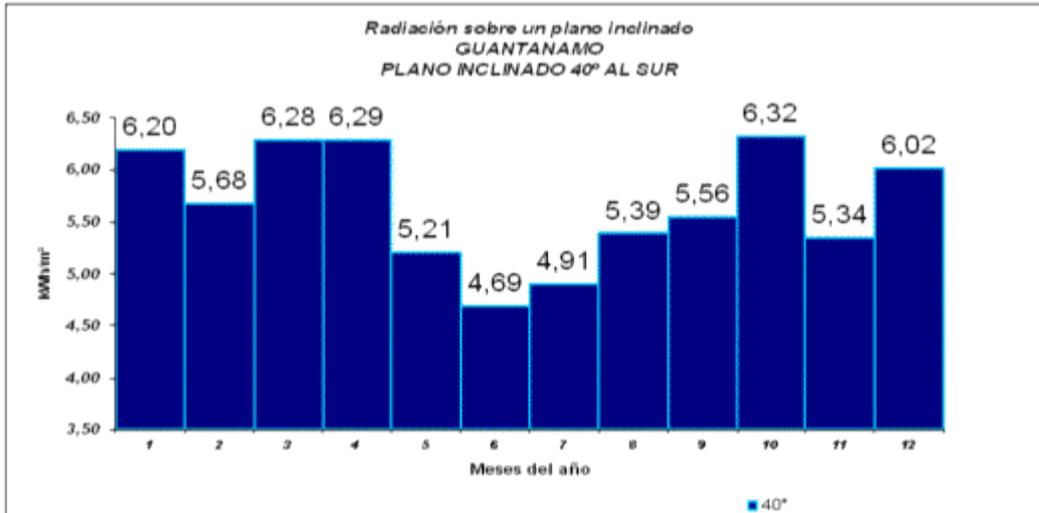


Fig. 8. Radiación sobre un plano inclinado 40° al Sur.

En la figura 8 se pueden observar los valores mínimos de la radiación incidente sobre un plano inclinado desde 0 a 45°. En los sistemas solares fotovoltaicos únicos y autónomos es muy importante tener en cuenta el valor mínimo de la radiación solar diaria, promedio mensual, recibida sobre el panel solar. El ángulo que se debe seleccionar es el que garantice el funcionamiento de la instalación en todas las épocas del año, en dependencia del consumo requerido.

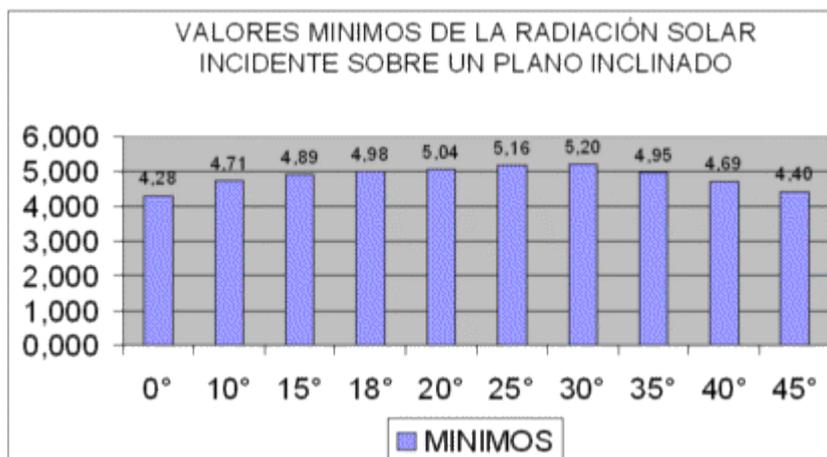


Fig. 9. Valores mínimos de la radiación solar incidente sobre un plano inclinado.

En las tablas 2 y 3 aparece el efecto del ángulo de inclinación β sobre la radiación solar incidente con relación a una superficie horizontal, y la relación entre las horas-sol-pico reales y horas sol-pico = 5.

En las aplicaciones en que el consumo de energía es relativamente constante a lo largo del año es suficiente una posición del captador. El ángulo de inclinación del captador debe ser $0,9 \phi$, donde ϕ es la latitud del lugar.

Tabla 2. Efecto del ángulo de inclinación β

Efecto del ángulo de inclinación sobre la radiación solar incidente con relación a una superficie horizontal		Relación entre las horas-sol-pico reales y horas sol-pico=5
1	0°	1,15258844
1,03	10°	1,18471326
1,03	15°	1,1914981
1,04	18°	1,19439908
1,04	20°	1,19364034
1,03	25°	1,18621168
1,02	30°	1,17418065
1,00	35°	1,15600672
0,98	40°	1,13184324
0,96	45°	1,10189721

En aplicaciones en que el consumo de energía es mayor en los meses de verano puede ser conveniente considerar dos posiciones: una posición de invierno con un ángulo de inclinación de 30°, y una posición de verano con un ángulo de inclinación de 10°. Los dos cambios de posición, que es necesario realizar anualmente, han de hacerse en marzo y septiembre respectivamente (Tabla 3).

Por esta razón, tradicionalmente en Cuba se ha recomendado [Bérriz, 1977] para las instalaciones de calentadores y sistemas fotovoltaicos de los consultorios y escuelas, la inclinación de 30° al Sur, pero esta recomendación es sólo orientadora y no puede ser esquemática, pues deben tenerse en cuenta muchos otros factores.

No obstante, también es usual adoptar una inclinación fija de 20° o la equivalente al lugar, con lo cual se optimizará la utilización de la energía solar a lo largo del año, para una única inclinación del captador.

La inclinación de un captador con el ángulo óptimo significa un aumento de 4 % de la radiación solar incidente durante todo el año, con relación a la recibida en un plano horizontal, y solamente de 0,8 % con relación a la recibida por un plano con 10° de inclinación, o sea, insignificante.

Tabla 3. Ángulo de inclinación sobre la radiación solar incidente

Efecto del ángulo de inclinación sobre la radiación solar incidente en los meses de diciembre, enero y febrero, con relación a una superficie horizontal radiación en plano β° /radiación plano $\beta=0^\circ$	
1	0°
1,11	10°
1,15	15°

1,18	18°
1,19	20°
1,22	25°
1,25	30°
1,26	35°
1,27	40°
1,28	45°

Conclusiones

La colocación más favorable de las superficies captadoras de la radiación solar será aquella que, en función de la aplicación a que se destine el sistema, capta la mayor cantidad de energía posible. Para el dimensionamiento de los captadores de los sistemas fototérmicos y fotovoltaicos se plantea que lo ideal es inclinarlos sobre la horizontal, la latitud del lugar más 10°. De esta forma obtendremos el máximo rendimiento en invierno.

El ángulo que se seleccione dependerá de la forma en que se utilice la instalación; esto es, la estipulación de que funcione principalmente en invierno, verano o durante todo el año determinará, en cada caso, una inclinación diferente para el captador. Si se desea un máximo rendimiento anual, se recomienda darles a los colectores una inclinación de $0,9 \phi$, donde ϕ representa la latitud del lugar.

Si se tiene en cuenta solamente el período de diciembre a febrero, una inclinación de 30° al Sur aumenta la radiación incidente 25 % con relación a la recibida en el plano horizontal. Sin embargo, si se tiene en cuenta todo el año, el aumento de radiación es de solo 2 % e inferior en 1 % a la recibida en un plano con inclinación de 10°.

El sistema de acumulación de energía térmica o eléctrica se calcula para las variaciones entre el día y la noche y para garantizar la autonomía del sistema con nubosidad por mal tiempo, de dos o tres días como máximo. El almacenamiento de energía para meses es incosteable.

Bibliografía

- GARG, H. P. «Treatise on Solar Energy». *Fundamentals of Solar Energy*. Vol. 1: John Wiley & Sons, 1982.
- DUFFIE, J. A. Y W. A. BECKMAN. *Solar energy thermal processes*. Madrid: Ed. Pergamon Press, 1996.
- BÉRRIZ, L. «Cálculo de colectores e instalaciones solares». Informe científico-técnico No. 3. Academia de Ciencias de Cuba, 1977.
- CAÑADA L. Y J. M. PINAZO. *Energía solar fototérmica: fundamentos para su aprovechamiento*. Tomo 2. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia. Instituto de Nuevas Energías. Servicio de Publicaciones, España, 1980.
- YÁNEZ PARAREDA, GUILLERMO. *Energía solar, edificación y clima (Elementos para la arquitectura solar)*. Ministerio de Obras y Urbanismo, Servicio de Publicaciones, t. 1, 1982

Torrefacción de residuos agrícolas y forestales

Agricultural and Forestry Waste Drying

D. Tito Ferro

*Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA),
National Center of Applied Electromagnetism (CNEA)
Universidad de Oriente.*

L. González

*Universidad de Barcelona,
08007, Barcelona, España.*

P. Beaton Soler

*Vicerretoría de Investigaciones y Posgrado,
Vice Rector Office for Research and Post-Graduate Studies
Universidad de Oriente.*

R. Zanzi

*Department of Chemical Engineering and Technology, Chemical Reaction Engineering.
Royal Institute of Technology (KTH) 10044 Stockholm, Sweden.*

e-mail: rolando@ket.kth.se; daria@cnea.uo.edu.cu y pbeaton@pbs.uo.edu.cu

Resumen

Se presenta un trabajo sobre torrefacción de biomasa realizada en un reactor de laboratorio que posee un diámetro de 0,04 m y un largo de 0,5 m. Las biomásas utilizadas son: pino, alfalfa, bagazo de caña de azúcar, pellets de aserrín de madera y pellets de paja de trigo. Las biomásas fueron sometidas a tratamiento térmico a tres temperaturas (230, 250 y 280 °C) y tres tiempos de residencia (1, 2 y 3 h). Se estudia el efecto del tipo de biomasa utilizada, temperatura y tiempo de residencia, sobre las propiedades de los productos. Los productos sólidos obtenidos son caracterizados con contenido energético, humedad, cenizas y análisis elemental. Los productos gaseosos de la torrefacción son analizados por cromatografía gaseosa. El tipo y composición de la biomasa influye en la distribución de los productos obtenidos. Durante la torrefacción ocurren cambios en las propiedades físicas y químicas de la biomasa. El contenido de carbono fijo y la densidad energética aumentan con el tiempo y la temperatura, mientras que el rendimiento en peso del producto sólido disminuye. La biomasa torrada tiene propiedades hidrofóbicas y un poder calorífico mayor que la biomasa sin torrar.

Palabras clave: Torrefacción, biomasa, madera, bagazo, pirólisis moderada, pellets.

Abstract

The paper presents a work on biomass roasting in a laboratory with a reactor tube (0.5 m long and 0.04 m diameter). The biomasses used were pine, lucerne, sugar cane bagasse, wood pellets and wheat straw pellets. The biomasses were heated at three temperatures (230, 250 and 280 °C) and at three residence times (1, 2 or 3 hours). Studies were carried out to see the effect of the type of biomass used along with the temperature and residence time on the properties of the products. The solid products obtained are

described in terms of energy contents, humidity, ashes and elemental analysis. The gas products of roasting are analyzed by gas chromatography. The type and composition of biomass influence on the distribution of the products obtained. During the process of roasting, biomass undergoes changes in its physical and chemical properties. The fixed carbon content and energy density increase with a longer time and a higher temperature of roasting, while the yield in weight of the solid product decrease. Roasted biomass has hydrophobic properties and a higher calorific value than the raw material.

Key words: Roasting, biomass, wood, bagasse, medium pyrolysis, pellets.

Introducción

La biomasa tiene algunas desventajas como combustible (bajo valor calórico, alto contenido de humedad, naturaleza higroscópica). La torrefacción es un método para el mejoramiento de las propiedades de la biomasa como combustible. Consiste en el calentamiento lento de la biomasa en atmósfera inerte y a una temperatura máxima de 300 °C [Fonseca, 1998]. Se produce un producto sólido uniforme con bajo contenido de humedad y alto poder calorífico comparado con la biomasa inicial.

El proceso puede ser llamado también pirólisis moderada, con remoción de los productos que producen el humo y la formación de productos sólidos que retienen aproximadamente el 70 % del peso inicial y entre 80-90 % del contenido de energía [Arcate, 2000].

Cuando la biomasa se calienta, en primer lugar se produce el secado. El calentamiento remueve además nuevas cantidades de agua producto de las reacciones químicas a través del proceso de termocondensación, el cual ocurre por encima de 160 °C, así como la formación de CO y CO₂. A temperaturas entre 180-270 °C tiene lugar una reacción exotérmica, y a continuación la degradación de la hemicelulosa. La biomasa comienza a tostarse y desprende humedad, CO₂ y grandes cantidades de ácido acético con algunos fenoles. Estos compuestos tienen bajo valor energético.

La biomasa torrada puede sustituir al carbón vegetal en gran número de aplicaciones, como combustible para cocinas de leña, domésticas para calentamiento de residencias, producción de biomasa pelletizada y en briquetas para uso comercial y doméstico [Bourgeois y Doat, 1985; Girard y Shah, 1991; Battacharya *et al*, 1995]. Puede ser usada como combustible en la industria. Con un intervalo entre 30 y 35 % de carbón fijo, es un excelente agente reductor [Girard y Shah, 1991] y puede ser mezclada con carbón mineral y quemada en una caldera de carbón mineral pulverizado.

Una ventaja importante de la madera torrada, en comparación con la madera original, es su uniformidad. Debido al bajo contenido de humedad de la madera torrada, la calidad del combustible es mejor y el costo del transporte menor. Las propiedades de la madera torrada deberían implicar un mejoramiento en la operación de los gasificadores, donde la estabilidad del proceso es importante [Bourgeois y Doat, 1985].

Materiales y métodos

En cada experimento se utilizan 65 g de biomasa. Se usa un flujo de nitrógeno de 5 L/h como gas inerte. El reactor se calienta a 230 0C, 250 0C y 280 0C, y la biomasa es mantenida a la temperatura final durante un período determinado (1, 2 y 3 h); después se apagan los calentadores eléctricos. Concluido el tratamiento se deja enfriar el reactor. Antes de cada experimento se hacen circular 12 L de nitrógeno para evitar la presencia de oxígeno en el reactor.

El producto sólido torrado es pesado y caracterizado. Se estudia la influencia de las condiciones experimentales (temperatura y tiempo de residencia) sobre la distribución de los productos y sus propiedades.

Biomasa

Dos tipos de madera: alfalfa, pino y un residuo agrícola: bagazo de caña de azúcar son seleccionados como materia prima, además de dos tipos de biomasa densificada: pellets de madera y de paja de trigo.

El bagazo de caña de azúcar es el residuo sólido en los centrales azucareros después de la extracción de los jugos azucarados. La alfalfa es una planta perenne (*Medicago sativa*) de la familia de las leguminosas; resulta el pasto y la planta de heno más importante de América del Norte y crece extensamente en Argentina, Europa y Asia. Las muestras de pino son del norte de Suecia, del área de *Iggesund*.

Las muestras de pino y alfalfa son primeramente molidas, tamizadas y separadas en fracciones. La fracción de partículas con diámetro de 13,2 mm se usó en los experimentos con pino y lucern. Las muestras de bagazo no fueron tamizadas ni separadas en fracciones. Los pellets de madera tienen un diámetro de 6-8 mm y 5-15 mm de longitud. El diámetro de los pellets de paja de trigo varía entre 8-9 mm y poseen una longitud entre 5-30 mm.

La tabla 1 muestra el contenido de cenizas y humedad de las biomásas antes de someterlas al proceso de torrefacción.

Tabla 1. Biomásas

Biomasa	Ceniza lh (%)	Humedad (%)
Pino	0,1	6,4
Alfalfa	6,6	6,0
Bagazo	2,2	4,4
Pellets de aserrín madera	0,3	6,0
Pellets de paja de trigo	4,6	7,7

lh: libre de humedad

Equipo

La figura 1 muestra el equipo utilizado en los experimentos. Incluye un reactor cilíndrico y un equipo para la condensación de los productos líquidos y

medición de los productos gaseosos. El reactor (0,5 m de largo y 0,04 m de diámetro) es calentado por calentadores eléctricos. El reactor consiste en dos cilindros. La muestra se sitúa en el cilindro interior, el cual tiene una red metálica en la parte inferior. Este cilindro se puede sacar por arriba para facilitar la retirada de la biomasa torrada producida.

La parte exterior se halla conectada mediante una rosca a un tubo metálico, a través del cual los volátiles son transportados al equipo de separación de productos líquidos. Los volátiles se enfrían en el condensador de agua. El gas pasa a través de una columna que contiene algodón y pentóxido fosfórico como agente secante, y después es transportado a una bolsa. Posteriormente el gas es analizado en un cromatógrafo de gases. Se analiza la concentración de CO_2 , CO , CH_4 e hidrocarburos C_2 (etano, eteno y acetileno).



Fig. 1. Equipo de torrefacción.

Resultados y discusión

Tabla 2. Distribución de los productos de la torrefacción

Biomasa	Condiciones de torrefacción		Rendimiento de productos. Tanto por ciento, libre de humedad y ceniza			% Ceniza libre de humedad (lh)
	Temp. (°C)	Tiempo (h)	Sólido	Líquido	Gas	
Pino	230	1	95,5	3,4	0,8	0,23
	230	2	94,4	4,6	1,0	0,23
	250	1	93,5	4,9	1,2	0,23
	250	2	92,5	6,1	1,3	0,23
	280	1	88,1	8,5	2,9	0,24
	280	2	84,9	11,3	3,4	0,24
Lucern	230	1	87,0	11,5	1,5	7,60
	230	2	85,0	13,0	1,7	7,80
	250	1	81,6	16,0	1,9	8,10
	250	2	81,0	16,4	2,1	8,20
	280	1	71,6	24,1	3,9	9,20
	280	2	70,0	25,9	4,1	9,50
Bagazo	230	1	87,5	9,9	2,6	2,41
	230	2	85,0	10,0	5,0	2,66
	230	3	83,7	10,3	6,0	2,46
	250	1	78,9	10,7	10,4	2,84
	250	2	77,5	10,9	11,6	2,89
	250	3	75,4	12,6	12,0	2,97
	280	1	68,6	18,5	12,9	3,27
	280	2	64,7	20,5	14,8	3,46
	280	3	63,8	21,0	15,2	3,51
Pellets paja de trigo	230	1	95,0	5,0	0,1	4,75
	230	2	93,6	6,2	0,2	4,81
	230	3	92,4	8,3	0,3	4,89
	250	1	90,0	9,8	0,3	5,00
	250	2	89,1	10,5	0,4	5,07
	250	3	86,9	12,2	0,6	5,18
	280	1	79,9	19,1	1,0	5,60

	280	2	76,5	21,1	1,6	5,80
	280	3	74,9	22,5	2,0	5,93
Pellets aserrín madera	230	1	96,5	3,5	0,06	0,23
	230	2	95,5	4,4	0,10	0,23
	230	3	94,6	5,3	0,15	0,23
	250	1	94,4	5,5	0,15	0,23
	250	2	93,3	6,5	0,20	0,24
	250	3	92,5	7,2	0,30	0,24
	280	1	89,4	10,0	0,60	0,25
	280	2	86,7	12,3	1,00	0,25
	280	3	85,8	12,9	1,30	0,26

La tabla 2 muestra los rendimientos de los productos obtenidos en los experimentos realizados. La distribución de los productos es influenciada por el tipo y composición de la biomasa usada. En los experimentos con madera (pino y pellets de aserrín) se producen mayor cantidad de producto sólido y menor cantidad de líquido (agua-alquitrán) y gas, que en los experimentos con residuos agrícolas (alfalfa, bagazo y pellets de paja de trigo).

Como se esperaba, cuando la temperatura es aumentada de 230 °C a 280 °C, la producción de biomasa torrificada disminuye, mientras que la producción de gases y líquidos aumenta. El efecto de la temperatura sobre la distribución de productos es más pronunciada entre los 250 °C y 280 °C que entre los 230 °C y 250 °C. Un incremento del tiempo de duración de la torrefacción de 1 h a 3 h provoca una disminución en la cantidad de biomasa torrada debido al aumento de la cantidad de volátiles producidos.

La biomasa torrada tiene propiedades hidrofóbicas, de manera que no absorbe humedad del aire durante su almacenamiento. Después de un tiempo de almacenamiento de 15 días el contenido de humedad en las muestras torradas es de 2 % para las muestras de bagazo, 1.2 % para las de alfalfa y 1 % para pino, pellets de aserrín y pellets de paja de trigo. El contenido de humedad en el producto torrado es muy inferior al contenido de humedad en la biomasa de origen (aproximadamente 6 %).

Composición elemental

El análisis elemental de la biomasa y de sus productos torrados (Tabla 3) muestra que el contenido de carbono aumenta con la temperatura del torrado y que el contenido de hidrógeno y oxígeno decrece. Las pérdidas en oxígeno y hidrógeno se deben a la formación de agua, monóxido y dióxido de carbono durante la torrefacción.

A mayores temperaturas de torrefacción, el contenido de C en el producto sólido aumenta, mientras que disminuye el contenido de H y O. Por lo tanto, el poder calorífico (CV) del producto sólido torrado aumenta con la temperatura, A temperaturas sobre los 250 °C se observa un mayor efecto de la temperatura sobre el poder calorífico del producto torrado. También, cuando se incrementa el tiempo de residencia en la torrefacción aumenta el poder calorífico. El poder calorífico es calculado usando la composición elemental de la muestra [Ruyter, 1982]:

$$CV = 0,34 \% C + 1,40 \% H - 0,16 \% O \text{ (MJ/kg)}.$$

Los productos sólidos obtenidos en los experimentos con abedul, pino y bagazo tienen grados de carbonización similares (CV_p/CV_b). El grado de carbonización es calculado como la relación entre el poder calorífico del producto torrado y el poder calorífico de la biomasa inicial. El grado de carbonización aumenta con la temperatura.

Durante la torrefacción se producen cambios en la composición química de la biomasa. Como se muestra en la tabla 3, el contenido de carbono aumenta a expensas de una disminución del contenido de oxígeno e hidrógeno, por lo que las relaciones de cantidad de átomos H/C y O/C disminuyen.

Tabla 3. Análisis elemental y propiedades de las biomásas torradas

Biomasa	T (°C)	t (h)	C (% lhc)	H (% lhc)	N (%lhc)	^a O dif (% lhc)	CV (MJ/kg)	CV _p (CV _b)	ER %	H/C (relación)	O/C (relación)
Pino.MP			47,9	6,5	0,07	45,53	18,10			1,63	0,71
Pino	230	1	48,7	6,3	0,08	44,92	18,19	1,00	96,0	1,55	0,69
	230	2	48,9	6,3	0,08	44,72	18,29	1,01	95,0	1,55	0,69
	250	1	50,0	6,0	0,09	43,91	18,37	1,02	95,0	1,44	0,66
	250	2	50,3	5,9	0,09	43,71	18,37	1,01	94,0	1,41	0,65
	280	1	52,5	5,6	0,09	41,81	19,00	1,05	92,0	1,28	0,60
	280	2	52,7	5,5	0,14	41,66	18,95	1,05	89,0	1,25	0,59
Lucern MP			47,7	6,5	2,7	43,1	18,42			1,64	0,68
Alfalfa	230	1	48,7	6,3	3,2	41,8	18,69	1,01	88,0	1,55	0,64
	230	2	49,0	6,2	3,3	41,5	18,70	1,02	86,0	1,52	0,64
	250	1	50,7	5,7	3,2	40,4	18,75	1,02	83,0	1,35	0,60
	250	2	50,9	5,6	3,3	40,2	18,71	1,08	82,0	1,32	0,59
	280	1	54,1	5,3	3,6	37,0	19,89	1,08	77,0	1,18	0,51
	280	2	55,1	5,1	3,9	35,9	20,13	1,09	76,0	1,11	0,49
Bagazo MP			44,8	6,4	0,25	49,10	15,50			1,55	0,82

Bagazo	230 1	48,6	6,3	0,25	45,50	17,08	1,10	96,47	1,38	0,70
	230 2	48,8	6,3	0,26	45,30	17,18	1,11	94,26	1,38	0,70
	230 3	49,2	6,3	0,28	44,90	17,49	1,13	94,47	1,39	0,69
	250 1	50,6	6,2	0,30	43,50	18,08	1,06	92,04	1,33	0,64
	250 2	50,6	6,1	0,30	43,50	18,08	1,05	90,45	1,33	0,64
	250 3	51,5	6,1	0,32	42,50	19,69	1,07	90,94	1,33	0,62
	280 1	52,8	6,1	0,39	41,50	18,73	1,04	82,93	1,20	0,59
	280 2	54,7	6,0	0,41	39,50	19,84	1,10	82,83	1,18	0,54
	280 3	55,4	5,9	0,44	38,70	20,34	1,09	83,76	1,19	0,52
PPT MP		47,5	6,4	0,63	45,5	17,8	--	--	1,62	0,72
PPT	230 1	47,8	6,3	0,66	45,2	17,90	1,00	95,5	1,59	0,71
	230 2	47,9	6,3	0,69	45,1	17,90	1,00	94,1	1,57	0,71
	230 3	48,1	6,2	0,69	45,0	17,90	1,00	93,0	1,55	0,70
	250 1	49,0	6,1	0,79	44,1	18,21	1,02	92,1	1,50	0,67
	250 2	49,6	6,1	0,80	43,5	18,43	1,03	92,2	1,48	0,66
	250 3	49,6	6,1	0,80	43,5	18,46	1,04	90,1	1,48	0,66
	280 1	52,8	6,1	0,85	40,3	20,02	1,12	90	1,38	0,57
	280 2	53,8	6,0	0,92	39,3	20,40	1,14	87,7	1,34	0,55
	280 3	55,5	5,9	0,95	37,7	21,04	1,18	88,5	1,26	0,51
PAM MP		48,5	6,6	0,05	44,9	18,58	--	--	1,64	0,69
PAM	230 1	49,8	6,3	0,09	43,8	18,77	1,01	97,5	1,52	0,66
	230 2	50,4	6,3	0,09	43,2	19,02	1,02	97,8	1,49	0,64
	230 3	50,6	6,2	0,11	43,1	19,03	1,02	96,9	1,47	0,64
	250 1	50,7	6,2	0,12	43,0	19,05	1,03	96,8	1,47	0,64
	250 2	50,8	6,2	0,12	42,9	19,12	1,03	96,0	1,47	0,63
	250 3	51,0	6,2	0,12	0,24	19,24	1,04	95,8	1,46	0,63
	280 1	52,5	6,2	0,12	0,25	19,87	1,07	95,6	1,41	0,59
	280 2	53,0	6,2	0,13	0,25	20,13	1,08	94,0	1,40	0,58
	280 3	54,1	6,2	0,14	0,26	20,68	1,11	95	1,36	0,55

Leyenda:

PPT: Pellets de paja de trigo PAM: Pellets de aserrín madera MP: materia prima aO dif: el oxígeno es calculado por diferencia. CVp: Poder calorífico del producto torrado. CVb: Poder calorífico de la biomasa de origen. lh: libre de humedad y cenizas. lh: libre de humedad. RE: Recuperación de energía = CVp * rend, sólido / CVb. frelación = cantidad de átomos H / cantidad de átomos. C = (%H/1) / (%C/12). grelación = cantidad de átomos O / cantidad de átomos C = (% O/16) / (% C/12).

Composición de los productos gaseosos

La tabla 4 muestra la composición del gas obtenido durante la torrefacción.

Tabla 4. Composición de los productos gaseosos

Biomasa	T (°C)	t (h)	CH ₄ (% vol.)	C ₂ (% vol.)	CO ₂ (% vol.)	CO (% vol.)
Pino	230	1	bld	bld	83,8	16,2
	230	2	bld	bld	82,6	17,4
	250	1	bld	0,05	80,7	19,3
	250	2	0,05	0,07	79,8	20,1
	280	1	0,19	0,12	78,9	20,8
	280	2	0,19	0,16	77,9	21,7
Alfalfa	230	1	0,02	0,07	87,1	12,8
	230	2	0,04	0,07	86,9	13,0
	250	1	0,05	0,07	83,1	16,8
	250	2	0,06	0,07	80,8	19,0
	280	1	0,14	0,12	78,0	21,8
	280	2	0,21	0,16	75,5	24,1
Bagazo	230	1	bld	0,05	84,4	15,5
	230	2	bld	0,06	83,0	16,9
	230	3	0,2	0,08	81,1	18,6
	250	1	bld	0,10	78,1	21,8
	250	2	bld	0,10	77,1	22,8
	250	3	0,4	0,10	73,5	26,0
	280	1	0,1	0,06	78,1	21,7
	280	2	0,3	0,13	75,5	24,0
	280	3	0,8	0,17	71,0	28,0
Pellets de paja de trigo	230	1	bld	0,04	77,0	23,0
	230	2	bld	0,05	76,2	23,8
	230	3	bld	0,06	75,9	24,0
	250	1	0,08	0,07	73,2	26,7
	250	2	0,11	0,08	73,0	26,9
	250	3	0,12	0,15	72,7	27,0
	280	1	0,13	0,13	71,6	28,1
	280	2	0,15	0,35	71	28,5

	280	3	0,23	0,43	68,5	30,8
Pellets de aserrín de madera	230	1	bdl	0,05	78,7	21,25
	230	2	bdl	0,06	78,4	21,59
	230	3	0,22	0,07	75,4	24,29
	250	1	0,23	0,07	74,3	25,4
	250	2	0,34	0,08	72,3	27,3
	250	3	0,37	0,09	70,8	28,8
	280	1	0,52	0,09	70,2	29,4
	280	2	0,37	0,12	66,2	33,3
	280	3	0,34	0,15	64,5	34,9

Leyenda: bld: bajo límite de detección

Las mayores temperaturas favorecen la producción de CO, metano e hidrocarburos C₂, mientras que disminuye el porcentaje de CO₂ en el producto gaseoso (ver Tabla 4). El efecto de la temperatura sobre la composición del producto gaseoso es más pronunciado entre 250 y 280 °C que entre 230 y 250 °C. Mayores tiempos de residencia producen el mismo efecto sobre la composición de los productos gaseosos, que un aumento de la temperatura.

Conclusiones

El tipo de biomasa influye sobre la distribución de los productos. Las muestras de madera (pino, pellets de aserrín) producen más producto sólido y menos productos líquidos y gaseosos que los residuos agrícolas estudiados (alfalfa, bagazo y pellets de paja de trigo). El rendimiento de productos sólidos disminuye, mientras que el de líquido y gas aumenta con la temperatura y el tiempo de residencia.

El contenido de carbono en el producto sólido aumenta a temperaturas más elevadas y a tiempos de residencia más largos, mientras que el contenido de hidrógeno y oxígeno disminuye. Por lo tanto, el poder calorífico de la biomasa torrada aumenta con la temperatura y el tiempo de residencia.

El contenido de CH₄, CO e hidrocarburos C₂ en el producto gaseoso aumenta con la temperatura, mientras que el porcentaje de CO₂ disminuye. El contenido de humedad es mucho menor en el producto torrado, que en la biomasa de partida.

Bibliografía

FONSECA FELFLI, F.; C. A. LUENGO, G. BEZZON AND P. BEATON SOLER. «Bench unit for biomass residues torrefaction». *Biomass for Energy and Industry*. Proceeding of Int, Conf, Würzburg. Germany: 8-11 June, Ed, by Kopetz, Weber, Palz, Chartier and Ferrero, C.A.R.M.E.N. Rimpf Germany, 1998. pp.1593-1595.

ARCATE, J. R. «New process for torrefied wood manufacturing». *Bioenergy update*. No. 4, vol, 2, April 2000

(<http://www.techtp.com/Bioenergy%20Update%20.pdf>).

BOURGEOIS, J. P. AND J. DOAT. «Torrefied wood from temperate and tropical species: Advantages and prospects». *Bioenergy 84*. Proceedings of an Int. Conf. on bioenergy in Göteborg, Vol.3, 1985. pp.153-159, Elsevier Applied Science Publishers.

GIRARD, P. AND N. SHAH. «Developments on Torrefied Wood an Alternative to Charcoal», from REUR Technical Series No. 20, Charcoal Production and Pyrolysis Technologies, 1991. pp.101-114, publ. by the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

BATTACHARYA, S. C., S. JUNGTIYNONT, P. SANTIBUPPAKUL AND V. M. SINGAMSETTI. «Some aspects of screw press briquetting». Int. *Workshop on Biomass Briquetting*, New Dehli, 3-5 April, 1995.

RUYTER, H. P. «Coalification model», *Fuel* 61, 1982. p. 1182.

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

Thermal Load in Controlled Air-Conditioning Chambers, Using Solar Energy

*Sergio Corp Linares y Manuel Álvarez González
Centro de Gestión de Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGIA),
del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).
Information Management and Energy Development Center (CUBAENERGIA),
Ministry of Science, Technology and Environment (CITMA).
e-mail: malvarez@cubaenergia.cu y sergio@cubaenergia.cu*

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

Palabras clave: carga térmica, balance térmico, cámara de clima controlado

Abstract

Prior to choosing air-conditioning equipments, thermal load determination is required since it provides information on the room thermal performance. Knowing the thermal charge is not only useful for human comfort, but it also serves other aims, for example, in sites where fuel materials are stored, fire risks should be evaluated; in controled chambers this practice, enables to accurately estimate the natural thermal conditions which should be modified on account of organisms development. At any rate, an accurate thermal balance leads to carry out a dependable air-conditioning system. This article deals with the thermal load analysis of an air-conditioning chamber controled by solar energy termed «climate controled chamber» in Spanish.

Keywords: thermal load, thermal balance, climate controled chamber

Introducción

Las cámaras de clima controlado son recintos en el que se crean, de forma artificial, condiciones necesarias para un grupo de actividades, como son la micropropagación y el crecimiento de plantas, entre otras. Estos ambientes controlados resultan de gran utilidad, puesto que permiten la obtención de un producto fuera de su hábitat natural y durante diferentes estaciones climatológicas.

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

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

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

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

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

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

Desarrollo

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

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

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

Métodos de cálculo de la carga térmica

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

1. Método de función de transferencia (TMF).

Es uno de los procedimientos más utilizados y tiene como fundamento estimar las cargas hora por hora, lo que predice en alguna medida las condiciones del espacio interior.

Esto debe ser apoyado con programas de control y de operación. Es aplicado para el cálculo de flujo unidimensional de transferencia de calor en paredes y techos soleados.

2. Método de cálculo de cargas por temperatura diferencial y factores de carga de enfriamiento (CLTD/CLF).

Es el método que debe ser aplicado al considerarse como la primera alternativa de procedimiento el cálculo manual y computarizado. Resulta simplificado, por utilizar el coeficiente global de transferencia de calor para calcular la carga de enfriamiento para techos y paredes, y presenta resultados satisfactorios, por lo que es adecuado para cálculos ingenieriles. Así, la ecuación básica para carga de enfriamiento en superficies exteriores es $q = K \cdot A \cdot (CLTD)$, donde K resulta el coeficiente global de transferencia de calor; A , el área de transferencia de calor, y $CLTD$, la diferencia de temperaturas. Actualmente los valores de K están tabulados en la literatura especializada.

3. Método de valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio (TETD/TA).

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

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

4. Actualmente está en desarrollo experimental el método de cálculo de cargas térmicas por balance de calor.

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

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

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

Determinación de la carga térmica en el veranero

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

ESQUEMA GENERAL DEL VERANERO

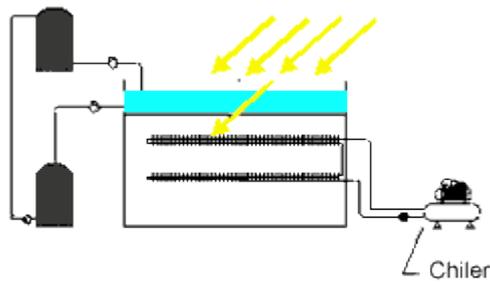


Figura. 1

Leyenda:



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



Fig. 1. Medidor de carga térmica.

Comportamiento de la transferencia de calor en el veranero

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

El mayor peso en el balance de calor se debe a la radiación solar que penetra a través del techo, que es el filtro óptico líquido; una vez en el interior, la radiación realiza reflexiones múltiples en las paredes del local e incrementa la temperatura de éstas y del aire interior. Una parte de la radiación es reflejada al exterior a través del propio filtro.

La transferencia de calor por conducción se verifica a través de las paredes y del techo debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior.

Toda la ganancia de calor en el veranero se traduce como un incremento de la temperatura del aire que se transmite por convección natural a todas las zonas del veranero a través del propio aire. La convección también se manifiesta con el flujo de CO_2 que se suministra para el adecuado desarrollo de los organismos. Las luces, los ocupantes y demás aplicaciones ubicadas en el interior, así como las infiltraciones de aire por rendijas y aperturas de puertas intensifican la transferencia de calor convectivo en el veranero.

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

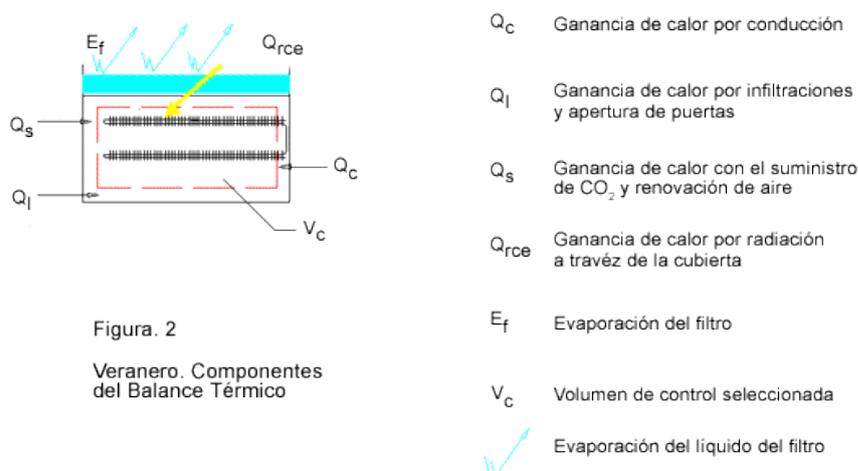
Aplicación del método de cálculo

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

- Balance energético general del veranero.
- Determinación de los datos atmosféricos: Cálculo de la radiación solar y propiedades psicrométricas del aire ambiente y estimación de la velocidad del viento.
- Ganancia de calor directa por el techo.
- Ganancia de calor por conducción a través de las paredes.
- Ganancia de calor con el suministro de CO_2 y renovación de aire.
- Ganancia de calor por infiltraciones y aperturas de puertas.
- Cálculo de las pérdidas por evaporación del filtro óptico.
- Cálculo de la temperatura del aire en el veranero.

Consideraciones

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



- El cálculo de la carga térmica por la radiación incidente es horario y se determina desde las 6:00 a.m. hasta las 7:00 p.m.
- Parte de la radiación solar sale a través del propio filtro óptico.

- Las paredes interiores se pintan de blanco considerando invariable el valor de reflexividad.
- En el filtro óptico líquido la superficie no tiene ondulaciones.
- No se consideran cultivos interiores.

En los cálculos se tiene en cuenta que la radiación solar que pasa a través del filtro es la total, que incluye la directa y la difusa, y para el interior del veranero sólo se considerará la radiación solar directa.

Balance energético general del veranero

La aplicación al veranero del primer principio de la termodinámica

$$Q_{RCF} + Q_s + Q_c + Q_I = Q_T \quad (1)$$

Donde:

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

Q_s Ganancia de calor con el suministro de CO₂ y renovación de aire.

Q_c Ganancia de calor por conducción a través de las paredes.

Q_I Ganancia de calor por infiltraciones y aperturas de puertas.

Q_T Calor total intercambiado.

La cantidad de calor que penetra con la radiación solar es

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

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

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

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

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

Donde:

H Radiación solar directa

τ Transmisividad del filtro a la radiación solar directa.

ρ_e Reflexividad efectiva

α_e Absorbencia efectiva

Para determinar la absorbencia efectiva de una combinación ventana-habitación Duffie

y Beckman [Yáñez, 1982] proponen la siguiente expresión, la cual será aplicada al sistema filtro óptico-interior del veranero.

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

Donde:

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

τ_D Transmisividad de la radiación.

ρ_T Reflexividad de las superficies interiores

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

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

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

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

La principal fuente de producción del dióxido de carbono en locales suele ser la respiración humana y el fumar. El CO₂ es incoloro, inodoro con densidad absoluta 1,98 g/l; puede ser considerado un gas inerte. No se hallan descritos efectos sobre el organismo humano

a bajas concentraciones. En cámaras de clima controlado la actividad de las plantas consume las concentraciones existentes, por lo que debe suministrarse en las cantidades adecuadas.

Determinación de las reflexividades y transmisividades

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

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

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

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

El principio físico de la transmisividad de la radiación solar a través de filtros líquidos y las expresiones de cálculo se analizan en la fórmula (4).

Cálculo de la carga térmica del veranero

Considerando todos los elementos descritos en este artículo se realizó el programa de computación CALTERM en Excel y ambientado con Visual Basic. El método de cálculo utilizado se describe anteriormente en el epígrafe Aplicación del método de cálculo.

En la tabla 1 se muestran los resultados del programa para el 16 de junio 2004 en la Ciudad de la Habana.

Tabla 1. Resultados del programa CALTERM

Lugar		Ciudad de La Habana				
ϕ Latitud,		grados	minutos			
		23	6			
Día	Mes	Año				
16	6	2004				
Hora del día	7	8	9	10	11	12
Radiación total horaria W/m ²	413.47	602.12	743.69	839.52	894.08	911.68
Carga térmica solar W/m ²	163.55	238.17	294.17	332.082	353.66 ₂	360.625
Ganancia de calor convectiva W/m ²	13.39	26.01	28.52	30.58	31.39	32.53
Ganancia de calor radiante W/m ²	34.62	38.82	41.34	43.15	44.21	44.50
Variación de temperatura °C	5.20	10.81	12.01	12.85	13.31	13.50
Temperatura sol aire °C	35.25	37.87	39.72	40.97	41.69	41.57
Solución evaporada, kg./h	11.02	10.69	10.36	10.02	9.69	8.83
Hora del día	1	2	3	4	5	6
Radiación total horaria W/m ²	894.08	839.52	743.69	602.12	413.47	182.56
Carga térmica solar W/m ²	353.662	332.082	294.173	238.174	163.55 ₃	72.214
Ganancia de calor convectiva W/m ²	32.34	31.36	30.00	30.97	28.48	26.47
Ganancia de calor radiante W/m ²	44.49	43.40	41.63	39.41	36.21	32.40

Variación de temperatura °C	41.69	40.97	39.72	37.87	35.41	32.39
Temperatura sol aire °C	13.37	12.90	12.10	11.09	9.54	4.21
Solución evaporada, kg./h	9.16	9.49	9.83	10.16	10.49	13.68
Solución evaporada, l/día	123.42					

Análisis de los resultados

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

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

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

Conclusiones

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

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

Bibliografía

ÁLVAREZ G. M.; L. BÉRRIZ Y L. VÁZQUEZ. «Propiedades ópticas de filtros líquidos para veraneros», en *Eco Solar*, No. 9, jul.-sep., 2004.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), www.ashrae.org. Diciembre de 2004.

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

YÁNEZ PARAREDA, GUILLERMO. *Energía solar, edificación y clima*. Ministerio de Obras Públicas. España: 1982.

Recomendaciones de diseño para disminuir el consumo de energía en los hoteles de playa en Cuba

Design Recommendations to Lower Power Consumption in Cuban Beach Hotels

*Dr. Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán
Departamento de Diseño, Facultad de Arquitectura,
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), La Habana, Cuba.
Design Department, Architecture Faculty,
José Antonio Echeverría Higher Polytechnical Institute (ISPJAE), Havana City, Cuba.
e-mail: rueda@arquitectura.cujae.edu.cu*

Resumen

El desarrollo turístico en Cuba es una importante prioridad para el país, y se concentra fundamentalmente en las playas y costas de la Isla, donde se han construido y se construyen numerosos alojamientos con fines turísticos, lo que ocasiona impactos ambientales. Estas instalaciones se convierten en colosos consumidores de energía debido, entre otras razones, a inadecuadas soluciones de diseño arquitectónico, entre las que se pueden citar usos inapropiados de los elementos de protección solar y deficiente calidad de la envolvente arquitectónica, en ocasiones por la minimización de los problemas asociados al funcionamiento físico-ambiental de los edificios por parte de los arquitectos. Las habitaciones constituyen los espacios donde el turista permanece por más tiempo y el elemento que más se repite para conformar el subsistema de alojamiento y por tanto sus soluciones de diseño, que influyen en la carga térmica transmitida al espacio interior y repercuten de forma directa en el consumo de energía por climatización artificial de la instalación hotelera. En esta investigación se estudian y se evalúan, mediante sistemas automatizados aplicados al diseño, las variables que más influyen en el consumo energético de las habitaciones de los hoteles de playa, con vistas a proponer vías de solución que con un diseño arquitectónico más apropiado permitan reducir el consumo de energía por climatización artificial en los hoteles de playa en Cuba.

Palabras clave: consumo energético en hoteles, carga térmica, climatización artificial

Abstract

Tourism development in Cuba is a major priority and is mainly focused on beaches and coastlines where many tourist facilities were and are being built, thus causing environmental impacts. These facilities are turned into colossal energy consumers, due to several reasons: inadequate solutions of architectural designs, among which the inadequate use of solar protection and the poor quality of architectural structures can be listed. Also, on some occasions, this is due to the fact that problems, associated with physical and environmental operation of buildings by architects, are not tackled. Rooms are the sites where tourists stay most of the time and the most repetitive element to be build in the accommodation subsystem, so solutions on design are the ones

which influence the thermal charge released to the interior space, causing a direct impact on energy consumption in terms of hotel artificial air-conditioning. This research work through computerized design systems, studies and reviews those variables which are more influential on power consumption in beach hotel rooms, and thus solutions are proposed using a more proper architectural design, thus allowing a reduced power consumption in artificial air-conditioning in Cuban beach hotels.

Keywords: energy consumption in hotels, thermal load, artificial air-conditioning

1. Introducción

Se ha planteado que «el turismo está transformando la economía del país y representa el sector más dinámico de crecimiento de las inversiones» [Bérriz, *et al.*, 1995] y el desarrollo prospectivo de la actividad turística ha sido una prioridad para el gobierno cubano en la última década. Hoy día constituye el recurso económico más importante de la economía cubana al superar la suma de más de 2 100 millones de USD como fuente de ingresos [OHT, 2000].

El Ministerio del Turismo (MINTUR) establece en sus programas de desarrollo, el acelerado crecimiento del producto «playa» en un 74,6 %, lo que representará las tres cuartas partes del producto turístico en los próximos veinte años [MINTUR, 1998].

Este desarrollo se localiza fundamentalmente en las zonas costeras: playas, cayos e islotes. La península de Varadero y la cayería de Jardines del Rey, con 15 552 y 3 300 habitaciones en explotación, respectivamente, constituyen los polos por excelencia de mayor desarrollo en la actualidad, y por consiguiente de llegada de visitantes, aunque ya otros comienzan a crecer vertiginosamente [MINTUR, 2002 (b)].

Sin embargo, numerosos son los problemas que se aprecian en el diseño de los hoteles ubicados en las playas. A los problemas medioambientales se suman la pérdida de identidad local y nacional, como se planteó en al Primera Convención de Turismo del Nuevo Milenio [MINTUR, 2001]. Y de hecho han recibido atención en estas agendas los aspectos relacionados con el alto consumo de energía de las instalaciones turísticas, cuya solución se hace imprescindible debido a su impacto económico y ecológico, tal como se hizo constar en la segunda edición de la Convención ya citada [MINTUR, 2002 (a)].

Reiterados son los problemas asociados al alto consumo energético de las habitaciones en los hoteles con Destino Sol y Playa (HDSP), como son: inadecuada orientación de la planta habitacional (PH), ausencia y usos inapropiados de los elementos de protección solar, inadecuados cierres opacos y transparentes, uso de tipologías habitacionales no apropiadas, por sólo citar algunos. Esto no solamente se debe a la importación de proyectos del exterior o al poco surtido y la disponibilidad de recursos, sino también a la omisión o minimización de los requerimientos asociados al funcionamiento físico-ambiental de las instalaciones turísticas, como consecuencia, en ocasiones, del desconocimiento de las alternativas y respuestas que ofrecen un enfoque bioclimático de la arquitectura.

Este trabajo permitirá evaluar cómo influyen las variables de diseño en el consumo de energía eléctrica en los HDSP con vistas a proponer recomendaciones de diseño para el ahorro energético, valiéndose de medios informáticos aplicados.

2. Antecedentes

En Cuba existen experiencias previas que abordan la influencia y evaluación de las variables

de diseño, en el consumo energético de las edificaciones. En la Tesis de Doctorado «Reducción de la ganancia de calor en las edificaciones climatizadas» se proponen espesores recomendables de aislamientos térmicos para paredes y cubiertas expuestas, y se estudian además diferentes tipos de vidrios para ventanas sin proteger [Díaz, 1986].

La Norma Cubana 220-1 (2001) analiza el papel de la envolvente del edificio, en el epígrafe titulado «Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética» [NC, 2001].

Este estudio establece requisitos muy generales de diseño para evaluar el comportamiento energético de un edificio, con independencia del programa arquitectónico; pero existen aspectos relacionados con la envolvente, la forma del edificio y el espacio interior que son estudiados en el trabajo con mayor profundidad y especificidad.

Por otra parte, profesores e investigadores del Centro de Estudio de Tecnologías y Energías Renovables (CETER) de la Facultad de Ingeniería Mecánica (ISPJAE), en conjunto con especialistas de TECNOMAT CARIBE, S.A. [TECNOMAT CARIBE, 2002], han acumulado también una experiencia de trabajo muy valiosa, enfocada hacia la influencia de la ventana con marco de PVC y vidrio selectivo, en el consumo de energía de las habitaciones hoteleras.

También se tienen en cuenta las experiencias internacionales, que en su mayoría están dirigidas al tema de la vivienda y los edificios públicos, pero que además son aplicables a las habitaciones hoteleras. Estos estudios hacen énfasis en los materiales de las ventanas, más que en su diseño, que sí se detalla en el presente trabajo [Rueda, 2003 (a)].

3. Método

A partir de la definición de las variables de diseño que intervienen en el ambiente térmico interior (no visual) mediante la carga térmica transmitida hacia el espacio interior y que condiciona el consumo de energía por climatización en las habitaciones hoteleras [Rueda, 2003 (a)], se evaluó su influencia en el objeto de estudio mediante la simulación de casos y la utilización de un sistema automatizado. Se compararon los resultados obtenidos en uno de los casos con mediciones a escala real, verificándose la utilidad del software. Se elaboraron, con posterioridad, las recomendaciones de diseño.

4. Resultados

4.1. Selección y uso del software para la simulación

En la actualidad el uso de los programas automatizados para la simulación del comportamiento térmico de las edificaciones no es una novedad; sin embargo, en Cuba su aplicación se puede considerar aún incipiente. Su uso en las instalaciones hoteleras tiene lugar mayormente en las empresas de proyecto dedicadas al diseño de este tipo de programa arquitectónico, por parte de especialistas en clima, fundamentalmente ingenieros mecánicos, y en centros de investigación vinculados a las universidades (CETER, CUJAE), con el propósito de diseñar los sistemas de climatización, y en ocasiones para fundamentar la selección del tipo de ventana que se va a utilizar en las habitaciones. Sin embargo, no han sido empleados para la evaluación integral de las soluciones de diseño.

De los múltiples programas desarrollados a escala internacional para la evaluación de la iluminación, ventilación, transferencia térmica y comportamiento de ventanas [García, 2003 y Llamas, 2003], se ha escogido para su empleo en el presente trabajo el DEROB LTH (Respuesta Dinámica a la Energía de los Edificios), creado en Texas en 1979 y desarrollado y perfeccionado posteriormente por la Universidad de Lund en 1999. La selección de este programa responde a que es el único disponible en Cuba (en su versión más actual y completa) para los fines de este trabajo, a la existencia de varios especialistas entrenados en su uso, y además que ya ha sido aplicado en el país con resultados satisfactorios por el Ministerio de la Construcción, el CETER y la propia Facultad de Arquitectura.

El programa consiste en ocho módulos, seis de los cuales se utilizan para calcular los valores de las temperaturas, la calefacción y las cargas de climatización. Estas últimas, de acuerdo con los objetivos del presente trabajo, constituyen la variable fundamental que se debe evaluar.

En sus cálculos no está incluida la humedad relativa, lo cual no resulta determinante en casos como éste, en que se trata de edificaciones climatizadas donde la humedad relativa es regulada por el sistema de climatización artificial.

4.2. Casos de estudio

Los modelos geométricos utilizados en los casos de estudio se corresponden con las diferentes tipologías de plantas habitacionales (Fig. 1) [Rueda, 2003 (a)]. De aquí resultan nueve tipologías para evaluar en las diferentes orientaciones que son objeto de estudio. El resto de los parámetros definidos en cada una de las variables de diseño se analizaron sólo en la tipología de planta doble, cuya habitación tipo constituye la de menor cantidad de cierres expuestos al soleamiento. Por tanto, el comportamiento relativo del resto de las variables de diseño estudiadas se evaluaron en la tipología de planta doble, para ser extrapoladas al resto de las tipologías volumétricas (cabaña simple, cabaña pareada y planta simple).

Tabla 1. Propuesta de variables que influyen en la carga térmica de los HDSP

Variables de diseño		Parámetros
	Volumetría	Geometría
		Compacidad
		Porosidad
		Esbeltez
		Tersura
	Espacio	Geometría
		Volumen y proporciones
		Compartimentación
		Conexión
Cierres	Cubierta	Forma y orientación
		Dimensiones
		Materiales
		Color exterior
	Paredes	Orientación
		Dimensiones
		Materiales
		Color exterior
		Elementos de protección
	Ventanas	Orientación
		Ubicación y proporciones
		Dimensiones
		Tipo
		Materiales
		Elementos de protección

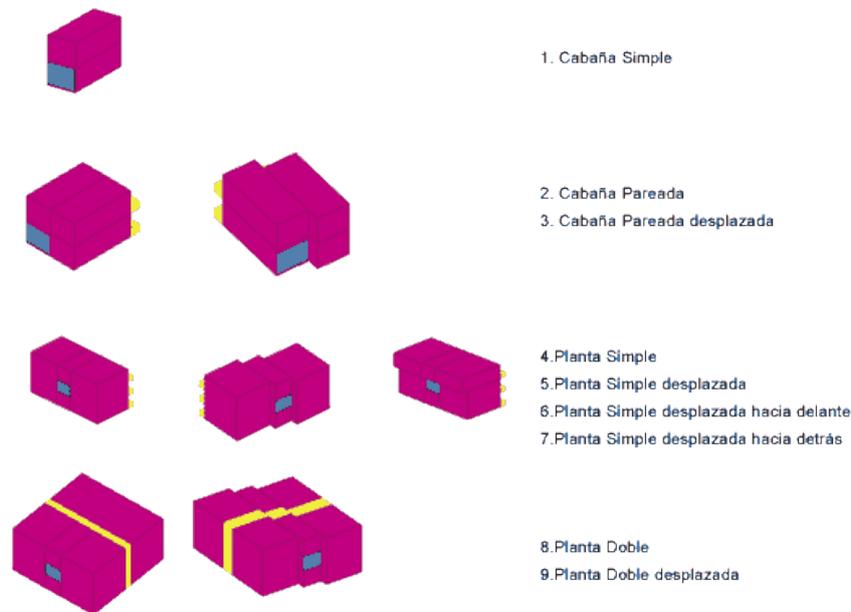


Fig. 1. Geometrías de las tipologías de la PH obtenidas por el DEROB-LTH.

4.3. Resultados del proceso de simulación

Entre los resultados de la simulación que ofrece el DEROB LTH se encuentran las temperaturas de cada una de las superficies interiores del volumen (espacio); la distribución espacial de la temperatura operativa y de los porcentajes de personas en condiciones de confort según el método de Fanger [Alemany, 1986], ambos en gráficos bidimensionales con escala de colores; la temperatura operativa promedio del local y la carga de climatización (enfriamiento o calefacción) requerida. De acuerdo con los objetivos del presente trabajo, se seleccionaron como datos finales de salida los dos últimos, que permiten una rápida comparación de la carga térmica resultante, así como la carga de climatización en cada uno de los modelos simulados, las cuales tienen una influencia directa en el consumo de energía.

También se ofrecen aquí los resultados de la comparación con las mediciones reales desarrolladas en una habitación del hotel Las Praderas [Herrera, 2001].

4.3.1. Comparación de los resultados con la realidad

Como se aprecia en el gráfico de la figura 2, los resultados de la simulación en el modelo construido de acuerdo con las características de la habitación del hotel Las Praderas, cuya carga de climatización había sido medida en el modelo real [Herrera, 2001], coinciden bastante con la realidad en cuanto a la magnitud de la carga (superior a un 90 % de aproximación).

En este caso sí se consideraron en la simulación las cargas internas. La diferencia entre ambas curvas consiste en un ligero incremento de la carga simulada con respecto a la curva de las mediciones reales, lo cual puede deberse a la influencia del marco de la ventana que en la simulación no se tiene en cuenta por especificaciones del programa automatizado.

El valor de la carga diaria acumulada en el modelo real medido el 4 de agosto de 2001 es de 17,2 kWh, mientras que la carga diaria acumulada en el modelo simulado de acuerdo con los datos climáticos de esa misma fecha es de 18,3 kWh, para una diferencia aproximada de 1 kWh [Rueda, 2003 (b)].

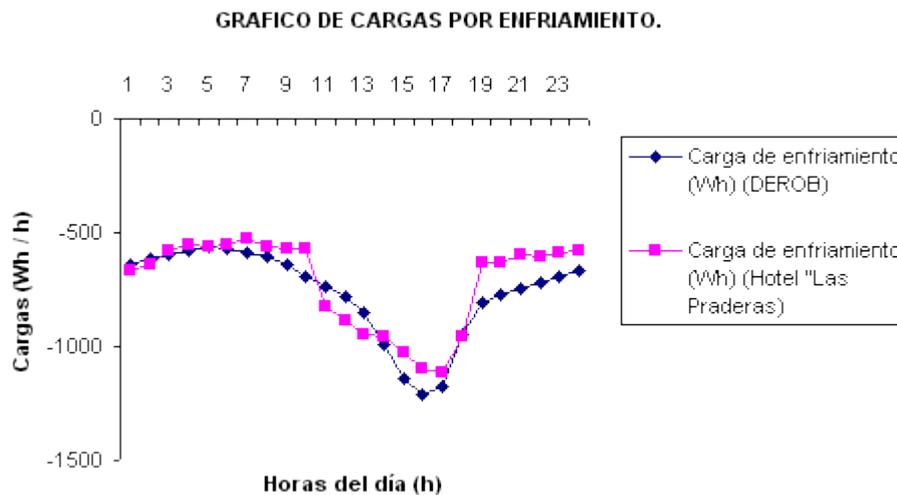


Fig. 2. Comparación de los resultados teóricos (DEROB-LTH) con respecto a los experimentales (hotel Las Praderas).

4.3.2. Influencia de la tipología

De las tipologías estudiadas, la mayor carga de climatización (17,5 kWh acumulado diario) correspondió a la Cabaña Simple, con una compacidad de 0,73 y una exposición de las superficies exteriores de 1,0. Le sigue en orden descendente la Cabaña Pareada, con una carga de climatización de 14,4 kWh, compacidad de 0,75 y exposición de los cierres de 0,77 [Rueda, 2003 (b)].

El comportamiento de las tipologías de Planta Simple y Doble es muy similar en cuanto a la carga de climatización, aunque la Planta Doble es ligeramente menor.

Con el objetivo de poder representar en un mismo grafico la variación de la carga de climatización con respecto a los indicadores de la volumetría en las tipologías no desplazadas, fue necesario multiplicar los valores de los indicadores en órdenes de diez mil veces, ya que estos se hallan referidos a una escala de 1 y la carga en miles de Wh. Las tipologías se representan en las abscisas; los indicadores, en las ordenadas hacia arriba, y la carga en la ordenada hacia abajo.

Por tales razones, existe una relación directa entre la ganancia térmica y el índice de exposición de los cierres al sol, pero no entre la primera y el índice de compacidad. Por tanto, este último índice no resulta útil para comparar tipologías que constituyen formas de agrupación de habitaciones o espacios modulares «embebidos» en el volumen, en relación con su ganancia térmica.

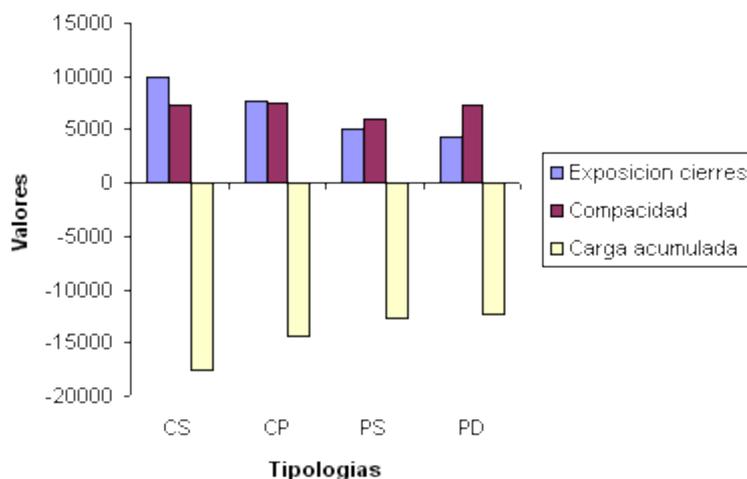


Fig. 3. Comparación de la magnitud de la variación de la carga con respecto a los indicadores de la volumetría.

4.3.3. Influencia de la orientación

Las cargas de climatización acumuladas diariamente en las tipologías fundamentales se comportan de manera similar en cuanto a la orientación, por lo que resulta siempre la Cabaña Simple la más perjudicada por el soleamiento, seguida de la Cabaña Pareada, la Planta Simple y la Doble en ese orden. Sin embargo, la Planta Simple es más vulnerable en las orientaciones en el entorno Oeste, ya que su carga es superior incluso a la Cabaña Pareada.

Tabla 2. Tipologías y orientaciones principales (carga de climatización)

Tipologías	Orientaciones más favorables		Orientaciones intermedias			Orientaciones menos favorables		
Cabaña Simple	N	NO	NE	O	S	E	SO	SE
Cabaña Pareada	N	NO	O	NE	S	SO	E	SE
Planta Simple	N	NO	NE	S	O	SO	E	SE
Planta Doble	N/S		NE - SO	NO - SE	E - O			

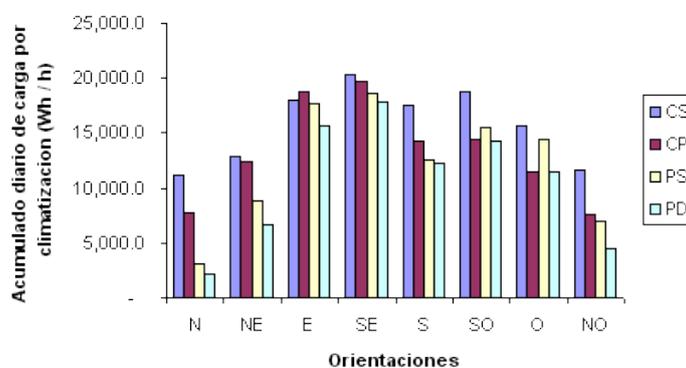


Fig. 4. Comportamiento del acumulado diario de la carga de climatización en las tipologías en relación con la orientación.

Para todas las tipologías estudiadas (excepto la Planta Doble, que tiene habitaciones en dos orientaciones opuestas a la vez), la peor orientación es siempre la SE, seguida de la E y la SO en la Cabaña Pareada y la Planta Simple, y la SO y E en la Cabaña Aislada. La mejor orientación es la N, seguida de la NO, a diferencia de lo que tradicionalmente se piensa respecto al NE. Las orientaciones NE, O y S tienen un comportamiento intermedio, cuyo orden de preferencia varía en cada una de las tres tipologías analizadas. Por último, la tipología de Planta Doble, cuyas habitaciones se ubican en orientaciones opuestas, la mejor orientación es N-S, y la peor es la E-O, con una carga de climatización que es casi el doble de la primera. A pesar de que la diferencia no es considerable, la orientación NE-SO es preferible a la NO-SE.

4.3.4. Influencia de las dimensiones, proporciones y ubicación de las ventanas

De las ventanas estudiadas, los mayores acumulados diarios de carga de climatización para cada orientación corresponden a la ventana máxima, como es de suponer, con una relación A_v/A_p de 0,78. Le sigue la ventana de antepecho ($A_v/A_p = 0,44$), y en ese orden la ventana vertical en el centro ($A_v/A_p = 0,38$), la ventana vertical en el extremo ($A_v/A_p = 0,38$) y por último la ventana mínima ($A_v/A_p = 0,22$) [15]. Con esto se comprueba que el área de la ventana es decisiva en la carga de climatización y tiene una relación directa con ésta. Sin embargo, la ventana no influye de la misma manera en las diferentes orientaciones.

En la orientación Norte (por tratarse del mes de marzo, donde no hay influencia de la radiación solar directa en esta orientación), la dimensión de la ventana es prácticamente indiferente, mientras que su influencia en la carga térmica se maximiza en la orientación Este, seguida de la Sur, y es menor en la Oeste (de las cuatro orientaciones estudiadas). Esto corrobora los resultados obtenidos anteriormente con respecto a la influencia de la orientación en la carga térmica, que se hacía mayor en el entorno Este y menor en el Oeste, posiblemente por la mayor nubosidad en horas de la tarde.

Como se puede observar, en el caso de la ventana vertical ubicada en el centro y en el extremo, a pesar de contar ambas con igual dimensión, la carga se incrementa ligeramente en la primera. Esto demuestra que además de la dimensión, la ubicación de la ventana influye de forma directa en la carga de climatización. La ventana ubicada en el centro del cierre exterior expuesto permite una mayor penetración de los rayos solares en el interior de la habitación, cualquiera que sea el ángulo de incidencia de éstos. La habitación con ventana de proporciones verticales ubicada en el extremo llega a presentar una menor carga térmica incluso que la habitación con ventana de dimensiones mínimas orientada al Sur y al Oeste.

Algo parecido ocurre con la ventana de antepecho, que teniendo una dimensión similar (ligeramente superior) a las verticales (tanto en el centro como en el extremo), y A_v/A_p de 0,44, aporta una carga superior en algo más de 1,0 kWh. Su proporción horizontal favorece la penetración de los rayos solares, cualquiera que sea su ángulo de incidencia. Esto demuestra que,

además de las dimensiones, las proporciones y ubicación de las ventanas constituyen un factor importante en la carga de climatización.

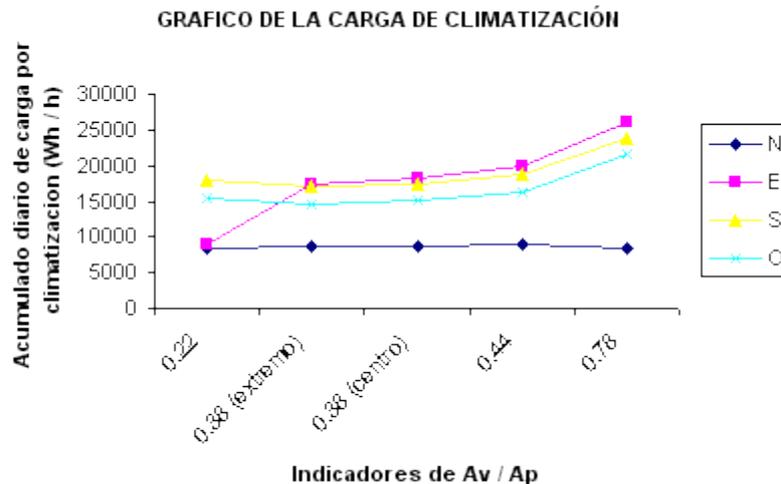


Fig. 5. Variación de la carga de climatización con respecto a los indicadores de Av/Ap de las ventanas estudiadas.

4.3.5. Influencia de los elementos de protección solar en función de la orientación

En general existe una relación directa entre los valores de la tersura y los acumulados diarios de carga de climatización de los elementos de protección solar estudiados, es decir, que a mayor tersura, mayor carga. No obstante, los menores valores de carga se producen en los elementos donde predomina la proyección horizontal. Los elementos discontinuos presentan mayor tersura y permiten la penetración lateral de los rayos solares.

Sólo se estudiaron en las ocho orientaciones principales los elementos fijos (aleros, balcones y terrazas), los cuales se comportan de la misma manera relativa en cada una de las orientaciones. Los mejores resultados se obtienen con las terrazas (de mayor proyección horizontal y menor tersura), seguidos por los balcones; y por último, los aleros, donde la carga es mayor en cualquier orientación, ya que su proyección horizontal es menor y su tersura mayor.

Se comprueba nuevamente que la peor orientación es la Este, aun con elementos de protección solar. Sin embargo, la presencia de estos elementos es más eficiente en la orientación Sur, ya que siendo la carga normalmente mayor en ésta que en la Oeste [Rueda, 2003 (b)], cuando existe protección solar, la fachada Sur presenta un mejor comportamiento que la Oeste (menor carga de climatización acumulada diaria). No obstante, la diferencia de carga entre ambas fachadas (Sur y Oeste) no es considerable.

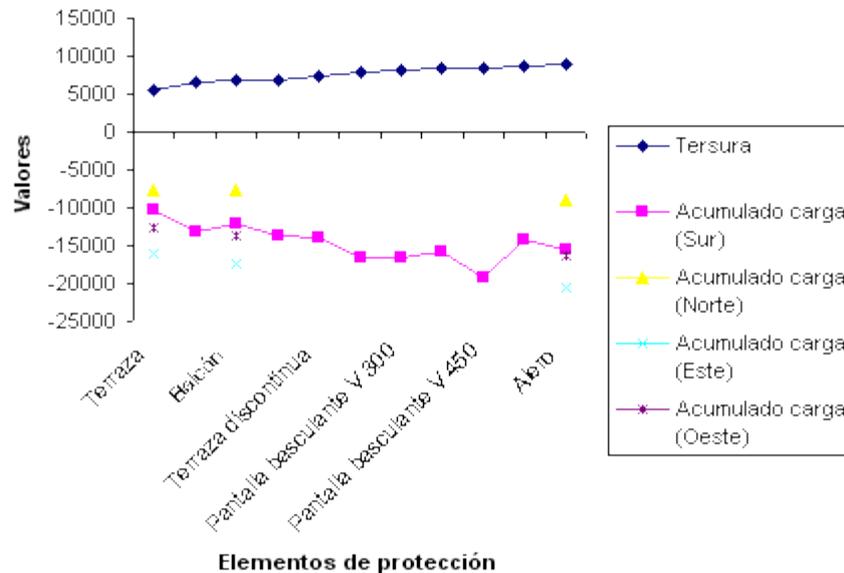


Fig. 6. Variación de la carga de climatización de los elementos de protección solar con respecto a los indicadores de la tersura.

4.3.6. Influencia de los elementos constructivos de pared

Existe una correspondencia directa entre los valores de U y la carga acumulada diaria en los elementos de las paredes simuladas. El comportamiento de los materiales de construcción generalmente empleados en Cuba (hormigón armado, bloque hueco de mortero y ladrillo con valores de U entre 2,4 y 3,63) resulta muy similar desde el punto de vista de su influencia en la carga de climatización de las habitaciones, y con ellos se obtienen los mayores valores (entre 17,6 y 18,3 kWh). Los menores valores de la carga de climatización acumulada diaria (13,0 kWh) se logran, sin embargo, con elementos tipo sándwich ($U = 0,34$), que incluyen capas de materiales aislantes.

Usando madera no se obtienen reducciones significativas. La solución simulada con panel de cierre de madera dura de 5 cm de espesor ($U = 3,2$) presenta una carga acumulada de 17,4 kWh).

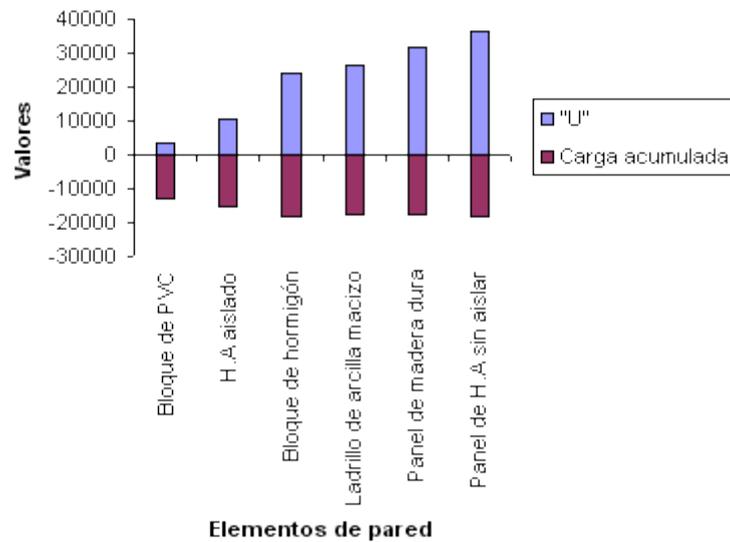


Fig. 7. Variación de la magnitud de la carga de climatización con respecto a U en los elementos constructivos de pared.

4.3.7. Influencia de los elementos constructivos de cubierta

Al igual que sucede con los elementos constructivos de la pared, en la cubierta también existe una correspondencia directa entre la transmitancia térmica o el factor global de transferencia (U) y la carga de climatización acumulada durante el día. Los casos con elementos de uso tradicional en el país, como la vigueta y bovedilla (U = 1,36) y la losa spiroll (U = 2,24), ambas con enrajonado y soldadura, presentan los mayores valores de carga (superior en la losa spiroll por su menor espesor). Los menores valores se obtienen con los paneles de poliuretano recubierto con aluminio (U = 0,52) o con PVC (U = 0,45) por la presencia del material aislante.

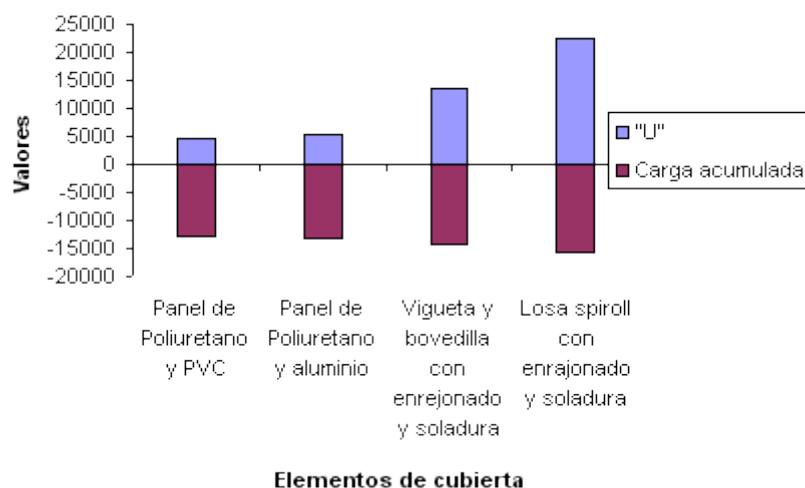


Fig. 8. Variación de la carga de climatización con respecto a U en los elementos constructivos de cubierta.

4.3.8. Influencia de los materiales de la ventana (vidrio)

La variación de la carga de climatización obtenida en los ejemplos simulados con ventanas de uno o dos paños de vidrio de 6 mm no es significativa (0,8 kWh), a pesar de que la diferencia entre la U de ambas ventanas sí es considerable (5,9 y 3,2, respectivamente), Sin embargo, la utilización de un recubrimiento de baja emisividad en la doble capa de vidrio ($U = 2,2$) disminuye la carga en más de 3,5 kWh, mientras que con gas argón en una cámara de 12 mm y doble vidrio ($U = 1,4$) la carga decrece en algo más de 5,8 kWh.

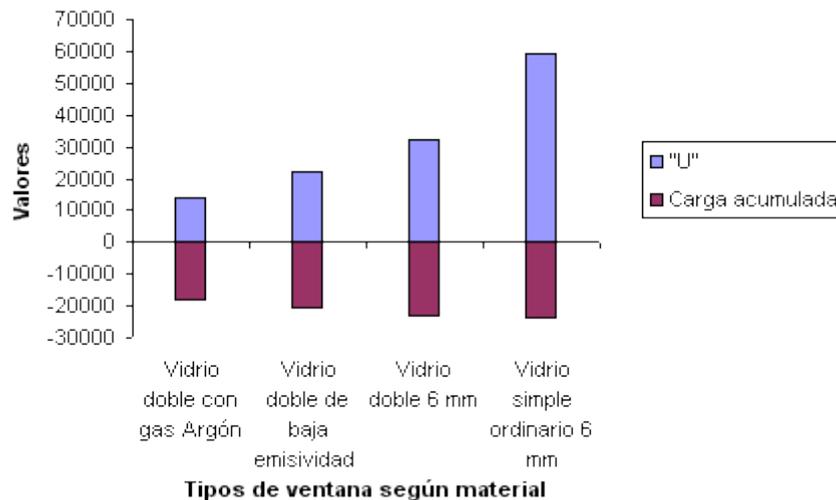


Fig. 9. Variación de la magnitud de la carga de climatización con respecto a U en las ventanas según su material.

4.3.9. Influencia del color de las superficies exteriores

Se comprueba que la carga de climatización diaria acumulada se reduce a la mitad al aumentar la reflectividad de las superficies exteriores de 0,35 a 0,8 en cubiertas, mientras que en las paredes solamente decrece 0,6 kWh. Este resultado se debe fundamentalmente al área de la superficie expuesta (mayor en cubiertas que en paredes) y la posición que ocupa el plano en el espacio con respecto al ángulo de asoleamiento.

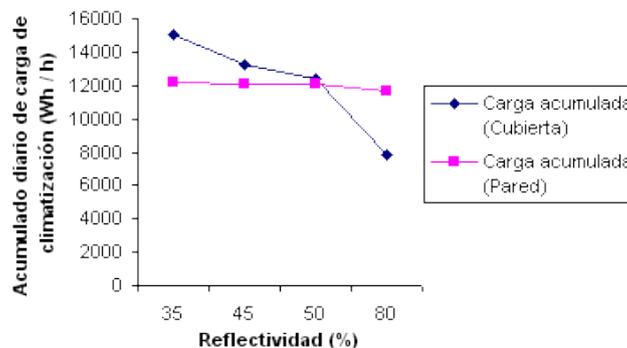


Fig. 10. Variación de la magnitud de la carga de climatización con respecto a la reflectividad en los elementos opacos (paredes y cubiertas).

4.4. Influencia relativa de las variables de diseño en la carga de climatización de las habitaciones

Resulta necesario analizar comparativamente (en conjunto) el peso relativo de cada una de las variables de diseño, con vistas a proponer las recomendaciones de diseño.

Para esto se ha confeccionado un gráfico-resumen donde se muestra el rango en el que pueden variar los valores de la carga de climatización de acuerdo con las decisiones de diseño que se tomen en cada una de las variables estudiadas. Algunas de estas variables no aparecen porque su contribución al ahorro energético es despreciable (color exterior en paredes), o porque su efecto puede ser considerado en otra variable (desplazamientos verticales hacia delante, cuyo efecto es similar al de los elementos de protección solar), o porque se trata de una condición inevitable (cubierta expuesta).

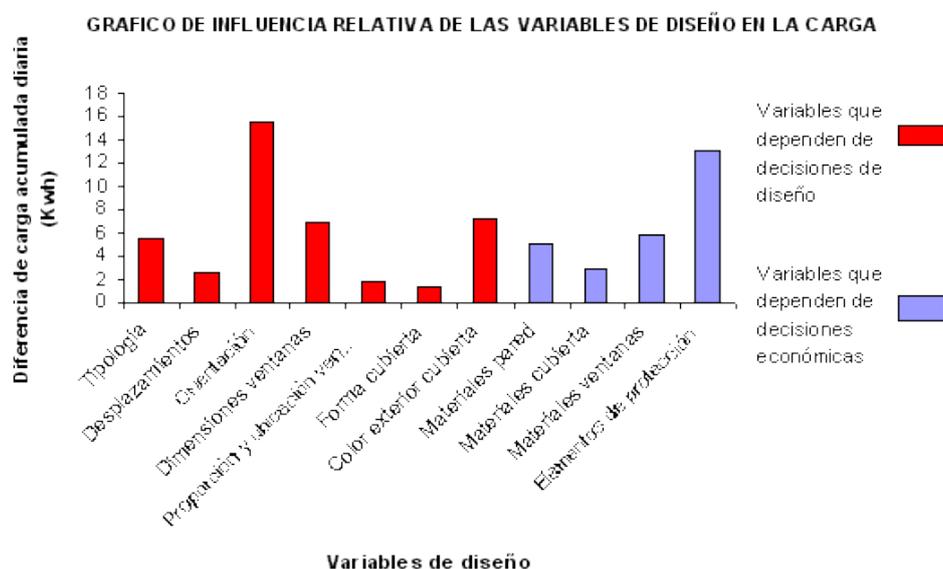


Fig. 11. Gráfico-resumen de la influencia relativa de las variables de diseño en la carga de climatización.

De las variables de diseño relacionadas en el gráfico, la mayor parte de ellas dependen de decisiones de diseño, es decir, resultan de la acción creadora del proyectista o arquitecto (tipologías, desplazamientos, orientación, dimensiones, proporción y ubicación de las ventanas, forma de la cubierta y color exterior de ésta), como síntesis de numerosos requerimientos, en ocasiones variables contradictorias entre sí. Otras, sin embargo, son el resultado de decisiones económicas, generalmente tomadas por la entidad inversionista a partir de la propuesta de proyecto (materiales y elementos de construcción que se van a utilizar en paredes, cubiertas y ventanas, así como el empleo y tipo de elementos de protección solar).

Los valores de carga de climatización que se han obtenido corresponden a una habitación en un día. Si se considera la carga total de climatización del subsistema de alojamiento de un hotel a lo largo de un año, el impacto económico y ambiental de las decisiones de diseño resulta considerable.

4.5 Recomendaciones de diseño

4.5.1. Tipologías

- La selección de la tipología que se debe emplear es el resultado de la conciliación de múltiples requerimientos. No obstante, siempre que sea posible debe tenerse en cuenta que las soluciones con menor índice de cierres expuestos resultan más económicas (consumo unitario de materiales y suelo, y costos de mantenimiento) y generan menor consumo de energía por climatización.
- La altura de las edificaciones también depende de numerosos factores del contexto y de la inversión. No obstante, elevar el CUS dentro de los límites admisibles reduce la cantidad de habitaciones con cubiertas expuestas a la radiación solar y, por tanto, el consumo energético por climatización, además de disminuir los costos del terreno y la infraestructura.
- La forma y orientación de las cubiertas dependen de numerosos factores de diseño. El uso de cubiertas inclinadas resulta favorable desde el punto de vista de la evacuación pluvial, pero aunque tradicionalmente se ha dicho que las cubiertas inclinadas reciben menor radiación solar promedio anual, en el caso de habitaciones climatizadas contribuyen a incrementar la carga de climatización al aumentar el volumen del espacio que se vaya a climatizar.
- En caso de usarse cubiertas inclinadas es preferible que cada habitación tenga su cubierta inclinada en un solo plano con una única orientación. Las cubiertas a dos aguas en un mismo espacio son peores desde el punto de vista térmico y también para la evacuación pluvial, en dependencia de la relación de las pendientes con el volumen.
- Las cubiertas inclinadas orientadas hacia el Norte resultan más favorables, y las mayores cargas de climatización se producen con las cubiertas orientadas hacia el Sur.
- Dentro de la tipología seleccionada, el empleo de desplazamientos entre las habitaciones (tanto horizontales como verticales hacia delante) favorece el autosombreado de la propia edificación y con ello contribuye a reducir el consumo de energía por climatización.

4.5.2. Orientación

La orientación de las habitaciones está en dependencia de numerosos requerimientos, pero, siempre que sea posible, por su alta contribución al consumo energético por climatización sin costo adicional, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- Las mayores reducciones de la carga de climatización se obtienen en las orientaciones Norte y noroeste.
- Deben evitarse por todos los medios las orientaciones sureste, seguidas de la Este y Suroeste.

- Para las soluciones tipológicas con habitaciones ubicadas en orientaciones opuestas resulta preferible la orientación N/S y debe evitarse la orientación E/O.
- Cualquier orientación, aunque no sea de las más recomendables, es factible siempre que se complemente con los elementos de protección solar apropiados.
- Las soluciones tipológicas con habitaciones en más de dos orientaciones simultáneas deberán recurrir necesariamente al empleo de elementos de protección solar.
- Dentro de las formas complejas, las lineales por presentar orientaciones similares (en el mismo rango) sólo necesitarán usar elementos de protección solar, cuando la orientación lo requiera.
- En las formas estrelladas y reticulares, al presentar diversas y múltiples orientaciones de las habitaciones, el uso de los elementos de protección solar será un requerimiento de diseño imprescindible.

4.5.3. Elementos de protección solar

- Hacia las orientaciones más desfavorables desde el punto de vista de la radiación solar incidente y de la carga de climatización (SE, E, SO), debe garantizarse la protección solar con elementos fijos, para no correr el riesgo de que en algún momento se prescindiera de ellos. Esto quiere decir que en dichas orientaciones deben emplearse preferiblemente balcones y terrazas, que son los que proporcionan una menor tersura con mayor proyección horizontal.
- El uso de los elementos de protección solar, sean fijos o adosados, constituye una decisión de diseño que también responde a múltiples requerimientos, este sea el más importante. No obstante, conviene tener en cuenta que los elementos continuos presentan un menor índice de tersura y son más efectivos que los discontinuos en cuanto a la reducción de la carga de climatización.
- Hacia las orientaciones S, O y NE deben emplearse elementos de protección solar de cualquier tipo, ya sean fijos o adosados, que reduzcan el grado de tersura de la piel del edificio.
- En las orientaciones N y NO podría prescindirse de los elementos de protección solar, aunque siempre resultan recomendables por razones de protección contra el deslumbramiento, la radiación difusa y las lluvias.

4.5.4. Ventanas

Aunque las decisiones en relación con la ubicación de las ventanas, así como sus dimensiones y proporciones, dependen de numerosos factores de diseño atendiendo a los requerimientos interiores y exteriores, resulta conveniente tener en cuenta:

- Debe evitarse el empleo de ventanas de vidrio que ocupen casi todo el cierre exterior, pues aunque garantizan buenas visuales, generan un alto consumo de energía por climatización.

Esto pudiera atenuarse con la protección solar, pero resulta muy difícil lograr una buena protección de estas grandes ventanas, sobre todo en las orientaciones menos favorables.

- Es recomendable el empleo de ventanas verticales, que garantizan buenas visuales desde la cama, sin generar tan alto consumo de energía.
- Es preferible el empleo de ventanas de proporciones verticales ubicadas en un extremo de la pared, en lugar de en el centro de ésta. Esta solución no sólo contribuye a ahorrar energía de climatización, sino también a atenuar el deslumbramiento, a la vez que propicia visuales cambiantes al exterior.
- No emplear ventanas de vidrio doble de 6 mm, pues el incremento del costo no justifica los reducidos ahorros de energía que se producen.
- Se recomiendan las ventanas de doble vidrio con antecámara de gas argón, ya que la reducción de carga de climatización que se obtiene con relación a sus costos iniciales justifica su aplicación y logra amortizarse la inversión en sólo cuatro meses [Rueda, 2003 (b)].
- El empleo de elementos de protección solar en ventanas expuestas a la radiación solar se justifica plenamente con las reducciones del consumo energético que se producen. En este sentido, una cortina enrollable como protección de una ventana de vidrio simple orientada al Sur se amortiza en cuatro años [Ruedas, 2003 (b)].

4.5.5. Paredes

- Resulta recomendable emplear capas de material aislante en los elementos constructivos de las paredes exteriores expuestas, fundamentalmente aquellas ubicadas hacia las orientaciones más desfavorables (SE, E, SO), y definitivamente en las que por determinadas causas no puedan tener protección solar.
- El empleo de paneles con capas aislantes, como los de PVC con lana mineral, produce reducciones del consumo energético por climatización que permiten la amortización de la inversión en un plazo de 2,3 años en relación con una pared de bloques huecos de mortero [Rueda, 2003 (b)].
- El color de las paredes exteriores no influye significativamente en la carga de climatización de las habitaciones.

4.5.6. Cubiertas

- El uso de elementos de cubiertas con capas de material aislante, como el poliuretano, produce ligeras reducciones del consumo de energía por climatización que no justifican la inversión, mientras que con soluciones tradicionales probadas, como la vigueta y bovedilla con terminación de enrajado y soladura pueden obtenerse resultados aceptables.
- El empleo de pigmentos de alto índice de reflexión en las superficies de terminación exterior de las cubiertas contribuye a reducir considerablemente el

consumo de energía por climatización, sin costo adicional. Esta alta reflectividad en cubiertas no acarrea otras afectaciones, como deslumbramiento, pues las cubiertas se encuentran generalmente fuera del campo visual.

5. Conclusiones

1. A pesar de sus limitaciones, el DEROB-LTH resulta una herramienta útil para la evaluación comparativa de la influencia de las variables de diseño en la carga de climatización de los espacios. La comparación de los resultados de la simulación con los de mediciones reales demuestra su validez.

2. En el trabajo se propone una clasificación de las variables de diseño que influyen en la carga térmica y en el consumo de energía en las habitaciones de HDSP en Cuba, así como de los parámetros que se deben tener en cuenta para su evaluación. Las variables objeto de estudio se clasifican, de manera general, en volumetría, espacio interior y cierres (cubierta, paredes y ventanas).

3. Se verifica que las variables de diseño estudiadas se dividen en dos grandes grupos: las

que dependen mayormente de factores de diseño, cuya decisión está en manos del proyectista y que en ocasiones no implican un costo adicional, y las que dependen de factores económicos, que generalmente responden a decisiones de la entidad inversionista.

Se demuestra que el mayor peso, tanto por la cantidad de variables como por su influencia, recae en las decisiones de diseño.

4. Las variables de diseño estudiadas pueden clasificarse en tres grandes grupos: las que pueden permitir reducciones superiores a 13 kWh diarios por habitación (orientación y uso de elementos de protección solar); las que producen ahorros entre 5 y 13 kWh diarios por habitación (tipología, dimensiones y materiales de las ventanas, materiales de las paredes exteriores y color de la superficie exterior de las cubiertas); y las que pueden ocasionar reducciones del consumo energético inferiores a 5 kWh diario por habitación (desplazamientos de los volúmenes de las habitaciones, proporciones y ubicación de las ventanas, forma, orientación y materiales de la cubierta).

5. Se cuantifica la influencia relativa de cada una de las variables de diseño estudiadas en el consumo energético por climatización en las habitaciones de HDSP. Con cada una de las variables de diseño analizadas en el presente trabajo (sin integrar sus resultados) se pueden obtener reducciones anuales del consumo de energía para un hotel de 300 habitaciones, diseñado según las prácticas habituales, que representan entre 3 500,00 y 165 000,00 USD.

6. Bibliografía

- ALEMANY, A., *et al.* *Climatología, iluminación y acústica*. La Habana: Ed. Departamento de Ediciones ISPJAE, 1986.
- Convención de Turismo del Nuevo Milenio, 1ra. edición, La Habana, 2001.
- Convención de Turismo, 2da. edición, Varadero, 2002.
- DÍAZ, HERNÁNDEZ, JOSÉ ANTONIO. *Reducción de la ganancia de calor en las edificaciones climatizadas*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana: Facultad de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, 1986.
- GARCÍA PÁEZ, NORLIN. *Evaluación automatizada de las variables de diseño en las habitaciones de los hoteles con Destino Sol y Playa*. Tesis de Grado. La Habana: Facultad de Arquitectura, CUJAE, 2003.
- HERRERA, O., *et al.* «Análisis de la ganancia de calor a través de las ventanas diodo-solar para la climatización», en *Memorias del CIER 2001*. La Habana: CUJAE, 2001.
- LLAMAS, ALFONSO. «La carpintería de PVC». Conferencia ofrecida a profesores de la Facultad de Arquitectura de la CUJAE. La Habana, 2003.
- MINTUR. *El turismo en Cuba y sus perspectivas de desarrollo*. La Habana: Departamento de Investigaciones del MINTUR, 1998.
- _____. Informe. Plenario Asamblea Nacional del Poder Popular. La Habana, diciembre de 2002 (b).
- NORMA CUBANA NC-220-1. Parte II. Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética, 2001.
- OMT. *Tendencia de los mercados turísticos*. Madrid, 2000.
- RUEDA GUZMÁN, LUIS A. *Design Influences on thermal gain and energy expenditure in hotel's guestrooms in Cuba*, Passive Low Energy Architecture Congress (PLEA). Santiago de Chile, 2003 (a).
- _____. *Influencia del diseño en la carga térmica y el consumo de energía en habitaciones de hoteles con Destino Sol y Playa en Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana: Facultad de Arquitectura, CUJAE, 2003 (b).
- RUIZ, LOURDES. La evaluación del impacto ambiental de las construcciones turísticas de la cayería norte y otras zonas costeras de Cuba. Tesis de Doctorado. Tutor: Dr. Arq. Rubén Bancroft. La Habana: Facultad de Arquitectura, ISPJAE, julio de 1999.
- TECNOMAT CARIBE, S.A. *Somos la carpintería del futuro*. CD-R, Sound Sack, S.L 971616767, 2002.

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

DIRECTOR GENERAL:

Dr. Luis Bértiz Pérez.

DIRECTOR:

Lic. Manuel Álvarez
González.

EDITOR:

Lic. Alejandro Montecinos
Larrosa.

CORRECCIÓN:

M Sc. Roberto Manzano
Díaz.

Ing. Jorge Santamarina

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

TRADUCCIÓN:

Lic. Lázaro O´Farril Lazo.

CONSEJO ASESOR:

Dr. Luis Hernández (Energía fotovoltaica)

Dr. Conrado Moreno Figueredo (Energía
eólica)

Lic. Bruno Henríquez Pérez (Física
ambiental)

Dr. Jorge Luis Paretas (Energía hidráulica)

Dr. Dania González Couret (Arquitectura
bioclimática)

Dr. Jorge Guardado (Biomasa)

Dr. Sergio Corp Linares (Energía solar
térmica)

Lic. Leonor Turtós Carbonell (Impacto
ambiental)

Lic. Alejandro Montecinos Larrosa (Energía
humana)

Lic. Ricardo Bértiz Valle (Educación
ambiental)



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

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

Teléfono: (537) 205-9949.

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

e-mail: editora@cubasolar.cu

<http://www.cubasolar.cu>