

SAUNA SOLAR: UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA Y ECOLÓGICA PARA LA COMUNIDAD. ALGUNAS EXPERIENCIAS EN CUBA.

MC. Ing. Ciro César Bergues Ricardo¹
CEEFE, Universidad de Oriente, Ministerio de Educación Superior, Cuba
Investigador Auxiliar.
cirob@fim.uo.edu.cu

Ing. Pedro Gruñan Villafañe,
Centro de Investigaciones de Energía Solar, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio
Ambiente, Cuba

MSc Ing. Alonso Torres Ten
Investigador Auxiliar, Centro de Investigaciones de Energía Solar

RESUMEN

Se describen los aspectos termo energéticos, medioambientales y los índices de funcionamiento de una sauna solar con efecto invernadero concebida, diseñada y evaluada en Cuba, y de algunas variantes constructivas de la misma con perspectivas de desarrollo futuro. Se evalúa la importancia para la comunidad de estas soluciones partiendo de los resultados de la experiencia cubana. Pueden ser utilizadas para el mejoramiento de la calidad de vida de la población, para el aumento de la autoestima y servir como complemento al tratamiento de diversas patologías.

La economía, sencillez y potencial de ahorro de energía y de disminución de emisiones de CO₂ por el uso de este equipo lo hacen ideal para el desarrollo comunitario y turístico principalmente de zonas tropicales y subtropicales con un grado de insolación promedio. Los materiales utilizados en la sauna pueden ser baratos y están disponibles en las áreas referidas.

Palabras clave: Energía alternativa. Sauna solar. Efecto invernadero.

¹ Centro de Estudios de Eficiencia Energética (CEEFE), Universidad de Oriente, Ministerio de Educación Superior (MES). Investigador Auxiliar Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ing. Electromecánico, Master en Ciencias en la especialidad de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Profesor de Mecánica de los Fluidos, Termodinámica y Energías Renovables de la Universidad de Oriente. Miembro de la ONG Cubasolar.

1. LA SAUNA SOLAR: ASPECTOS CONCEPTUALES GENERALES

Los baños térmicos forman parte de la cultura de diversos pueblos. Se reconocen diferentes tipos de baños térmicos, los que se distinguen entre sí por el contenido de humedad del aire existente en la instalación donde se realiza la sesión de baño. Entre ellas podemos nombrar: Las termas romanas, los baños turcos, los baños árabes y la sauna finlandesa, adquiriendo esta última mayor popularidad en los tiempos modernos. Sauna es una palabra de origen finlandés, con la cual se conoce casi universalmente un sistema de “baño de calor” que representa en aquel país una verdadera institución desde hace varios siglos y que en los últimos años ha experimentado una gran difusión fuera de su país de origen por los múltiples beneficios que sobre el organismo humano es capaz de ejercer.

La utilización de los baños de sauna tiene gran importancia para las personas en el mundo moderno. Se utilizan en esferas tan distintas como el deporte, la salud, la recreación y el turismo, ya que tienen valor higiénico, recreativo, como agente que tiene incidencia positiva comprobada en la calidad de vida de las comunidades. Por el efecto de estos baños de masaje activo cardiovascular y activador de la sudoración, sirven para ayudar al tratamiento de muy diversas patologías médicas y para el mejoramiento de la estética corporal y la autoestima.

En las versiones modernas de los baños de sauna el acondicionamiento térmico de la cabina se logra quemando combustibles fósiles o generando calor por efecto Joule en una resistencia eléctrica.

Recientemente en Italia se ha desarrollado un modelo de sauna con suministro energético híbrido solar-convencional. El empleo de la energía solar como única fuente energética para el acondicionamiento térmico del baño reporta un ahorro de energía convencional y tiene ventajas ecológicas incuestionables, pero es posible sólo para países de latitudes tropicales o zonas subtropicales. La energía eléctrica convencional garantiza el efecto del control que puede hacerse necesario por la no correspondencia entre las características de la fuente energética solar y las exigencias del baño de sauna respecto a los niveles de temperatura y horario de uso que exigen algunos fabricantes europeos.

Se ha patentado en Cuba una sauna que utiliza como fuente de calor solamente la energía solar, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente. En esa fecha, en la década del 90 del pasado siglo, no teníamos conocimiento de la existencia en algún otro país de saunas que funcionaran solamente con energía solar.

En 1998, cuando se concibió este equipo, las ideas o reportes existentes en Internet sobre Sauna solar prácticamente no se encontraban. En el presente estas son todavía escasas, aunque hay una tendencia a su aumento. Sin embargo, en su mayor parte se trata de intentos de construir equipos artesanales aislados, y los constructores carecen de una orientación sistemática o estudio estratégico general. El objeto de este trabajo es no solo describir la concepción y evaluación de una sauna solar cubana, sino también dar elementos preliminares que sirvan para un abordaje sistemático de esta útil y multifacética aplicación de la energía solar térmica.

En Cuba, isla situada entre 20 y 23 grados de latitud norte, la energía solar promedio anual incidente es de unos 5 kWh/m²día), distribuida en forma bastante homogénea a lo largo del año. Existen por ello condiciones favorables para la conversión de la energía solar en energía térmica, efecto también llamado termo conversión de la radiación solar

El valle donde se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba, lugar donde fueron construidos y evaluados los primeros prototipos de sauna solar, está situado a unos 20° de latitud norte, y presenta condiciones idóneas de radiación solar media, precipitaciones medias anuales cercanas a 1000 mm y velocidades de viento moderadas, cercanas a 3 m/s. Estas

condiciones son favorables para la explotación de equipos solares térmicos. La humedad relativa media de la zona (82%) es alta, como corresponde a una isla de estas latitudes, y a la cercanía de la ciudad al mar Caribe.

En particular, la ONG cubana “Cubasolar”, el Centro de Investigaciones de Energía Solar de Cuba (CIES) y el Centro de Eficiencia Energética (CEEFE), perteneciente al CITMA y MES²) han sido las instituciones que en nuestro país se han ocupado del desarrollo de diseños alternativos y aplicaciones de la sauna solar en las últimas dos décadas.

Ambos están situados en la ciudad de Santiago de Cuba, la segunda ciudad en población de Cuba, con más de 500 000 habitantes, ubicada en la región central y sur de la parte este del país, entre el Mar Caribe y una cordillera costera de altura moderada, la cordillera de la Gran Piedra, cuya altura máxima es la Gran Piedra, de unos 1200 m de altitud.

El “*Sauna Sol*” es un equipo concebido y diseñado por un grupo de especialistas del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) de Santiago de Cuba que se ha demostrado puede emplearse para baños de sauna. Estudios sobre las variantes tecnológicas y aplicaciones de las mismas se continúan realizando en el CEEFE y el CIES. Ha recibido por sus aportes y características especiales distinciones de relevante a nivel provincial y mención en el Fórum Nacional de Ciencia y Técnica de la República de Cuba en 1998 a 2000. En la actualidad se proyecta montar una en la sala polivalente de la ciudad de Santiago de Cuba, para el uso de la población y de deportistas de alto rendimiento.

2. CONCEPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA SAUNA SOLAR

El primer prototipo que fue concebido y probado primero en Cuba es la sauna simple, llamado “Saunasol” que funciona como colector o calentador de aire directo, y se describe en este trabajo.

El concepto funcional de Sauna solar está dado porque al subir la temperatura del aire interior en los equipos solares termoconvertivos producto de la acumulación de calor por efecto invernadero, la humedad relativa del aire baja hasta valores que pueden llegar sin ninguna fuente de humedad adicional hasta valores del orden del 20%. Esto aumenta las posibilidades de este aire como agente secador, y con ello las posibilidades de transpiración humana, que es la causa más importante del efecto fisiológico que se logra en los baños secos tipos “Sauna Finlandesa”.

Si, adicionalmente, mediante un sistema de humectación que garantice una alta transferencia de calor y masa en el aire cercano al usuario, y que sea cómodo y funcional, como el sistema portátil de spray, se logra la rápida humectación del local, y del aire contiguo a la superficie de la piel, se tiene entonces la posibilidad de lograr el efecto fisiológico de los llamados baños turcos.

Por la factibilidad demostrada de estas opciones y el corto tiempo que dura el baño de sauna, son posibles distintas combinaciones de los efectos antes mencionados. Si a estos añadimos las características térmicas del “Saunasol”, cuyos niveles de temperatura no son exactamente iguales a los de una sauna convencional, tenemos las premisas de la especificidad y originalidad de este equipo como equipo médico y/o como fuente de los efectos fisiológicos positivos que proporcionan los baños de sauna. Tal originalidad debe conllevar necesariamente al desarrollo de metodologías específicas conjuntamente con el Ministerio de Salud Pública de Cuba para cada tipo de aplicación concreta que se desee.

² CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio ambiente de la República de Cuba. MES: Ministerio de educación superior del mismo país.

Se ha demostrado que a niveles de temperatura entre 45 y 60 °C pueden realizarse baños de sauna. Por otra parte, opciones híbridas desde el punto de vista de las fuentes térmicas y del almacenamiento y acumulación de calor son posibles en el futuro, manteniendo bajos los consumos de energía convencional.

Todos estos hechos objetivos convierten a la sauna solar, desde el punto de vista conceptual, en una opción factible para la aplicación social de la energía solar en Cuba y en el exterior, con un costo que puede ser minimizado con la toma de algunas decisiones tecnológicas sencillas.

En la evaluación de la sauna dentro de la cabina se midieron la temperatura y humedad relativa del aire interior del equipo y del aire exterior antes, durante y después del baño. Fueron considerados los datos de radiación solar de la estación actinométrica del Centro de Investigaciones de Energía Solar de Cuba. Estas evaluaciones se efectuaron entre los años 1998 y 2005, en diversos puntos de la provincia.

Los parámetros térmicos del equipo son los propios de esta tecnología de aprovechamiento del efecto invernadero para los niveles de insolación promedio en Cuba de 5 Kw. h/m² día.

Las consideraciones adecuadas de ergonomía imponen para la sauna una altura de unos 2.0 m. La relación área volumen para una estructura prismática de esta altura y un área horizontal de captación de unos 6 metros cuadrados es de 0.5 m⁻¹. Se utilizó como cubierta transparente de la sauna una lámina de vidrio de 4mm de espesor con holgura de aire de 20 mm hasta la plancha metálica negra captadora de la radiación solar, que sirve de absolvedor de la radiación; las pérdidas por la cubierta de la sauna son del orden de los 5 W/m²°C.

Las paredes, sobre todo la pared sur, en su parte superior, deben disponer de una estructura y materiales similares a los de la cubierta del techo, pues son también captadoras de la radiación solar. La parte inferior de las paredes se construye desde el piso hasta unos 0,4 m de altura con materiales de la construcción, (mampostería) con aislamiento interior por aire, siendo el nivel de pérdidas de unos 2 W/m²°C.

Para estos coeficientes de pérdidas, con una orientación adecuada del equipo (simétrico con respecto al eje norte sur; con la cubierta mirando hacia el sur, a una inclinación de 9 a 20 grados), la eficiencia térmica para el calentamiento de aire, si se reciben como término medio 5 kw-h de energía por metro cuadrado y por día, y se obtienen temperaturas de trabajo del aire interior del orden de 60 C, es de alrededor de un 30 al 50%, según el régimen de explotación del equipo ,aún con superficies no selectivas y materiales ordinarios.

Se puede afirmar entonces que la sauna salva o utiliza para el calentamiento del local y la evaporación del sudor unos entre 1,5 y 2.5 Kw-h/día m², con lo que se obtiene para el área de 6 m² unos 9 a 15 Kwh/día de energía térmica salvada por el efecto invernadero, utilizada en el calentamiento del aire y en realizar el efecto útil en la sauna.

La práctica de baños de sauna en el prototipo construido en el CIES y otro instalado en un hotel "Villa Colibrí" del sistema turístico cubano (Ver foto 1), demuestra que los valores de temperatura y eficiencia térmica logrados permiten la realización de los baños de sauna empleando la energía solar térmica.

Los prototipos utilizados y evaluados eran de forma prismática, poseían doble cubierta de vidrio de 4 mm y captación por techo y paredes. El acceso al interior de la sauna se efectuaba por un corredor con puertas dobles, que limitaba las pérdidas de calor por este concepto. La cubierta captadora de energía en techo y paredes era de plancha acero galvanizado de 1,5 mm de espesor pintado de negro.



Foto 1: Sauna solar cubana. Foto: Centro de Investigaciones de Energía Solar de Cuba (CIES, CITMA)

En aplicaciones específicas ó sea en las que se pretenda llegar a temperaturas superiores a los 70^oc (que exigen algunos constructores de saunas convencionales), deben emplearse sistemas híbridos. Tanto en el caso de sauna solar pura, totalmente factible en las condiciones de clima tropical, como en el caso de la opción híbrida planteada, la contribución energética solar es muy importante, del orden de un 60% al 80% en la opción híbrida y los niveles de ahorro energético de electricidad son significativos. Para variaciones moderadas de las dimensiones en torno a las especificadas de unos 6 a 12 m² de área, manteniendo constante la altura de unos 2 m, las proporciones descritas dan una idea aproximada del comportamiento energético de la sauna.

La figura 1 muestra los niveles de temperatura promedio anual en grados Celsius registradas en el interior de la sauna en Cuba, medidos con termómetros electrónicos digitales de precisión con error máximo de 0,1 grados Celsius.

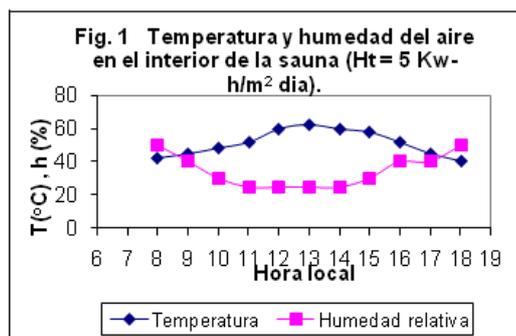


Figura 1: Niveles de temperatura media. Sauna solar cubana

Los valores de temperatura logrados se refieren a condiciones de verano, sin carga. En prototipos de 6 m² de área y 2 m de altura. En las experiencias prácticas realizadas durante las horas de máxima insolación, (11:00 AM a 1:00 PM), y con cuatro personas (carga máxima) dentro de la cabina térmica, se observó un descenso de la temperatura de unos 2 a 4 ° C durante aproximadamente una hora de baños consecutivos. A esta pequeña disminución de temperatura contribuye la gran inercia térmica del material del piso de la sauna, que es una plataforma de cemento sobre tierra compactada. Después de concluidas las sesiones de sauna, en las horas pico de insolación, la temperatura de la cabina vuelve a sus niveles normales en corto tiempo.

El comportamiento de la humedad es muy favorable, ya que esta se aumenta, de ser necesario, hasta niveles de saturación de manera puntual, es decir en la periferia de la piel de la persona, aplicándose agua en forma de neblina mediante el uso de un pulverizador (envase con spray) sobre la cabeza del bañista, cayendo las micro-partículas de agua sobre todo su cuerpo. El aire calentado en el interior de la sauna no humectado con el pulverizador

tiene muy baja humedad relativa, del orden del 30%, lo que explica su avidez por el agua, facilitando un aumento en las pérdidas de líquido a través de la piel de los bañistas y la humectación rápida con el pulverizador.

El recambio de aire se realiza por convección natural a través de unas pequeñas aberturas que están situadas en la parte inferior y superior de la cabina y que garantizan el suministro de oxígeno a los usuarios. Estas aberturas son de tamaño regulable y pueden cerrarse.

En condiciones de invierno en Cuba, en la región oriental del país, las temperaturas medias diurnas raras veces bajan a un nivel medio de unos 25 grados Celsius, manteniéndose cercanas a 30 grados. Por tanto los niveles de temperatura máxima de la figura 1 alcanzan unos 50 grados Celsius como mínimo. Incluso en saunas tan simples como la descrita, si se dan las condiciones de mínima abertura de las puertas y conductos durante el funcionamiento del equipo, pueden lograrse temperaturas máximas interiores de unos 50 a 60 grados Celsius en Cuba en condiciones de invierno. En condiciones de verano, estas superan estos valores unos 10 grados Celsius.

Cálculo de la eficiencia diaria de la sauna como calentador de aire (η).

La eficiencia diaria de la sauna como calentador de aire se calcula como la relación entre la energía total ganada por el calentador y la energía total de la radiación solar incidente y toma la forma siguiente:

$$\eta = \Sigma Q_u / (A_c \times \Sigma H_t)$$

Donde

ΣQ_u : Energía útil por día, igual a la suma de las energías útiles horarias (Kwh) en la sauna

A_c : Área de la sauna , m²

ΣH_t : Energía incidente por m² de sauna y día, Kwh/m²día

Utilizando los valores provenientes de la evaluación del equipo, el valor de la energía útil para el día medio de Enero, fue

$$\eta = 2,21 \text{ Kwh/día} / (6 \text{ m}^2 \times 0,7401 \text{ Kwh/m}^2 \text{ día}) = 0,49$$

Este valor de eficiencia corresponde a una situación operacional estable, de unos 20 usuarios por hora, tomando baños de unos 10 minutos de duración. En este caso, el flujo evacuado de aire del orden del calculado durante el diseño del equipo permitirá que las temperaturas del aire interior no caigan por debajo de los 50 ° C, y en días nublados, de unos 45°C. Las condiciones interiores de termotransferencia son de convección natural. En el caso de la variante "Bastu", donde hay convección forzada por ventilación, el mejoramiento de la transferencia de calor provoca que, en la situación límite, cuando la sauna tiene un mínimo de aperturas y coeficiente de ocupación bajo, esta eficiencia tienda a un 50 %, tal como ocurre en secadores de madera de doble cubierta de vidrio.

En el cálculo del equipo se consideró una sola superficie captadora en la cubierta superior. En el caso de paredes laterales captadoras de energía en las caras este, oeste y sur de la sauna, la ganancia de energía diaria de la sauna aumenta, siendo particularmente interesante el caso en que existe cierta inclinación de las paredes este y oeste (unos 70 grados con respecto a la horizontal). En este caso la energía captada por pared se maximiza.

Si se asume que una persona promedio desprenderá unos 75g de sudor (dos onzas) durante 10 min de baño de sauna, y el tiempo solar efectivo es 5 horas de baños, la capacidad por baño 4 personas y la duración de los baños de 10 min, y considerando un calor consumido en la evaporación del sudor de 2256 kj/kg, tenemos un calor útil diario de :

$$0.075\text{kg} \times 4 \text{ personas} \times ((5 \times 60)/10) \times 2256.79 \text{ kj/kg} = 20311 \text{ kj/día}$$

Esto corresponde a una eficiencia real de sauna de un 32%. En la práctica la cantidad de agua expulsada es variable y depende de numerosos factores fisiológicos. Suponiéndola entre 1 y 2 onzas por persona y por baño, el rendimiento de sauna será entre 16 y 32 % y más cercano a la primera cifra. Este indica la fracción del calor solar que se empleará directamente en la evaporación del sudor, una vez que este corre por la piel, y es un parámetro funcional exclusivo de la sauna solar, vista en este caso como un tipo peculiar de secador.

Este último valor de eficiencia no está en contradicción con el primero obtenido, ya que se refiere a un aspecto diferente que es la evaporación del agua, y no al calentamiento del aire. Es comprensible que solo una parte de la energía utilizada para calentar el aire se utilizará en la evaporación del sudor. La otra parte debe perderse por cubierta, paredes y abertura de las puertas durante el proceso de trabajo del equipo por escapes de aire a través de los diversos orificios funcionales de la sauna.

Los valores de eficiencia calculados fueron confirmados con mediciones detalladas de las temperaturas horarias en las diferentes partes del equipo, y el recálculo de la eficiencia térmica global con datos reales, con lo que se comprobó que los cálculos iniciales de diseño eran correctos. La radiación solar incidente se midió con piranómetros de precisión y las temperaturas con termómetros de precisión de error relativo máximo 0,01. Los experimentos de laboratorio confirmaron la viabilidad del equipo para la aplicación de baños de sauna.

En la tabla 1 se observan los valores de radiación incidente, energía útil y eficiencias horarias η de la sauna para calentamiento de aire para el día 15 de Enero, en Kwh/m^2 , así como en la superficie total del equipo.

TABLA 1: Radiación solar incidente H_t , energía útil E_u y eficiencias horarias η de calentamiento de aire

Horas del día		H_t kWh/m^2	H_t $A=6\text{m}^2$ kWh	E_u kWh/m^2	E_u $A=6\text{m}^2$ kWh	η
7 – 8	16 - 17	0,230	1,38	0,124	0,744	0.539
8 – 9	15 - 16	0,446	2,676	0,245	1,47	0,549
9 – 10	14 - 15	0,643	3,858	0,332	1,996	0,516
10 – 11	13 – 14	0,774	4,644	0,375	2,250	0,484
11 – 12	12 - 13	0,865	5,19	0,401	2,406	0,463

3. IMPORTANCIA DE LA SAUNA SOLAR PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

Caracterizamos a continuación esta sauna solar o “Saunasol” por medio de un resumen sintético de sus impactos comprobados:

3.1 Impacto Social:

Se han aplicado con éxito los baños de sauna en el prototipo experimental "Sauna Sol" de 6 m², existente en el CIES, Santiago de Cuba, Cuba, donde, una vez concluido el experimento térmico y médico inicial, acudieron los usuarios del reparto "Abel Santamaría", a través del servicio de fisioterapia que presta la policlínica "Josué País" de esta área de salud, lo cual representó un gran beneficio para nuestra población que por estar distante del centro de la ciudad no puede acudir con regularidad a los gimnasios de cultura física. Se firmó un convenio entre dicha policlínica y este centro para la utilización del prototipo demostrativo que fue utilizado para beneficio social en el tratamiento de diversas patologías. La perspectiva de generalización de esta experiencia a las policlínicas similares de todo el país tiene gran interés social.

En el campo de la medicina deportiva este equipo tiene igualmente perspectivas de mejorar las condiciones físicas de la población afín al deporte, así como el estado físico de los deportistas de alto rendimiento. Simplemente por consideraciones estéticas, podría tener alta demanda en el sector femenino de la población. Debido a su bajo costo y consumo nulo de energía, es una excelente opción para difundir el uso de los baños de sauna en nuestra población.

Además, la sauna de la foto 1 fue instalada en el Hotel "Villa Colibrí", y usada para el personal alojado en el hotel y como complemento para el tratamiento de diversas patologías, especialmente adicciones. Los resultados generales fueron eficaces y la evaluación confirmó la exactitud de los cálculos previos en el terreno.

3.2 Impacto científico técnico:

Se ha logrado concretar la utilización de la energía solar mediante la aplicación del efecto invernadero para el funcionamiento de un equipo novedoso en Cuba y no tenemos noticias de un equipo similar usando solo la energía solar en ningún otro país. Este equipo logró una nueva patente ya concedida por la oficina de patentes de la República de Cuba.

3.3 Impacto de salud:

Los baños de sauna han permitido influir sobre los usuarios provocando:

1. Aumento del bienestar personal en el 100% de ellos.
2. Disminución del "stress" y la ansiedad.
3. Mejora la calidad del sueño.
4. Contribuye a la disminución del peso corporal.
5. Aumenta la limpieza e higiene corporal.
6. Aumenta la actividad física después del periodo de recuperación, pues refieren sentirse más ágiles.

Todo ello ha sido verificado mediante encuestas realizadas a los usuarios por el personal médico auxiliar y los ingenieros mecánicos e investigadores de perfil termo energético que crearon y evaluaron el equipo.

El mismo no posee ninguna contraindicación para el uso humano, ya que se utiliza solo la radiación infrarroja que se transmite desde la superficie caliente por radiación y convección hacia la piel humana, utilizando mecanismos de naturaleza e intensidad semejantes a los de una sauna convencional.

En el tratamiento de diversas patologías asociadas a la obesidad y al "stress", puede ser un complemento efectivo y original cuya valoración se impone para la creación de

procedimientos específicos de baños de sauna solar de valor terapéutico. El estudio de todo ello debe ser realizado por nuestras instituciones de salud pública en el futuro cercano.

3.4 Impacto turístico:

El "SaunaSol" posee buenas potencialidades para su generalización en el sector turístico. Su funcionamiento con energía solar constituye un atractivo turístico especial para aquellos turistas que vienen a disfrutar de las bondades del sol tropical. Es importante recordar que el segmento ecológico del mercado turístico está en crecimiento, y que la presencia de una sauna en una instalación turística contribuye a aumentar su categoría como medio de beneficio económico y ecológico al país.

3.5 Impacto ecológico:

Por tratarse de un equipo que funciona solamente con energía solar, no contamina el medio ambiente y además produce un considerable ahorro de electricidad, ya que sustituye las saunas convencionales que usan estufas con resistencias eléctricas (desde 4 hasta 17kw), que son altas consumidoras de energía convencional y a su vez contaminan el medio ambiente. La sauna solar por emplear fuentes renovables de energía, contribuye a la conservación del medio ambiente y al mantenimiento de la biodiversidad.

3.6 Impacto económico:

El precio aproximado de compra en divisas de una sauna convencional en el mercado oscila entre 2500.00 y 7000.00 USD y consume entre 4 y 17 Kwh, todo en dependencia de su capacidad. Mientras que el precio aproximado de venta de nuestra "Saunasol", para el mercado interno se proyecta en 2500.00 USD (como precio de penetración) y consume solo energía solar. El precio de venta de un "Saunasol" en el extranjero, estará en dependencia de circunstancias contractuales del comercio. El mismo constituye un nuevo producto cubano para el mercado, que permite el ingreso de divisas convertibles a nuestra economía.

Índices económicos fundamentales

Se realizó un análisis económico-financiero que justifica la viabilidad de la propuesta tecnológica desarrollada. Se asume en el análisis que la tecnología para la construcción, y explotación del "Saunasol" está desarrollada y se toma el caso particular de una entidad turística que se decide a instalarla. Se evalúa el impacto económico del resultado científico por el efecto de la introducción de la tecnología en la práctica económica del país a través del caso particular considerado.

En el estudio se hicieron las siguientes consideraciones:

1. El "Saunasol" tiene una vida útil de 10 años.
2. Se construye y pone en servicio una sola instalación de "Saunasol".
3. La investigación se calcula a partir de las siguientes indicaciones.

- ⇒ Construcción del "Saunasol" 2 000 USD
- ⇒ Se atienden 4 usuarios por día
- ⇒ Adquisición del proyecto (15% del total invertido en la Construcción) 375 USD

4. Los ingresos por venta se realizan a través del servicio que presta la instalación "Saunasol"
Se asume que el "Saunasol" funciona el 75% del total de días del año. (Se incluyen factores climáticos y tiempo de mantenimiento) Se presta servicio a tres bañistas diarios y la sesión de Sauna se cobra a 3.50 USD por bañista.

5. Para el funcionamiento del "Saunasol", se gastan anualmente 500 USD (promoción, salario del operario, etc.)
6. La instalación experimenta una depreciación anual del 10 % de la inversión (200 USD)
7. Se pagan impuestos del 35 % de las ganancias por operación del "Saunasol"

En la figura 2 se presentan los resultados del cálculo (realizados utilizando el paquete de programas EXCEL versión 5.0 para Windows) del Valor actual neto (VAN) de la sauna solar cubana a lo largo de los 10 años de vida de la instalación, considerando tasa de descuento del 10, 20 y 30% para las suposiciones declaradas anteriormente.

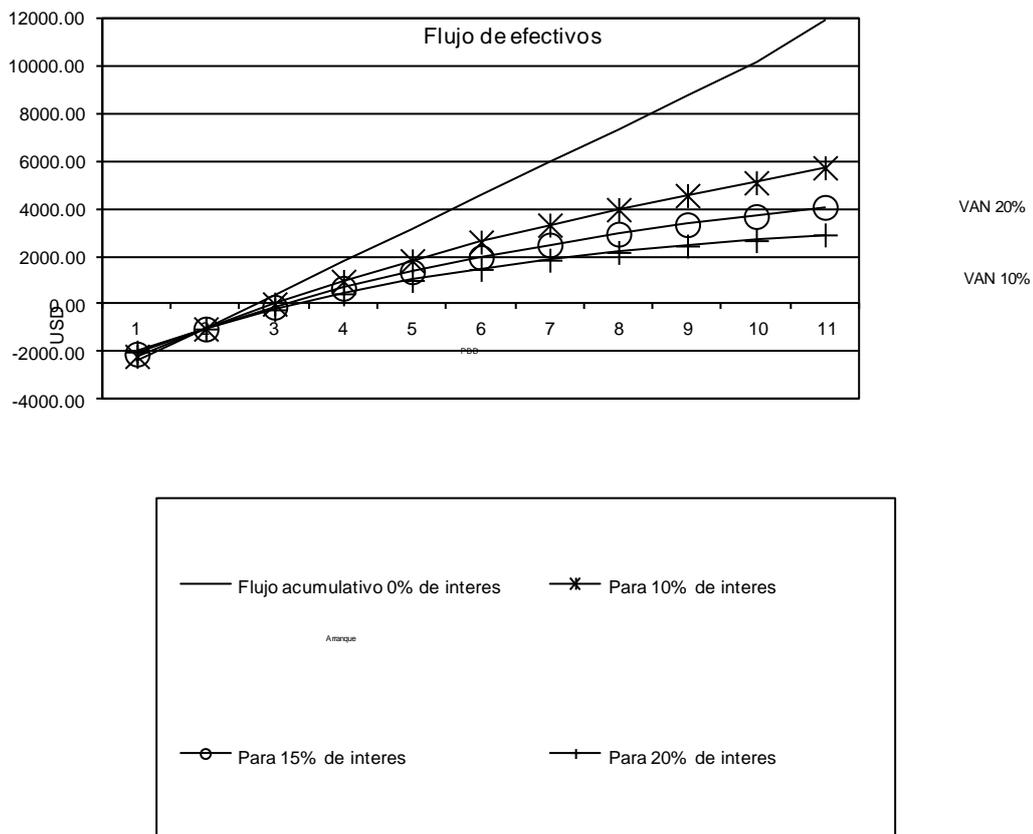


Figura 2: Sauna solar cubana: Valor actual neto USD vs tiempo en años

Como se observa en la gráfica e la figura 2, donde se da el valor actual neto de la sauna contra el tiempo en años, en las condiciones descritas m[as arriba, para una tasa de descuento del 10 % se puede recuperar la inversión en 2 años. Al cabo de los 10 se han obtenido ganancias netas de 11 528 USD. El tiempo de amortización de la inversión inicial fue muy bajo, alrededor de unos 2 años os y medio a tres años, según la variante,

En este cálculo se han planteado condiciones de máximo rigor al evaluar el balance financiero de la operación de construcción de una instalación. Es evidente que favorecido por condiciones menos rigurosas y con la generalización del "Saunasol", los beneficios económicos son mayores.

Desde el punto de vista económico las ventajas del “Saunasol” se pueden hacer más evidentes cuando se conceptúa como sustitución de la Sauna convencional, que se adquiere en el mercado mundial a costos del orden de los 7000 USD y además consume energía convencional.

4. VARIANTES DE SAUNA SOLAR

En el CEEFE y el CIES se realizó un estudio y cálculo de posibles variantes constructivas de sauna solar, a fin de ampliar su rango de aplicación y capacidad. A continuación son descritas brevemente las más importantes. Se dan sus ventajas y desventajas principales con respecto a la sauna simple, descrita aquí.

Estas variantes no se excluyen mutuamente, pudiendo realizarse combinaciones entre las mismas.

1. Sauna solar con apoyo de colectores de agua: A la sauna solar descrita se le añaden calentadores solares de agua cercanos a las paredes, principalmente la pared sur. Los colectores pueden ser compactos, de tubo y placa o de tubo evacuado. El sistema de apoyo puede incluir tanques termo acumuladores o cisternas en el interior del equipo.

Ventajas: Esta variante aumenta la duración de la respuesta térmica de la sauna, hasta 12 , 24 ó 48 horas, y los niveles de temperatura media hasta 50 a 80 grados Celsius o más.

Desventajas: Los colectores son caros, desde 50 USD/m² (Algunos tipos de colectores compactos) hasta unos 600 USD/m² (Colectores solares de tubo evacuado). La superficie de colectores recomendada puede variar desde la mitad al doble de la superficie de la sauna en condiciones tropicales, o variar aun más en dependencia de la región de su instalación ó de si la sauna tiene o no calentamiento solar directo por cubierta.

Esta variante puede realizarse de otra manera, en que la sauna está situada en el interior de un edificio, alimentada exclusivamente con calentadores de agua de alta temperatura mediante un sistema de tuberías. En este caso la parte del calentamiento directo se suprime, y por tanto se requiere de más área de colectores por metro cuadrado de sauna.

2. Sauna solar con otros materiales: La estructura de la sauna se cambia por una más barata de materiales locales, que puede ser desde madera a fibras vegetales o poliméricas. El captador se cambia de metales a polietileno negro opaco. La doble cubierta de vidrio se cambia por una cubierta de polietileno transparente de larga duración térmica.

Ventajas: Muy bajo costo. La sauna puede costar entre 50 y 100 USD/m². El polietileno por ser de muy pequeño espesor (unas 125 micras) tiene menor inversión energética e impacto ambiental que el vidrio. Sencillo mantenimiento o desmontaje y posibilidad de traslado rápido y barato del equipo en situaciones operativas o desastres naturales.

Desventajas: El polietileno tiene una transmisividad ligeramente inferior a la del vidrio, pero esta diferencia cuando se trata de materiales de larga duración térmica (polietileno LDT), es mínima.

3. Sauna solar tipo "Bastu": En la sauna solar se instalan ventiladores interiores de pequeña potencia, con lo que se activa la transferencia de calor y masa dentro de la misma.

Ventajas. Se activa la transferencia de calor y masa dentro de la sauna, la sensación térmica y el efecto del baño.

Desventajas. Los ventiladores de alta temperatura encarecen el equipo, y ventiladores entre 60 y 120 W cuestan entre 60 y 100 USD, según la marca.

El conjunto de estas variantes tiene un rango amplio de aplicación, tanto desde el punto de vista del usuario como de las condiciones climáticas.

Las saunas que incorporan algunos de los aspectos de la variante 1 se pueden utilizar casi en cualquier condición climática, principalmente en zonas ecuatoriales y tropicales húmedas o secas en cualquier estación del año, y en clima continental, de desierto, marítimo o mediterráneo, así como en latitudes medias, principalmente en la estación cálida. En todos los casos la energía útil será en días claros entre un 30 y un 80% de la energía solar incidente sobre la superficie de captación total. Esto representa eficiencias térmicas medias de trabajo entre 30% y 60%. Estas saunas, por sus costos relativamente altos, que pueden llegar a ser entre 200 y 700 USD/m² se recomiendan para usuarios con poder adquisitivo medio a alto, aunque el concepto de financiamiento colectivo por la comunidad, ya que se trata de un equipo que puede ser también de uso colectivo, y se puede ampliar así su nivel de acceso.

En Cuba esta variante es de particular interés, pues disponemos de una fábrica ensambladora de calentadores solares de tubo al vacío de procedencia china, en la ciudad de Morón, provincia de Ciego de Ávila, y de gran experiencia de trabajo con estos calentadores, que a pesar de tener altos costos, el tiempo de amortización de muchas de sus aplicaciones industriales o domésticas ha probado ser muy bajo, del orden de varios meses a 5 años.

Las saunas que incorporan algunos de los aspectos de la variante 2 son saunas de bajo costo, por ser sus materiales baratos, y su costo puede estar entre 50 y 200 USD/m² si no lleva colectores solares o utilizando colectores baratos. Son recomendadas para usuarios con nivel de financiamiento medio a bajo, y para uso comunitario. Son aptas para el trabajo en zonas tropicales, ecuatoriales o de desierto, así como en condiciones climáticas propicias de los climas continental, mediterráneo, marítimo, principalmente en horarios diurnos y en estaciones cálidas. Las eficiencias térmicas medias obtenidas son desde el 30 a al 50 %, y sus temperaturas de operación entre 50 y 70 ° Celsius.

Las saunas que incorporan ventilación forzada, o tipo "Bastu", cuestan más que las variantes anteriores sin ventilación, y sus eficiencias térmicas como secadores están cerca del límite superior de las existentes en las variantes anteriores, al ser más intensos los procesos de transferencia de masa y calor en la piel humana.

Como se ve, la combinación racional de las características de estas variantes permite el trabajo de las saunas solares en una amplia variedad de condiciones climáticas, en todos los casos ahorrando electricidad, y combustibles alternativos fósiles o de la biomasa.

Las apreciaciones y conceptos anteriores son producto del análisis de las experiencias de calentamiento de agua y termo conversión solar con efecto invernadero de las últimas décadas, que permiten obtener para el calentamiento de

agua y aire en las condiciones climáticas referidas calentamiento de agua y aire en el rango de parámetros descrito.

Con la concepción inicial y el posterior estudio de variantes de la sauna solar cubana, en su aspecto de peculiar secador solar, estuvo relacionada la metodología de diseño sistémico de secadores solares elaborada en el CIES y el CEEFE, y de la cual publicamos algunos aspectos gráficos en los números anteriores de la revista DELOS (Febrero de 2010 y Junio de 2011.).

Con el uso de la misma se diseñan secadores solares partiendo de gráficos donde los secadores se representan como puntos y se sugieren las principales innovaciones tecnológicas que deben ser aplicadas para desarrollar equipos viables. Los cambios tecnológicos o innovaciones a realizar se representan como vectores.

En la figura 3 se representan como puntos las saunas cuyas características medias corresponden a la variante inicial, (variante 0) en sus versiones de 6 m² y escalada de 36 m², (Centro derecha), variante 1 (Derecha superior) y variante 2, con convección forzada y natural (centro izquierda, izquierda inferior). Como variante inicial se representa la variante de captador de vidrio y absorbedor de metal negro descrita en este trabajo (variante 0). El sentido y dirección de los cambios tecnológicos a realizar, a partir de la sauna simple descrita y evaluada en este trabajo a fin de lograr saunas solares con mejores características para su generalización corresponde al vector 1 representado entre las variantes inicial (0) y 2, para pequeña a media capacidad de inversión del usuario, o al vector 2 entre las variantes 1 y 2 para capacidad de inversión del usuario media a elevada. Los cambios 1 y 2 corresponden a funcionamiento en condiciones de convección forzada, y control de temperatura y humedad, y los cambios 3, a condiciones de convección natural sin control de temperatura y humedad.

En el caso del vector cambio 1 las innovaciones a aplicar son la sustitución de la estructura, el captador y el absorbedor por otros más baratos. En el caso del vector cambio 2, las innovaciones a aplicar son la sustitución de los calentadores solares de tubo evacuado por otros más baratos o compactos, y la sustitución de las estructuras de metal por otras de polietileno, madera local o polímeros o materiales de la construcción locales y ligeros.

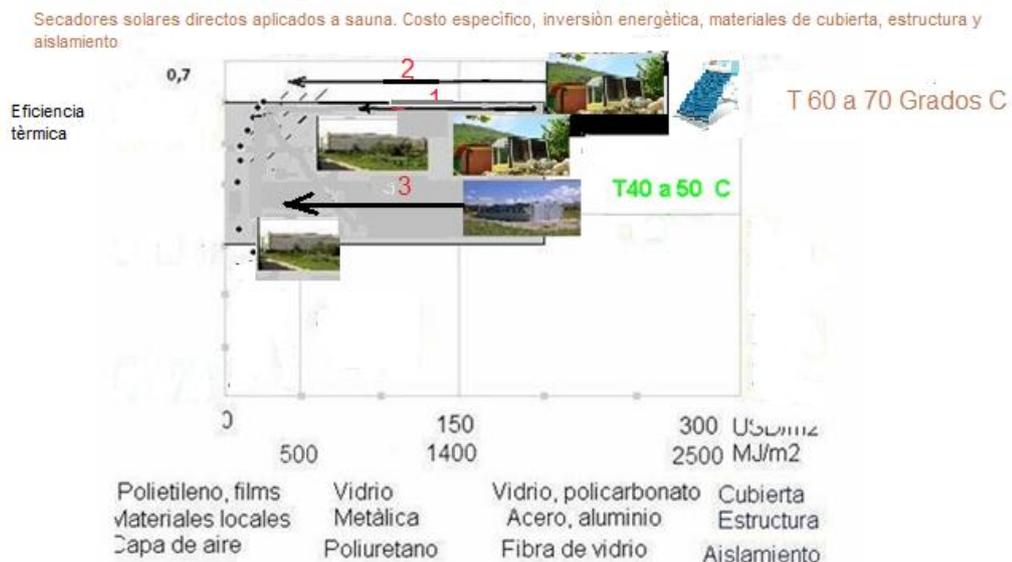


Figura 3: Características de variantes tecnológicas de la sauna solar. Cambios tecnológicos para facilitar su generalización.

5. ENERGÍA AUXILIAR Y ESCALADO DE LA SAUNA SOLAR

Si se pretende que la sauna funcione de noche entonces deberá entregarse una energía adicional preferentemente en forma de electricidad, dadas las características de la sauna, que frecuentemente estará situada en instalaciones turísticas. Es probable, como criterio funcional que, dada la baja demanda energética natural en horas de la madrugada, la energía total necesaria por la noche no sea superior a la del día suponiendo un día de insolación promedio 5 kWh/m^2 día. Esta misma energía puede servir para cubrir demandas diurnas de contingencia, por ejemplo en días nublados.

5.1: Energía térmica necesaria

Suponiendo una eficiencia térmica del 50 %, y una energía incidente de 5 kWh/m^2 día la energía útil por día y metro cuadrado de equipo es:

$$5 \times 0.5 = 2.5 \text{ kWh/m}^2 \text{ día para nuestra sauna.}$$

Suponiendo unas 8 horas de sol, la energía útil promedio por hora es:

$$E_{u \text{ prom hora}} = 2.5/8 = 0.312 \text{ kWh/m}^2 \text{ hora}$$

Conceptualmente, el apoyo energético eléctrico mínimo deberá ser de la misma magnitud que la energía útil lograda en el equipo. Suponiendo unas 10 horas de apoyo energético convencional diurno más nocturno (por la noche es improbable que se necesiten más de 8 horas efectivas, en casos excepcionales, pues la gran mayoría de los baños se dan en horario diurno o en las primeras horas de la noche).

$$E_{u \text{ adicional}} = 0.312 \times 10 = 3.12 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$$

Por tanto, a nuestra sauna de 6 m^2 deberá suministrársele en el caso mencionado la siguiente cantidad de energía térmica:

$$E_u = 3.12 \times 6 = 18.72 \text{ kWh/día}$$

Asumiendo un rendimiento de conversión de 0.9, tendremos un valor para la energía eléctrica necesaria de :

$$E_{eu} = 18.72/0.9 = 20.8 \text{ kWh/día}$$

Para el caso de los consumidores más exigentes (hoteles 5 estrellas, por ejemplo), aunque es muy improbable, será necesario tener la posibilidad de dar suministro energético todo el día. En este caso tendremos

$$E_u = 0.312 \times 24 \times 6 = 44.98 \text{ kWh/día}$$

Asumiendo un rendimiento de conversión de 0.9, tendremos un valor para la energía eléctrica necesaria de:

$$E_{ue} = 44.98/0.9 = 50 \text{ kWh/día}$$

En cualquier caso, y dadas las características de la transferencia de calor dentro de la sauna solar, se estima que con una unidad calentadora eléctrica de alrededor de 5 KW con un coeficiente de utilización temporal 0.25 a 0.5 será suficiente para el funcionamiento de la sauna. Esto es, valores de consumo de energía eléctrica de alrededor de 30 a 60 kWh/día

muy inferiores a los obtenidos en saunas convencionales de la misma área, donde hay unidades de entre 5 y 15 KWh de potencia instalada con coeficientes de utilización similares, lo que da valores mínimos de 108 a 120 kWh/día de energía consumida para la potencia de 5 KW. Los valores exactos de consumo deben ser extraídos de las experiencias concretas con suministro híbrido y dependerán de las características y exigencias de cada consumidor. La potencia asumida de 5kW incluye el logro de niveles de temperaturas del aire algo mayores que las obtenidas con energía solar, pero no mayores de 80 °C.

5.2: Escalado:

Hasta el presente los prototipos y diseños cubanos de sauna desarrollados han tenido entre 6 y 12 m² de área. En caso de equipos colectivos, es conveniente prever su escalado.

En este caso, si la sauna tiene forma de nave, el escalado se hará de dos maneras.

1. Por multiplicación: El número de naves de 6 y 12 m² será multiplicado de acuerdo a la capacidad necesaria en un área adecuada suficiente para evitar el efecto sombra durante el día solar. La ventaja de esta opción es que evita el efecto de claustrofobia y puede ser combinada con motivos ornamentales externos. La desventaja es la gran superficie que ocupa, estimándose entre 3 y 4 veces la de las saunas combinadas.
2. Por prolongación de su longitud: Manteniendo el resto de sus dimensiones constantes, y la semejanza cinemática, geométrica y dinámica de los flujos interiores de aire, el funcionamiento del equipo por metro cuadrado será aproximadamente igual al del prototipo de 6 m².

La ventaja de esta opción son sus menores pérdidas de calor, sobre todo en el esquema en que el eje principal es norte sur y en la pared norte hay un pasillo lateral con doble puerta en sus extremos. Esta disposición facilitará que las aberturas de las mismas se pierda una cantidad de calor menor que en los equipos reducidos, al ser el tamaño de puertas el mismo para un equipo de área mayor. Además, el área ocupada por la instalación y el usuario es menor. La desventaja de esta opción es que aumenta el efecto de claustrofobia, pero este puede ser disminuido por la existencia de ventanas de doble cubierta de vidrio o polietileno, según el material, sobre todo en la pared sur.

Manteniendo la misma proporción utilizada, de unos 4 usuarios durante 5 minutos, y un coeficiente de utilización temporal de un 50 a un 90 %, en un día claro un equipo de unos 36 m² con dimensiones de planta de 3x12 metros, podrá prestar servicios en la sauna con solo energía solar durante unas 3 a 4 horas, a un total de 144 a 172 personas como máximo a temperaturas entre 50 y 60 grados Celsius.

En el caso de una sauna híbrida solar eléctrica de bajo consumo, la cantidad de usuarios en horario diurno podrá duplicarse manteniendo temperaturas similares o ligeramente superiores en horario diurno, con porcentos de ahorro de energía convencional de 40 al 60 % o superiores en comparación con una sauna eléctrica a los mismos niveles de temperatura. Si las resistencias eléctricas están uniformemente distribuidas en el área del equipo, el consumo eléctrico será proporcional al área y el específico será igual al calculado de unos 5 a 10 KWh/m²día.

Por su forma externa, la sauna solar en su versión escalada comunitaria será muy parecida al secador solar cubano multipropósito "SECSOL 32", y sus niveles de temperatura y eficiencia serán similares.

6. ASPECTOS GENERALES Y SOCIOCULTURALES

La cultura de la sauna es muy amplia y antigua en diversas regiones del planeta. En cambio la utilización energética de las energías renovables, y en particular de la energía solar es más reciente como fenómeno socio cultural. En la sauna solar ambos aspectos hacen sinergia, facilitando la aplicación de las energías renovables en un ámbito en las cuales se habían utilizado poco la energía solar térmica.

Por lo tanto la sauna solar puede ser una aplicación que contribuya sustancialmente al crecimiento de la cultura sobre fuentes renovables de energía de determinadas poblaciones, y, por su ahorro energético y uso de materiales locales, a la difusión de la cultura de la sauna en poblaciones y comunidades del Tercer mundo que no la conocen por las limitaciones de disponibilidad energética y de recursos y materiales que estas sufren.

Los parámetros energéticos, económicos, medioambientales y funcionales de la sauna solar, en cualquiera de las variantes analizadas, demuestran la viabilidad de esta aplicación y su gran potencial de generalización para el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades y la diversificación y generalización de la cultura de la sauna en diversos entornos geográficos y socioculturales del planeta. La dimensión cultural de este hecho puede ser significativa, pues se incorpora una tecnología novedosa de gran futuro y con gran capacidad de generalización a una aplicación que data de los primeros tiempos de la humanidad.

CONCLUSIONES

1. Fue descrita y evaluada una sauna solar concebida en Cuba, provista de cubierta de vidrio y captador metálico negro. La aplicación resultó viable en las pruebas preliminares y en dos saunas montadas en hoteles cubanos, con excelentes resultados para el ahorro de energía, la reducción de emisiones de CO₂ y fue de gran utilidad para el mejoramiento de la calidad de vida de la población local.
2. Se hizo una valoración de los efectos medioambientales y sociales generales de la sauna solar para la comunidad, mediante la caracterización breve de sus impactos energético, medioambiental, económico y social. Estos en zonas tropicales son altamente favorables, por lo que debe generalizarse esta aplicación en un breve plazo.
3. Se hizo un estudio de variantes de sauna solar, sus ventajas y desventajas, y los cambios o innovaciones que deben ser aplicadas en las mismas. Las variantes o combinaciones de ellas se pueden adaptar a una amplia variedad de condiciones de disponibilidad de inversión, esquemas de financiamiento, clima del lugar de instalación, disponibilidad de materiales y estructura de las viviendas. Entre estas, la variante 1 con apoyo de colectores solares es la más adecuada para una gran variedad de condiciones, y la variante 2, con materiales baratos es la más adecuada para su uso zonas pobres o del Tercer Mundo.
4. Los parámetros energéticos, económicos, medioambientales y funcionales de la sauna solar, en cualquiera de las variantes analizadas, demuestran la viabilidad de esta aplicación y su gran potencial de generalización para el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades y la diversificación y generalización de la cultura de la sauna en diversos entornos geográficos y socioculturales del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bergues Ciro, Martínez A., Griñan P. "Algunos aspectos de los cambios tecnológicos en secadores solares cubanos: Realidades y tendencias". *Revista Tecnología Química*, Vol 28 No 2, 2008,p35-45.
2. Bergues Ciro, BèrrizLuis, Griñan Pedro. "Generalización de secadores solares directos en Cuba. Análisis numérico de sus tendencias actuales". *Revista Desarrollo sostenible (DELOS)*. Eumed. 2010. Vol.3, No 8 , p 30 -40.
3. BerrizPerez Luis "Secadores solares". *Revista Energía y tú*. 2009. Editorial Cubasolar. Vol 30 2009 ISSN 1028-9925 P.25-30
4. Corvalán R., Horn M., Romàn R., Saravia L. *La ingeniería del secado solar*. Editora Cyted –D-Programa de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. V Centenario. PrimeraEdición, Santiago de Chile, 555p .1992
5. Duffie J. Beckman W. A. *Solar Engineering of thermal processes*, Wiley interscience publication. John Wiley and sons inc. Second edition. 1980, 919 p. ISBN0471510564
6. Grinan, P. Bergues C. Bravo, M. , Ferro V., Abdala, J. R. Torres A. Informe final del resultado de la Sauna Solar. Informe de Proyecto Territorial .Fondo de documentos de proyectos de la Delegación Territorial del CITMA, Santiago de Cuba, Cuba. Diciembre 1998.
7. Karag, A: "Diccionario de los deportes" TomoVI,Pag.134
8. Mc. Graw Hill. Boixareau Diccionario de Términos científico técnicos.1990
9. Rodríguez C. y otros "Software para el cálculo de la radiación solar sobre superficies inclinadas", *Tecnología Química* Vol. 17 N° 1 , 1997.
10. Panwara,* , S.C. Kaushika, SurendraKotharibA." Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming".*Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier.2011, vol 15, p. 3934-3945
11. Salvat, Juan"Enciclopedia de la Salud" Volumen IX,Pag.44. OMS. !985
12. Sreekumar A." Techno-economic analysis of a roof-integrated solar air heating system for drying fruit and vegetables" .*Energy Conversion and Management journal*. Elsevier. 2010. vol 51, pp. 2230–2238.
13. Torres Ten, A, Fonseca Fonseca S. Bergues Ricardo C. et al. *Conceptos para el uso extendido del secado solar en la conservación de productos agrícolas*.Monografías de excelencia de la Universidad de Oriente 2008, 250 p. ISBN 978-959-207-351-7
14. Vila C, Contero M. "Herramientas para la interacción y comunicación". *Ingeniería concurrente. Una metodología Integradora*. Riba C, Molina a. Eds Barcelona, Ediciones UPC, 2006, pp 229-236
15. Vanaken J. E. "Valid knowledge for the professional design of complex design processes". *Eindhoven Centre for innovations study, Departament of Technology Management., Technische Universiteit Eindhoven. Holanda, 04,11. 2004, pp 200-211*