

ALGUNOS ASPECTOS DE LOS CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN SECADORES SOLARES CUBANOS: REALIDADES Y TENDENCIAS

Ciro César Bergues Ricardo, Pedro Griñan Villafañe, Arnaldo Martínez Reyes

Se evalúan y comparan los cambios tecnológicos representados como vectores en el sistema de secadores solares de Santiago de Cuba. Se describen los cambios que deben realizarse en el futuro inmediato por medio de sus componentes energético, medioambiental, económico y funcional. Como resultado de estos cambios, se dan variantes de secadores solares baratos y su descripción técnica. El secado solar, de gran valor económico, debe ser desarrollado mediante proyectos multisectoriales y nacionales.

Palabras clave: *secado solar, cambios tecnológicos, cubiertas de polietileno.*

Technological changes represented as vectors at a solar drying system of Santiago de Cuba are evaluated and compared. The changes for the near future are described by means of their energetic, environmental, economic and functional components. As a result of those changes are given some solar cheap dryers types and their technical description. Solar drying, of a great economical value, should be developed by means of multisectorial and national projects.

Key words: *solar drying, technological changes, polyethylenum dryers.*

Introducción

Dado el carácter estratégico del secado solar en nuestro país, que responde a necesidades productivas bien definidas, y cuyos principales problemas distan, por su complejidad, de estar resueltos, es necesidad permanente de las entidades que lo realizan el adecuado estudio integral de las opciones tecnológicas presentes en el mismo, a fin de realizar los cambios tecnológicos apropiados que permitan mayores ventajas para nuestro país.

Dado su significado medioambiental, energético y social positivo como fuente de ahorro de energía, disminución de emisiones contaminantes y conservación de productos varios, se impone visualizarlo como un sistema integral para lograr un enfoque correcto de su aplicación y desarrollo. El presente estudio tiene por objeto, sobre la base de algunas experiencias locales realizadas en Santiago de Cuba /4 a 16/, mostrar algunas de las direcciones y tendencias que, a nuestro juicio, deben seguirse para incrementar los resultados en esta rama, por demás joven y poco conocida en el país.

Tendencias generales y su representación

Las tendencias en secado solar en nuestro país, han sido en las últimas dos décadas la utilización de materiales locales en la construcción de secadores y la simplificación de los diseños, disminuyendo el costo unitario de los mismos desde unos 200 hasta prácticamente 1 a 2 USD/m². Las eficiencias térmicas han disminuido desde valores de un 50 % hasta valores cercanos al 2 % en algunos prototipos de cubierta de polietileno. Es notable observar que los índices económicos asociados a la explotación de estos equipos son altos, como muestran algunos diagramas del VAN en las figuras 4 y 5, aunque las eficiencias térmicas no sean altas e incida como factor de dificultad, en principio, la poca densidad energética de la radiación solar que en Cuba, como promedio anual es de 5 kWh/m².d.

La drástica reducción de costos registrada es posible con la utilización en la construcción de la estructura del secador de desechos industriales como estructura de goma y el uso de cubiertas de polietileno transparente o negro.

A continuación se enumeran los doce secadores solares realizados en el período señalado en el

territorio de Santiago de Cuba con carácter experimental. Se incluyen sus eficiencias térmicas promedio anuales (%) y sus costos unitarios (USD/m²) reducidos a valores del 2005. Éstos son:

- 1 y 2 Prototipos de secador solar de madera de 3 y 36 metros cuadrados. Eficiencia térmica: 30 al 50 %.Costo unitario:200 USD/m²
3. Secador solar doméstico con materiales de la construcción y una cubierta de vidrio para frutas y vegetales de 3 m². Eficiencia térmica: 25 al 30 %.Costo unitario: 30 USD/m².
4. Sauna solar cubana Eficiencia térmica (según el régimen de extracción): 30 a 50 % .Costo unitario: 200 a 300 USD/m².
5. Secador solar de granos cubierta metálica sobre plataforma. Eficiencia térmica 1 a 2 %.Costo unitario: 25 USD/m².
6. Secador solar de granos con cubierta de polietileno transparente sobre plataforma. Eficiencia térmica de trabajo 5 al 13. Costo unitario: 15 USD/m².
7. Secador solar de granos con cubierta de polietileno negro sobre plataforma. Eficiencia térmica 2 %. Costo unitario: 5 USD/m² (15 incluyendo plataforma).
8. Secador solar de plantas medicinales tipo nave con cubierta de polietileno transparente y 20 m² de área. Cubierta de polietileno Durasol Eficiencia térmica. Del 1 al 3 %. Costo: 8 a 15 USD/m² (18 a 25 incluyendo plataforma).
9. Prototipo de secador solar tipo *Thriller* para granos con cubierta de polietileno negro simple a 100 mm de la plataforma de secado. Eficien-

cia térmica: Del 1 al 3 %. Costo unitario: 8 a 15 USD/m².

- 10.Secador solar “Plasol”, análogo al secador 3, pero con cubierta de polietileno. Eficiencia térmica de trabajo: Del al 8 al 15 % utilizando polietileno “Durasol” (Limitador de la radiación solar), o polietileno “LDT” (Utilizando este último es mayor). Costo unitario: 15 a 25 USD/m²
- 11.Secador solar de goma para plantas medicinales con cubierta de polietileno negro. Eficiencia térmica 2-5 % .Costo unitario:1 a 2 USD/m².
- 12.Secador solar de goma para plantas medicinales y la agricultura urbana con cubierta de polietileno transparente. Eficiencia térmica de trabajo: 5-13 %. Costo unitario: 1 a 2 USD/m².

La descripción técnica detallada de los mismos aparece en la literatura /4 al 13 /. En general, 1 a 4 son estructuras prismáticas con cubierta de vidrio, y en mayor o menor grado incluyen paredes hechas con materiales de la construcción. Bajo la cubierta hay una placa negra metálica captadora. Trabajan con convección forzada o natural del aire. Se utilizan para el secado solar multipropósito, y especialmente para el secado solar de madera. En particular, en la sauna solar cubana se efectúa la deshidratación de personas durante la realización de baños de sauna.

Cálculo de la eficiencia de los secadores solares

Se realiza mediante la ecuación de balance térmico global, muy utilizada en ingeniería termoenergética y mecánica para proyección y evaluación de sistemas termoconvertivos solares.

$$q^{WT} = H (\tau \alpha) A - UA_p (T_p - T_a) - M_p (T_p - T_a) - mf C_{pf} (T_f - T_a) \quad (1)$$

W_T: cantidad de agua evaporada por el equipo;
 q: consumo específico de calor para el secado KJ/kg de humedad;
 H: radiación solar incidente, kJ/m²;
 τ α: producto transmisividad- absorbencia efectivo;
 U: coeficiente global de pérdidas.

T_p, T_a: temperatura del piso y ambiente respectivamente, K;
 M_p: masa del piso
 C_p: calor específico del piso.

En general, W_T se evalúa hallando el contenido de humedad de muestras durante el proceso para un producto concreto y secador específico y se

despeja q . El producto $q W_T$ que llamaremos Q_u es la energía empleada para el secado como tal, por tanto la eficiencia térmica se halla por la ecuación (2).

$$\eta = \sum Q_u / (A_c \times \sum H_t) \quad (2)$$

Aquí la sumatoria se refiere a los valores horarios, que en general se hallan durante las 8 h de radiación solar. En los proyectos de secadores realizados se calcula y se mide detalladamente en la práctica la eficiencia, teniendo en cuenta los factores de la cinemática solar, la geometría del secador y su influencia compleja sobre el producto $\tau\alpha$.

Para su uso en el balance térmico se calcula además, el coeficiente global de pérdidas.

Cálculo del coeficiente global de pérdidas (U)

$$U = U_T + U_L + U_f \quad (3)$$

donde:

U_T : coeficiente de pérdidas por cubierta, $W/m^2 K$;

U_L : coeficiente de pérdidas por laterales, $W/m^2 K$;

U_f : coeficiente de pérdidas por fondo, $W/m^2 K$.

En este trabajo se han dado valores de eficiencia promedio calculados para situaciones concretas a lo largo del año de evaluaciones prolongadas, tanto en los trabajos del autor /4, al 13 / como en evaluaciones generales de otros autores /17/.

Cálculo de las emisiones de CO_2

$$ECO_2 = [\sum (CEC_i \times G_i)] / S \quad (4)$$

donde:

ECO_2 : valor de las emisiones por concepto de materiales ($kg. CO_2/m^2$);

CEC_i : cantidad de CO_2 emitida por la fabricación de 1 kg del i ésimo producto o emisiones específicas de CO_2 para producir 1 kg de producto componente ($kg CO_2/kg$ de producto) de un secador;

G_i : peso en Kg. de cada producto componente de un secador;

I : número de productos componentes del secador;

S : superficie del secador.

Los datos del CIE o costo de inversión energética y del CEC son tomados de una fuente autorizada: Fuente: Curso de Postgrado "Fuentes Renovables de Energía". Vázquez L. *et al.* CIES, 1995. Tomado de Análisis energético y evaluación de la emisión para un sistema energético de hidrógeno solar para el sistema de transportación del Japón. (Sobre la base de 10,26MJ/kWh.).



Fig. 1: Fotos de un secador solar de semillas y granos con cubierta de polietileno de 3 m² y del "Saunasol", sauna solar cubana. Ambos son novedosos y la sauna ha sido aplicada en el sector turístico y con fines médicos.

Los secadores 5 a 7 son secadores de cubierta, situados sobre la plataforma de secado tradicional, compuestos de una estructura hexagonal y achatada de cabillas provista de ruedas y cubierta por diversos materiales, como polietileno, destinada al secado de granos y semillas y al secado multipropósito. Trabajan con convección natural del aire. Éste penetra por las paredes parcialmente abiertas y es evacuado por una chimenea central.

Los secadores 8 al 10 son estructuras prismáticas, más o menos achatadas con paredes de materiales de la construcción. Están compuestos por materiales locales, como armazón de madera rolliza, con techo y a veces también las paredes dotadas de cubierta de polietileno. Destinados al

secado multipropósito de productos varios, y específicamente, utilizados en el secado solar de plantas medicinales y condimentos; utilizan

convección natural. La circulación es por las paredes, aprovechando la diferencia de altura entre orificios de entrada y salida de aire.

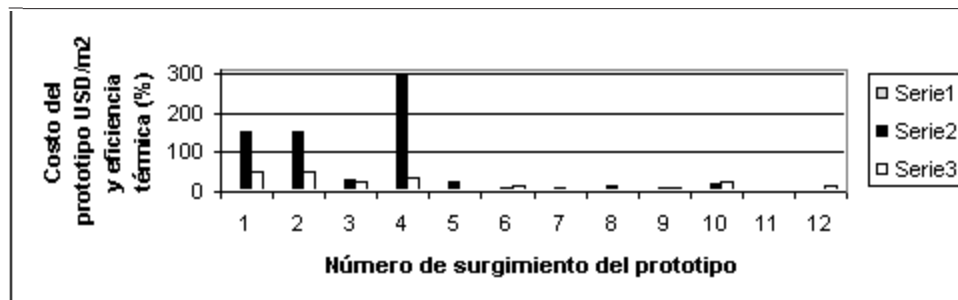


Fig. 2 Costo unitario térmica de prototipos de secadores solares cubanos.

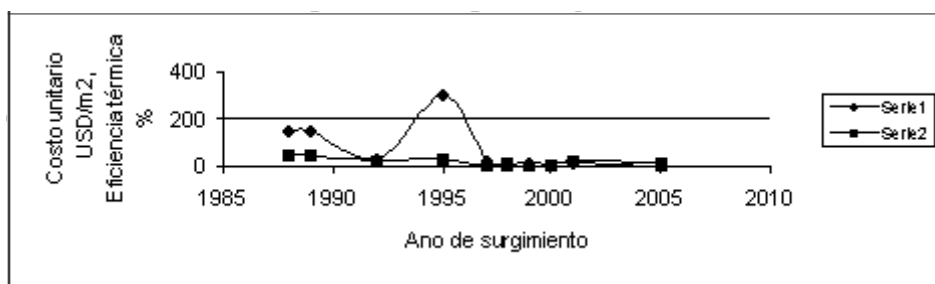


Fig. 3 Costos unitarios y eficiencias térmicas de secadores solares. Diagramacronológico, incluyendo sauna solar.

Los secadores 11 y 12 consisten en estructuras de goma con cubiertas de polietileno y convección natural. La utilización de gomas de desecho en su estructura y materiales locales los hace extremadamente baratos, además de prácticamente inocuos y ventajosos desde el punto de vista medioambiental.

En la figura 4 se observa que los cambios tecnológicos entre secadores han sido representados por saetas o vectores, que muestran las diferentes etapas del desarrollo secuencial del sistema con arreglo a las variables eficiencia y costo.

La ventaja de este tipo de representación es que puede visualizarse la dirección e intensidad de los cambios tecnológicos con arreglo a diferentes variables que intervienen en el mismo, apreciándose y cuantificándose las ten-

dencias dinámicas de los mismos de un modo nuevo, por medio de un algoritmo de trabajo novedoso que incluye la evaluación y comparación de los cambios por medio de coeficientes numéricos adimensionales. Todo ello está integrado en una metodología cubana de análisis de cambios cualitativos en general y tecnológicos en particular /13/ que existe desde 1995 y es aplicable a secadores solares u otros sistemas técnicos de diversos tipos.

En el estudio realizado en el Centro de Eficiencia Energética de Santiago de Cuba /13,16/ se ordenaron los cambios tecnológicos vistos como vectores, que parten de un secador y llegan a otro según la secuencia de la figura 1 del sistema de secadores solares mencionado.

Este ordenamiento se hizo en niveles cualitativos, atendiendo a su dirección, posición en el diagrama eficiencia-costo, al balance entre sus componentes positivas y negativas, y al resultado que originan o con que se asocia cada uno. Es evidente, que los cambios dirigidos hacia o situados en el cuadrante I de la figura 5, tendrán prioridad desde el punto de vista de la dirección y posición. El sistema de seca-

dores ha ido evolucionando desde el cuadrante III (soluciones técnicas de alto costo y alta eficiencia) hasta el II (bajos costos y eficiencias, con utilización de materiales locales) como corresponde a las tendencias de los países en desarrollo. Aun el grado de penetración del sistema en el cuadrante I es insuficiente, existiendo sólo proyectos al respecto. Obviamente debe evitarse el trabajo en el cuadrante 4.

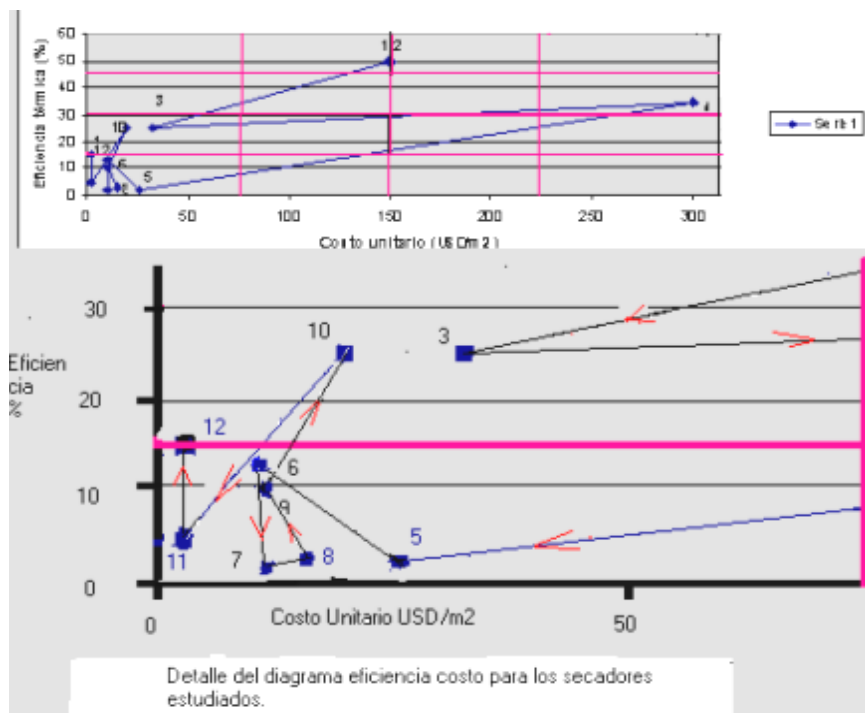


Fig. 4 Representación de los cambios estudiados en el diagrama eficiencia-costo.

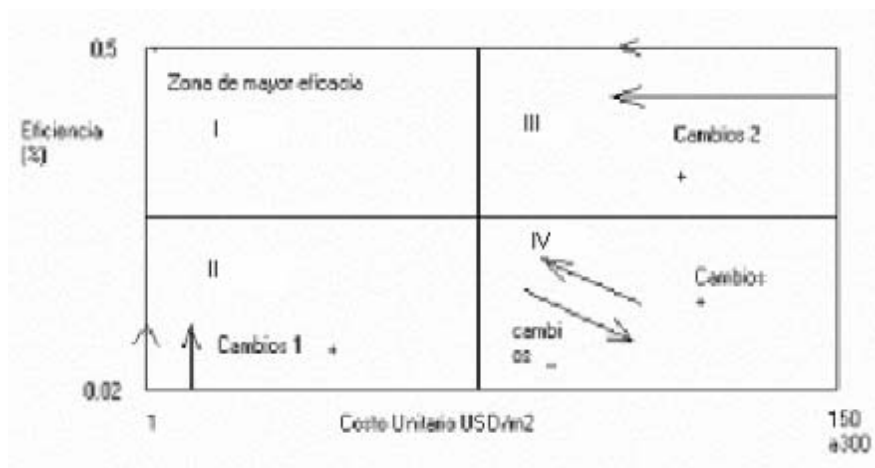


Fig. 5: Cuadrantes del diagrama eficiencia-costo y direcciones preferenciales del desarrollo del sistema de secadores en estudio.

Los cambios en los niveles 1 al 3 se consideran imitables parcialmente o paradigmas en ese orden de prioridad.

El ordenamiento de los cambios tecnológicos se aprecia en la tabla 1, en la que aparecen los cambios que deben ser considerados paradigmas en este mismo orden, y en dependencia de la frecuencia de repetición en cada nivel. Los cambios están ordenados en relación

con su posición y sentido en el diagrama eficiencia-costo de las figuras 4 y 5, así como con respecto al resultado que originan (usualmente secadores vendidos o introducidos) y al balance del número de sus componentes positivas o negativas (una componente, por ejemplo, en la variable eficiencia es positiva si ésta aumenta en el cambio, y es negativa si disminuye. En el caso del costo, la situación es inversa).

Tabla 1
Ordenamiento de cambios tecnológicos

Orden (por nivel)	Posición	Sentido	Balance de componentes positivas y negativas	Resultado que originan
1	2-3 9-10	11-12 9-10	5-6, 4-5	1-2
2	(4-5) (5-6) (6,7) (7-8) (8-9) (10-11) (11,12)	(2-3) (8-9) (5-6)	1-2	3-4
3	1-2	(6-7) (10-11) (4-5)	10-11, 5-6	6-7

De estos cambios tecnológicos paradigmas, se hizo un estudio de la frecuencia de aparición de las diferentes componentes de los mismos, que llamamos también componentes de las innovaciones, los que tienen mayor frecuencia de ocurrencia en los primeros niveles deberán aparecer también en los cambios futuros.

Los secadores solares expuestos pueden ser operacionales a eficiencias muy bajas (menores que un 5 %), aunque la eficiencia de los secadores muy baratos como los secadores 11 y 12 puede incrementarse hasta valores reales superiores a un 15 % como lo muestra el sentido del vector 11-12.

Ésta debe ser precisamente la dirección por seguir, si se parte de secadores como el 11, optimizando los diseños con la utilización de materiales locales y cubiertas de polietileno, y aislando los secadores de goma con fibras vegetales u otros productos naturales. El vector 12-13, como

cambio futuro propuesto, tiene las siguientes componentes:

Energética: Incremento de la eficiencia térmica de operación desde el 15 a valores cercanos al 20 %, utilizando convección natural o hasta el 50 %, utilizando convección forzada y evacuación controlada de aire. (Esto último debe excluirse como regla en este tipo de secadores, ya que contradice su concepto de diseño, a menos que se trate de aplicaciones especiales, de secado de productos cuyo alto valor añadido justifique el control).

Económica: Mantenimiento del costo unitario del secador a un nivel de 2 USD/m² o su ligero aumento hasta 8 a 10 USD/m², por utilización de materiales locales y de desecho en la estructura y cubierta de polietileno.

Medioambiental: Mantenimiento del bajo impacto ambiental por concepto de minimización de

emisiones equivalentes por concepto de la construcción del secador.

Funcional: Mantenimiento de la facilidad de construcción, de la humanización del trabajo de la instalación del secador, facilidad y poca complejidad del mantenimiento, con aumento de la calidad y cantidad del producto seco con respecto al secador de goma.

Si observamos detenidamente la figura 4, veremos que los secadores del tipo 1 y 2 resultan relativamente costosos y altamente eficientes dentro del sistema con cubierta de vidrio y estructura de acero, y eficiencias térmicas medias de trabajo de un 50 %. A partir de ellos el desarrollo tecnológico pudiera seguirse por un vector cambio lo más paralelo posible al eje de los costos, que se extendería hasta un costo aproximado de unos 8 a 10 USD/m² o incluso menor, lo cual implicará conjuntamente con el uso de materiales más baratos, perfeccionar el diseño térmico minimizando pérdidas por pared y cubierta en las naves de 36 m² o más.

En la práctica, un cambio de materiales hacia cubierta de polietileno LDT (Larga duración térmica), que en óptimas condiciones reproduce bastante bien la transmisividad espectral del vidrio, representaría en estas estructuras un crecimiento de la eficiencia hasta valores equiparables a los registrados con el uso de vidrio, y un mantenimiento o mejoría de los índices económicos de operación en relación con el secador de vidrio. Esto ha sido demostrado en países como Paraguay, Argentina y Brasil, donde en forma satisfactoria y en diversidad de climas y aplicaciones funcionan diversos tipos de secadores solares con cubiertas de polietileno a eficiencias reales desde un 25 a un 60 %.

Esta tendencia a la fabricación de naves grandes y baratas de secado con cubierta de polietileno, sin duda favorable para la agricultura, no ha existido hasta ahora en Cuba, con la modesta excepción del prototipo 8, que tuvo éxito en el secado de plantas medicinales en la UBE "La República" de Santiago de Cuba. Esta omisión debe rectificarse con la introducción gradual de esta tecnología, lo que representaría cambios

futuros como el representado por el vector 1-13, con las siguientes componentes:

Energética: Mantenimiento de la eficiencia térmica de operación en valores cercanos al 50 %.

Económica: Disminución del costo unitario del secador desde 150 -200 USD/m² hasta 8 a 10 USD/m², por utilización de cubierta de polietileno (0,60 USD/m² en comparación con el vidrio, 16 USD/m²); y materiales locales.

Medioambiental: Disminución del impacto ambiental por la minimización de emisiones equivalentes por concepto de la construcción del secador.

Funcional: Aumento de la facilidad de construcción, humanización del trabajo de la instalación del secador, mayor facilidad y menor complejidad del mantenimiento, con mantenimiento de la calidad y cantidad del producto seco con respecto al secador de vidrio. En esencia, a partir del sistema actual se pueden seguir dos tipos de conducta:

Tipo 1: Dirigida, partiendo de los prototipos 11 y 12 al aumento de la eficiencia y el mantenimiento de costos bajos, siguiendo trayectorias equivalentes, pero más largas que la del cambio 11-12.

Tipo 2: Dirigida, partiendo de los prototipos 1 y 2 al decrecimiento de los costos y manteniendo en lo posible las eficiencias térmicas de los prototipos originarios del cambio (la misma no deberá disminuir hasta más allá de un 40 %). El vector o saeta representativa de la misma, tendrá una trayectoria casi paralela al eje de los costos, y hasta cerca de 10 USD/m².

Los cambios tecnológicos o trayectorias señaladas, en nuestra particular concepción de diseño, conducen a los siguientes diseños de secadores solares:

Algunos diseños alternativos de secadores solares baratos

Los secadores originados por cambios del grupo uno son de geometría achatada y dimensión vertical de unos 100 a 200 mm. Los del grupo dos son naves de hasta 2 m de alto. En ambos casos, el material de cubierta es polietileno LDT, y el

captador debe ser de tela o pintura negra, ambas con emisividad de global 0,9; puede utilizarse como captador el piso de la plataforma. La cubierta en ambos casos es simple, de unas 125 μ micras de espesor, y el polietileno de elección es el LDT, o larga duración térmica, que abunda en el mercado latinoamericano, y es el único que, por sus características ópticas similares a las del vidrio, puede lograr que se alcancen los valores superiores de eficiencia térmica previstos arriba para ambos grupos. En principio, ninguno de los secadores lleva aislamiento, aunque pueden utili-

zarse recipientes de nylon con relleno de materiales orgánicos, como cáscara de arroz y tallo de yuca, sobre todo en los equipos del primer tipo.

Existen dos secadores propuestos originados por cambios de tipo uno, obtenidos utilizando este método que originan dos tesis de maestría propuestas para su evaluación detallada. El secador solar para la agricultura urbana, el secador *Thriller* (tipo 2) y "Minisol" (tipo 1). Ambos están descritos en las figuras 6 y 7a y su cálculo térmico y evaluación preliminar han sido ya realizados.

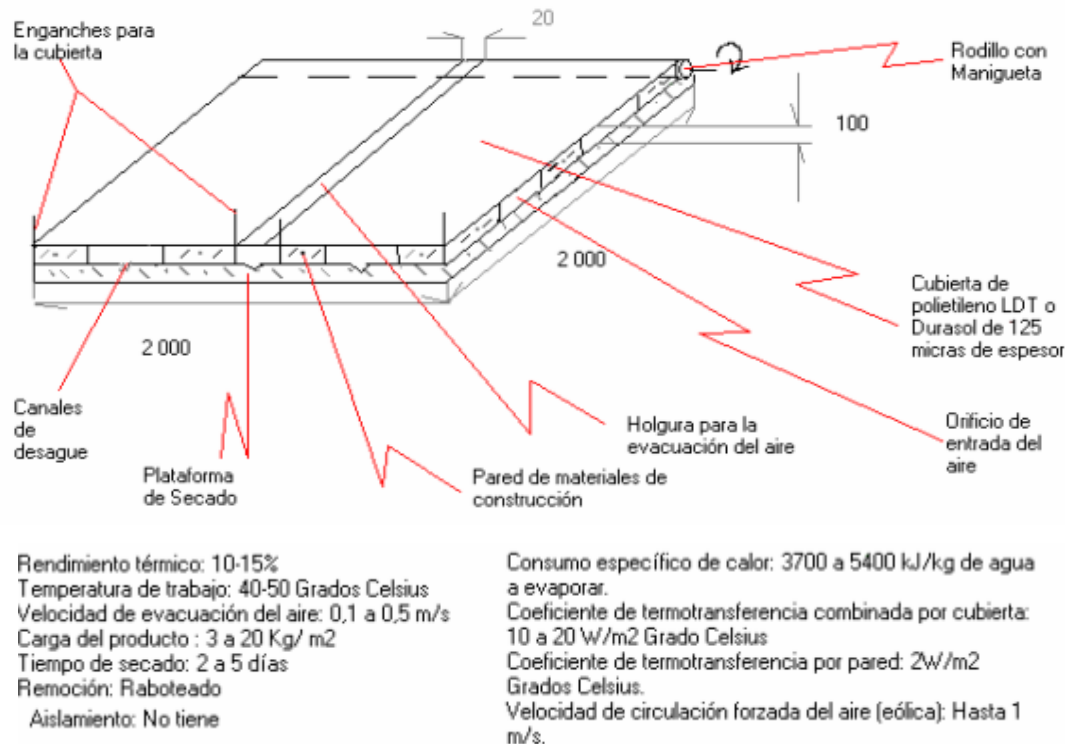


Fig. 6 Secador solar multipropósito tipo "Thriller".

Los secadores anteriores *Thriller* y *Minisol* (figuras 6 y 7a) constituyen dos innovaciones tecnológicas originales ya registradas y originadas por el presente análisis utilizando el método vectorial cubano de los cambios /13/. Los cambios del grupo 2 originan un secador solar de nave con cubierta de polietileno LDT, que por su estructura y costo es semejante al prototipo 8, pero deberá ser mucho más perfeccionado tecnológicamente para reducir las pérdidas de calor al exterior. Éste corresponde a las tendencias tecnológicas observadas en Latinoamérica

En la figura 7 b se observa un secador multipropósito de nave con cubierta de polietileno LDT, producto de los cambios de tipo 2. Posee estructura semejante al secador 8, pero está mas perfeccionado técnicamente, siendo más eficiente al tener menores pérdidas. Corresponde a las tendencias latinoamericanas de desarrollo del sector. Una de estas naves deberá ser diseñada e introducida en un proyecto conjunto con el MINAGRI. En las figuras 8 a y b se observan los diagramas del valor actual neto para dos aplicaciones concretas de un secador de granos y una sauna solar, donde se aprecian los cortos plazos de amortización de los mismos.

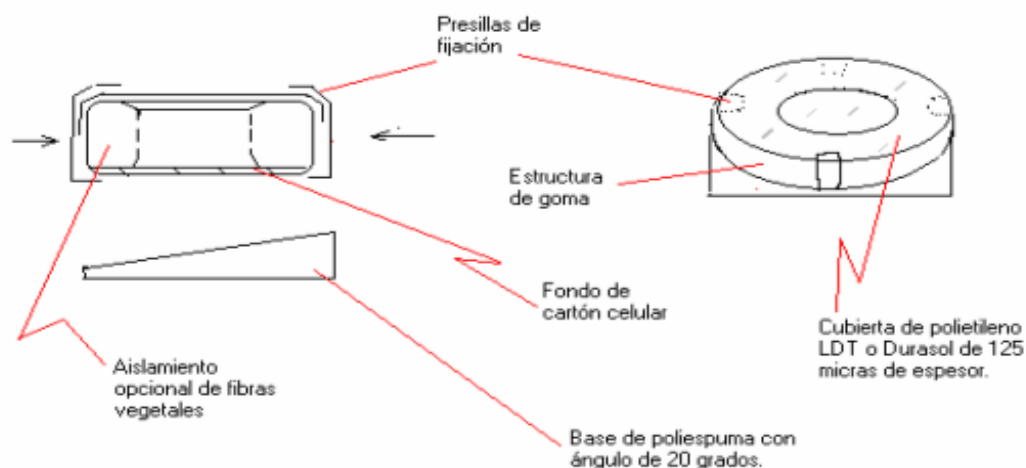


Figura: Secador solar de goma multipropósito para la agricultura urbana "Minisol". Puede tener cubierta transparente (Multiuso) o negra (secador de semillas).
 Rendimiento térmico: 15 al 25% (Cubierta transparente), 2 al 5% (Cubierta negra)
 Temperatura de trabajo: 40 a 55 Grados Celsius
 Velocidad de evacuación del aire: 0,1 m/s o menor.
 Carga del Producto: 3 a 5 Kg/m²
 Tiempo de secado: 2 a 5 días
 Remoción: Agitación exterior si la hay.
 Aislamiento: Opcional de fibras vegetales.
 Consumo específico de calor: 3 300 a 4100 kJ/Kg de agua a evaporar
 Coeficiente de termotransferencia combinada por cubierta: 10 a 20 W/m² Grado Celsius
 Coeficiente de termotransferencia por pared: 1 a 2 W/m² Grados celsius
 Velocidad de circulación del aire: Hasta 0,1 m/s

Fig. 7 a Secador solar de goma multipropósito "Minisol" y nave de polietileno.

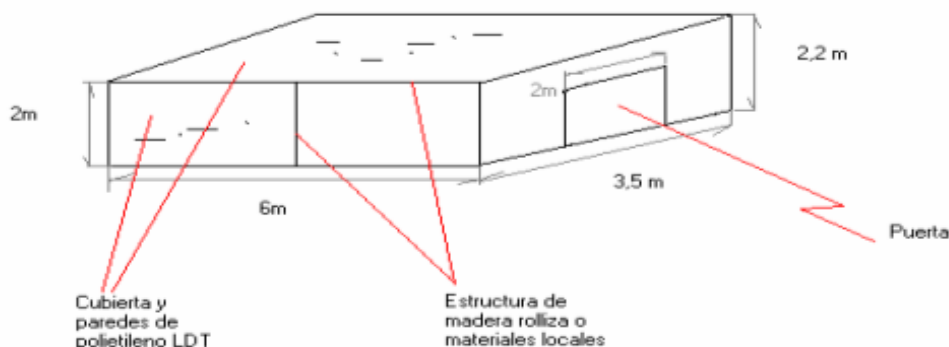


Fig. Secador solar de nave con cubierta de polietileno LDT. Puede tener una alta eficiencia térmica si la ejecución tecnológica se perfecciona y se diseña un sistema apropiado de evacuación de aire.
 Rendimiento térmico: 5-10% (Convección natural) 40 al 50% (Convección forzada y control de humedad)
 Temperatura de trabajo: 40 a 60 grados Celsius
 Velocidad de circulación del aire: 0.1 a 0,5 m/s
 Carga del producto: 3 a 10 Kg/m²
 Tiempo de secado: 2 a 5 días
 Remoción: Raboteado
 Aislamiento: En la parte inferior, de materiales de la construcción, aire, así como cuando existe doble cubierta.
 Consumo específico de calor 2300-2800 kJ/Kg
 Coeficiente de termotransferencia combinada por cubierta: 5 a 10W/m²Grados celsius.
 Coeficiente de termotransferencia por pared: 1,5 W/m² Grados Celsius
 Posee dos variantes de evacuación de aire: Natural y forzada.
 Costo 15 a 30 USD/ m². Carga: Preferentemente en tendales de material plástico, con mayas.

Fig. b Secador solar de goma multipropósito "Minisol" y nave de polietileno.

Flujo de efectivos. Secador solar

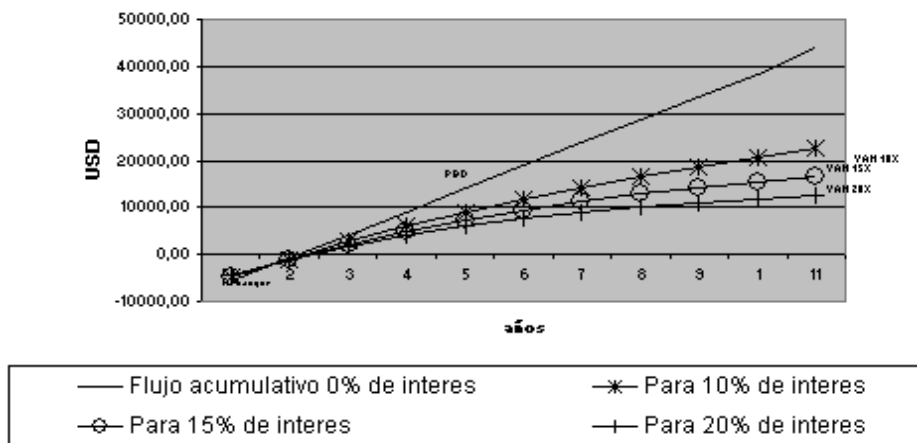


Fig. 8a y b Diagrama de VAN para un secador solar de granos.

Flujo de efectivos

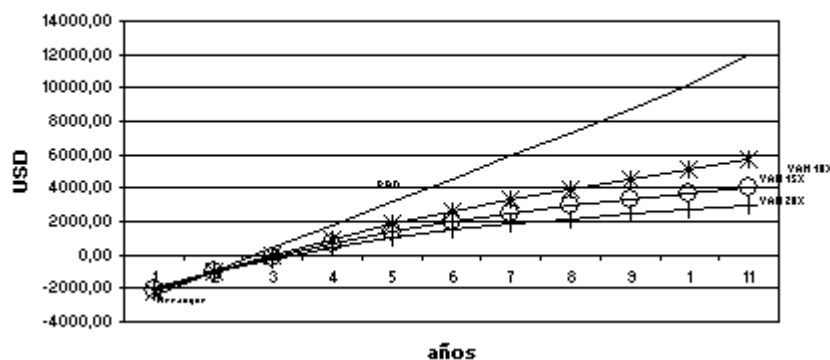


Fig. 8 Diagrama de VAN para una sauna solar cubana.

Conclusiones

En el presente trabajo, se han definido y representado vectorialmente las tendencias de los cambios tecnológicos dentro del sistema de secadores solares de Santiago de Cuba, no sólo en las pasadas dos décadas, sino en las que debe tener en el futuro inmediato a fin de lograr mejores resultados para el país.

Los cambios fueron ordenados por niveles por su situación y posición en el diagrama eficiencia-costos y así como según el balance de sus componentes.

En cada uno de los tipos de cambios o vectores cambios propuestos, se han detallado sus compo-

nentes energéticos, económicos, medioambientales y funcionales, y se han descrito y representado los secadores que, según nuestra concepción tecnológica y las tendencias existentes en el mundo, deben ser paradigmas para culminar los mismos. En esencia, a partir del sistema actual se pueden seguir dos tipos de cambios:

Tipo 1: Dirigida, partiendo de los prototipos 11 y 12 al aumento de la eficiencia y el mantenimiento de costos bajos, siguiendo trayectorias equivalentes, pero más largas que la del cambio 11-12.

Tipo 2: Dirigida, partiendo de los prototipos 1 y 2 al decrecimiento de los costos y manteniendo en lo posible las eficiencias térmicas de los prototi-

pos originarios del cambio (la misma no deberá disminuir hasta más allá de un 30-40 %). El vector o saeta representativo de la misma, tendrá una trayectoria casi paralela al eje de los costos, y hasta cerca de 10 USD/m².

Los cambios tecnológicos o trayectorias señaladas, en nuestra particular concepción de diseño, conducen a los siguientes diseños de secadores solares:

Secador solar de goma y achatado de plataforma.

Secador solar de nave de cubierta de polietileno.

Por su alta eficiencia operacional y económica, y por estar en consonancia con las tendencias tecnológicas en Latinoamérica, nuestro país debería tomar estas direcciones de trabajo en sendos proyectos orientados a productos de gran aplicación y valor añadido, como madera y plantas medicinales, principalmente a través de la instrumentación de grandes proyectos multisectoriales, y no como se ha hecho hasta ahora, de proyectos investigativos de extensión y metas limitadas a objetivos locales, siendo conocidas y probadas las grandes ventajas energéticas, económicas y sociales del secado solar para Cuba.

Bibliografía

1. El Sebai A.A.; Aboul S. *et al.*, Empirical Correlations for Drying Kinetics of Some Fruits and Vegetables. Physics Dep., Fac of Science, Tanta University, Egypt, mayo 28, 2001, Electronic Publication.
2. Bazarov, *Thermodynamics*, Moscú, Editorial Mir, 1980.
3. Boizán Jústiz M., *Secado fluidizado de productos alimenticios*, Santiago de Cuba, Editorial Oriente, 1986.
4. Bergues, Ciro, *et al.*, Secado solar de productos agropecuarios para la elaboración de piensos criollos. Memorias de Reclien, IX Seminario del Caribe de Ciencias y Tecnologías de Alimentos, Marzo 1996, Publicación electrónica.
5. _____, "Secador solar doméstico con materiales de la construcción", *Tecnología Química*, Vol. XIII, No. 3, págs. 84-93, 1992.
6. _____, "Caracterización térmica de prototipo de veranero de 4,5 m² con objeto de calcular la carga térmica real. *Tecnología Química*, vol. XVI, No. 3, págs. 34-39, 1996.
7. _____, "Construcción y evaluación del secador solar de granos a escala industrial", *Tecnología Química*, vol. XXII, No. 3, 2002, págs. 87-91.
8. _____, "Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno", *Tecnología Química*, vol. XXIII. No. 1, 2003, págs. 69-74.
9. _____, Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno, CD Rom, Anuario PCO 2001/CEE.
10. _____, "Secador solar doméstico con materiales de la construcción", *Revista Tecnología Química*, vol. XIII, No. 3, 1992, págs. 84-93.
11. _____, "Secador solar de verduras, *Revista internacional "Solar" Méjico*, 1994.
12. _____, Secador solar de plantas medicinales con cubierta de polietileno, Informe Final de Proyecto I+D. CIES, y Delegación Provincial del CITMA, Cuba, Noviembre 2000.
13. Bergues, Ciro, Metodología para el estudio numérico del entorno cualitativo. Un enfoque integral para su desarrollo. Algunas aplicaciones a la energética solar, Apuntes para una tesis doctoral. 2003. Documento inédito donado al CITMA y a la Universidad de Oriente y protegido en el CENDA por el autor, Delegación Provincial del CITMA y CENDA, 2003.
14. _____, Concepción y evaluación de un secador de bajo costo para el secado solar de semillas, Tesis de Maestría, Centro de Eficiencia Energética, Universidad de Oriente, 1999.
15. _____, Secador solar de granos, Informe Final de Proyecto de Investigación, Delegación Provincial del CITMA y CIES, Cuba, Programa Desarrollo Agropecuario, 1999.
16. Bergues, Ciro, Secador solar de goma MINISOL. Construcción y evaluación, CIEMA 2006, Santiago de Cuba.
17. Bérriez, L. y otros, Secador solar multipropósito, 1990.