

Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba

Direct Solar Dryers: An Experience for Its Size and Widespread in Eastern Cuba

MSc. Ciro César Bergues-Ricardo¹, cirob@ceefe.uo.edu.cu, MSc. Luis Bérrez-Pérez^{II},
MSc. Pedro Griñán-Villafañe^{II}

¹CEEFE, Universidad de Oriente, Cuba; ^{II}CITMA, Cuba

Se analiza la experiencia que durante 17 años se tuvo en el secado solar en la región Oriental de Cuba mediante la descripción de los prototipos más representativos por sus índices técnicos económicos. Los secadores incluyen prototipos con cubierta de vidrio y de polietileno, con aplicaciones a secado multipropósito. Los productos secados son de alto valor social y económico como madera, semillas, plantas medicinales y pienso animal y además una aplicación atípica a la deshidratación de personas: La sauna solar cubana. Todos ellos responden a criterios de extensión y generalización. Se analiza el impacto energético y medioambiental de los mismos. El análisis secuencial de los prototipos y los cambios tecnológicos se facilita con un método numérico ingenieril novedoso, el cual es caracterizado brevemente. Se hacen recomendaciones sobre la conducta a seguir en el futuro inmediato a fin de lograr mejores resultados en el desarrollo de secadores.

Palabras clave: *secado solar, energía renovable.*

In this work solar drying experience of about 17 years in Eastern región of Cuba is analyzed by description of the more representative prototypes, considering their technical and economical indexes. Dryers include prototypes with glass and polyethylenum covers, with applications to multipurpose drying. The products dried are of high social and economic value like seeds, medicinal plants, wood and animal food, and besides a non typical application to human dehydration: cuban solar sauna. All those equipment are conceived as a result of generalization criteria. Energetical and environmental impact of those prototypes is analyzed too. Sequential analysis of prototypes and technological changes is made easier by using an engineering numerical method which ins briefly characterized. Recommendations are given for behaviour in near future in order to get better results in developing dryers.

Key words: *solar drying, renewable energy.*

Introducción

El secado solar es una rama altamente rentable de la explotación de las fuentes renovables de energía, caracterizada por su alto potencial energético, económico, social y ecológico, contribuyendo a la conservación del medio ambiente al evitar emisiones equivalentes de CO₂ y óxidos de nitrógeno y azufre, pues sustituye al consumo de electricidad y de combustibles fósiles.

En nuestro país han sido instalados diversos tipos de secadores solares, algunos de los cuales, los instalados en la zona oriental de Cuba, son descritos en este trabajo. Mediante un método gráfico y numérico sistémico ingenieril algunos de

cuyos aspectos gráficos se muestran, este sistema de secadores ha sido estudiado y sistematizado con el fin de obtener secadores solares viables, que han sido diseñados y construidos.

En particular, la ONG cubana Cubasolar, el Centro de Investigaciones de Energía Solar, (CITMA) y el Centro de Eficiencia Energética (CITMA y MES) han sido las instituciones que en la parte oriental de Cuba se han ocupado mayoritariamente del desarrollo e introducción de aplicaciones del secado solar en las últimas dos décadas /2-5/.

En este trabajo se describen algunas soluciones tecnológicas dadas en Cuba al problema de secado solar de productos de gran importancia social, así

como los cambios tecnológicos realizados al generarlas. Estas soluciones responden a criterios de extensión y generalización acumulados en la rama durante 20 años. Se caracteriza el impacto energético y medioambiental de las mismas, este último mediante el cálculo de las emisiones netas de CO₂ que se evitan ser expulsadas al medio por concepto de instalación y utilización del secador solar durante su tiempo de vida útil.

Desarrollo

Tendencias del desarrollo del secado solar en Cuba

- Desarrollo de equipos solares baratos, de materiales locales, con cubierta de polietileno, vidrio y policarbonato, que responden a criterios de extensión y generalización.
- Experiencias múltiples para establecer la tecnología de secado de al menos 100 productos de interés.
- Trabajos referentes a la incidencia de la aceptación social y la educación medioambiental en el uso y divulgación del secado solar.

Principales prototipos de secadores solares construidos en el CIES y el CEEFE de 1988 a 2005 y su impacto energético y ambiental

CIES: Se desarrollan secadores multipropósitos de 36 m² con cubierta de vidrio (3 variantes).

Sauna solar cubana (secador atípico para realizar baños de sauna).

Secadores de granos y semillas de bajo costo y 3 m² con cubierta de polietileno transparente, negra y metálica (3 variantes fundamentales).

Secadores de cubierta de polietileno y de 0,3 a 20 m² de área para plantas medicinales con cubierta de polietileno transparente. (4 variantes).

CEEFE: Secadores de bajo costo y estructura de goma con cubierta de polietileno (2 variantes).

Los secadores con cubierta de polietileno responden a parámetros de eficiencia térmica y costo que los hacen adecuados para su extensión y generalización.

Estos valores son:

En minisecadores de cubierta y estructura barata de geometría achatada:

Eficiencias medias anuales máximas del orden de 25 a 30 % para costos de 5 a 30 USD/m², utilizando convección natural.

En secadores de nave con cubierta de polietileno: Eficiencias medias anuales máximas del orden de 25 a 30 % para costos de 8 a 30 USD/m², utilizando convección natural. Para este mismo tipo de secadores, eficiencias medias anuales máximas del orden del 40 al 50 % utilizando convección forzada y control automático de evacuación y circulación de aire.

Los mismos se encuentran en la zona del diagrama eficiencia costo que hemos llamado «zona de extensión potencial», por incluir los secadores con mas perspectivas para su extensión y generalización en nuestro país.

Materiales y métodos

Las eficiencias térmicas y los costos provienen de los proyectos provinciales en que se concibieron y evaluaron los secadores, desde 1984 a 2005, utilizando piranómetros y termómetros de alta precisión. Los valores de las tablas 1 y 2 fueron calculados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Considerando 0,997 5 kg. CO₂/kWh. energía generada incluyendo pérdidas (0,75 kg. CO₂/kW de energía generada, sin considerar pérdidas en red e insumos. Considerando 18 % de pérdidas en red e insumos de 7 %, la cantidad de emisiones ahorradas es la mostrada. (Vázquez *et al.* 2002).

Para la tabla 2 fueron considerados los siguientes valores:

Energía incidente promedio: 5 kWh./m² día.

Poder calórico del petróleo: 46057 kJ/kg.

Vida útil de secadores: 20 años.

Los cálculos de impacto fueron realizados para los 12 prototipos principales construidos y descritos en la bibliografía /1-3,/ y los 2 propuestos a construir en el CIES desde 1984 a 2005, que se designan por 13 y 14. Los resultados se dan en las

tablas 1 y 2. El prototipo 10' y 10, son 2 variantes de un mismo secador.

Resultados y discusiones

En las tablas 1 y 2 se dan los resultados del impacto energético y ambiental de los principales

prototipos instalados y evaluados en el CIES. Los secadores de 1 al 4 tenían cubierta de vidrio y estructura metálica y de materiales de la construcción. Del 5 al 12 tenían cubierta de polietileno. Todos eran multipropósitos; 4 era una sauna solar o secador atípico; 11 y 12 eran secadores de goma para la agricultura urbana /3/.

Tabla 1
Energía térmica aprovechada para la evaporación del agua en un año y toneladas de petróleo equivalente en los prototipos instalados y evaluados

| Secador solar (por número) | Area m ² | Eficiencia térmica | kWh./Año utilizados para la evaporación de agua | TEP | kg. de CO ₂ ahorrados por año* |
|----------------------------|---------------------|--------------------|---|----------|---|
| 1 | 3 | 0,5 | 2 463,75 | 0,192 | 2 457,59 |
| 2 | 36 | 0,5 | 29565 | 2,311 | 29 491,08 |
| 3 | 3,4 | 0,3 | 1 675,35 | 0,130 | 1 671,16 |
| 4 | 6 | 0,4 | 3942 | 0,273 | 3 932,14 |
| 5 | 3 | 0,02 | 98,55 | 0,007 7 | 98,30 |
| 6 | 3 | 0,09 | 443,475 | 0,034 6 | 443,475 |
| 7 | 3 | 0,02 | 98,55 | 0,007 7 | 98,55 |
| 8 | 20 | 0,03 | 985,5 | 0,075 9 | 983,08 |
| 9 | 400 | 0,065 | 42705 | 3,338 | 42 598,23 |
| 9'' | 4 | 0,065 | 427 | 0,033 3 | 425,93 |
| 10 | 6 | 0,115 | 1 133,32 | 0,088 6 | 1 130,48 |
| 10'' | 18 | 0,115 | 3 399,97 | 0,265 | 3 391,47 |
| 11 | 0,229 | 0,09 | 33,851 | 0,002 6 | 33,76 |
| 12 | 0,229 | 0,035 | 13,164 | 0,001 02 | 13,131 |
| 13 | 0,229 | 0,3 | 112,839 | 0,008 82 | 112,55 |
| 14 | 36 | 0,5 | 29565 | 2,311 | 29 491,10 |
| Total | | | 116 662 | 9,08 | 116 372,03 |

Tabla 2
Impacto ambiental neto de los secadores solares instalados durante un período de 20 años suponiendo funcionamiento continuo

| kWh | Ahorrado por año | Emitido al construir | Ahorrado en 20 años | Ahorrado 20 años – emitido al construir (impacto neto) | Tiempo (T) (Años) amortización medioambiental |
|-----------------|-------------------|----------------------|---------------------|--|---|
| 1 | 2 457,5 | 318,282 | 49 151,8 | 48 833,58 | 0,129 |
| 2 | 29 491,08 | 11592 | 589 821,6 | 578 229,6 | 0,393 |
| 3 | 1671,16 | 225,539 | 33 423,2 | 31 752,04 | 0,134 |
| 4 | 3 932,14 | 1 192,32 | 78 642,8 | 74 710,66 | 0,303 |
| 5 | 98,30 | 153,57 | 1966 | 1 812,43 | 1, 562 |
| 6 | 443,475 | 49,107 | 8 869,5 | 8 820,39 | 0,110 |
| 7 | 98,55 | 49,107 | 8869,5 | 8 820,39 | 0,498 |
| 8 | 983,08 | 293,8 | 19 661,6 | 19 367,8 | 0,298 |
| 9 | 42 598,23 | 7512 | 851 964,6 | 844 452,6 | 0,176 |
| 9 ⁻ | 425,93 | 2504 | 8 518,6 | 6 014,6 | 5,87 |
| 10 | 1 130,48 | 626,76 | 22 609,6 | 21 982,84 | 0,554 |
| 10 ⁻ | 3 391,47 | 1 880,28 | 67 829,4 | 65 949,12 | 0,554 |
| 11 | 33,76 | 0,217 | 675,2 | 674,983 | 0,006 42 |
| 12 | 13,131 | 0,217 | 262,62 | 262,403 | 0,016 5 |
| 13 | 112,556 | 0,217 | 2 251,12 | 2 250,903 | 0,001 92 |
| 14 | 29 491,10 | 1 1592 | 589822 | 578230 | 0,393 |
| Total | 116 372,03 | 37 940,30 | 2 327 440,64 | 2 289 500,34 | |

Obsérvese que, aún en la fase de prototipos en que se encuentran estas aplicaciones, se pueden ahorrar anualmente con ellas 116 662 kWh. y 9,08 t equivalentes de petróleo (TEP). Con un escalado en fase inicial de unos 100 prototipos de cada tipo, el ahorro por concepto de energía térmica al año es de 11 666 200 kWh y 90 800 TEP. Si se considera que tal escalado sería muy preliminar para la solución de cualquier problema de envergadura

de nuestra economía, como pudiera ser el secado solar de semillas o de madera. Estas cifras demuestran el gran potencial de ahorro que tiene el secado solar para el país desde el punto de vista termo energético y por qué debe ser priorizado su desarrollo. Los prototipos 13 y 14 son secadores solares con cubierta de polietileno que funcionan en América Latina en diversos climas y condiciones /3/.

Impacto ambiental por emisiones generadas (por concepto de emisiones durante la construcción), e impacto neto de cada prototipo (kg de CO₂) generados durante el funcionamiento de cada uno (considerando las áreas y los materiales componentes de cada uno)

Los valores del impacto por concepto de emisiones al construir el prototipo son relativamente bajos según puede apreciarse en la tabla 2. En total unos 22 012, 91 kg (más de 22 t de CO₂), expulsaron a la atmósfera solo por concepto de construcción de los prototipos de secadores considerados.

Para un modesto escalado de solo 100 prototipos construidos, entonces tendremos 2201291 kg de CO₂ emitidos (2 201 T). Para 500 prototipos construidos: 110 064 55 kg de CO₂ emitidos (11 006 T)

En la tabla 2 se puede apreciar que el impacto total neto incluyendo CO₂ ahorrado durante la construcción es considerable: Unas 2 289,5 t se dejan de emitir en los 20 años de vida útil de estos prototipos, lo que hace 114,475 t dejadas de emitir en solo un año por solo los 14 prototipos considerados. Es fácil darse cuenta que escalados

modestos producirían cifras netas considerables (para 100 secadores, 11 447,5 en un año y 2 289 50 toneladas en 20 años. Para mil secadores respectivamente 114 475 t y 2 289 500 t. Estas cifras llevan a meditar seriamente sobre las cualidades notables del secado solar como factor favorable de la gestión ambiental a bajo costo, aun a valores de escalado relativamente moderados y técnicamente fáciles de alcanzar manteniendo una producción seriada durante unos pocos años.

Con esto se observa que las cifras de impacto energético y medioambiental por emisiones durante la construcción de prototipos y su escalado preliminar son pequeñas, y sus beneficios múltiples para niveles de escalado moderados como los considerados 100 a 500 prototipos de cada tipo, lo que es solo un escalado preliminar.

En Santiago de Cuba se desarrolló un método vectorial de evaluación de cambios tecnológicos o ingenieriles elaborado especialmente para secadores solares cubanos /3/ donde se analiza la dinámica del sistema de secadores mencionado, en un diagrama semejante al de la figura 1, y se diseñan algunas alternativas de cambios tecnológicos viables y de secadores solares a que estos dan lugar. Este método está en fase de aplicación en el CITMA y el MES.

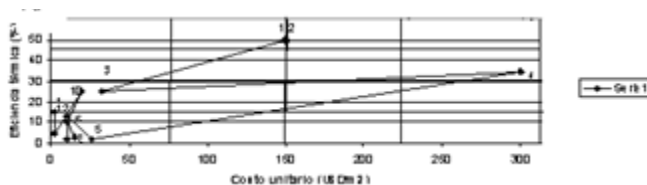


Fig. 1a Representación de los cambios estudiados en el diagrama eficiencia-costos.

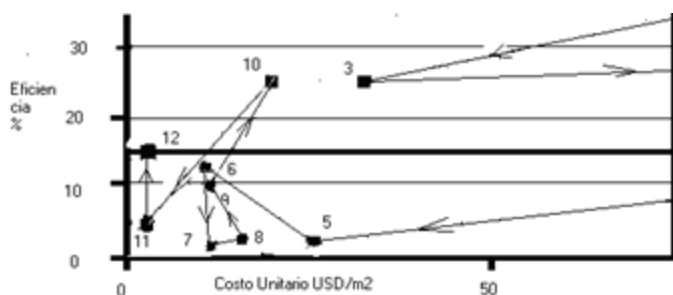


Fig. 1b Detalle de eficiencia costiolos sectores 5 y 6 del diagrama eficiencia costo para los secadores estudiados.

En las figuras 1a y 1b se observa un diagrama eficiencia costo donde se representan por puntos los 12 primeros secadores solares de la serie analizada en la tabla 3 (CIES, 1984-2005). Los cambios tecnológicos o ingenieriles realizados en la serie de secadores solares están representados por vectores. Se observa una tendencia a valores pequeños del costo unitario (menos de 50 USD/m²) y la eficiencia térmica (menores de un 30 % sin control automático) para muy variadas aplicaciones (secado solar de plantas medicinales, secado solar de semillas y polen, secado solar de granos, hollejo de naranja, etcétera). Estos valores son propios de los secadores solares con cubierta de polietileno y corresponden a las tendencias de construcción de equipos de secado observadas en América Latina en los últimos quinquenios, que

consiste en la sustitución de cubiertas de vidrio por cubiertas de diversos films, como el polietileno LDT, y dan lugar a secadores adecuados para su extensión superficial y su generalización en la agricultura urbana y rural /2, 3, 9, 10/.

Los cambios tecnológicos o ingenieriles a realizar en el futuro inmediato se pueden representar por vectores que van desde el secador 1y 2 (cubierta de vidrio doble y estructura metálica), hasta una zona donde el costo es inferior a 50 USD/m² y la eficiencia térmica media superior al 40 %, semejante a la de los secadores 1 y 2. Estos valores corresponden a los secadores con cubierta de polietileno y control automático de la evacuación del aire que son una alternativa de solución viable para Cuba en el futuro inmediato. (Figura 2).

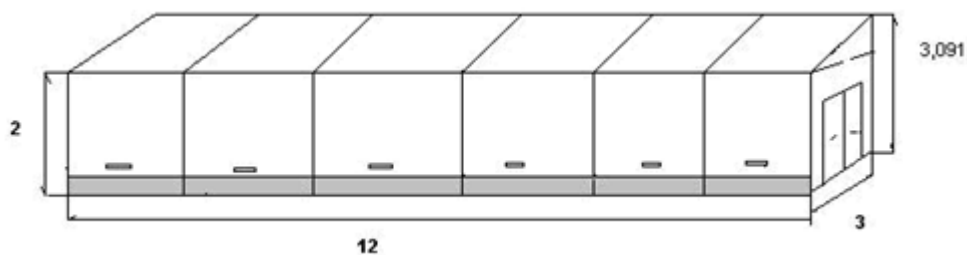


Fig. 2 Secador solar con cubierta de polietileno (variante 2).

Consideraciones generales de diseño de un secador solar de cubierta de polietileno adecuadas a las condiciones de Cuba (variante 2).

Estructura de madera rolliza o armazón metálica sin paredes laterales de cemento. Los horcones de 100 mm o vigas U de soportes situados a 2 m de distancia. Los travesaños de fijación en la parte superior de la estructura se articulan con las columnas por tornillos o machihembrado. El eje mayor tiene orientación este oeste.

Su significado energético es que se pueden ahorrar con un módulo de 36 m² de este secador 29565 kWh al año, unas 2,311 TEP considerando una radiación solar incidente promedio de 5 kWh./m² día, una eficiencia de 0,5, un coeficiente de utilización de 0,9 y un poder calorífico del petróleo equivalente de 46057 kJ/kg.

Materiales: cubierta de polietileno, simple o doble, de 125 micras marca LDT (*Long date*

thermal) o *Durasol*, y paredes del mismo material. Un secador similar pero de cubierta de un polietileno de una marca diferente al LDT y por tanto con eficiencia térmica más baja secó plantas medicinales con éxito durante 2 años en la finca de plantas, "La República", perteneciente al MINAGRI en Santiago de Cuba /3/, logrando un producto de alto valor agregado y calidad excelente (orégano, jengibre, caña santa, cúrcuma, sábila, cáscara de mangle, etcétera), que superaba considerablemente al obtenido anteriormente, secado en tendales a temperatura ambiente, el cual en ocasiones era afectado por la humedad excesiva y el ataque de hongos, etcétera. Esta afectación fue eliminada por el secador solar.

Reconocimientos

Los secadores creados y evaluados en los proyectos de investigación provinciales /1 al 9/

recibieron numerosos premios al resultado relevante en el Forum Provincial de Ciencia y Técnica, y la Sauna solar una mención en dicho Forum. Hay más de 30 publicaciones internacionales en revistas de prestigio sobre estas experiencias hechas en la zona oriental de Cuba. Sus posibilidades de extensión y aporte social han sido reconocidas nacionalmente/3,5/.

Conclusiones

El secado solar es una rama de gran interés social y ecológico, y especialmente en nuestro país.

Su impacto ambiental es positivo y está demostrado aun a nivel de prototipos, evitando gran cantidad de emisiones de CO₂ al medio ambiente por ahorrar petróleo y electricidad equivalentes. Contribuye así de manera directa a la descontaminación del medio ambiente y a la conservación del entorno. Se demostró su utilidad para alargar la vida útil de productos naturales de alto impacto social y económico como alimentos y madera, ahorrándose así la electricidad necesaria para el secado artificial y la refrigeración de los mismos.

El impacto energético obtenido es considerable al igual que el ambiental como se observa en las tablas 2 y 3. Estos son razones para retomar las ideas del escalado por multiplicación de los secadores solares, sobre todo baratos y con cubiertas de materiales plásticos, como por ejemplo el polietileno LDT (Long Date Thermal), en la provincia y el país.

Las tendencias tecnológicas en Cuba y Latinoamérica en esta rama prácticamente

coinciden en dirección de abaratar los costos de los equipos y tecnologías, y en la diversificación de las aplicaciones, aumentando sus posibilidades de extensión y generalización. Actualmente no hay en Cuba secadores solares con cubierta de polietileno activos, y hay un solo antecedente nacional reportado que trabajó 2 años con resultados excelentes en una empresa de plantas medicinales del MINAGRI /3/.

Bibliografía

- 1 BERGUES, Ciro, IBAÑEZ G. *et al.* "Secador solar doméstico con materiales de la construcción". *Tecnología Química*. Vol. 13, nr. 3, 1992.
- 2 BERGUES, Ciro, P. GRIÑÁN *et al.* "Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno". *Tecnología Química*. Vol. XXIII. No 1, 2003.
- 3 BERGUES, Ciro, MARTÍNEZ, A. *et al.* "Algunos aspectos de los cambios Tecnológicos en secadores solares cubanos. Realidades y Tendencias". *Tecnología Química*. Vol. XXVIII No. 2, 2008.
- 4 BÉRRIZ, L. y otros: Secador solar multipropósito. 1990.
- 5 BÉRRIZ, L., E. MADRUGA. *Cuba y las fuentes renovables de energía*. Editorial Cubasolar 2000
- 6 BOIZÁN JÚSTIZ, M. *Secado fluidizado de productos alimenticios*. Editorial Oriente, 1986
- 7 BROOKER D, B. *et al.* *Drying and Storage of Grains and Oilseed*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- 8 CASTRO DÍAZ BALART, Fidel. *Ciencia, Innovación y Futuro*. Instituto Cubano del Libro, Habana, 2001.
- 9 FINCK PASTRANA. Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el secado de productos agropecuarios. *Revista Solar*. No. 22, México, 1992.
- 10 VILLARUEL, Rose, A Solar Dryier for Coconuts Costs Less than Fifteen Dollars. *Revista Gate*. N° 2, RFA, 1996.