

Construcción y análisis de una incubadora solar con flujos de termosifón para incubación de huevos

Construction and analysis of a solar incubator with thermosiphon flow for egg incubation

 Laurent-Charles Valdès*

Université Polytechnique Hauts-de-France, 59 313 Valenciennes Cedex 9, France.

*Autor para correspondencia: Laurent-Charles Valdès, e-mail: Laurent-Charles.Valdes@uphf.fr

RESUMEN: Este artículo describe la construcción de una incubadora solar con almacenamiento de energía por calor sensible del agua, utilizando flujos de termosifón para la transferencia de calor. El objetivo es proporcionar una solución de incubación de bajo costo para pequeños y medianos agricultores. Se detalla el diseño y la construcción del prototipo, capaz de incubar entre 130 y 231 huevos. Los resultados de un modelado matemático detallado muestran la viabilidad del sistema para mantener las temperaturas de incubación adecuadas. Se concluye que esta tecnología ofrece una alternativa sostenible y económica a las incubadoras convencionales.

Palabras clave: incubación de bajo costo, energía solar térmica, baja tecnología.

ABSTRACT: This article describes the construction of a solar incubator with energy storage through sensible water heat, using thermosiphon flows for heat transfer. The objective is to provide a low-cost incubation solution for small and medium-sized farmers. The design and construction of the prototype, capable of incubating between 130 and 231 eggs, are detailed. The results of a fine mathematical modeling demonstrate the viability of the system to maintain adequate incubation temperatures. It is concluded that this technology offers a sustainable and economical alternative to conventional incubators.

Keywords: Low-Cost Incubation, Solar Thermal Energy, Low-tech.

INTRODUCCIÓN

El sistema que es objeto de la presente nota técnica ofrece una forma muy lucrativa de complementar los ingresos de los pequeños y medianos agricultores de las regiones tropicales y ecuatoriales. En efecto, produce la incubación artificial de los huevos de gallina únicamente a partir de la irradiación solar gratuita. A ello se añade el hecho de que su fabricación a partir de materiales de construcción corrientes de carpintería y ferretería hace que su coste de fabricación sea asequible y su confección realizable a nivel artesanal. Se denominó inicialmente incubadora sostenible equitativa (Onana *et al.*, 2022).

A diferencia de las incubadoras solares según Djamin *et al.* (2001); Ikpeseni *et al.* (2022); Retamozo y Rojas (2022), en fase con las facilidades tecnológicas contemporáneas, y que están compuestas por una incubadora eléctrica, una célula fotovoltaica y una batería de acumuladores, este sistema funciona sin recurrir a ningún fenómeno eléctrico. Esto le da la ventaja de que, al no recurrir a una tecnología de vida limitada, es prácticamente inusable.

La elección del agua como medio de almacenamiento de la energía solar radiante captada durante el día se ha hecho, ciertamente, para evitar el uso de estos elementos sofisticados, pero planteó la cuestión de la circulación del fluido caloportador entre el colector solar y la reserva de agua caliente y luego entre la reserva de agua caliente y la cámara de incubación. Su resolución se hizo recurriendo a un proceso ampliamente aplicado en los calentadores solares de agua según Andrés y López (2002); Chuawittayawuth y Kumar (2002); Azzolin *et al.* (2018); Jasim *et al.* (2021); la circulación por termosifón, cuya afortunadamente no es la única aplicación posible (Revichandran *et al.*, 2019).

La aplicación del termosifón a los dos bucles en interacción de la presente incubadora solar ha necesitado sin embargo el modelado teórico fino hecho en para asegurarse que el dimensionamiento mantendría, permanentemente en un medio exterior a temperatura impuesta, una cantidad determinada de huevos en un ambiente entre 36 °C y 38.8 °C, propicio para la incubación (Lourens *et al.*, 2005). La cuestión de la regulación de temperatura de la cámara de incubación se resolvió mediante la aplicación de bilames https://en.wikipedia.org/wiki/Bimetallic_strip.

Recibido: 15/06/2025

Aceptado: 28/10/2025

Conflicto de intereses: El autor de este trabajo declara no tener ningún conflicto de intereses.

La mención de marcas registradas de equipos, instrumentos o materiales específicos tiene fines de identificación, sin que exista ningún compromiso promocional con respecto a ellos, ni por parte del autor ni de la editorial.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



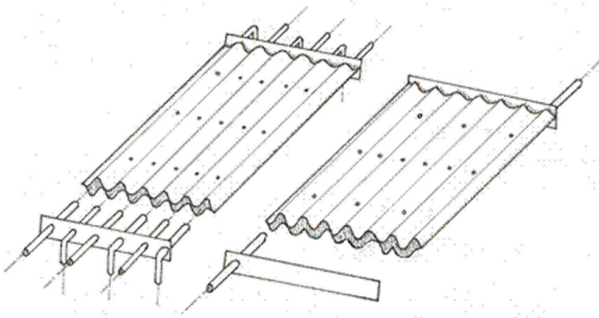


Figura 3. Intercambiadores de calor de hierro corrugado con canales paralelos (izquierda) y en serie (derecha).

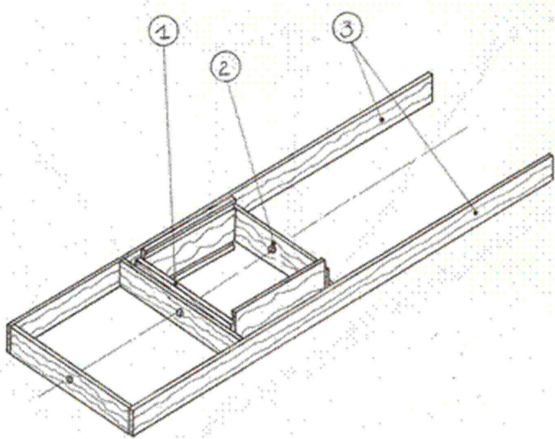


Figura 4. Cajón volteador de huevos.

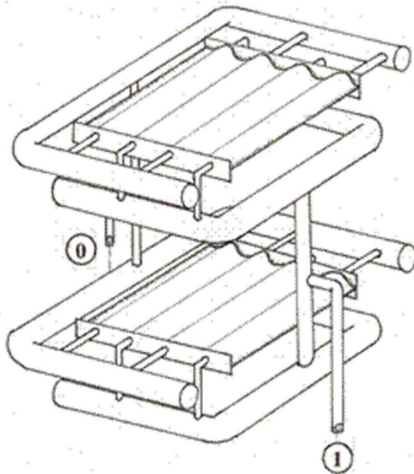


Figura 5. Radiador de incubación.

La incubadora está equipada (Fig. 4) con un cajón de huevos ①, impulsado en una rotación del eje horizontal mediante una manivela que pasa por los orificios ②. Se inserta en un marco cuyos dos brazos ③ se deslizan en las ranuras de las tablas deslizantes, que también sirven como soportes de la cámara de incubación (Fig. 1). Este sistema permite voltear todos los huevos en una sola maniobra.

La manivela que pasa a través de los orificios ②, así como las placas de malla y las tabillas separadoras de embalaje de huevos no están representadas.

Los dos intercambiadores de canales paralelos del radiador de incubación (Fig. 5) toman el cajón de huevos ① en sándwich. Las rejillas de alimentación y de recuperación del caudal de agua hirviendo están organizadas de manera que el agua se distribuya alternativamente en una dirección y en la otra en los canales sucesivos.

Instalación del regulador de incubación indicada en la Fig. 2 ; 6 ondulaciones en este caso.

Las partes sensibles a la temperatura de los reguladores de caudal (Fig. 6) son las bilames ① enrolladas en hélice. En el regulador de incubación ⑨ instalado sobre el radiador superior (Fig. 2), dos tales bilames conducen por su extremo libre, las dos medias opercuelas cilíndricas ③, traídos en traslaciones verticales opuestas mediante el tubo capilar ⑤ y el hilo de pescar ⑥. El agua que gotea a través del paso de las varillas de suspensión de los tapones alimenta la cuba de humidificación situada bajo el radiador de incubación. En el regulador de descarga de calor, el bimetálico ① se sumerge en el agua del circuito de regeneración y hace girar la cubierta semicilíndrica ④ situada debajo de la tubería de derivación.

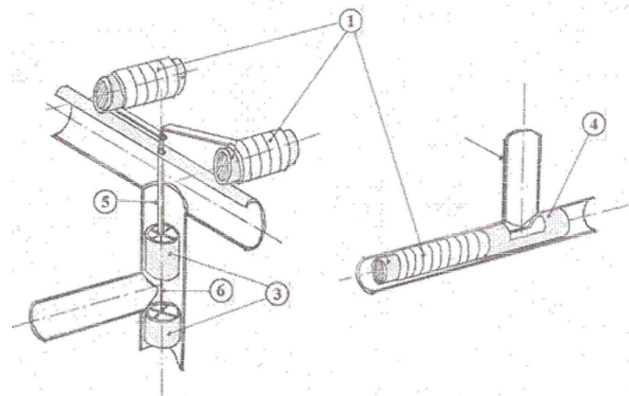


Figura 6. Reguladores térmicos bimetálicos de incubación (izquierda) y de descarga térmica (derecha).

Las dos chapas de metal bien conductoras del calor de los iniciadores de incubación ⑩ (Fig. 2) están en contacto térmico íntimo con el cilindro de la reserva de agua caliente y la canalización vertical del bucle de incubación (Fig. 7). Las dos chapas, cuidadosamente soldadas a su unión, ponen el agua de la tubería vertical a la temperatura de la correspondiente compartimento del depósito de agua caliente.

La lanzadera athermane (Fig. 8) sufre un empuje vertical hacia arriba debido a la sección cilíndrica ① tallada en un material aislante, por lo tanto de baja densidad (espuma de poliuretano, por ejemplo) ; este empuje se reduce a su valor funcional por los lastres formados por las placas metálicas cuadradas ②. Estas últimas están descentradas y fijadas al borde cilíndrico por los dos pasadores ④. El conjunto está cubierto con la capa de pintura ③.

RESULTADOS

La puesta en circulación del agua entre los subconjuntos numerados (Fig. 1) ② y ③ para la compensación de las pérdidas térmicas en la cámara de incubación, ③ y ⑧ para el aporte térmico a la reserva de agua caliente y ⑧ y ⑤ para la descarga calórica del colector solar, es el fenómeno del termosifón, que se produce cuando hay agua caliente en la parte inferior y agua fría en la superior [9]. El estudio según Onana *et al.* (2022) ha demostrado teóricamente mediante un modelo de simulación la viabilidad de estos tres circuitos de termosifón interconectados cuando el régimen de funcionamiento es estacionario. Un estudio reciente ha demostrado que los transitorios mecánicos y térmicos producidos en la incubadora le confieren, por otra parte, una reactividad compatible con el mantenimiento de las condiciones de incubación.

La aplicación de los métodos de dimensionamiento presentados en Onana *et al.* (2022) a la presente incubadora con una capacidad de 130 a 231 huevos mantenidos entre 36°C y 38.8°C durante el 100% de tiempo y colocada en un medio cuya temperatura oscila entre 12 °C y 35 °C, ha dado lugar a una reserva de agua caliente de 159.9 kg contenida en un tubo de PVC de 600 mm de diámetro y de 625 mm de longitud aislado térmicamente por un espesor de 100 mm de espuma de poliuretano colocada sobre toda su superficie, un colector solar de 0.780 m² de superficie compuesto por un intercambiador de chapa ondulada con 11 canales, un radiador de descarga calorífica con 4 intercambiadores de chapas onduladas de 10 canales y una cámara de incubación con 2 radiadores de incubación de 0.208 m² de superficie (cuadrados de 6 ondulaciones laterales) rodeada por un recinto aislante térmico de 125 mm de espesor y sometida a pérdidas térmicas máximas de 15.74 W.

En el cuadro 1 figuran los tamaños de lastre que permiten alcanzar el empuje funcional de la lanzadera. Los valores presentados corresponden a una lanzadera de diámetro $D' = 597$ mm, espesor $E = 20$ mm y una capa de pintura de espesor $\varepsilon = 0.5$ mm.

La evaluación de los resultados económicos de esta incubadora según el inventario del Cuadro 2 y los datos comerciales de 2022 en Francia según Onana *et al.* (2022) ha dado lugar a un coste de fabricación de \$900 y un retorno de la inversión de 2 a 3 meses (ingresos anuales de \$3 000). Con un período de amortización de 5 años, el pollo del día

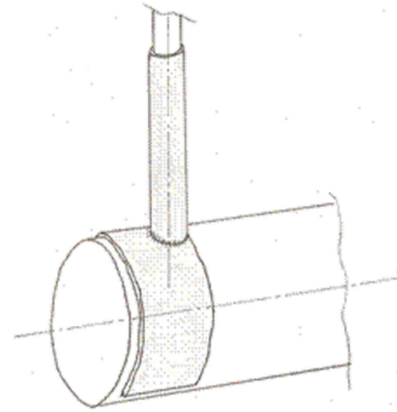


Figura 7. Iniciador del termosifón de incubación.

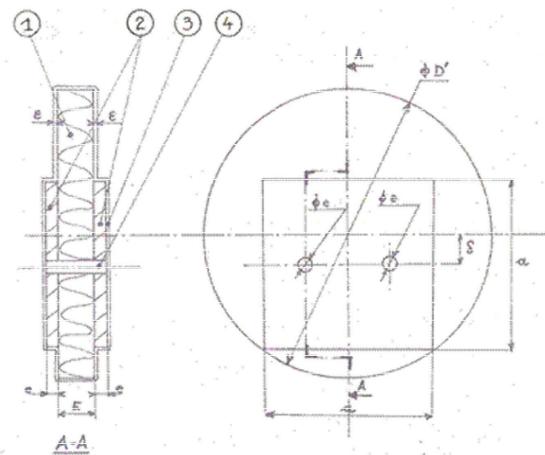


Figura 8. Lanzadera athermane.

debería costar entre 4 y 6 veces menos que el pollo nacido con energía eléctrica.

CONCLUSIÓN

En esta nota técnica se presentó una incubadora solar de bajo costo que utiliza flujos termosifón para la transferencia de calor. El sistema ofrece una alternativa sostenible y económica a las incubadoras convencionales, especialmente para los pequeños y medianos agricultores. Las futuras investigaciones deberían centrarse en la aplicación práctica del sistema y en la evaluación de su rendimiento en diferentes condiciones

Cuadro 1. Longitud del lado a del lastre en función de los espesores normalizados e de la placa.

e	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm	9 mm	10 mm
a	360 mm	312 mm	279 mm	254 mm	235 mm	220 mm	208 mm	197 mm
δ	58 mm	99 mm	125 mm	143 mm	157 mm	167 mm	176 mm	183 mm

δ : desplazamiento máximo de las cargas.

Cuadro 2. Inventario de suministros de la incubadora solar.

Materia	Provisión	Característica	Cantidad
madera	vigas	40 x 40	7,12 m
		15 x 50	15,78 m
		5 x 70	2,4 m
		15 x 70	0,98 m
		15 x 90	0,95 m
		20 x 100	4,00 m
		redondos	Φ 5
Φ 20	0,5 m		
PVC	elementos de Φ 16	tubo	3,30 m
		conexión 16/32	1
	elementos de Φ 20	tubo	4,70 m
		codos	2
	elementos de Φ 25	tubo	0,150 m
	elementos de Φ 32	tubo	8,25 m
		codos	18
	elementos de Φ 40	tes	2
		tapones de rosca	1
		tubo	6,60 m
		codos	8
		tapones simples	8
		conexiones 20/40	2
		elementos de Φ 600	tubo
tapones simples	2		
metalurgia corriente	chapa de acero	espesor 0.3 mm	3 hojas 2,5 x 2,5 m
	chapa de aluminio	espesor 0.3 mm	1 hoja 0,7 x 0,7 m
	hierro corrugado	estándar 78 mm x 18 mm	
	metal expandido	espesor 2 à 3 mm	2 placas 470 x 470 mm
	perfil estándar	en T 20 x 20 mm	1 barra de 2 m
metalurgia elaborada	remaches	Φ 3 à 4 mm	160
	tubo capilar	Φint 0.15 mm x Φext indif.	130 mm
	bimetal	tipo AS preferido a SP o R en 1.4 mm x 8 mm	13 m
diverso	hilo de pescar de nylon	Φ 0.1 mm (0.5 kg)	150 mm
	espuma de poliuretano	densidad 30 kg.m ⁻³	0.180 m ³
	ventana	espesor 4 mm	900 x 900 mm

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉS, A.C.; LÓPEZ, J.C.: “TRNSYS model of a thermosiphon solar domestic water heater with a horizontal store and mantle heat exchanger”, *Solar Energy*, 72(2): 89-98, 2002, ISSN: 0038-092X.
- AZZOLIN, M.; MARIANI, A.; MORO, L.; TOLOTTO, A.; TONINELLI, P.; DEL COL, D.: “Mathematical model of a thermosiphon integrated storage solar collector”, *Renewable Energy*, 128: 400-415, 2018, ISSN: 0960-1481.
- CHUAWITTAYAWUTH, K.; KUMAR, S.: “Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosiphon solar water heating system”, *Renewable Energy*, 26(3): 431-448, 2002, ISSN: 0960-1481.
- DJAMIN, M.; DASUKI, A.S.; LUBIS, A.Y.; ALYUSWAR, F.: “Application of photovoltaic systems for increasing villagers’ income”, *Renewable energy*, 22(1-3): 263-267, 2001, ISSN: 0960-1481.
- IKPESENI, S.; OWEBOR, K.; OWAMAH, H.; SADA, S.; DIBIE, E.; ODEH, O.: “Design and fabrication of a local solar-powered poultry egg incubator for a low-income country”, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 103(3): 779-790, 2022, ISSN: 2250-2106.
- JASIM, A.; FREEGAH, B.; ALHAMDO, M.: “Numerical and experimental investigation of a thermosiphon solar water heater system thermal performance used in domestic applications. Heat Transf. 50 (5), 4575-4594 (2021)”, 2021.

- LOURENS, A.; VAN DEN BRAND, H.; MEIJERHOF, R.; KEMP, B.: "Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability, and posthatch development", *Poultry science*, 84(6): 914-920, 2005, ISSN: 0032-5791.
- ONANA, C.A.; HONA, J.; VALDÈS, L.-C.: "Theoretical Study of Fair-Trade Sustainable Hatcheries-Sizing for Cameroon and Indonesia", 2022, ISSN: 2338-1787.
- RETAMOZO, B.S.J.; ROJAS, F.J.: "Design and economic analysis of a solar poultry incubator for rural sectors located in Pucallpa-Peru", *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 20: 318-323, 2022.
- REVICHANDRAN, R.; MOHIUDDIN, A.; UDDIN, M.F.: "Factors Affecting Thermosyphon Performance-A Review of Studies", *Int J Recent Technol Eng (IJRTE)*, 7: 2277-3878, 2019.