



Title: Evaluación térmica de un sistema de calentamiento indirecto de aire mediante captadores solares

Authors: CABRERA-CHAIREZ, Jeisel Marisol, ORTÍZ-RODRÍGUEZ, Néstor Manuel, VILLEGAS-MARTÍNEZ, Rodrigo Cervando, and GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2021-01

BCIERMMI Classification (2021): 271021-0001

Pages: 11

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: contacto@ecorfan.org

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

Metodología

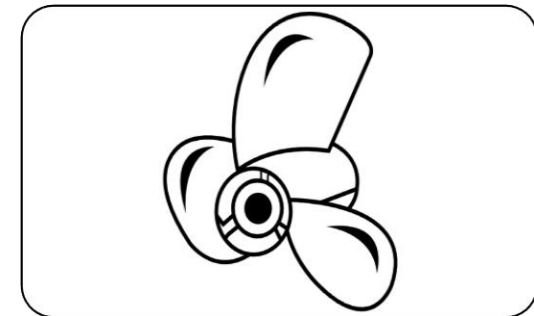
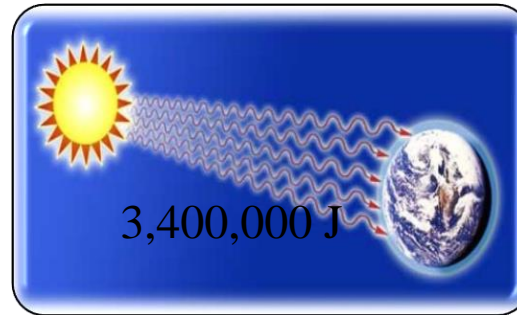
Resultados

Conclusiones

Referencias

Introducción

Temperaturas por debajo
de los 250 °C

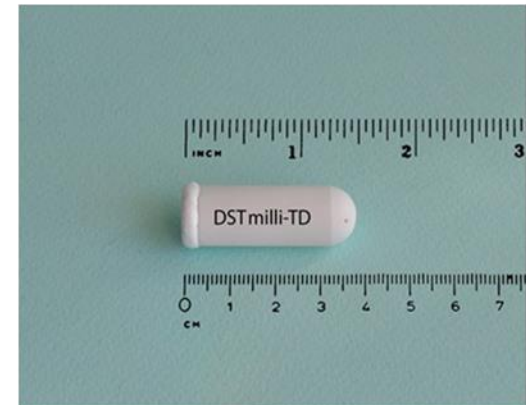
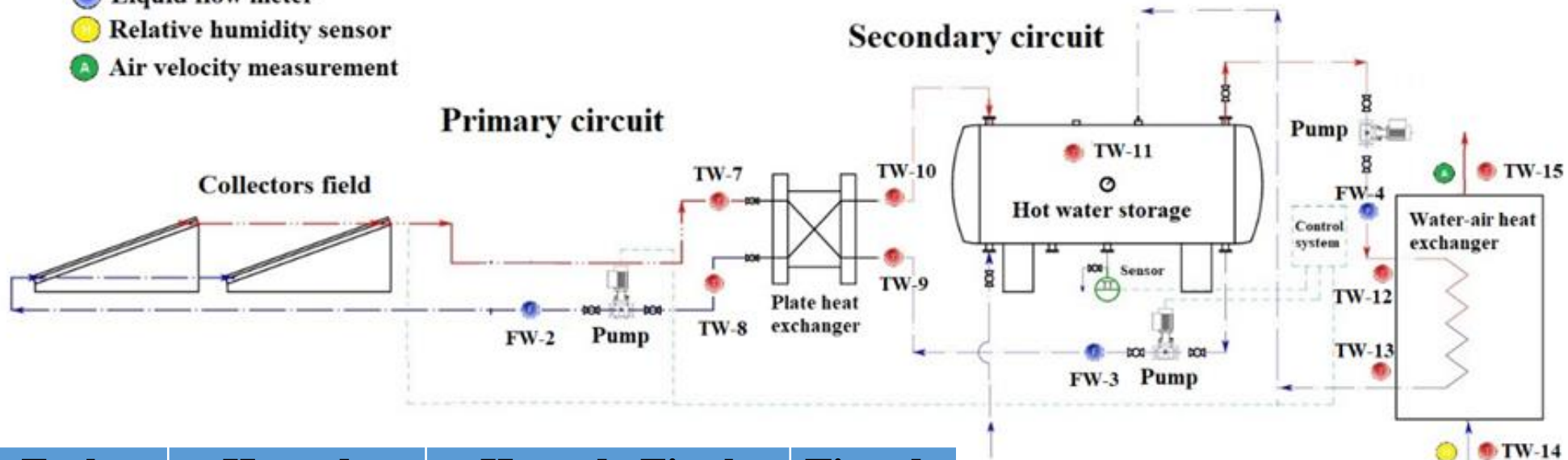


Objetivo

Realizar un análisis térmico y energético a un sistema de calentamiento indirecto de aire que recibe energía mediante captadores solares que operan con agua como fluido térmico empleado en un sistema de deshidratado de alimentos

Materiales y Metodología

- Temperature sensor
- Liquid flow meter
- Relative humidity sensor
- Air velocity measurement



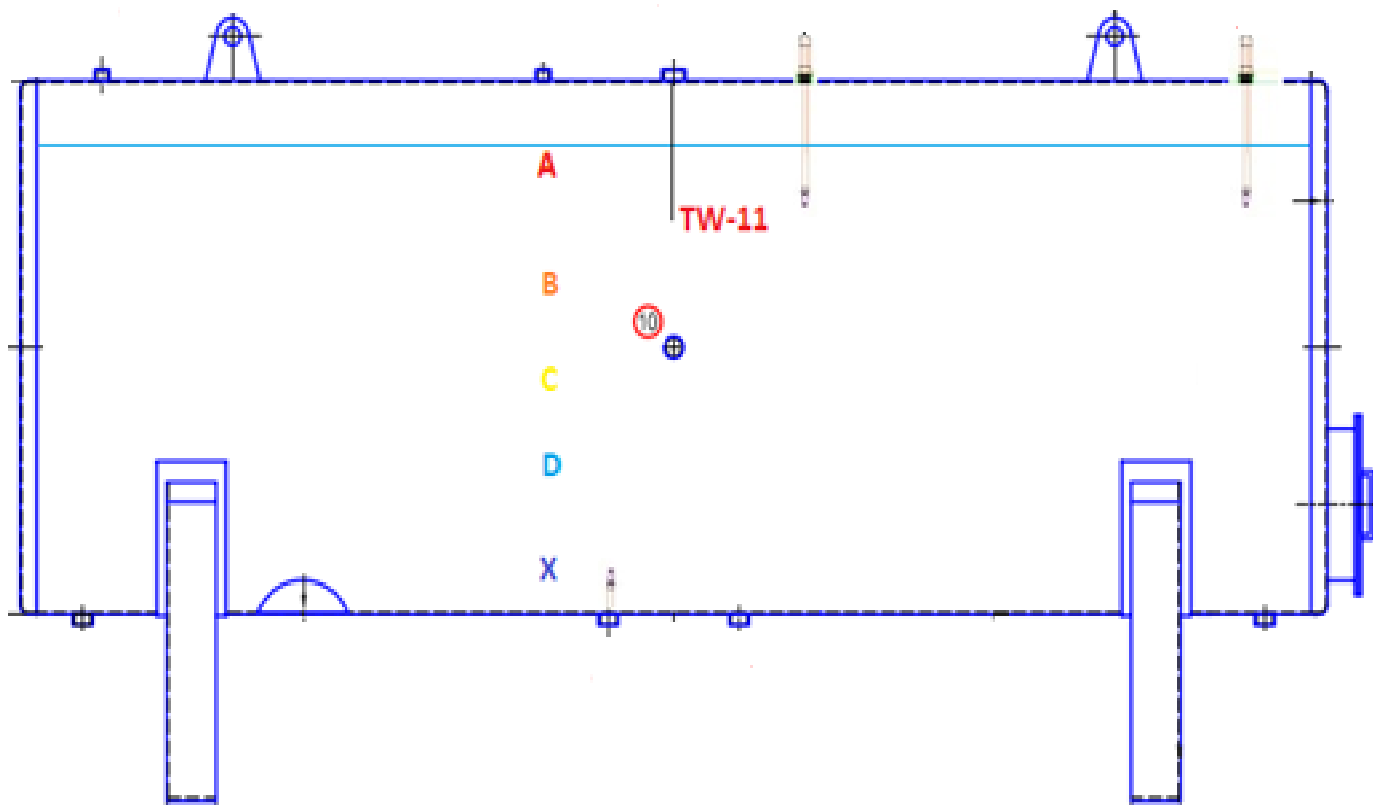
Fecha	Hora de Inicio	Hora de Final	Tipo de Prueba
1	8:10 a.m.	5:26 p.m.	C
2	9:19 a.m.	5:24 p.m.	C
3	5:23 p.m.	8:11 p.m.	E
4	5:00 p.m.	7:40p.m.	E
5	5:12 p.m.	9:11 p.m.	E



Resultados de las pruebas de calentamiento

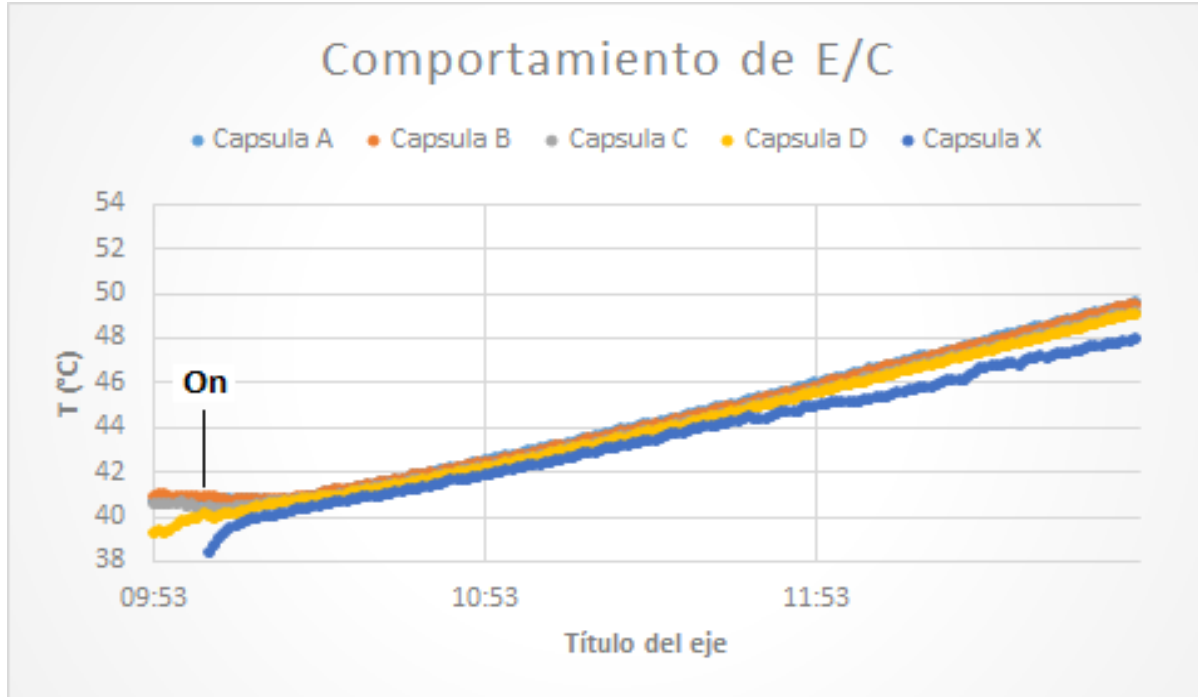
Este tipo de prueba se analizó la estratificación únicamente dándole energía al tanque de almacenamiento.

Prueba	To (°C)	Nivel Inicial Agua (cm)	Tf (°C)	Nivel Final Agua (cm)
1	22	58.4	42	59
2	40	58.7	59	60

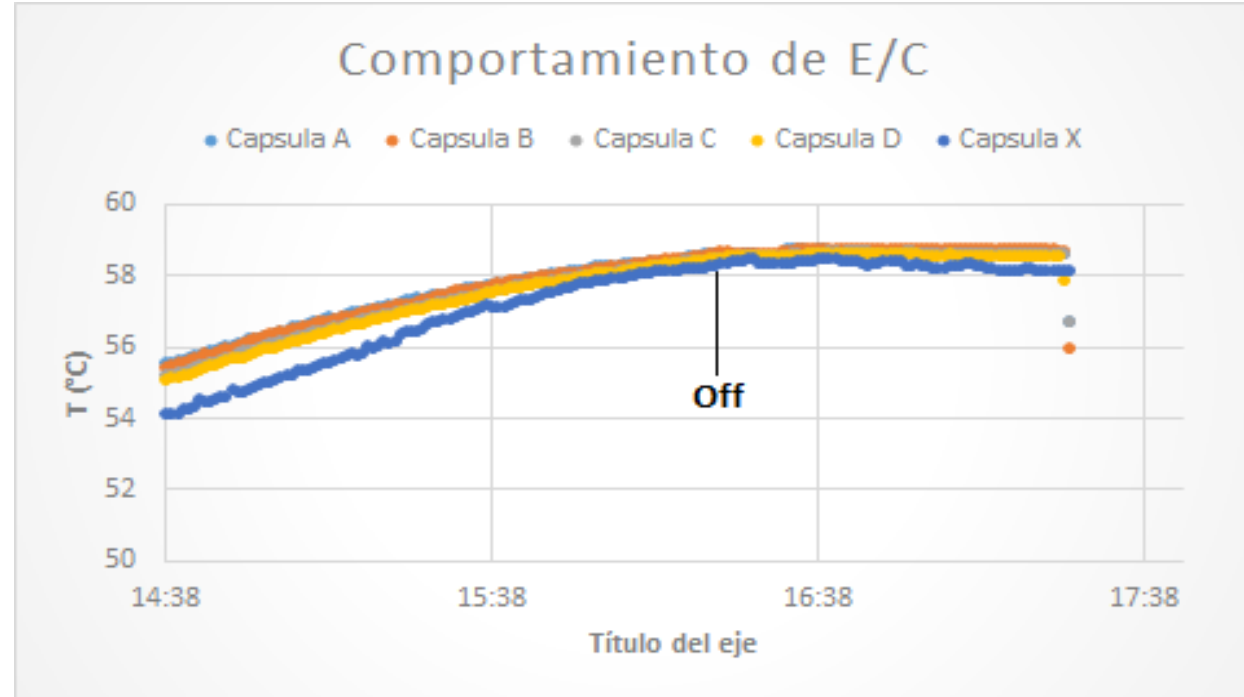


Cápsula	Distancia respecto al fondo del tanque
A	128
B	97.5
C	67
D	36.5
X	6

Resultados de las pruebas de calentamiento



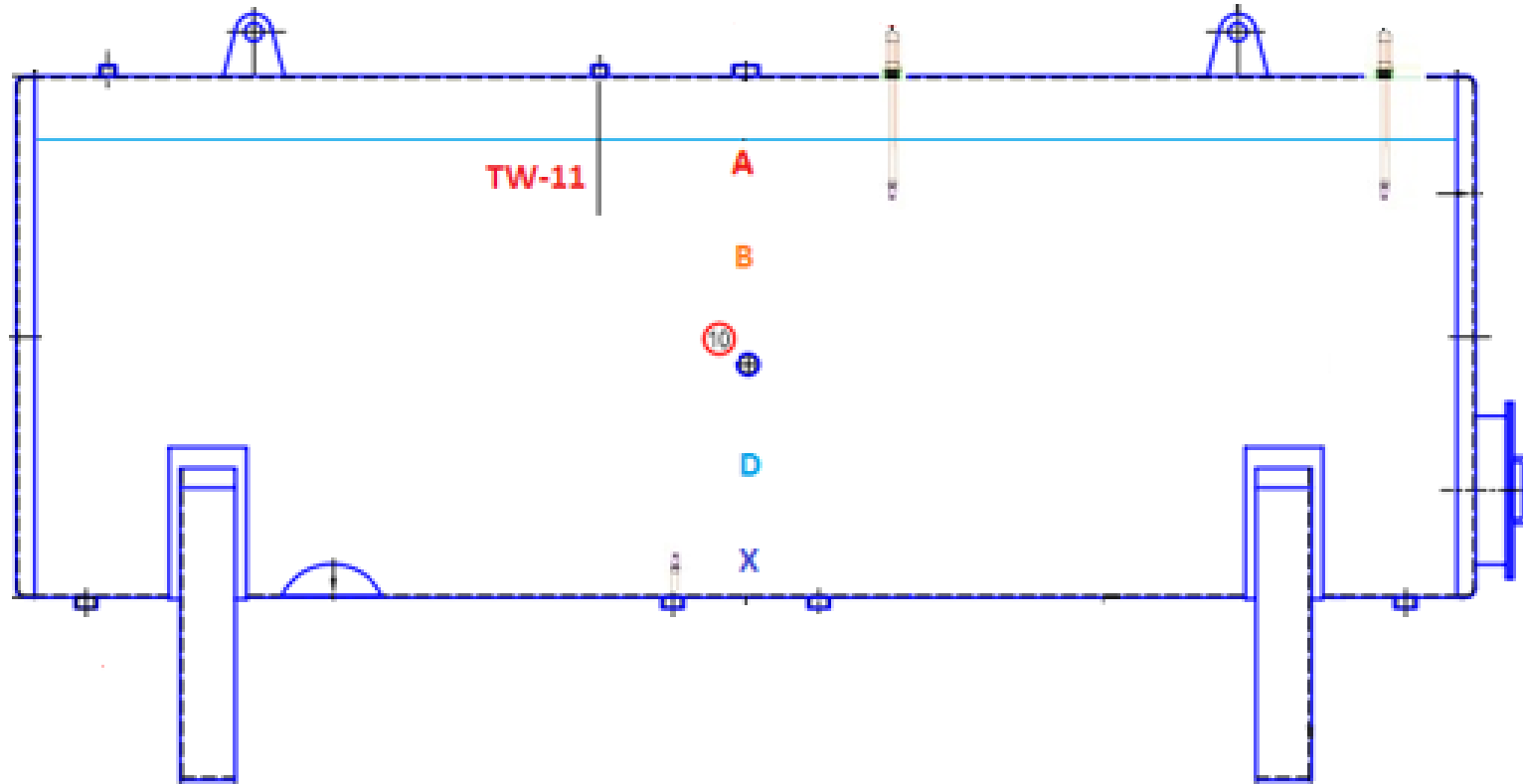
Perfil de estratificación al inicio de la prueba de calentamiento



Perfil de estratificación al final de la prueba de calentamiento

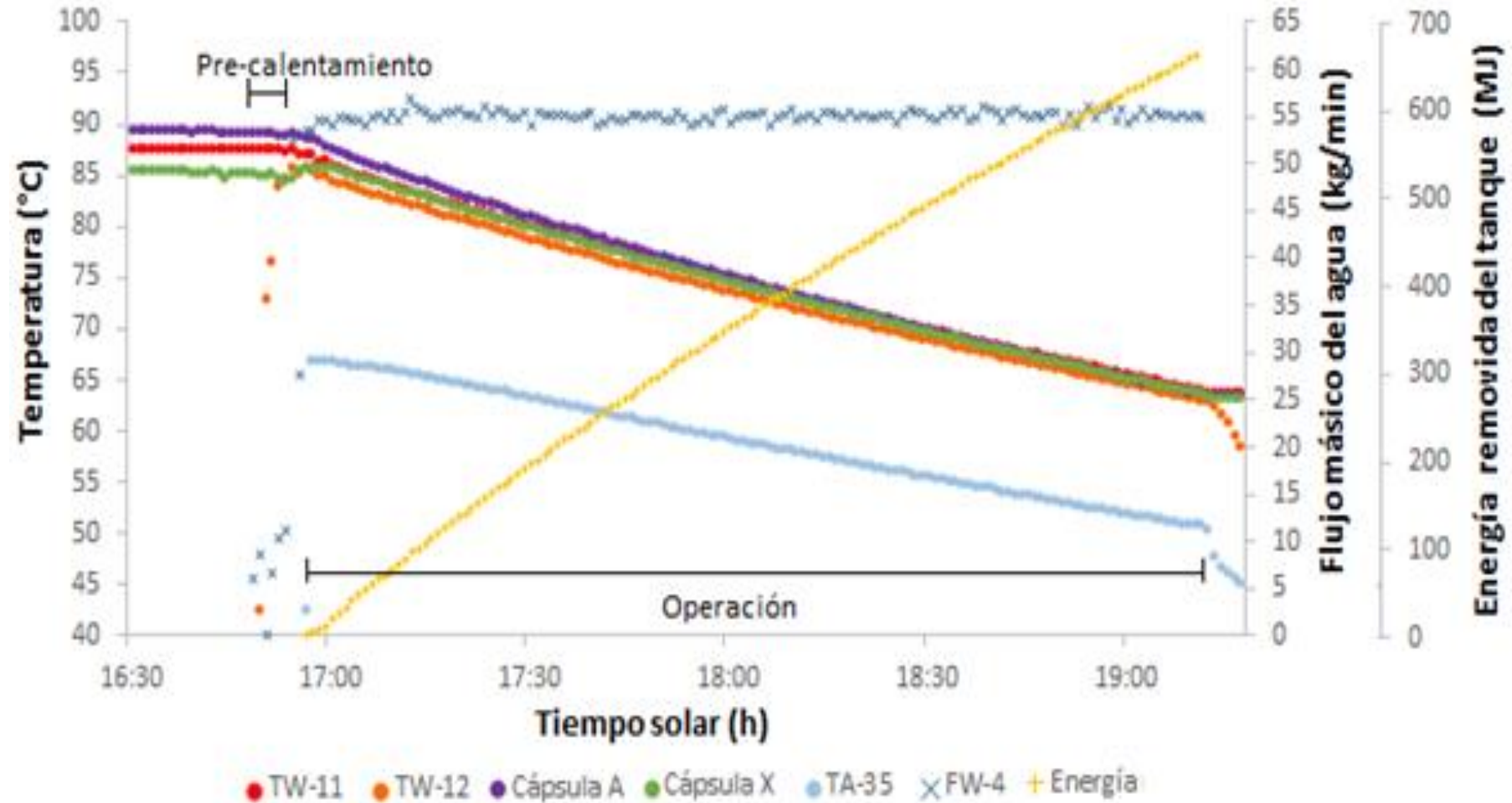
Pruebas de extracción

Prueba	To (°C)	Nivel inicial Agua (cm)	Tf (°c)	Nivel Final Agua (cm)	Frecuencia Bomba (Hz)	Temperatura Inter. Tanque (Hz)
3	81	68.2	57	59	60	87
4	78	68	57	59.5	20-60	80
5	75	62	57	59.7	20-60	90



Cápsula	Distancia respecto al fondo del tanque
A	128
B	85
D	46.5
X	8

Perfiles de temperatura en el intercambiador y en el termotanque, así como el flujo másico de agua a través del intercambiador durante la operación



Conclusiones

Durante períodos de proceso a una velocidad constante provoca un perfil con poca presencia de estratificación térmica, por lo que hay una alta velocidad de fluido hacia abajo del tanque, lo que significa que la pérdida de calor de los lados del tanque se moverá hacia abajo.

Un proceso de velocidad de recirculación a proporción de aumento genera un grado de estratificación térmica marcado lo que significa mayor aprovechamiento de la energía almacenada en el tanque por lo que aumenta el rendimiento térmico de un sistema de calentamiento solar porque la temperatura de retorno al colector solar se reduce.

Referencias

- Aguilar Hernández R. y Esparza Frausto G., (2010) «Situación y perspectivas de la producción de chile seco en Zacatecas», *Revista de geografía agrícola*, n.º 45, Art. No. 4, Accedido: sep. 27, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/revistas/geografia/contenido.php?anio=2009&vol=>.
- Antonanzas T. F., Urraca R., Polo J., Perpiñán-L. O., y Escobar R., (2019) «Clear sky solar irradiance models: A review of seventy models», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 107, n.º March 2018, pp. 374-387, doi: 10.1016/j.rser.2019.02.032.
- ASHRAE, (2005) «2005 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS I-P Edition Supported by ASHRAE Research».
- Assari M. R., Basirat Tabrizi H., y Movahedi M. J., (2018) «Experimental study on destruction of thermal stratification tank in solar collector performance», *Journal of Energy Storage*, vol. 15, pp. 124-132, feb. 2018, doi: 10.1016/j.est.2017.11.004.
- Barrantes, T. M. C. (2021). Diseño de un sistema aerotérmico para optimizar la refrigeración y el calentamiento de agua sanitaria en el centro de prácticas pre clínico y clínico de Estomatología de la Universidad Señor de Sipan.
- Beckman A. W. et. al, (2006) «Solar Engineering of Thermal Processes 3rd Edition 2006».
- Belessiotis V. y Delyannis E., (2011) «Solar drying», *Solar Energy*, vol. 85, n.º 8, pp. 1665-1691, ago. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2009.10.001.
- Beltrán Rodríguez L., Alexandri Rionda R., Herrera Romero J., y Ojeda Galicia O., (2016) «Balance Nacional de Energía», *Secretaría de Energía, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. México.*, pp. 15-20.
- Bouhal T., Fertahi S., Agrouaz Y., El Rhafiki T., Kousksou T., y Jamil A., (2017) «Numerical modeling and optimization of thermal stratification in solar hot water storage tanks for domestic applications: CFD study», *Solar Energy*, vol. 157, n.º August, pp. 441-455, doi: 10.1016/j.solener.2017.08.061.
- Braun J. E. y Mitchell J. C., (1983) «Solar Radiation Monitoring Laboratory», *Solar Energy*, vol. 31, n.º 5, pp. 439-444.
- Camayo, B., Quispe, M., Condezo, D., Massipe, J., Galarza, J. y Mucha, E. (2021). Diseño autónomo del sistema solar térmico para la deshidratación indirecta de Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*), Junín. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 33(1):115-124. <http://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.10>
- Castillo-Téllez M., Pilatowsky-Figueroa I., López-Vidaña E. C., Sarracino-Martínez O., y Hernández-Galvez G., (2017) «Dehydration of the red chilli (*Capsicum annum L.*, costeño) using an indirect-type forced convection solar dryer», *Applied Thermal Engineering*, vol. 114, pp. 1137-1144, mar. 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.114.
- Cisneros, R. C. A., Menéndez, P. A., Moralobo, P. M., Trinchet, S. F., & Fernández-Aballi, A. C. (2021). Evaluación técnico-económica preliminar de la producción de electricidad a partir de plantas termosolares en Cuba/Preliminary economic and technical evaluation of the production of electricity from solar thermal plants in Cuba. *Ingeniería Energética*, 42(1).
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), (2018) «Energía Solar Térmica Para Procesos Industriales En México»
- Chira Rodríguez, A. N., Cárdenas Correa, C. A., Ma San Gómez, F. J., Seminario Gastelo, J. M., & Luna Seminario, V. A. (2020). Comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento para un piso de oficinas. Universidad de Piura
- De Juana Sardón J. M., (1997) «Radiación y Atmósfera», pp. 95-98. Consultado: 20 de mayo de 2021 de <https://www.divulgameteo.es/uploads/Radiaci%C3%B3n-Atm%C3%B3sfera.pdf>
- Dev S. R. S. y Raghavan V. G. S., (2012) «Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel», *Drying Technology*, vol. 30, n.º 11-12, pp. 1147-1159, sep. 2012, doi: 10.1080/07373937.2012.692747.
- Dincer I. y Rosen M., (2011) *Thermal Energy Storage Systems and Applications*. 2011.
- Dragsted J., Furbo S., Dannemand M., y Bava F., (2017) «Thermal stratification built up in hot water tank with different inlet stratifiers», *Solar Energy*, vol. 147, pp. 414-425, doi: 10.1016/j.solener.2017.03.008.
- Durán E. M., Godfrin J. C., (2004) «Aprovechamiento de la Energía Solar en la Argentina y en el Mundo», *Aprovechamiento de la Energía Solar en la Argentina y en el Mundo. Boletín energético.*, vol. 16, p. 44
- Ed-Dîn Fertahi S., Bouhal T., Kousksou T., Jamil A., y Benbassou A., (2018) «Experimental study and CFD thermal assessment of horizontal hot water storage tank integrating Evacuated Tube Collectors with heat pipes», *Solar Energy*, vol. 170, pp. 234-251, ago. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.05.062.
- Ed-Dîn Fertahi S., Jamil A., y Benbassou A.(2018) «Review on Solar Thermal Stratified Storage Tanks (STSST): Insight on stratification studies and efficiency indicators», *Solar Energy*, vol. 176, pp. 126-145, dic. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.10.028.
- Ekechukwu O. V. & Norton B., (1997) «Experimental studies of integral-type natural-circulation solar-energy tropical crop dryers», *Energy Conversion and Management*, vol. 38, n.º 14, pp. 1483-1500, sep. 1997, doi: 10.1016/S0196-8904(96)00102-1.
- Ekechukwu O. V. y Norton B., (1999) «Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology», *Energy Conversion and Management*, vol. 40, n.º 6, pp. 615-655, abr. 1999, doi: 10.1016/S0196-8904(98)00093-4.
- El-Sebaï A. A. y Shalaby S. M., (2012) «Solar drying of agricultural products: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n.º 1, pp. 37-43, ene. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.134.
- Erdemir D., Atesoglu H., y Altuntop N., (2019) «Experimental investigation on enhancement of thermal performance with obstacle placing in the horizontal hot water tank used in solar domestic hot water system», *Renewable Energy*, vol. 138, pp. 187-197, ago. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.01.075.
- Esper A. y Mühlbauer W., (1998) «Solar drying - an effective means of food preservation», *Renewable Energy*, vol. 15, n.º 1, pp. 95-100, sep. 1998, doi: 10.1016/S0960-1481(98)00143-8.
- Fan J. y Furbo S., (2012) «Buoyancy driven flow in a hot water tank due to standby heat loss», *Solar Energy*, doi: 10.1016/j.solener.2012.07.024.
- Fan J. y Furbo S., (2012) «Thermal stratification in a hot water tank established by heat loss from the tank», *Solar Energy*, vol. 86, n.º 11, pp. 3460-3469, doi: 10.1016/j.solener.2012.07.026.
- Fan J., Furbo S., y Yue H., (2015) «Development of a Hot Water Tank Simulation Program with Improved Prediction of Thermal Stratification in the Tank», *Energy Procedia*, vol. 70, pp. 193-202, doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.115.
- FAO, (2011) «“Energy-smart” food for people and climate», 2011. <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf> (accedido nov. 03, 2018).
- FAO, (2015) «Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe», Accedido: nov. 03, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4655s.pdf>.
- Farjana S. H., Huda N., Mahmud M. A. P., y Saidur R., (2018) «Solar process heat in industrial systems – A global review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2270-2286, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.065.
- Fertahi S. Ed D., Jamil A., y Benbassou A., (2018) «Review on Solar Thermal Stratified Storage Tanks (STSST): Insight on stratification studies and efficiency indicators», *Solar Energy*, vol. 176, n.º May, pp. 126-145, doi: 10.1016/j.solener.2018.10.028.
- García O. y Pilatowsky F. I., (2017) *Aplicaciones térmicas de la energía solar*, FORDECyT - UNAM.
- García, V.O., Pilatowsky, F.I., Ortíz, R.N. y Menchaca, V.C. (2019). Solar thermal dehydrating plant for agricultural products installed in Zacatecas, México. *WEENTECH Proc. Energy*, pp 1-19. Doi: 10.32438/EPE.1119
- García, V.O., Pilatowsky, F.I., Ortíz, R.N. y Menchaca, V.C. (2020). Solar thermal dehydrating plant for agricultural products. Part 1: Direct air heating system. *Renew. Energy*, vol. 148, pp 1302-1320. Doi: 10.1016/j.renene.2019.10.069
- Hauer A., «Evaluation of adsorbent materials for heat pump and thermal energy storage applications in open systems», 2007, doi: 10.1007/s10450-007-9054-0.
- Hernández J., Escobar I., y Castilla N., (2001) «La radiación solar en invernaderos mediterráneos revista», *Horticultura*, vol. 157, pp. 1-9.
- Hollick J. C., (1999) «Commercial scale solar drying», *Renewable Energy*, vol. 16, n.º 1, pp. 714-719, ene. 1999, doi: 10.1016/S0960-1481(98)00258-4.

Referencias

- Huang H. *et al.*, (2018) «An experimental investigation on thermal stratification characteristics with PCM in solar water tank», *Solar Energy*, vol. 171, n.º June 2018, pp. 8-21, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.11.004.
- Jangam S. V., (2011) «An Overview of Recent Developments and Some R&D Challenges Related to Drying of Foods», *Drying Technology*, vol. 29, n.º 12, pp. 1343-1357, sep. 2011, doi: 10.1080/07373937.2011.594378.
- Jani D. B., Mishra M., y Sahoo P. K., (2018) «A critical review on application of solar energy as renewable regeneration heat source in solid desiccant – vapor compression hybrid cooling system», *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 107-124, doi: 10.1016/j.jobe. 2018.03.012.
- Johane H. B. B. y Miguel L. B. L., (2015) «Análisis de las irreversibilidades en colectores solares de placas planas no isotérmicos para calentamiento de aire utilizando un modelo adimensional», *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, n.º 2, pp. 237-247, doi: 10.1016/ s1405-7743(13)72239-x.
- Jones L. A., Muhlfeld C. C., y Hauer F. R., (2017) «Temperature», en *Methods in Stream Ecology: Third Edition*.
- Karale S. R., (2013) «A review paper on Solar Dryer», *International Journal of Engineering Research and*, vol. 3, n.º 2, p. 7, 2013.
- Kumar L., Hasanuzzaman M., y Rahim N. A., (2019) «Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review», *Energy Conversion and Management*, vol. 195, pp. 885-908, sep. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.05.081.
- Kumar M. y Khatak P., (2016) «Progress in solar dryers for drying various commodities», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 346-360, mar. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.158.
- Kurşun B., (2018) «Thermal stratification enhancement in cylindrical and rectangular hot water tanks with truncated cone and pyramid shaped insulation geometry», *Solar Energy*, vol. 169, n.º May, pp. 512-525, doi: 10.1016/j.solener.2018.05.019.
- Li A., Cao F., Zhang W., Shi B., y Li H., (2018) «Effects of different thermal storage tank structures on temperature stratification and thermal efficiency during charging», *Solar Energy*, vol. 173, n.º May, pp. 882-892, doi: 10.1016/j.solener.2018.08.025.
- Lizana M. F. J., (2017) «Caracterización de materiales de almacenamiento de energía térmica para aplicaciones en edificación», pp. 621-637.
- Mar C. E., (2015), «La Energía Solar Termoeléctrica en España La energía solar termoeléctrica en España», n.º February
- Marchena Quinde, H. H., Vicente Vásquez, J. W., & Núñez Pintado, L. F. (2021). *Diseño de un Secador de Café Mediante Colectores Solares para el Distrito de la Coipa, San Ignacio, Cajamarca*. Universidad Nacional de Jaén.
- Martínez P., (2002) «Funding would prevent waste of research time», *Nature*, vol. 408, n.º 6812, pp. 514-514, doi: 10.1038/35046274.
- Masanet E., Masanet E., Worrell E., Graus W., y Galitsky C., (2008) «Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Fruit and Vegetable Processing Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers», LBNL-59289-Revision, 927884, ene. 2008. doi: 10.2172/927884.
- Méndez R. L. I. (2016) «Caracterización de tres captadores solares planos de aire en serie y estimación de la energía proporcionada por el arreglo de captadores en Zacatecas». Tesis Licenciatura U.A.Z.
- Mujumdar A. S., (2015), *Handbook of industrial drying*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Nahle Sabag N., (2011) «Radiación Solar en la Capa exterior de la Atmósfera Terrestre y sobre la Superficie Terrestre (Suelo y Océano)», *Biology Cabinet*.
- Nandwani S. (2005), «Energía solar. Conceptos básicos y su utilización», *Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica). Jun*, pp. 1-26.
- Ortiz, R.N., García, V.O., Pilatowsky, F.I., y Menchaca, V.C. (2020). Solar-LP gas hybrid plant for dehydration of food. *Appl. Therm. Eng., vol. 177*, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020. 115496
- Ortiz, R.N., Marín, C. J.F., González, A.L., y García, V.O., (2021). Drying kinetics of natural rubber sheets under two solar thermal drying systems. *Renew. Energy*, vol. 165, pp. 438-454. Doi: 10.1016/j.renene. 2020.11.035
- Othman M. Y. H., Sopian K., Yatim B., y Daud W. R. W., (2006) «Development of advanced solar assisted drying systems», *Renewable Energy*, vol. 31, n.º 5, pp. 703-709, abr. 2006, doi: 10.1016/j.renene.2005.09.004.
- Pandey K. M. y Chaurasiya R., (2017) «A review on analysis and development of solar flat plate collector», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 641-650, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.078.
- Phadke P. C., Walke P. V., y Kriplani V. M., (2015) «A REVIEW ON INDIRECT SOLAR DRYERS», vol. 10, n.º 8, p. 12.
- Pirasteh G., Saidur R., Rahman S. M. A., y Rahim N. A., (2014) «A review on development of solar drying applications», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 133-148, mar. 2014, doi: 10.1016/ j.rser.2013.11.052.
- Rosas L. M. A., Fontes C. F. B., De Miranda Mousinho M. C. A., y Torres E. A., (2019) «Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The Case of Resolution 482/2012», *Energy Procedia*, vol. 159, pp. 484-490, doi: 10.1016/j.egypro.2018. 12.036.
- Sabbah R., Kizilel R., Selman J. R., y Al-Hallaj S., (2008) «Active (air-cooled) vs. passive (phase change material) thermal management of high power lithium-ion packs: Limitation of temperature rise and uniformity of temperature distribution», *Journal of Power Sources*, doi: 10.1016/j. jpowsour.2008.03.082.
- Sardeshpande V. y Pillai I. R., (2012) «Effect of micro-level and macro-level factors on adoption potential of solar concentrators for medium temperature thermal applications», *Energy for Sustainable Development*, vol. 16, n.º 2, pp. 216-223, doi: 10.1016/j.esd.2012.01.001.
- Sari A. y Kaygusuz K., (2002) «Thermal and heat transfer characteristics in a latent heat storage system using lauric acid», *Energy Conversion and Management*, doi: 10.1016/S0196-8904(01)00187-X.
- Sharma A. K., Sharma C., Mullick S. C., y Kandpal T. C., (2017) «Solar industrial process heating: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, pp. 124-137, oct. 2017, doi:10.1016/j.rser.2017.04. 079.
- Sharma A., Chen C. R., y Vu Lan N., (2009) «Solar-energy drying systems: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, n.º 6-7, pp. 1185-1210, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.08.015.
- Shukla R., Sumathy K., Erickson P., y Gong J., (2013) «Recent advances in the solar water heating systems: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser. 2012.10.048.
- Sun T. y Teja A. S., (2003) «Density, viscosity, and thermal conductivity of aqueous ethylene, diethylene, and triethylene glycol mixtures between 290 K and 450 K», *Journal of Chemical and Engineering Data*, doi: 10.1021/je025610o.
- Sun T. y Teja A. S., (2004) «Density, viscosity and thermal conductivity of aqueous solutions of propylene glycol, dipropylene glycol, and tripropylene glycol between 290 K and 460 K», *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2004, doi: 10.1021/je049960h.
- Thirugnanasambandam M., Iniyan S., y Goic R., (2010) «A review of solar thermal technologies», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, n.º 1, pp. 312-322, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.014.
- Tian Y. y Zhao C. Y., (2013), «A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications», *Applied Energy*, vol. 104, pp. 538-553, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.11.051.
- Vijaya Venkata Raman S., Iniyan S., y Goic R., (2012) «A review of solar drying technologies», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n.º 5, pp. 2652-2670, jun. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.01.007.
- Wang Z., Zhang H., Huang H., Dou B., Huang X., y Goula M. A., (2019) «The experimental investigation of the thermal stratification in a solar hot water tank», *Renewable Energy*, pp. 862-874, doi: 10.1016/j.renene.2018. 11.088.
- Zhao P. *et al.*, (2015) «Cryogenic power generation system recovering LNG's cryogenic energy and generating power for energy and CO₂ emission savings», *Energy*, doi: 10.1016/j. energy.2015.09.020.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)