Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Proceso de desorción dentro de un transformador de calor por absorción

Desorption process inside a heat transformer by absorption

Demesa-López, N.F.[a], Hernández-Pérez, J.A.[b], Juárez-Romero, D.[b], Huicochea-Rodríguez, A.[b,*]

[a] Posgrado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp), Universidad Autónoma de Estado de Morelos (UAEM). Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. C. P. 62209. Cuernavaca, Morelos. México.
[b] El Centro de Investigación en Ingenierías y ciencias aplicadas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CIICAp-UAEM).
noedelo@hotmail.com; alfredo@uaem.mx; djuarezr7@uaem.mx; huico_chea@uaem.mx*

Innovación tecnológica: Novedoso intercambiador de calor para ahorrar energía.

Área de aplicación industrial: Sistemas Térmicos.

Recibido: 03 marzo 2022
Aceptado: 06 septiembre 2022

Abstract

The desorption process is a relevant process inside an Absorption Heat Transformer due to the separated refrigerant (steam phase) from the solution has directly influence over the performance of thermal equipment. The desorption process is carried out in a generator (a heat exchanger called too desorber) by using a waste heat at temperatures between 60 and 90 °C to obtain a refrigerant quantity, which after develops the condensation, evaporation, and absorption processes to produce useful heat at a higher temperature of 100 °C through an exothermic reaction. The use of residual heat helps to conserve the environment. This work shows a novel used for desorption processes at low pressure and temperature up to 85 °C. The objective is to increase the compactness grade (relation of heat transfer area to volume), reduce heat and pressure losses, as well as to improve the stability time. It was designed and built a generator integrated by three nested helical coils inside a shell to operate as dual and vertical arrangement inside an Absorption Heat Transformer of 2 kW. When the turbulence of heating source is increased, the additional convection due to the vorticity produces a superheating in the wall between 75.6 and 81.8 °C, by which the desorption rate increases up to 3.7 times. The maximum efficiency was of 85% with a Re_{HS} = 5.2 x10^{-4} and heating temperature of 85 °C.

Keywords: energy saving; heat exchanger; desorption; thermal performance; absorption heat transformer.

Resumen

La desorción es un proceso relevante dentro de un Transformador de Calor por Absorción debido a que el refrigerante separado (fase vapor) de solución influye directamente en el rendimiento del equipo térmico. El proceso de desorción se lleva a cabo en un generador (un intercambiador de calor llamado también, desorbedor) usando un calor de desecho a temperaturas entre 60 y 90 °C para obtener una cantidad de refrigerante, el cual posteriormente desarrolla un proceso de condensación, evaporación y absorción para producir calor útil a una temperatura superior a 100 °C a través de una reacción exotérmica. El uso del calor residual mediante intercambiadores de calor es trascendente para recuperar la energía que daña al medio ambiente. En este trabajo se estudia un intercambiador de calor usado para procesos de desorción a presiones absolutas bajas y temperaturas de no mayor a 85 °C. Este dispositivo térmico es novedoso por ser compacto (relación de área de transferencia de calor a volumen), por lo cual se tienen menos pérdidas de energía y presión, y requiere menos tiempo para su estabilidad. Se diseñó y construyó un generador integrado por tres anillos helicoidales anidados dentro de una coraza para operar como un arreglo dual y vertical dentro de un Transformador de Calor por Absorción de 2 kW. Cuando la turbulencia de la fuente de calor se incrementa, la convección adicional debido a la vorticidad genera un sobrecalentamiento en la pared entre 75.6 y 81.8 °C, por lo cual la tasa de desorción se ve favorecida hasta 3.7 veces. La eficiencia máxima fue de 85% a un Re_{HS} = 5.2 x10^{-4} y una temperatura de calentamiento de 85 °C.

Palabras clave: ahorro de energía; intercambiador de calor; desorción; rendimiento térmico; transformador de calor por absorción.

Nomenclatura

$\dot{Q}$	Flujo de calor [kW]
$\dot{m}$	Flujo másico [kg/s]
A	Área de transferencia de calor [m^2]
TCA	Transformador de Calor por Absorción
D	Diámetro [m]
h	Entalpía específica [kJ/kg]
lm	Media logarítmica
n	Vueltas
OD	Diámetro externo [m]
Re	Número de Reynolds [-]
T	Temperatura [°C]
U	Coeficiente global de transferencia de calor [W/m^2 °C]

Subíndices

ABS	Absorbedor
CON	Condensador
DESIGN	Diseño
EVA	Evaporador
GEN	Generador
HS	Fuente de calor
IN	Entrada

OUT	Salida
SHE	Coraza
SHX	Intercambiador de calor de soluciones
SOL	Solución

Letras griegas

η	Eficiencia térmica [-]
U_{DESIGN}	Local heat transfer coefficient [W/m^2 °C]

1. Introducción

La demanda mundial de energía se incrementa constantemente principalmente por el crecimiento poblacional (SENER, 2020). La satisfacción de las necesidades es atendida usando combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) hasta en un 81.8%. Se estima que en 2014 se liberaron 32 381 Mt de CO_2 (3.24 x 10^{13} kg) en la quema de estos combustibles, cantidad que va en aumento cada año (IEA, 2016). Otra alternativa es el uso de nuevas tecnologías para incrementar la eficiencia energética de los procesos para disminuir el calor residual. Forman et al., (2016), estiman que, a nivel mundial, alrededor del 63% del calor residual se disipa a temperaturas por debajo de los 100 °C como gases residuales y efluentes.

El Transformador de Calor por Absorción (*TCA*) es equipo térmico utilizado para revalorizar el calor mediante la recuperación del calor residual. El *TCA* tiene esencialmente cinco intercambiadores de calor donde se desarrollan los procesos físicos de desorción, condensación, evaporación, absorción y calentamiento. Este equipo térmico puede activarse con temperaturas entre 60 y 90 °C, y revalorizar el calor a temperaturas superiores a 100 °C en el proceso de absorción mediante un ciclo termodinámico (Parman et al., 2014). Además, la activación del ciclo termodinámico puede darse por fuentes renovables como solar o geotermia (Gomri, 2010). Uno de los retos de esta tecnología es la incorporar intercambiadores de calor eficientes y compactos para llevar a cabo los procesos físicos. El desorbedor, también conocido como generador, es un intercambiador de calor elemental, ya que su función es separar el refrigerante de la solución de H_2O/LiBr mediante el proceso de desorción.

El rendimiento de los procesos de absorción y desorción en *TCA* han sido comparados a condiciones de operación típicas. Para una longitud de flujo de 0.1 m, el modelo demostró que la viscosidad es menor y la difusividad en masa es mayor durante la absorción, rendimiento 10% mayor en comparación con la desorción (Mittermaier and Ziegler, 2015). Dos configuraciones de generadores han sido estudiadas a detalle: inundado (Sim and Kim, 2015; Sim and Kim, 2015) y por película descendente (Matsuda et al., 2011; Matsuma et al., 2011; Shi et al., 2010). En trabajos experimentales, la configuración por película descendente ha alcanzado coeficientes de transferencia de calor globales hasta 4.4 veces más altos que en generadores inundados (Shi et al., 2010). Los procesos de transferencia de calor y masa en película descendente resultan de la formación de un gradiente de concentración y consecuentemente la difusión directa de agua de la película de solución. La ebullición y desorción, ocurre por el flujo de calor y aumento de la temperatura del sobrecalentamiento de la pared (Mortazavi et al., 2017). Liang et al., (2017) analizaron la transferencia de calor y masa sobre la película descendente de LiCl por fuera de un tubo vertical. A una concentración de 29.6%, el incremento de la temperatura de la fuente de 68 a 80 °C origina un incremento en la tasa de

desorción cercana a 4 veces. En general, los comportamientos son similares a los obtenidos con LiBr. Mortazavi et al., (2017) propusieron un nuevo diseño de generador de marco y plato donde alcanzaron 3 veces mayor tasa de desorción con un flujo de solución sustancialmente menor, en comparación que un generador convencional a una temperatura de sobrecalentamiento de la pared de 10 °C. El diseño utiliza escalones superficiales que producen una resistencia asimétrica al flujo y extienden uniformemente la solución sobre la superficie vertical. La estructura escalonada interrumpe la capa límite e induce la mezcla del flujo. La alta tasa de desorción a bajo flujo de masa, permite una reducción significativa en el tamaño y costo del generador. Hu et al., (2017) examinaron un generador de platos de película descendente, el cual está constituido de 3 canales para una distribución uniforme y más compacto que el componente convencional. Observaron el patrón de flujo a presión de vacío, mitigando las áreas secas con el aumento del caudal de solución. Obtuvieron coeficientes de transferencia de calor entre 735 a 856 W/m^2 °C.

Los estudios sobre los intercambiadores de calor usados en los TCA se han centrado en diseños convencionales. En este trabajo se presenta una nueva geometría de un intercambiador de calor para desarrollar un proceso de desorción dentro de una coraza en un Transformador de Calor por Absorción. El objetivo del estudio es tener un dispositivo térmico con mayor grado de compactación, menores pérdidas de energía y presión, así como la reducción del tiempo de estabilidad. El funcionamiento es por película descendente. Se presenta el análisis experimental de la transferencia de calor del generador operando con H_2O/LiBr a una concentración de 54% en peso, además, se estudia los efectos de la temperatura de calentamiento y tasa de desorción en el proceso.

2. Descripción del ciclo del *TCA*

El arreglo de un *TCA* simple de una etapa se muestra en la *Fig. 1*, donde los cuatro procesos físicos (evaporación/absorción y desorción/condensación) se integran en una sola coraza por operar a la misma presión. El calor residual se suministra al generador y evaporador a una temperatura intermedia (T_{GEN}, T_{EVA}). En el primero se separa una cantidad de refrigerante de la solución, la cual va al condensador para obtener refrigerante en la fase líquida, y ser bombeado al evaporador. El vapor del refrigerante generado en el proceso de evaporación llega al generador para ser absorbido en una solución concentrada de solución, y así obtener un calor útil a una temperatura alta (T_{ABS}). La solución débil de H_2O/LiBr del absorbedor se enfría internamente en el intercambiador de soluciones con la solución fuerte del generador. El vapor el calor obtenido del proceso de absorción, puede resultar más útil para procesos de secado, purificación de agua o tratamientos de efluentes.

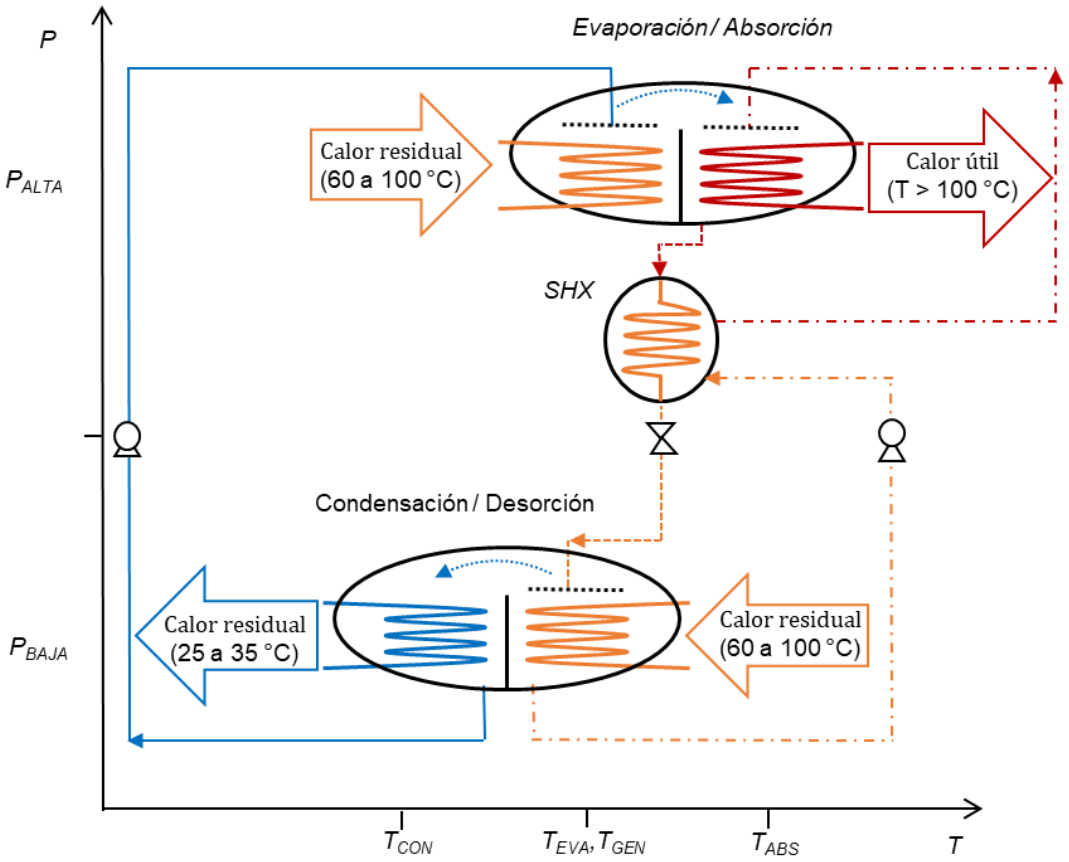


Figura 1. Diagrama esquemático de un *TCA* con componentes duales.

3. Descripción de equipo experimental

La Fig. 2 muestra el generador/condensador integrado al *TCA* experimental. El condensador es colocado en la parte superior para facilitar el ascenso del vapor proveniente del generador. El generador tiene 3 serpentines interconectados en serie para maximizar el grado de compactación. El área de intercambio de calor es bañada por la solución diluida mediante un distribuidor tipo regadera, obtenido una cantidad refrigerante y una solución centrada. El vapor asciende al condensador por medio de una campana que impide su retorno, y la solución concentrada va al absorbedor. La coraza está aislada térmicamente usando juntas de neopreno y silicón resistente a altas temperaturas. Tres mirillas circulares de 0.025 m de diámetro están instaladas para el monitoreo de la distribución de solución y controlar el nivel de solución.

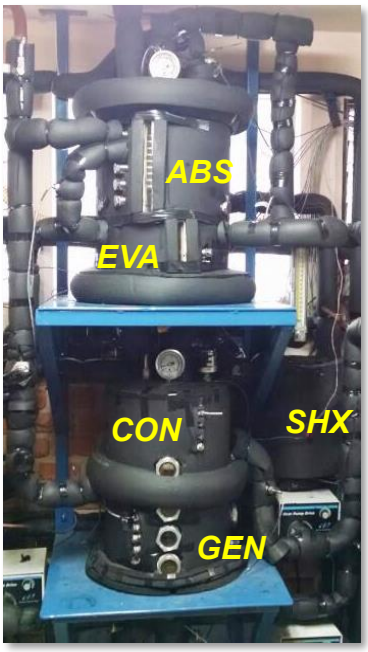


Figura 2. Generador dentro de un *TCA*.

En la Tabla 1 se indica las características de diseño y físicas del generador.

Tabla 1. Datos de diseño y construcción del generador (Demesa, 2017).

	GEN
Tubing *OD* [m]	0.0127
Calibre	16
Material del tubo	Acero inoxidable 316L
$\dot{Q}_{DESIGN}$ [kW]	2.3
U_{DESIGN} [W/m^2 °C]	317.7
A [m^2]	0.55
n [-]	10
$D_{INT,SHE}$ [m]	0.27

3.1 Instrumentación

En la Tabla 2 se presentan las características de los instrumentos de medición usados en la caracterización experimental de los circuitos internos y externos del generador. Las mediciones de temperatura y presión fueron almacenadas cada 10 segundos mediante un sistema de adquisición de datos de marca Agilent, modelo 34970ª, y software BenchLink Data Logger 3. La concentración se midió indirectamente mediante el índice de refracción de las muestras de H_2O/LiBr extraídas por sellos de gaucho (septas). Los flujos volumétricos de solución, así como de condensado (para determinación de tasa de desorción), se obtuvieron directamente de la lectura del flotador en los rotámetros. La fuente de calor es agua calentada en un tanque por resistencias eléctricas. Para su aislamiento se utilizó Armaflex, elastómero comercial con conductividad térmica de 0.04 W/m °C.

Tabla 2. Especificaciones de los principales instrumentos de medición.

Instrumento	**Intervalo de operación**	**Precisión**
PT-100	0-260 °C	±0.35 °C
Transductores de presión	-101.4 a 206.8 kPa	± 0.13 % a escala completa
Rotámetros de solución	0.057-1.288 LPM	±2 % a escala completa
Rotámetro de refrigerante	0-0.0843 LPM	±3 % a escala completa
Rotámetros de calentamiento y enfriamiento	0.8-8 LPM	±3 % a escala completa
Índice de refracción	1.3-1.7 nD	±0.0002 nD

3.2 Reducción de datos

El análisis termodinámico del componente se realiza mediante balances de materia y energía utilizados en la primera ley de la termodinámica, despreciando los cambios de energía cinética y potencial debido a que son mínimos y no afectan de manera significativa:

$$\dot{Q}_{GEN,INT} = \dot{m}_{REF,OUT}\left(h_{REF,OUT}\right) + \dot{m}_{SOL,OUT}\left(h_{SOL,UOT}\right) - h_{SOL,IN}\left(\dot{m}_{SOL,IN}\right) \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

$$\dot{Q}_{HS} = \dot{m}_{HS}\left(h_{HS,IN} - h_{HS,OUT}\right) \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

Donde $\dot{Q}$ representa el flujo de calor de ambas líneas del intercambiador de calor, $\dot{m}$ indica el flujo másico y h la entalpía específica, respectivamente del refrigerante y solución de trabajo.

La eficiencia térmica se calcula en función del calor transferido en ambos circuitos del componente, pues es imposible transferir la energía al 100% debido a las irreversibilidades (segunda ley de la termodinámica). La eficiencia térmica (ε_{GEN}) se define como la relación del flujos de calores de la línea fría ($\dot{Q}_{GEN,INT}$), y la línea caliente ($\dot{Q}_{HS}$).

$$\varepsilon_{GEN} = \frac{\dot{Q}_{GEN,INT}}{\dot{Q}_{HS}} \quad \textbf{(Ec. 3)}$$

El coeficiente de transferencia calor global (U_{GEN}) se determina a partir de la ecuación de diseño térmico, en función del calor promedio entre ambos fluidos, el área de transferencia de calor (A_{GEN}), y el promedio de la temperatura media logarítmica (ΔTlm_{GEN}):

$$U_{GEN} = \frac{(\dot{Q}_{GEN,INT}+\dot{Q}_{HS})/2}{\Delta Tlm_{GEN}A_{GEN}} \quad \textbf{(Ec. 4)}$$

El parámetro *ΔTlm* para el generador, se calcula a partir de los modelos propuestos por Herold et al. (1996). En el proceso de desorción, se consideran las temperaturas de entrada y salida de la fuente de calor ($T_{HS,IN}, T_{HS,OUT}$), y la solución ($T_{SOL,IN}, T_{SOL,OUT}$):

$$\Delta Tlm_{GEN} = \frac{(T_{HS,IN}-T_{SOL,OUT})-(T_{HS,OUT}-T_{SOL,IN})}{In\frac{(T_{HS,IN}-T_{SOL,OUT})}{(T_{HS,OUT}-T_{SOL,IN})}} \quad \textbf{(Ec. 5)}$$

El coeficiente de transferencia de calor global (U_{GEA}) engloba las resistencias convectivas de cada fluido del fluido frío ($\alpha_{GEN,INT}$) y caliente (α_{HS}), así como la resistencia conductiva de la pared. Para este análisis, no se considera la última porque las paredes son relativamente delgadas y baja conductividad térmica:

$$U_{GEA} \approx \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{GEN,INT}}+\frac{1}{\alpha_{HS}}} \quad \textbf{(Ec. 6)}$$

Las propiedades de transporte y termodinámicas de H_2O/LiBr se calculan mediante las correlaciones propuestas por McNelly (1979). Para H_2O, se utilizaron los datos del NIST-REFPROP (2002).

4. Análisis y discusión de resultados

4.1 Estabilidad

La *Fig. 3* muestra el comportamiento térmico del generador y del *TCA*. Se varía el flujo másico de calentamiento de 0.032 a 0.132 kg/s con incrementos de 0.016 kg/s, a 85 °C. A partir de 0.1 h comienza la desorción de vapor, estabilizándose aproximadamente a 1.2 h de operación. Se alcanzó estabilidad en 7 estados diferentes en un lapso menor a 4.2 h. Se considera estado estable cuando las temperaturas tuvieron variaciones menores de ±0.5 °C en un lapso de 20 min.

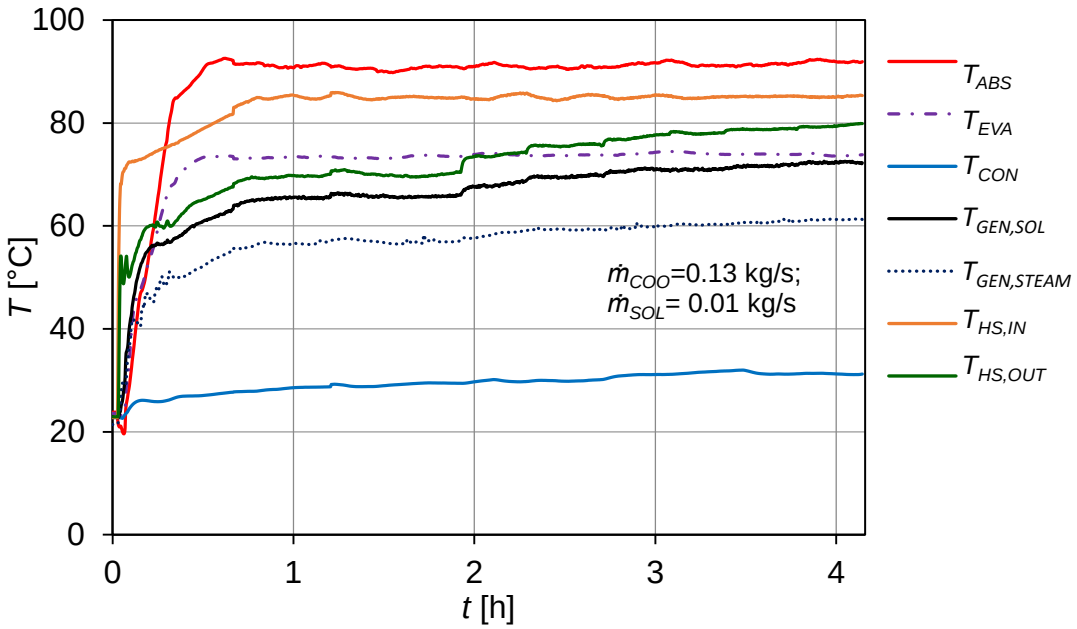


Figura 3. Temperaturas de la línea fría y caliente del generador, salida del condensador, evaporador y absorbedor del *TCA.*

4.2 Análisis de incertidumbre

Para conocer la confiabilidad de los resultados experimentales, se cuantifica el grado de precisión de las variables medidas y calculadas, mediante el análisis de incertidumbre. La incertidumbre combinada, se determina mediante la propagación del error de Gauss (1995):

$$u_y = \sqrt{\sum_i^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2\, x_i} \quad \textbf{(Ec. 7)}$$

La *Tabla 3* resume los resultados de las variables más importantes. La mayor incertidumbre es de 10.49% en la obtención de U, la cual se ve influenciada por $\dot{Q}_{GEN,INT}, \dot{Q}_{HS}$ y ΔTlm (propagación del error).

Tabla 3. Análisis de incertidumbre experimental.

Parámetro medido/calculado	Incertidumbre [%]
$\dot{m}_{HS}$	4.78
$\dot{m}_{REF}$	5.61
$\dot{m}_{SOL,IN}$	4.47
$\dot{m}_{SOL,OUT}$	4.91
U	10.49

La convección por turbulencia homogeniza la temperatura en la pared, alcanzándose mayores niveles térmicos (en la pared). La *Fig. 4* presenta la tasa de desorción para cada temperatura de la fuente de calor, al mantener la distribución de solución constante (0.01 kg/s). A mayor nivel térmico de la fuente de calor, se alcanzan mayores niveles térmicos de sobrecalentamiento en la pared del tubing, incrementando la tasa de desorción. Este incremento se relaciona con mayor inercia de transferencia de calor. La temperatura de entrada de solución depende del desempeño del intercambiador de soluciones y el cambio de presión en el estrangulamiento, sin embargo, varía ligeramente de 62.5 a 68.4 °C.

Se obtiene un incremento máximo de 3.7 veces la tasa de desorción cuando la temperatura en la pared aumenta de 75.6 (Re_{HS}=1.2 x 10^4) a 81.8 °C (Re_{HS}=5.2 x 10^4). En la literatura, se han presentado resultados experimentales con comportamientos similares para desorción de LiBr en película descendente sobre tubos horizontales (Mortazavi et al., 2017; Liang et al., 2017).

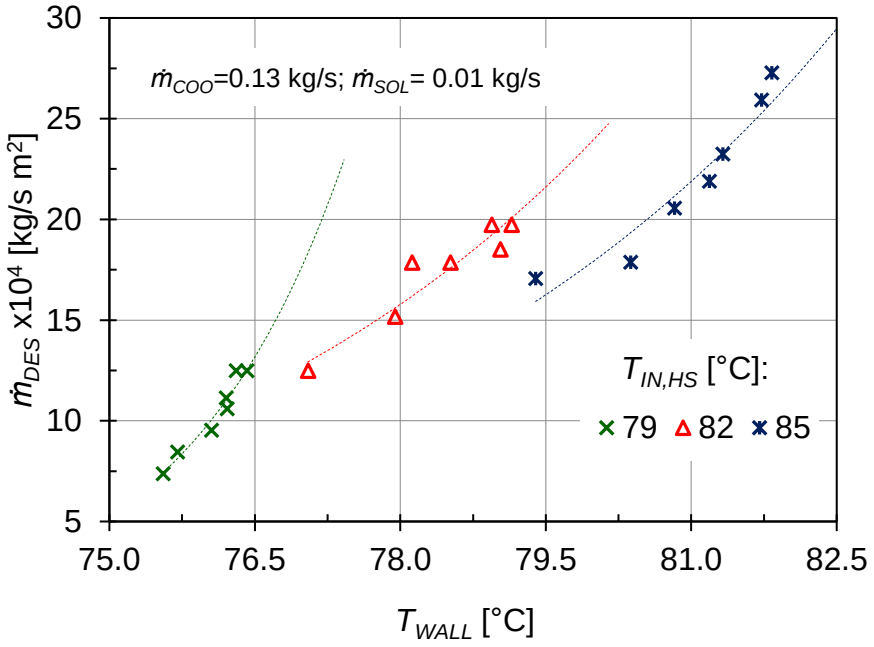


Figura 4. Tasa de desorción en función de la temperatura en la pared.

El coeficiente de transferencia de calor global considera las dos resistencias convectivas de los fluidos y la resistencia conductiva de la pared que los separa. La *Fig. 5* presenta los U_{GEN} experimentales, calculados a partir de la ecuación de diseño (ecuación 4). Para este análisis, se considera un área de transferencia de calor constante (igual humectación, sin variación del flujo másico de solución). Como se mencionó anteriormente, la convección por turbulencia incrementa la velocidad de transferencia de calor, representada en mayores *Us*. Para T_{HS}=79 °C, U_{GEN} incrementa 1.22 veces al incrementar *Re* de 1.2 a 4.9 x 10^4. Al incrementar la temperatura de la fuente de 79 a 82 °C (Re=1.2 x 10^4), incrementa P_{CON} de 4.1 a 5.1 kPa. La diferencia de temperatura entre la fuente de calor y la solución débil aumenta de 12.2 a 19.5 °C. A mayor ΔT, mejora la inercia de trasferencia de calor, aumentando U_{GEN} un 124.5 %. Presiones más altas favorecen el desempeño del generador, sin embargo, desfavorecen el desempeño del *TCA*. Por lo tanto, debe operarse a una condición equilibrada, para no sacrificar el *GTL* ni el *COP*.

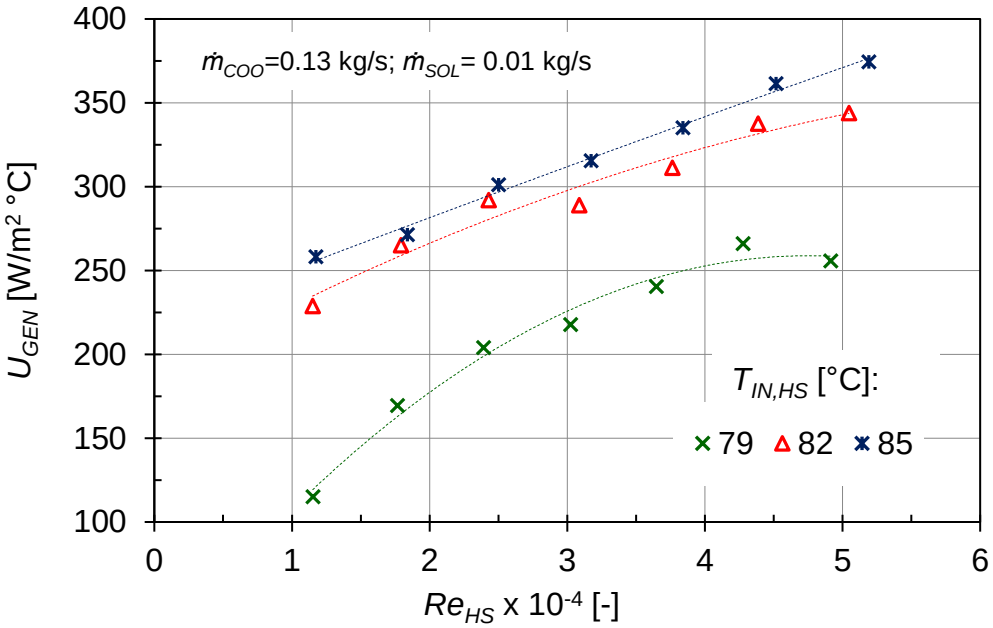


Figura 5. *Us* experimentales del generador a diferentes condiciones de la fuente de calor.

La *Fig. 6* presenta la eficiencia térmica del generador a diferentes Re_{HS}. A mayor temperatura de la fuente, la eficiencia es mayor. Este aumento está asociado al incremento de U_{GEN}. A T_{HS}=79 °C, ε_{GEN} incrementa alrededor de 19.4%, mientras que a T_{HS} = 85 °C permanece casi constante con el incremento de Re_{HS}. En general, se obtuvo una eficiencia promedio de 0.79 para este componente. Mayor ΔT entre la fuente de calor y la solución, incrementa la afinidad por rechazar y ceder energía entre ambos fluidos.

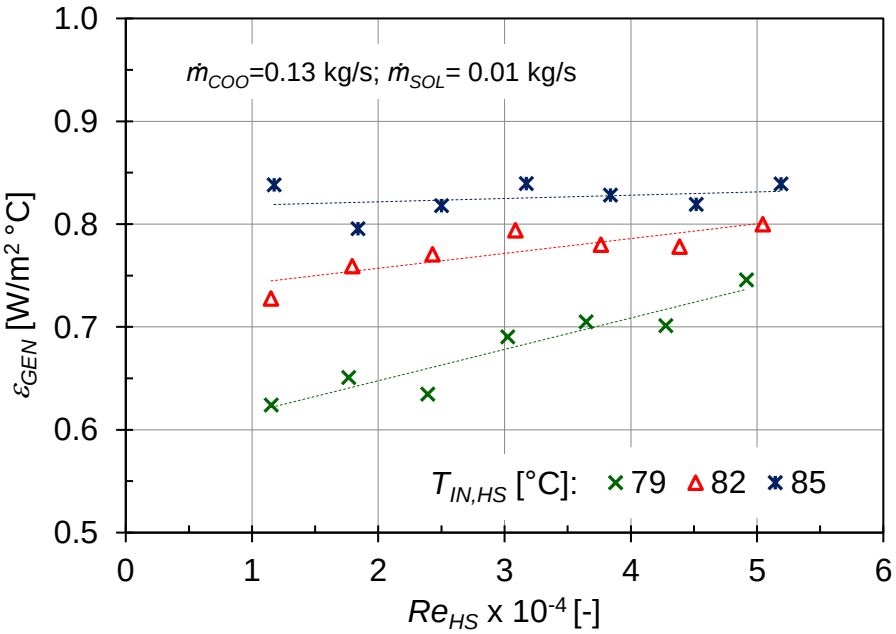


Figura 6. Eficiencias térmicas del generador a diferentes condiciones de la fuente de calor.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha diseñado, construido y caracterizado un generador novedoso (intercambiador de calor llamado también, desorbedor), ya que tiene una relación alta de área de transferencia de calor a volumen, el cual está construido con tres anillos helicoidales anidados dentro de una coraza. El generador tiene un arreglo vertical dentro de un Transformador de Calor por Absorción de 2 kW para revalorizar la energía, mejorando la dinámica de transferencia de masa y calor en el componente. La estabilización del *TCA* se alcanza en tiempos reducidos de hasta 1.2 h, lo cual contribuye para incrementar el barrido experimental y el aprovechamiento de la energía residual. Al incrementar la turbulencia de la fuente de calor, la convección adicional por la curvatura del helicoide homogeniza el fluido, alcanzando temperaturas más altas en la pared entre 75.6 a 81.8 °C, lo cual genera un aumento en la tasa de desorción hasta 3.7 veces. La homogenización térmica representa mayor convección, y por lo tanto U_{GEN} más altos. Cuando la fuente de calor se suministra a 79 °C, U_{GEN} incrementa 1.22 veces al incrementar *Re* de 1.2 a 4.9 x 10^{-4}. También, se identifica el flujo óptimo de distribución (humectación), alcanzando mayores coeficientes de transferencia de calor en la película en un intervalo de 5.9 x 10^{-3} a 7.7 x 10^{-3} kg/s m para T_{HS} = 79 °C. Este intercambiador de calor es capaz de desorber agua bajo ciertas condiciones de operación de temperatura y presión, siendo útil para continuar investigaciones en equipos de absorción para enfriamiento y calentamiento, así como la integración a proceso térmicos reales de la industria mexicana.

6. Referencias

Balance de Energía, Secretaría de energía (SENER 2020).

IEA International Energy Agency “Key World Energy Statistics 2015”, 2016 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf, 22.1.2016.

Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R., & Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1568-1579.

Parham, K., Khamooshi, M., Tematio, D. B. K., Yari, M., & Atikol, U. (2014). Absorption heat transformers–a comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 430-452.

Gomri, R. (2010). Thermal seawater desalination: possibilities of using single effect and double effect absorption heat transformer systems. Desalination, 253(1), 112-118.

Mittermaier, M., & Ziegler, F. (2015). Theoretical evaluation of absorption and desorption processes under typical conditions for chillers and heat transformers. International Journal of Refrigeration, 59, 91-101.

Sim, Y. S., & Kim, N. H. (2015). Pool boiling performance of lithium bromide solution on enhanced tubes. Journal of Mechanical Science and Technology, 29(6), 2555-2563.

Sim, Y. S., & Kim, N. H. (2015). Pool boiling performance of notched tubes in lithium bromide solution. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, 23(02), 1550013.

Matsuda, A., Hada, K., & Kawamura, T. (2011). A vertical falling film type of absorber and generator for lithium bromide aqueous solutions. Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 7, 151-160.

Matsuda, A., Kawamura, T., & Hada, K. (2011). Evaporation for lithium bromide aqueous solution in a vertical falling film type of generator under reduced pressure.

Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 7, 139-150.

Shi, C., Wang, Y., Hu, H., & Yang, Y. (2010). Mathematical simulation of lithium bromide solution laminar falling film evaporation in vertical tube. Journal of Thermal Science, 19(3), 239-244.

Mortazavi, M., Schmid, M., & Moghaddam, S. (2017). Compact and efficient generator for low grade solar and waste heat driven absorption systems. Applied Energy, 198, 173-179.

Shi, C., Chen, Q., Jen, T. C., & Yang, W. (2010). Heat transfer performance of lithium bromide solution in falling film generator. International Journal of Heat and Mass Transfer, 53(15), 3372-3376.

Liang, Z., Yin, Y., &, Xu, M. (2017). Experimental study on a vertical tube falling film generation process with lithium chloride solution. Proceedings of the Asian Conference on Thermal Sciences 2017, 1st ACTS. March 26-30, Jeju Island, Korea.

Hu, T., Xie, X., & Jiang, Y. (2017). Design and experimental study of a plate-type falling-film generator for a LiBr/H 2 O absorption heat pump. International Journal of Refrigeration, 74, 302-310.

Demesa, N. (2017) Análisis teórico-experimental de un transformador térmico por absorción usando intercambiadores de calor anidados. Tesis Doctoral. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México, 2017.

Herold K., Radermacher R. and Kein S. Absortion Chillers and Heat Pumps. First Edition. Washington: CRC Press, 1996.

McNelly L. A. Thermodynamic properties of aqueous solutions of lithium bromide. ASHRAE Transactions 1979; 413-434.

Lemmon, E. W., Huber, M. L., & McLinden, M. O. (2002). NIST reference fluid thermodynamic and transport properties–REFPROP.

Guide, I. S. O. (1995). 98. Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). International Organization for Standardization, Genève.