

El aspecto medioambiental aunado a la **innovación tecnológica** ha llevado al desarrollo de la denominada ecoinnovación.



Refrigeración por adsorción para el transporte y conservación de alimentos

Adsorption Refrigeration for Food Transportation and Preservation

RESUMEN

Un inadecuado sistema de distribución de alimentos origina pérdidas y mermas. Al respecto, se ha observado en el Perú, flotas de transporte inadecuadas y obsoletas en las que la mayoría de camiones no cuenta con sistemas de refrigeración incorporados.

En este contexto, se ha desarrollado una propuesta de un sistema ecoinnovador de refrigeración híbrido con energía solar y gases de escape para el camión transportador.

La metodología consistió en una revisión bibliográfica y de patentes sobre los sistemas de refrigeración por adsorción con energía solar, así como establecer la carga de refrigeración de los camiones, precisar el sistema de refrigeración por adsorción así como sus requerimientos de calor, y determinar el suministro energético mediante la hibridación de energía solar y los gases de escape del motor. Durante la fase de diseño conceptual se realizó la integración de los modelos, de energía solar y de los gases de escape propuestos por Wu *et al* (2011) y Luo *et al* (2007).

Los resultados han permitido contar con un diseño termodinámico conceptual, que deberá ser contrastado con el prototipo a ser construido, para obtener la superposición de los efectos de dos fuentes de energía complementarias para su aplicación en refrigeración.

ABSTRACT

Inadequate food distribution system originates losses and wastes. So, in Perú, the fleet trucks transporting food usually do not have incorporated cooling systems.

In this context a proposal for an ecoinnovative hybrid system with solar energy cooling and exhaust gas refrigeration for transporter food trucks has been developed.

*The methodology consisted of a review of literature and patents on cooling systems by adsorption, the estimation of the cooling load for truck, the selection of a cooling system by adsorption and its heat requirements, and the definition of energy supply, hybridizing solar energy with exhaust gases as energy sources. The integration of these two energy source modules, according to Wu *et al* (2011) and Luo *et al* (2007) was completed during the conceptual design phase.*

The main results of this study was a conceptual thermodynamic design integrating two complementary and synergistic sources of energy, the same that should be contrasted with a cooling prototype to be built.



Palabras Clave

Camiones refrigerados, conservación de alimentos, energía solar, refrigeración por adsorción, transporte de alimentos.

Key words

Refrigerated trucks, food conservation, solar energy, adsorption refrigeration, food transportation.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que enfrenta el Perú, como otros países en desarrollo, es el manejo inadecuado de los alimentos específicamente en lo que se refiere a la cadena de frío. Las pérdidas por este concepto son ingentes y no solo se confinan al espacio económico sino también al social. Ejemplo de ello fue la intoxicación masiva de niños beneficiarios de los programas sociales del gobierno, que habría sido causado por deficiencias en la cadena de frío.

También el crecimiento de la economía peruana ha implicado la sobreutilización de las carreteras, diseñadas para condiciones de menor tránsito. Ello ha originado que muchos de los productos se deterioren por el mayor tiempo de transporte. A esto se suma una flota obsoleta y con pobre uso de sistemas de refrigeración. Por último la inseguridad en las carreteras que conlleva a un riesgo de pérdida de los kits de refrigeración. Nada de esto acontecería con los sistemas de refrigeración por adsorción.

La forma más usual es la de “refrigerar los camiones utilizando un sistema de refrigeración integrado en el propio camión, con independencia de la fuente de refrigeración que se utilice, siempre ha de tener un suministro de energía. Esta energía puede proceder del propio suministro de energía del camión, de un compresor accionado por un motor de gasolina o diesel, de una alimentación terrestre (como la energía eléctrica de un edificio) o de un compresor eléctrico que funcione con un generador de motor. Los camiones de reparto tipo furgoneta suelen utilizar un compresor de refrigeración instalado debajo del capó, el mismo que es accionado por el motor del camión. La refrigeración se puede regular encendiendo y apagando el compresor mediante un embrague eléctrico controlado con un termostato” (ForoFrio, 2016).

El aspecto medioambiental aunado a la innovación tecnológica ha llevado al desarrollo de la denominada ecoinnovación, esto es tecnologías amigables con el ecosistema que, como en el caso de la propuesta, no recurren al uso de fluidos de costo elevado, cuya aplicación aún es transitoria pues se les emplea como sustitutos de fluidos que afectan al ambiente (capa de ozono).

Es en este contexto que se realiza la propuesta alternativa de un diseño conceptual de un sistema termodinámico ecoinnovador, basado en refrigeración por adsorción para camiones que transportan frutas y verduras.

II. FUNDAMENTOS Y ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

El ciclo termodinámico ideal de refrigeración por adsorción (fig. 1) puede, según White (2011), ser representado por las siguientes etapas:

- “Desorción - El adsorbente (zeolita o silica gel) es secado por calor proveniente de los gases de escape, p.e. Entonces, el vapor de agua (desorbido) fluye hacia el condensador donde es condensado desprendiendo calor. Cuando el adsorbente es secado, la entrada de calor se detiene y la válvula de entrada al condensador se cierra.

- Adsorción - Después de un periodo de enfriamiento, en el condensador, la evaporación del líquido condensado comienza. En el evaporador el agua se evapora generando frío, el cual puede ser usado para refrigeración a temperaturas no muy exigentes (por ejemplo 10 °C). La válvula desde el evaporador se abre y el adsorbente seco adsorbe vapor de agua. Durante el proceso de adsorción el calor rechazado tiene que ser disipado”.

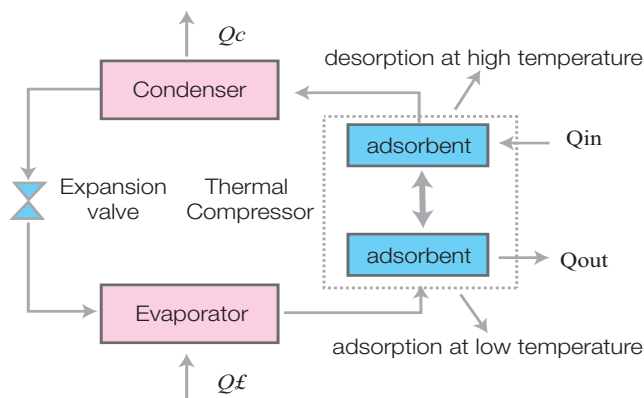


Figura 1: Ciclo termodinámico de refrigeración por adsorción. Fuente: <http://absorptionchiller4u.blogspot.pe/2013/08/adsorption-and-desorption-system.html>

Según Wu *et al* (2011) el coeficiente de performance (COP) del ciclo de refrigeración por adsorción puede ser calculado como la relación del calor de refrigeración (captado de la carga en el evaporador), al calor recibido por el adsorbedor durante el proceso de calentamiento/desorción.

2.1 Refrigeración por adsorción aprovechando energías perdidas en camiones

El calor requerido para el proceso de desorción puede ser suministrado por el agua de enfriamiento del radiador del motor y/o por los gases de escape de la combustión.

Para Verde *et al* (2010) “la mayor fuente de pérdida de calor del motor es el agua de enfriamiento en el radiador del motor. La temperatura del agua a la salida del motor generalmente está entre 80 °C - 90 °C”. Y por ello estos autores sugieren que “el flujo de agua disponible para activar el sistema de refrigeración es el mismo que fluye dentro del radiador que enfría el motor... y posteriormente el agua caliente es enviada para activar el sistema de adsorción. Esto significa que durante el calentamiento del motor no ocurre la adsorción hasta que el motor alcance su condición normal de operación... Para enfriar la cabina se necesita disponer de uno o dos reactores que hayan sido guardados secos, para que puedan adsorber vapor desde el evaporador y producir un efecto de enfriamiento desde el comienzo”.

Menciona Verde *et al* (2010) que “el agua caliente desde la salida del motor es, entonces, direccionada hacia uno de los reactores (adsorbedor 1 en la Figura 2) y circula a través del mismo produciendo la desorción del agua dentro del reactor. La presión en el lecho se incrementa debido a la desorción del vapor y la válvula (entre el lecho y el condensador) se abre (la válvula que comunica con el evaporador se mantiene cerrada). El vapor se condensa en el condensador. El agua líquida pasa desde el condensador hacia el evaporador a través del dispositivo de expansión. Al

mismo tiempo, el otro reactor (adsorbedor 2) está siendo enfriado gracias a un circuito hidráulico auxiliar el cual disipa el calor hacia el ambiente. El reactor comienza a adsorber el vapor, y entonces la presión disminuye porque las válvulas del reactor están cerradas. Cuando la presión en el lecho se torna menor que la del evaporador, la válvula de comunicación se abre y el reactor empieza a adsorber el vapor proveniente del evaporador, produciendo la evaporación del agua en él y el efecto de enfriamiento del aire de la cabina que fluye exteriormente al evaporador. Entonces, el agua del enfriador auxiliar es conducida al adsorbedor 1, el cual está caliente y seco, enfriándolo, disminuyendo su presión y activando la adsorción desde el evaporador. Al mismo tiempo, el adsorbedor 2, frío y lleno de agua, es calentado hasta incrementar su presión y activar el proceso de desorción”.

El frío obtenido a partir del calor en el radiador puede ser utilizado en la cámara de transporte de alimentos, cuyo efecto se sumará al proceso de refrigeración por adsorción con energía solar.

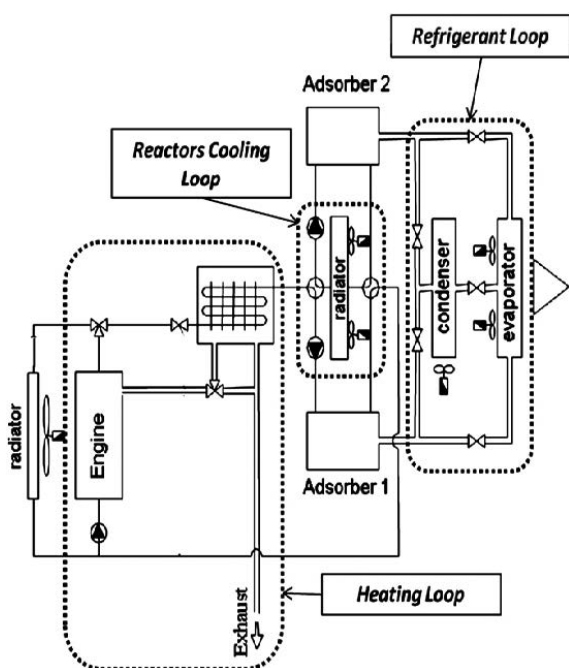


Figura 2. Refrigeración por adsorción mediante calor de un radiador de motor.
Fuente: Verde *et al* (2010)

El empleo de gases de escape, por ende a mayor temperatura, para enfriamiento en camiones ya era preconizado por Wu *et al* (2011), quienes proponen un módulo de 2 kW, donde "...los gases de escape a alta temperatura desde el motor Diesel primero ingresan a la sección adsorción/desorción de un primer enfriador por medio de una válvula de 3 vías, cuando los adsorbentes deben ser calentados y desorbidos, y al mismo tiempo la sección de condensación/evaporación es enfriada por aire ambiental forzado por un ventilador y el vapor refrigerante se condensa. Mientras tanto, el rol de refrigeración es realizado por el segundo enfriador. La sección de adsorción/desorción del segundo enfriador es enfriada por aire ambiental por medio de otro ventilador, cuando los adsorbentes - en el segundo enfriador - adsorben el vapor refrigerante desde las secciones condensador/evaporador, donde el efecto refrigerante es producido debido a la evaporación del líquido refrigerante, y por el aire frío que en la sección condensación/evaporación es circulado por un segundo ventilador. Así el aire frío puede ser alternadamente producido por los dos enfriadores de aire y se suministra continuamente..."

A partir de ensayos, Wu *et al* (2011), determinaron que con el incremento de la temperatura de la fuente de calor el coeficiente de performance (COP) aumenta para luego decrecer, para alcanzar un máximo valor de 0,95 a 275 °C.

2.2 Refrigeración por adsorción con energía solar en camiones

En la patente CN 201665180 U (2016) se ha reivindicado que "... un colector plano de energía solar y un lecho de adsorción que ensamblados juntos se pueden montar en la parte externa de un vehículo a ser refrigerado. El evaporador es instalado dentro del vehículo a ser enfriado y el refrigerante que sale del evaporador ingresa al lecho de adsorción por una válvula de una sola vía; así el refrigerante que sale del lecho de adsorción luego ingresará al condensador por una segunda válvula de una vía; y finalmente el refrigerante líquido que sale del condensador ingresará al evaporador. El colector solar combinado con el lecho de adsorción produce la refrigeración generada por la energía solar, así como evitar el uso de fluidos fluorocarbonos que atentan contra la capa de ozono atmosférica, además de eliminar el ruido por carecer de partes móviles y con un bajo costo debido a la estructura compacta”

En realidad, se ha reivindicado un sistema de refrigeración por adsorción que utiliza un adsorbente líquido para captar el gas refrigerante, a diferencia del sistema de refrigeración por adsorción que emplea un sólido para estos fines.

Por otro lado, Vera *et al* (2011), quienes han diseñado y construido un prototipo de refrigeración solar por adsorción, optaron por la "utilización del par adsorbente - refrigerante: carbón activado - metanol. La heladera solar propuesta consiste en un colector solar donde se aloja una masa de carbón activado que eleva su temperatura durante las horas de insolación. Al calentarse, el carbón resorbe cierta cantidad de metanol que se encuentra adsorbido en él, que pasa al estado líquido, liberando el calor latente de condensación hacia el medio ambiente. A su vez, el metanol líquido pasa por gravedad a un recipiente (evaporador) hasta que se completa el ciclo de desorción. Cuando el carbón activado baja su temperatura (durante las horas sin luz solar) comienza a adsorber los vapores del metanol presentes en el sistema, disminuyendo la presión de estos y provocando la evaporación del metanol líquido que se encuentra en el evaporador. El calor latente de evaporación del metanol es el responsable de la extracción de calor de la cámara fría”.

“Estos equipos, que cuentan con un área de captación solar de 2 m², contienen 20 kg de carbón activado y pueden producir alrededor de 5 kg de hielo por día. Para la generación de hielo proyectada se determinó que la cantidad de metanol necesaria es de 3,2 kg. Para conseguir una adecuada desorción del mismo, es preciso conocer la energía necesaria para este proceso, que resulta ser de 4,8 kJ para diseñar el sistema de captación”.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El objeto de estudio es crear un diseño energético de un sistema de refrigeración por adsorción para una cámara de refrigeración móvil que iría instalada en un camión frigorífico. Se considera una cámara del camión con una longitud de cubierta de carga

(adentro) de 4 m, ancho de cubierta de carga (adentro) de 1,9 m y altura de 1,9 m.

La carga térmica para la cámara del camión se calcula para una temperatura variable regulable de 10 °C, adecuada para transportar frutas y verduras, que lleguen a su destino en buen estado y sin perder sus características. Según algunos autores como Domínguez *et al* (2009) este valor de temperatura representa un valor promedio recomendado para el transporte de productos hortofrutícolas típicos como limas (7 °C a 8 °C, 85% HR a 90% HR), limones (13 °C a 15 °C, 85% HR a 90% HR), y plátanos (13 °C a 15,5 °C, 85% HR a 90% HR), lo cual facilita la viabilidad para emplear un sistema de refrigeración por adsorción, debido a la menor exigencia de este nivel de temperatura frente a los niveles exigidos para la congelación de alimentos.

Seguidamente, se determina la carga térmica del sistema para definir los componentes del sistema de refrigeración y seleccionar el par adsorbente y establecer el coeficiente de performance (COP).

La identificación de los componentes del sistema de refrigeración por adsorción se consigue mediante la integración de los resultados de dos investigaciones previas, Wu *et al* (2011) y Luo *et al* (2007), que se combinan en el diseño conceptual.

IV. RESULTADOS

4.1 Determinación de la carga térmica

El sistema de refrigeración que se propone es adaptable al transporte de productos hortofrutícolas, los cuales por lo general requieren de un almacenamiento en ambientes de alta humedad relativa (90% HR en promedio), y de acuerdo a la temperatura de conservación según ASHRAE (2014). Para ello, se tiene en cuenta una baja velocidad de circulación (≈ 0.5 m/s) de aire para evitar la deshidratación excesiva y daño por frío.

El tiempo de enfriamiento debe estar de acuerdo a la duración del transporte, desde los centros de producción a los de acopio o comercialización. En este caso se han estimado de 8 a 10 horas.

Para efectos de establecer el valor de carga térmica, se ha considerado una cámara cuyas dimensiones ya se han descrito en (III), aislada con 75mm de espuma de poliuretano, y que contiene una masa equivalente de 1.120 kg (1,12 toneladas) de frutas (cítricos, piñas, melones, paltas y mangos) dispuestas en un promedio de 56 cajas de dimensiones estándar (CF1 0,6 m x 0,4 m x 0,3 m) de cartón con capacidad para 20 kg/caja, lo que permite la adecuada circulación de aire dentro de todo el espacio refrigerado. Esta carga puede ser acomodada sin dificultad por una o dos personas en 80 minutos, aproximadamente.

Un valor adecuado para un almacenamiento corto (durante el transporte) de frutas puede estar alrededor de los 10 °C, si se considera una temperatura ambiental media de 25 °C.

Con la aplicación de la metodología descrita en ASHRAE (2014), se obtuvo una carga térmica del orden de 4 kW, que debe ser trasferida por el sistema de refrigeración planteado y cuya distribución por componente se muestra en la Tabla 1.

Componentes:	Porcentaje %
Transmisión por paredes, techo y puerta	10%
Producto transportado	65%
Embalajes	5%
Otros: infiltraciones, ingreso de personas, ventiladores, factor de seguridad	20%

Tabla 1: Componentes de la carga térmica.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Aprovechamiento de la energía de los gases de escape para fines de refrigeración

En nuestra propuesta se toman en cuenta también dos conjuntos de adsorción a fin de superponer efectos y lograr la continuidad en el funcionamiento. Por un lado, con la adopción de los resultados de Wu *et al* (2011), a partir de los gases de escape se generarán 2 000 W.

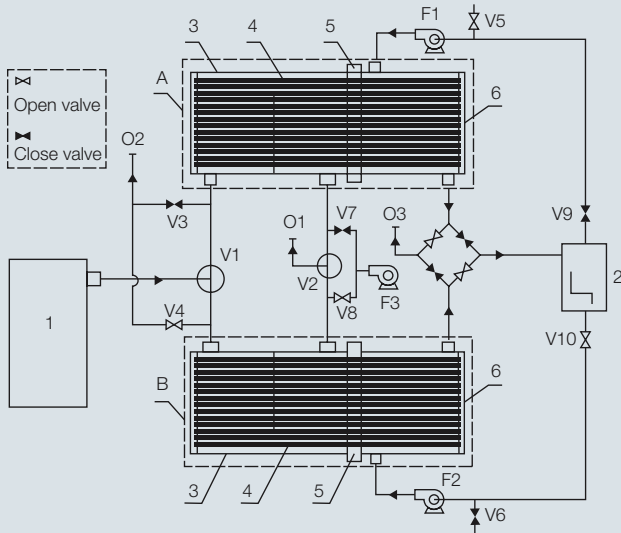
4.3 Aprovechamiento de la energía solar para fines de refrigeración

Por otro lado, los 2 kW restantes con los que se completarían los 4 kW necesarios por la carga térmica son suministrados por el sistema de refrigeración por adsorción con energía solar. Es evidente que hay una superposición de efectos entre este sistema y el anterior, que acciona el sistema de refrigeración por medio de los gases de escape de los motores.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ha sido adoptado el módulo múltiple presentado por Wu *et al* (2011), que para una temperatura de los gases de escape de 275 °C obtiene un COP = 0,95, y funciona de la siguiente manera (Figura 3):

- Los gases de escape a 275 °C ingresan a la sección de adsorción/desorción del enfriador A vía válvula 1.
- El adsorbente es calentado y desorbido
- Al mismo tiempo la sección/condensación es enfriada por el aire ambiente que entra por la válvula 5 y forzado por el ventilador F1.
- Los adsorbentes en el enfriador B son enfriados y el vapor refrigerante que proviene de la sección de condensador / evaporador es adsorbido.
- El efecto de refrigeración es producido debido a la evaporación del líquido refrigerante.
- El ventilador F2 hace circular el aire enfriado en la sección de condensación / evaporación.
- Como resultado final, el aire frío puede ser producido de manera alternada por los dos módulos de enfriamiento y suministrado continuamente a la cámara de conservación.



1	Motor diesel
2	Espacio a ser enfriado
3	Sección de adsorción/desorción
4	Módulo de enfriamiento por adsorción.
5	Sección adiabática.
6	Sección de condensación/evaporación.
A, B	Enfriadores por adsorción.
F1, F2, F3	Ventiladores
O1, O2, O3	Salidas de gases de desecho para calentamiento del adsorbedor, de aire para enfriamiento del adsorbedor, y de aire para enfriamiento del condensador, respectivamente
V1 a V10	Válvulas

Figura 3: Sistema adoptado de refrigeración por adsorción que utiliza gases de escape.
Fuente: Wu *et al* (2011)

Con este primer componente, es decir con el aporte de energía de los gases de escape del motor del camión, se contribuye con el 50% de la carga de refrigeración necesaria, pues produce 2.000 W.

Luo *et al* (2007) han descrito un enfriador por adsorción con energía solar, el cual presenta una capacidad de enfriamiento de 90 W/m² de superficie de colectores con un COP entre 0,096 y 0,13. Al adoptarlo tendríamos un aporte de 720 W a partir de la refrigeración por adsorción con energía solar. Ello conllevaría una variación de la carga inicialmente prevista para una potencia de 2,00 kW a otra de 2,72 kW.

La propuesta anterior (Luo *et al*, 2007) es adaptable e integrable con el primer módulo y "consiste en un sistema de calentamiento de agua con energía solar, un enfriador por adsorción... El adsorbedor es un intercambiador de calor tipo tubo compacto con canales de transferencia de masa refrigerante, llenado con 50 kg de gel de sílice microporoso, y encapsulado en una cámara metálica".

El redimensionamiento de la carga implica que, de aplicar los cambios correspondientes en la masa del producto a transportar esta sería de 761 kg.

VI. CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha desarrollado el diseño conceptual y termodinámico de un sistema híbrido de refrigeración por adsorción que aprovecha la superposición de efectos de dos módulos: el primero, a partir de gases de escape de un motor, y el segundo, con energía solar como fuente de energía.

Para el módulo accionado por los gases de escape de los motores de los vehículos de transporte, según los trabajos experimentales de Wu *et al* (2011), convendría usar el par zeolita/agua, como adsorbente/adsorbato (refrigerante).

Para el segundo módulo, accionado por energía solar, la operación efectiva del evaporador debe considerar su inicio desde las horas vespertinas, durante la noche y hasta la mañana siguiente.

La propuesta ha consistido en la determinación de la carga de refrigeración, según ASHRAE (2004) cuyo valor fue de 4 kW. Se propuso cubrir esta demanda mediante la adopción y adaptación, según el caso, de la propuesta de Wu *et al* (2011) para el componente con gases de escape y la propuesta de Luo *et al* (2007) para el componente con energía solar, sin embargo, se ha debido reducir la expectativa únicamente a 2,72 kW, debido a las limitaciones en las dimensiones previstas para los camiones de transporte de alimentos.

REFERENCIAS

- [1] Ashrae. (2014) *Ashrae Handbook of Refrigeration*. Amer Society of Heating
- [2] Domínguez, M., García, C., & Arias, J.M. (2009). Recomendaciones para la conservación y transporte de alimentos perecederos. (S.I.): Instituto del Frío. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/15514/1/RECOMENDACIONES%20PARA%20LA%20CONSERVACION%20Y%20TRANSPORTE%20DE%20ALIMENTOS%20PERECEDEROS.pdf>
- [3] Foro Frio. (2016). Sistemas de Refrigeración en Camiones. Recuperado de http://www.forofrio.com/index.php?option=com_content&view=article&id=293:sistemas-de-refrigeracion-en-camiones&catid=9:actualidad&Itemid=54
- [4] Luo, H.L., Wang, R.Z., Dai, Y.J., Wu, J.Y., Shen, J.M., & Zhang, B.B. (2007). An efficient solar - powered adsorption chiller and its application in low-temperature grain storage. *Solar Energy*, 81, 607 -613. Recuperado de http://waterandfire.ir/Down_En/12_WaterandFire.ir_.pdf

- [5] Ramos, M., Espinoza, R., Horn, M., & Ferreira, A. (2003). Evaluation of a zeolite - water solar adsorption refrigerator. *ISES Solar World Congress. Göteborg, Suecia*. Recuperado de [http://fc.uni.edu.pe/mhorn/ISES2003%20\(solar%20refrigeration\).pdf](http://fc.uni.edu.pe/mhorn/ISES2003%20(solar%20refrigeration).pdf)
- [6] Vera, S., Sartarelli, A., Echarri, R., Cyrulies, E., & Samson, I. (2011). Prototipos de refrigeradores solares por adsorción. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, (03.41 – 03.50).
- [7] Verde, M., Cortes, L., Corberán, J.M., Sapienza, A., Vasta, S., & Restuccia, G. (2010). Modelling of an absorption system driven by engine waste heat for truck cabin A/C. Performance estimation for a standard driving cycle. *Applied Thermal Engineering*, 30 (13), 1511– 1522
- [8] White, J. (2011). Literature review on adsorption cooling technology. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/laccei/files/journals/1/articles/378/submission/review/378-884-1-RV.pdf>
- [9] Wu, W., Zhang, H., & Men, C. (2011). Performance of a modified zeolite 13X-water adsorptive cooling module powered by exhaust waste heat. *International Journal of Thermal Sciences*, 50 (10), 2042-2049.
- [11] 张哲, & 田津津. (2016). Patente CN201665180 U. China. Recuperado de <https://www.google.com.pe/patents/>

ACERCA DE LOS AUTORES

José C. Álvarez M.

Ingeniero mecánico, Magister en Ingeniería de Producción y doctor en Ingeniería de Producción: Gestión e Innovación por la Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasil. Profesor de Posgrado de la UNI, de la UNMSM y de la UNPRG, y profesor del curso de Termodinámica Aplicada en la UPC. Especialista del Programa Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación en Materiales del Concytec. Integrante del grupo de trabajo en Energía del Concytec (RdP No 16). Miembro de la Asociación Latino-Americana de Tecnología - ALTEC. Miembro de la Sociedad Peruana de Materiales.

@ alvarezjcar@hotmail.com

Enrique J. Barrantes P.

Ingeniero mecánico por la Pontificia Universidad Católica del Perú, Magister en Ingeniería Mecánica por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Con Pos-Grado en Técnicas de Energías Renovables (UIA La Rabida, España 1997). Estudios de Doctorado concluidos en UPM-ETSII (Madrid, España 2006) en Ingeniería Mecánica y Fabricación. Miembro de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Miembro de IIAR (International Institute of Ammonia Refrigeration). Miembro de APVARC (Asociación Peruana de Ventilación, Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción). Miembro del Sub-Comité Técnico de Normalización de Aire Acondicionado CTN UREEE INACAL Perú. Profesor del Área de Energía, Dpto. Ingeniería PUCP. Jefe del Laboratorio de Energía PUCP.

@ ebarran@pucp.edu.pe