

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Propuestas para el aprovechamiento residencial de sistemas de refrigeración accionados por energía solar

Gerardo D. Szwarc^{1*}, Mariana del V. Bernard^{2**}, Diego M. Ferreyra^{1***}

¹ GISEner, UTN Fac. Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501 (2400), Ciudad de San Francisco, Provincia de Córdoba, Argentina, Tel: +54-3564-435402/3, gisener@sanfrancisco.utn.edu.ar

² GPol, UTN Fac. Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501 (2400), Ciudad de San Francisco, Provincia de Córdoba, Argentina, Tel: +54-3564-435402/3

^{*}gerardoszwarc@gmail.com, ^{**}mbernard@sanfrancisco.utn.edu.ar, ^{***}dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen – En el presente trabajo se pone en evidencia el consumo e impacto en los costos de energía eléctrica, a los cuales debe hacer frente el usuario de un electrodoméstico de uso común, continuo e indispensable para el diario vivir: la heladera. Como alternativa a los ciclos de compresión utilizados actualmente se plantea la posibilidad de la utilización de un ciclo de adsorción con carbón activado - etanol como par de trabajo, y energía solar térmica como fuente de calor para un refrigerador domiciliario de tamaño medio (360 L). La finalidad de este ciclo es la reducción del consumo eléctrico y brindar una alternativa de refrigeración para los alimentos en zonas donde el acceso a la red de energía eléctrica es limitado o nulo. Se propone mejorar las desventajas de los proyectos existentes acordes al tema, mediante la utilización de la energía solar térmica como fuente de calor, incrementando la comodidad del usuario, a la vez que se genera un proyecto con mayor aplicación práctica y de interés social. También se detalla el proceso de cálculo, una breve explicación de los mismos y del ciclo utilizado.

Palabras claves – refrigeración doméstica, refrigeración por adsorción, refrigeración por energía

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo, el hombre ha tomado conciencia acerca de los efectos adversos que produce la contaminación en todos sus niveles, es por ello que cada vez destina mayor cantidad de esfuerzos y recursos a la protección del medio ambiente. Un ejemplo de esto es la “conferencia de las partes en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático”, celebrada en París, desde el 30 de noviembre hasta 13 de diciembre de 2015, en la cual se firmó un acuerdo para: *“Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”* (Párrafo 1.a – Artículo 2 – Acuerdo de París 2015) (ONU, 2015)

A nivel nacional estos esfuerzos se ven reflejados en leyes como la 27.191 sancionada el 23 de septiembre de 2015, en la cual se exige a los grandes consumidores de energía eléctrica que obtengan el 20 % de su consumo de fuentes renovables, ya sea por medio de la autogeneración o por la compra al mercado mayorista (Congreso de la Nación Argentina 2015). Por otro lado, las personas como individuos son usuarios de la energía eléctrica y de los combustibles fósiles, en los electrodomésticos, el transporte, la calefacción, etc. Se puede decir que es indispensable para la vida diaria, sin embargo, en muchos lugares del país aún no se posee acceso a ella, por falta de recursos o infraestructura.

Una de estas aplicaciones es la conservación de los alimentos por medio de la refrigeración en heladeras, las cuales desde su creación han sufrido muchos cambios y

avances que han mejorado su performance. En un inicio utilizaban nieve colocada en un compartimiento superior para enfriar el compartimiento inferior donde se encontraban los alimentos; luego evolucionaron a los refrigeradores por absorción, que utilizaban la quema de algún combustible fósil (como gas o querosene) para su funcionamiento; hoy en día se utilizan los sistemas de compresión, que utilizan un compresor alimentado con energía eléctrica. Se debe tener en cuenta que la mayoría de los fluidos refrigerantes utilizados actualmente afectan la capa de ozono, dentro de ellos se puede mencionar al R-600 y R-134^a. (Electrolux, 2012).

El sistema de refrigeración por adsorción se encuentra en vías de desarrollo y consiste en el aprovechamiento de la propiedad de algunos sólidos (adsorbentes) de adsorber ciertos fluidos (adsorbatos) en su interior y contenerlos por medio de fuerzas de Van der Waals, dando la posibilidad de ser liberados mediante un proceso de desorción endotérmico. A diferencia de los sistemas de refrigeración por absorción este proceso requiere de menores temperaturas para su funcionamiento. En el presente trabajo se aborda este ciclo de refrigeración con el acople a un sistema de termotanque solar como fuente de calor, también se establece una separación definida entre el adsorbedor y el colector, lo cual permite que la heladera se encuentre en el interior del hogar.

DESARROLLO

Impacto económico y social

Hoy en día las heladeras se han vuelto indispensables para el diario vivir, ya que permiten la conservación de alimentos durante mayor tiempo y con mejor calidad que con los métodos más antiguos, tal como el secado de la carne; previniendo su descomposición generada por agentes internos (enzimas) o externos (microorganismos). El efecto que

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

producen estos agentes puede ser retrasado de diversas formas, por ejemplo, con elevadas o bajas temperaturas, envasado al vacío, radiación ultravioleta, etc., lo cual explica el éxito de los métodos más antiguos en la conservación de los alimentos; sin embargo, la mayoría de ellos producen un cambio en la apariencia o sabor del producto, lo cual resulta indeseable para el consumidor. Por Estos y otros motivos la refrigeración se ha convertido en el método más apto para la conservación de los alimentos. También es de destacar que la mayoría de los productos no requieren que se llegue a la temperatura de congelación, por el contrario, al mantenerlos a una temperatura cercana a los 0 °C se puede detener el efecto de los diversos agentes hasta el momento de su consumo.

El sistema de refrigeración más utilizado en la actualidad es el de compresión, el cual posee un consumo de 0,075 kW·h para refrigeradores sin congelador (freezer) (ENRE), es decir, 55,8 kW·h mensuales, lo cual representa un 15 % del consumo promedio de un hogar (360 kW·h mensual [Righini et ál., 2011]). Es importante resaltar que estos son valores estimados ya que varían de un fabricante a otro y según la capacidad del equipo, pero resultan de utilidad para poner en perspectiva el rol que desempeñan estos electrodomésticos dentro del hogar y su impacto tanto económico como ambiental.

En la República Argentina según el informe elaborado por CAMESSA, en el mes de enero del 2019 el 66 % de la energía suministrada al sistema interconectado nacional, provino de la generación por medio de energía térmica (la cual incluye la quema de combustibles fósiles para la generación, con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero) (Cammessa, 2019).

A modo de ejemplo en el cuadro tarifario de la provincia de Córdoba para usuarios residenciales con consumos entre 120 y 500 kW·h mensuales, el costo de la energía es de unos ARS 4,96 para los primeros 120 kW·h y de unos ARS 6,22 para el consumo restante (este cuadro tarifario ha entrado en vigencia el 01 de mayo del 2019) (EPEC, 2019). Al tener en cuenta estos valores el costo de mantener en funcionamiento una heladera sin freezer 30 días es de aproximadamente, ARS 267,85 y ARS 336,19 considerando los precios de ambos cuadros tarifarios, al tomar un valor promedio se tiene un costo que representa el 2,42 % del Salario Mínimo Vital y Móvil establecido el 1 de marzo de 2019 por el Consejo Nacional del Empleo, la Productividad y el Salario Mínimo, Vital y Móvil (CNEPySMVyM, 2019). En este punto se considera prudente mencionar que el cuadro tarifario utilizado es el de la provincia de Córdoba, la cual posee uno de los más elevados del país (Casas X, 2019). Además de esto debe tenerse en cuenta que el costo de compra de un refrigerador con freezer es cercano a los ARS 25000.

Descripción del equipo y de los cálculos

Los sistemas de refrigeración por adsorción constan de pocas partes en movimiento convirtiéndolo en idóneo para la aplicación domiciliaria donde, por lo general, el usuario desea conectar el equipo y comenzar a utilizarlo sin tener que realizarle mantenimiento. Dentro de las partes que conforman el equipo se tiene: El recinto a refrigerar, el evaporador, el adsorbedor, la fuente de calor, el condensador y el depósito de líquidos.

En la Fig. 1 las flechas que conectan al evaporador y al condensador con el adsorbedor indican flujo de vapor de adsorbato, las flechas que ingresan y salen de estos tres elementos

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

indican el suministro (+ Q) o liberación del calor (- Q), las flechas que unen al depósito de líquidos con los demás elementos indican flujo de adsorbato en estado líquido.

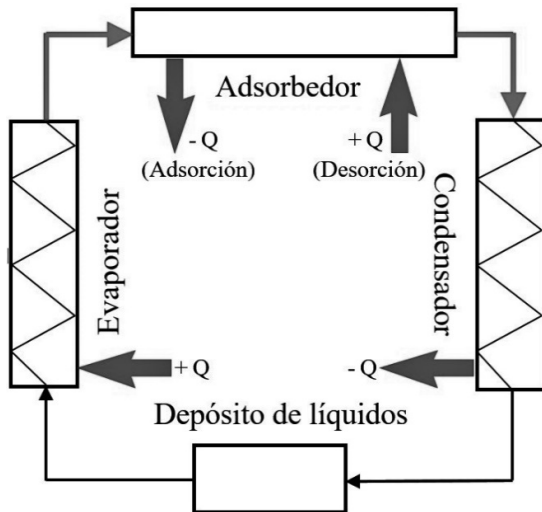


Fig. 1: Sistema de refrigeración por adsorción

El funcionamiento puede ser explicado brevemente de la siguiente forma, con ayuda de las Fig. 1 y 2. Las letras entre paréntesis hacen referencia a los puntos del diagrama de la Fig. 2, dado que este ciclo ocurre únicamente dentro del adsorbedor no es posible marcar dichos puntos en la Fig. 1. El adsorbato ingresa desde el depósito de líquidos al evaporador que se encuentra a baja presión y por lo tanto se evapora a baja temperatura, durante este proceso el calor necesario para la evaporación es absorbido del recinto a refrigerar. Estando en forma de vapor pasa al adsorbedor lugar en el cual es adsorbido exotérmicamente por el adsorbente a título constante (C - D), una vez saturado el adsorbente (A) se debe comenzar a suministrar calor al adsorbedor para producir la desorción endotérmica (A - B), es decir, la liberación del adsorbato en forma de vapor, el cual eleva su presión hasta igualar la del condensador (B). Al alcanzar dicha presión ingresa a este y es condensado a alta temperatura (B - C), para posteriormente ser derivado al depósito de líquidos, donde se

almacena a la espera de iniciar un nuevo ciclo (Qenawy A. et al 2004). El título reinante en el proceso C - D es mayor que el reinante en A - B.

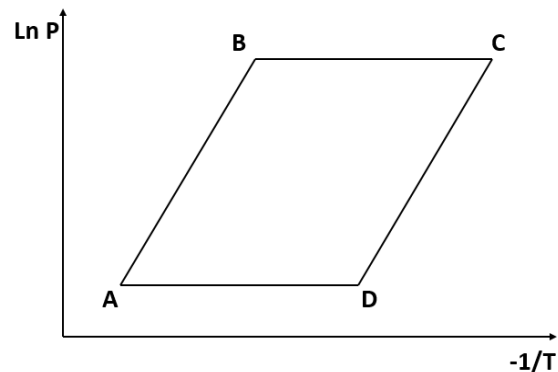


Fig. 2: Ciclo de adsorción

Como se puede deducir es un sistema de funcionamiento simple, en el cual las únicas partes móviles son las válvulas que se deben incluir en las tuberías del circuito que conectan los diferentes componentes para controlar el flujo del adsorbato y calor en la desorción. Sin embargo, la mayoría de los diseños actuales se basan en un ciclo de 24 h de duración, en el cual se expone al adsorbedor a la radiación solar para utilizarla como fuente de calor, esto limita a que la desorción se produzca durante el día y la absorción del calor del recinto a refrigerar durante la noche (Hernández E. et al 2011), lo cual posee tres desventajas principales:

1. El proceso de refrigeración (evaporación y adsorción del adsorbato) se realiza durante la noche, momento en el cual la temperatura ambiente puede ser suficientemente baja para conservar los alimentos sin la necesidad de refrigerarlos.
2. La heladera está expuesta a la intemperie, es decir, fuera de la edificación del hogar, por lo tanto, al necesitar algún producto de la misma, se debe salir de la comodidad para buscarlo incluso en aquellos días de climas

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

más desfavorables, tales como los días de lluvia.

3. Se generan grandes variaciones de temperatura en el interior del refrigerador, debido a que la temperatura se incrementa desde el amanecer hasta el anochecer y luego disminuye hacia el amanecer nuevamente, pudiendo quedar fuera de los márgenes aceptables para la conservación de los alimentos.

Como alternativa a estas dificultades se propone la utilización de un termotanque solar como sistema de captación y almacenamiento de energía térmica para producir la desorción en el momento adecuado, en conjunto con una resistencia eléctrica, alimentada por un panel solar, para el suministro adicional de calor en caso de ser necesario. También se propone la utilización de dos adsorbedores que funcionen en forma alternada, es decir, mientras que en uno se produce la desorción en el otro se producirá la adsorción. Estas dos mejoras permitirían que el refrigerador se pueda ubicar en el interior del hogar, quedando protegido de las adversidades climáticas, proveyendo al usuario la comodidad que normalmente espera obtener de estos equipos, así como también permitiría disminuir la variación de la temperatura en el interior del equipo al reducir la duración del ciclo de 24 h a 1 h, posibilitando la correcta conservación de los alimentos. El proceso de cálculo del equipo consiste en los siguientes pasos:

- a. Determinar la capacidad de almacenamiento del equipo y seleccionar el adsorbato y el adsorbente.
- b. Determinar las cantidades y tipos de alimentos que normalmente se almacenan en las heladeras.
- c. Establecer la temperatura interna a la que debe mantenerse en el recinto a refrigerar, y

calcular el ΔT entre el interior y exterior del recinto.

- d. Seleccionar y dimensionar el aislamiento del equipo.
- e. Establecer la carga total del equipo, la renovación del aire y la cantidad de calor a extraer.
- f. Dimensionar el evaporador y la cantidad de adsorbato a evaporar.
- g. Determinar la cantidad de adsorbente necesario.
- h. Obtener la cantidad de calor a suministrar al adsorbedor para producir la desorción y la cantidad de agua que debe circular por el adsorbedor.
- i. Seleccionar y dimensionar el condensador.
- j. Dimensionar el depósito de líquidos en función a la cantidad de adsorbato.

Dimensionamiento y cálculos

Para este trabajo se establece una heladera de tamaño medio, con una capacidad de 360 L (Electrolux, 2012). Se estima que esta permitirá almacenar de forma correcta diversas cantidades de alimentos y a su vez proveerá el espacio necesario para instalar los diferentes componentes requeridos por el sistema. Anteriormente de forma implícita se dio a entender que el adsorbato es el elemento que producirá el efecto frigorífico y circulará por las cañerías del sistema, mientras que el adsorbente es el material que producirá la adsorción del adsorbato. Al conjunto adsorbente - adsorbato se lo conoce como par de trabajo. Existen diversas combinaciones de pares de trabajo, para este estudio su selección se basa en la facilidad de obtención, el nivel de contaminación que genera su producción y uso, así como también el sistema de aporte de calor que se utilizará para la desorción. Dentro de los adsorbentes más comunes se puede mencionar al gel de sílice, la zeolita y el carbón activado, estos poseen bajo peso específico y

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

alta porosidad, lo cual es indispensable para producir una correcta y eficiente adsorción. Un buen adsorbato es aquel que a temperatura ambiente posee baja temperatura de ebullición y baja presión de condensación, alto calor latente de evaporación, debe ser estanco a los materiales y lubricantes utilizados, no debe ser inflamable ni explosivo, debe ser inofensivo para la salud y poseer una composición química estable en las condiciones de operación. Los más comunes son el agua, amoníaco, metanol y el etanol. Se selecciona como par de trabajo al carbón activado - etanol debido principalmente a que produce bajo impacto ambiental, requiere menores temperaturas y son obtenidos con facilidad. Las características de los adsorbatos y adsorbentes pueden extraerse de Valladares-Cisneros M. et al 2016.

De las encuestas realizadas a diversas personas pertenecientes a diferentes edades, contextos sociales y grupo familiar se obtuvo que los productos más comunes que poseen almacenados en sus refrigeradores incluyen: carne, manteca, queso, huevos, leche, naranjas, zanahorias, tomates, agua y mermelada. Martín A; 2000 registra la temperatura de conservación de varios alimentos, dentro de estos se encuentran los mencionados anteriormente, ésta es cercana a los 2 °C, por lo tanto se toma como la que debe mantenerse en el interior del recinto a refrigerar. La temperatura exterior se considera de 27,4 °C, la cual es un promedio entre la temperatura máxima para el mes de enero de 2012 (31,1 °C) y su media (23,8 °C) (Álvarez, C, 2012). La fórmula utilizada para determinar la carga del equipo debido a los alimentos se encuentra expresada en la siguiente ecuación:

$$Q_1'' = \frac{m \times c \times \Delta T}{T_e} \times \frac{24 [h]}{F}$$

Donde m es la masa del producto a almacenar (kg), c es el calor específico de cada alimento (kJ/kg·K), ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (°C o K), T_e es el tiempo deseado de enfriamiento (h) y F es el factor de rapidez de enfriamiento (Martín A. 2000). Se considera que los alimentos ingresan a la heladera a temperatura ambiente. Al reemplazar por los valores correspondientes se obtiene como resultado 1149 kJ/h.

A continuación, se establecen las dimensiones del equipo tomando como base que los usuarios por lo general, desean que sus electrodomésticos ocupen la menor superficie posible en el suelo con una gran capacidad de almacenamiento, por lo tanto se toma las medidas mostradas en las Fig. 3a y 3b como base para el cálculo del ancho y largo, al ancho se suman 170 mm para poder obtener mayor espacio libre. Luego con la fórmula del volumen de un cubo se determina el alto y por último se adiciona un 5 % a las medidas de ancho y largo y un 2 % al alto, garantizando así, que el equipo tendrá los 360 L de capacidad de almacenamiento establecidos inicialmente aún con los accesorios. Las dimensiones internas finales son: ancho: 630 mm, prof.: 473 mm y alto: 1360 mm.

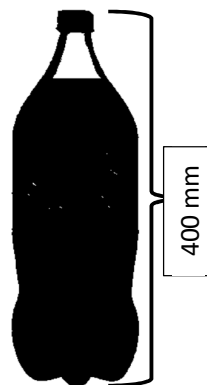


Fig. 3a: Profundidad

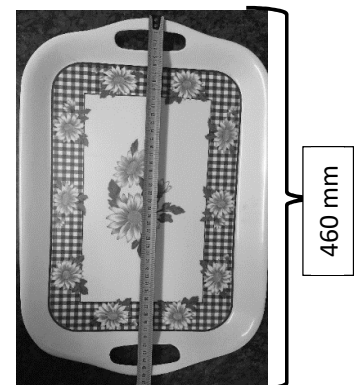


Fig. 3b: Ancho

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Las propiedades de un buen aislante incluyen baja conductividad térmica, debe ser poroso e ignífugo, no debe ser higroscópico ni contaminar a los alimentos. Pueden ser aislantes naturales; minerales o artificiales, el aislante que reúne de mejor manera las propiedades anteriormente mencionadas es la espuma de poliuretano que pertenece a los aislantes artificiales (Martín A. 2000), siendo actualmente el más elegido por los fabricantes de heladeras para aislar sus productos. Se estima que la densidad superficial de flujo térmico a través de las paredes (ϕ/s) no debe ser superior a $54 \text{ kJ/h}\cdot\text{m}^2$ (Martín A. 2000), este dato junto con el ΔT definido anteriormente, permiten obtener por medio de la siguiente ecuación el espesor del aislante:

$$L = \frac{\lambda \times \Delta t}{\phi/s}$$

Donde L (m) y λ (kJ/m) son el espesor y la conductividad térmica del aislante respectivamente (Martín A. 2000). Estas ecuaciones revelan un espesor de 40 mm. La carga por renovación de aire se obtiene por medio de la entalpía del mismo a la temperatura del interior y del exterior de la heladera, se considera que la masa de aire contenida en el interior del equipo se renueva completamente una vez por hora, obteniendo un valor de $28,52 \text{ kJ/h}$.

El evaporador seleccionado para el equipo es de placas, debido a que es el que menor espacio requiere y mejores prestaciones posee para esta aplicación (Martín A. 2000). Su superficie se determina de modo que ocupe completamente la pared posterior del refrigerador, ésta es la que se encuentra opuesta a la puerta, de acuerdo con las dimensiones establecidas su superficie es de $0,85 \text{ m}^2$ y la separación de las placas se estima en 3 mm. De la suma de los calores que se

deben extraer del interior de la heladera mencionados anteriormente, divididos por el producto entre el calor específico de evaporación del etanol y su densidad; se obtiene la cantidad de litros que se deben evaporar, en este caso 1,150 L. A continuación se debe obtener el título de cada etapa mediante la fórmula de Dubinin - Astakhov, (Toth, 2002) la cual se expresa a continuación:

$$X = W_0 \times \rho \times e^{-D \times \left(T \times \ln \frac{\Pi}{P} \right)^n}$$

Donde X es el título o concentración (kg de adsorbato / kg de adsorbente), W_0 es la máxima capacidad de adsorción del adsorbente para el adsorbato elegido (en las mismas unidades que X), ρ es la densidad del adsorbato (kg/m^3), D es el coeficiente de afinidad entre los componentes del par de trabajo, Π es la presión de saturación del adsorbato a la temperatura de trabajo (mmHg), P es la presión de trabajo (mmHg), T es la temperatura de trabajo (K) y n es un coeficiente que determina la isoterma de adsorción. En este trabajo se seleccionó como presión del evaporador $58,82 \text{ mmHg}$ y para el condensador 200 mmHg , con estas presiones la temperatura de evaporación del etanol se estima en 15 y $40 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente para el evaporador y el condensador, W_0 toma un valor máximo de $0,297 \text{ kg/kg}$. Aplicando la ecuación se obtienen los títulos en las etapas de adsorción y desorción ($0,426$ y $0,0639$ respectivamente), al realizar la relación entre los kg adsorbidos y la variación de la concentración (ΔX) se obtiene los kg de carbón activado que se necesitan para el adsorbedor (4 kg). Éste será distribuido en el interior de 6 caños de $1 \frac{1}{2}''$, cada uno se encontrará ubicado concéntricamente en el interior de otro tubo de $2''$, a través del espacio que queda entre los tubos circulará el agua caliente que suministrará el calor necesario para la

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

desorción, formando un intercambiador de calor de doble tubo. La longitud de los intercambiadores es equivalente a la profundidad interna de la heladera, de modo que puedan ubicarse sobre el techo de la misma.

El calor necesario para la desorción se obtiene realizando la suma del calor requerido para evaporar el etanol y elevar su temperatura a la del condensador (40 °C) y para elevar la temperatura del carbón activado a 40 °C. Para esto son necesarios 1341 kJ/h.

Según los catálogos obtenidos del fabricante Termosol, los termotanques solares operan con temperaturas promedio de 50 °C en invierno y 85 °C en verano (Termosol, 2016/17). La temperatura que debe alcanzar el adsorbedor para producir la desorción es de 40 °C, la cual es la temperatura de evaporación a la presión del condensador (200 mmHg). Se considera que el agua ingresa al intercambiador de calor a 80 °C y sale a 40 °C y su eficiencia es de 50 %, debido a que se encuentra expuesto al ambiente sin aislación. La aislación no es posible dado que la adsorción es exotérmica, y se debe liberar el calor durante esta etapa. Realizando la relación entre la cantidad de calor a suministrar y el calor que cede el agua producto del salto de temperatura, se puede obtener la cantidad de litros por hora que debe circular por el intercambiador de calor para lograr la desorción, en este caso se obtuvieron 19 L/h. Considerando que la duración de la radiación solar promedio en el año es de aproximadamente 12 h (GISEner, 2019), se debe almacenar agua para permitir el funcionamiento durante las 12 h restantes. Esto es 200 L. Como se ha mencionado anteriormente la temperatura del agua no siempre será de 80 °C, algunos días será superior a esta y otros será inferior,

dependiendo de la época del año en la cual se encuentre y principalmente de la nubosidad. El calor restante será suministrado por resistencias eléctricas ubicadas dentro de los adsorbedores a fin de aprovechar al máximo el calor suministrado por las mismas, estas serán alimentadas por celdas solares ubicadas junto con el termotanque solar y baterías, con la posibilidad de conexión a la red de energía eléctrica, estas variaciones se plantean para dar la posibilidad de instalación de los equipos en zonas sin y con acceso a la red de energía eléctrica. El condensador seleccionado es de tubos con aletas para permitir la correcta condensación del fluido.

Al sumar los volúmenes de adsorbato que se tienen en los diferentes componentes del sistema, considerando que no existen pérdidas el volumen en cada uno de ellos será igual al calculado en el evaporador 1,150 L/h, es decir 3,450 L en total. Por lo general los depósitos de líquidos se dimensionan de modo tal que puedan almacenar 3 veces la cantidad de líquido en circulación, por lo tanto el depósito deberá poseer una capacidad de 13,350 L.

El mantenimiento del equipo solar consiste en la remoción del polvo de su superficie cada 3 meses, mediante la utilización de un paño humedecido (GISEner, 2019). El del refrigerador es idéntico al recomendado por los fabricantes de estos equipos con sistema de refrigeración por compresión, el cual se puede ser consultado del manual de instrucciones del fabricante de heladeras (GAFA).

Teniendo en cuenta el costo individual de los diferentes elementos que se requieren para la construcción del equipo, se estima que el costo de fabricación será aproximadamente un 20 % superior al de una heladera con sistema de refrigeración a compresión, esperando que en una producción a gran

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

escala, los costos sean menores. El costo del termotanque solar es cercano a los ARS 30000.

RESULTADOS

Se ha logrado elaborar de forma teórica un refrigerador que funciona mediante un ciclo de adsorción con carbón activado - etanol como par de trabajo y la utilización de energía solar térmica como fuente de calor para el ciclo. El mismo posee una capacidad de 360 L, aislante de espuma de poliuretano de 40 mm de espesor, un evaporador de placas de 0,85 m². El adsorbedor se encuentra formado por 4 kg de carbón activado repartido en 6 tubos de 1 ½'' ubicados concéntricamente dentro de otros 6 tubos de 2'', con una circulación de agua de 19 L/h por el adsorbedor como medio para suministrar el calor necesario para la desorción. Se requiere un termotanque solar con capacidad de 200 L, una resistencia eléctrica en cada adsorbedor para el suministro adicional de calor, un condensador de tubos con aletas y un depósito de líquidos cuya capacidad es de 13,350 L. La implementación de este equipo promueve un ahorro del 15 % del consumo eléctrico de un hogar

La utilización de un doble adsorbedor permitiría además, mantener las temperaturas más estables, dado que modifica la duración del ciclo de los prototipos de 24 h a 1 h.

CONCLUSIONES

Se considera posible lograr la conservación de alimentos mediante un ciclo de adsorción con carbón activado - etanol como par de trabajo y la utilización de energía solar térmica como fuente de calor.

La aplicación del ciclo planteado es apta para lugares donde el suministro de energía eléctrica es escaso e incluso nulo.

El sistema posee grandes posibilidades debido a la versatilidad de los pares de trabajo fuentes de calor que se pueden adaptar al sistema planteado.

La mejora de doble adsorbedor otorga la posibilidad de mantener la heladera en el interior del hogar, lo que permitiría al usuario ubicarla en el lugar que crea conveniente.

La utilización del ciclo de adsorción como método para generar el frío necesario para la conservación de los alimentos se encuentra en los inicios de su desarrollo, por lo cual se espera que las prestaciones del mismo mejoren en el corto y mediano plazo.

Con el presente trabajo se han dado las bases para continuar con un análisis de mayor profundidad acerca de la vida útil de los diferentes componentes, mejoras en el mantenimiento adaptadas al ciclo de refrigeración elegido y elección de los mejores elementos que otorguen una correcta relación precio – calidad. Pudiendo de este modo, compararlas de forma efectiva con las heladeras a compresión utilizadas en la actualidad.

REFERENCIAS

Congreso de la Nación Argentina (2015). Ley nro. 27191: modificaciones a la Ley 26190, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica

Electrolux – Manual de Usuario – Fascículo II Especial Heladeras – 2011 - 2012

EPEC – Tarifa para usuarios finales a aplicar por la EPEC a partir del 01-05-2019 Resolución general Ersep N° 34

GISEner Grupo de investigación sobre energía – UTN Facultad Regional San Francisco – Córdoba – 2019

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Hernández Arroyo, E. J. Córdoba Tuta – Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción, usando carbón activado – Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga – 2011

Martín A. – Termotecnia Aplicaciones Agroindustriales –Ediciones Mundi-Prensa – España – 2000

Organización de las naciones unidas (ONU) – Acuerdo de París – 2015

Página web: Álvarez, C.; Severina, I. (2012). Temperaturas promedio. Información meteorológica mensual de la E.E.A. Manfredi [Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de <https://inta.gov.ar/documentos/temperaturas-promedio.-informacion-meteorologica-mensual-de-la-e.e.a.-manfredi>

Página web: Cammesa, 2019 – Informe mensual principales variables del mes, recuperado de: <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Page/s/descargas.aspx>

Página web: Casas, X. (2019). El mapa de la distorsión de precios de la luz: hay provincias que pagan más del doble que otras – Infobae. Recuperado de <https://www.infobae.com/economia/2019/02/09/el-mapa-de-la-distorsion-de-precios-de-la-luz-hay-provincias-que-pagan-mas-del-doble-que-otras>

Página web: ENRE. Consumo promedio por artefacto (orden alfabético). Recuperado de: <https://www.argentina.gov.ar/energia/ahorro-y-eficiencia-energetica/archivo/informacion-tecnica-de-interes/consumos-promedio-por-artefacto-orden-alfabetico>

Página web: Ministerio de producción y trabajo consejo nacional del empleo, la productividad y el salario mínimo, vital y móvil (2019). RESOL-2019-1-APN-CNEPYSMVYM#MPYT. Recuperado de: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/202567/20190228>

Qenawy, Ahmed M. and Mohamad1, Abdulmajeed A. – Current technologies and future perspectives in solar powered adsorption systems – Mechanical and Manufacturing Department – Schulich School of Engineering – University of Calgary, Calgary, Canada – Canadian Solar Buildings Conference – Agosto 2004

Righini R, Grossi Gallegos H, “*Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina*”, Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)

Termosol – Catálogo de productos – 2016/17

Valladares – Cisneros, María Guadalupe, Cárdenas, Cintya Valerio, Burelo, Patricia de la Cruz, Melgoza Alemán, Rosa María – Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales – Universidad de Medellín – 21/12/2016

Toth, J. – Adsorption Theory, modeling and Analysis – Boca Raton (FL), USA: CRC Press – 2002

Manual de instrucciones – Gafa – HGF357AWB