

REFRIGERADOR SOLAR – CICLO DE ABSORCIÓN INTERMITENTE

Rafael G. Beltrán

Universidad de los Andes

Cra 1E 18A-70, Bogotá-Colombia

www.uniandes.edu.co, Telf. 571 3324322, Fax 571 3324323

RESUMEN

En el presente trabajo se describe una instalación experimental para la producción de frío utilizando un sistema de absorción intermitente. La presentación está basada en el trabajo realizado por este autor y otras personas (refs. 1,2,3). El equipo ha sido desarrollado para pequeñas comunidades de la costa Pacífico de Colombia en donde la infraestructura es mínima y se requiere conservar la pesca. Los ensayos del equipo indican que si bien es factible la producción de frío, su costo es un poco alto comparado con sistemas convencionales y la operación intermitente da lugar a problemas de diversa índole, por lo cual se requiere hacer mas automática la operación.

PALABRAS CLAVE: Refrigeración, ciclos de absorción, energía solar.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El presente estudio ha sido motivado por el deseo de explorar posibles aplicaciones de la energía solar para regiones apartadas de Colombia. El refrigerador solar que se ha estudiado funciona por el principio de absorción de amoníaco – agua y la construcción y pruebas del prototipo se ha llevado a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes en Bogotá. El proyecto fue financiado por el Departamento Nacional de Planeación.

SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION

La energía solar se presta bastante bien para impulsar sistemas de refrigeración por absorción ya que en estos sistemas (1) la cantidad de energía mecánica necesaria para mover el equipo es mínima y se requiere principalmente de una fuente de energía térmica para su funcionamiento. El concepto de diseño utilizado fue el de un refrigerador intermitente que hiciera innecesario el uso de bombas u otros dispositivos mecánicos y que de esta manera resultara apropiado para las condiciones en lugares apartados con buena insolación.

El ciclo de absorción clásico consta de los siguientes elementos:

- a. **Generador:** Es la parte del sistema en la cual una solución de amoníaco y agua recibe calor de una fuente de alta temperatura, con lo cual se evapora en primera instancia el amoníaco. El vapor producido se lleva al condensador.
- b. **Condensador:** En esta parte del sistema se elimina calor por intercambio entre el calor latente de licuefacción del amoníaco a alta presión y temperatura que viene del generador,

- con el aire exterior o con agua fría. El amoníaco licuado se deposita en el fondo del recipiente.
- Válvula de Expansión: Permite que baje la presión del líquido y produce una mezcla de líquido y vapor a baja temperatura y presión.
 - Evaporador: en este dispositivo el amoníaco hierve absorbiendo calor de los alimentos almacenados en su interior.
 - Absorbedor: este dispositivo permite la mezcla del vapor de amoníaco proveniente del evaporador con la solución débil de amoníaco – agua (al porcentaje de agua) para hacer que la concentración aumente liberando calor de la solución. Este calor debe liberarse al medio ambiente.
 - Bomba: se usa para elevar la presión de la solución fuerte y llevarla nuevamente al generador.

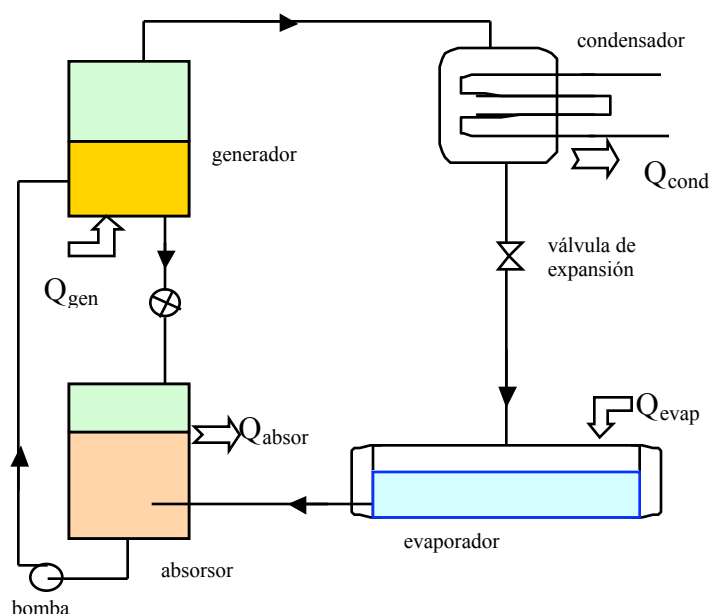


Figura1 . Esquema del sistema de absorción amoníaco-agua

SISTEMA UTILIZADO

Ya que se deseaba eliminar por una parte la bomba del ciclo clásico, así como hacer un uso más eficiente del generador de calor, se construyó un sistema de absorción intermitente en el cual se combinaron los siguientes elementos:

- Colector solar plano. Este elemento del sistema fue diseñado para servir como generador de vapor durante las horas del día, ya que contiene una solución fuerte en las horas de la mañana, la cual se va haciendo débil durante el transcurso del día al irse evaporando el amoníaco. Durante la noche hace las veces de absorbedor al recibir el vapor de amoníaco a baja presión proveniente del evaporador del sistema. Ya que el área de transferencia de calor es relativamente grande se puede disipar el calor de solución, por convección natural al medio ambiente.

- b. Condensador: Sirve para realizar la función ya descrita. Consiste de un tanque receptor rodeado por una camisa de agua. Funciona únicamente durante el día.
- c. Válvula de expansión: Este dispositivo permite el paso del amoníaco hacia la cámara del evaporador.
- d. Evaporador: Funciona durante la noche, una vez que la temperatura (y la presión) de la solución contenida en el colector ha bajado hasta un nivel aceptable (cerca de 20°C y 200 kPa). El líquido del condensador se vaporiza parcialmente en el tanque receptor y el resto de la evaporación tiene lugar en el serpentín de enfriamiento adjunto al tanque receptor. El evaporador está constituido por el conjunto tanque receptor-serpentín.

El refrigerador funciona de la siguiente manera: en la mañana se abre la válvula de paso (V_1) y se cierra la válvula (V_2). Una vez que la placa colectora comienza a recibir la radiación del sol, la solución contenida en el colector experimenta un periodo de elevación de temperatura hasta alcanzar su máximo valor entre las 11 a.m. y la 1 p.m. temperatura que se mantiene en este valor estable ($70\text{-}80^{\circ}\text{C}$) en días despejados, hasta cerca de las 4 p.m., hora en que disminuye la radiación y comienza el proceso de enfriamiento del colector, como puede observarse en la figura 2.

Durante el día la solución caliente permite la evaporación del amoníaco el cual se va condensando a una temperatura aproximada de 26°C . Los volúmenes y la concentración se diseñaron para condensar unos 7 kilogramos de amoníaco durante días despejados.

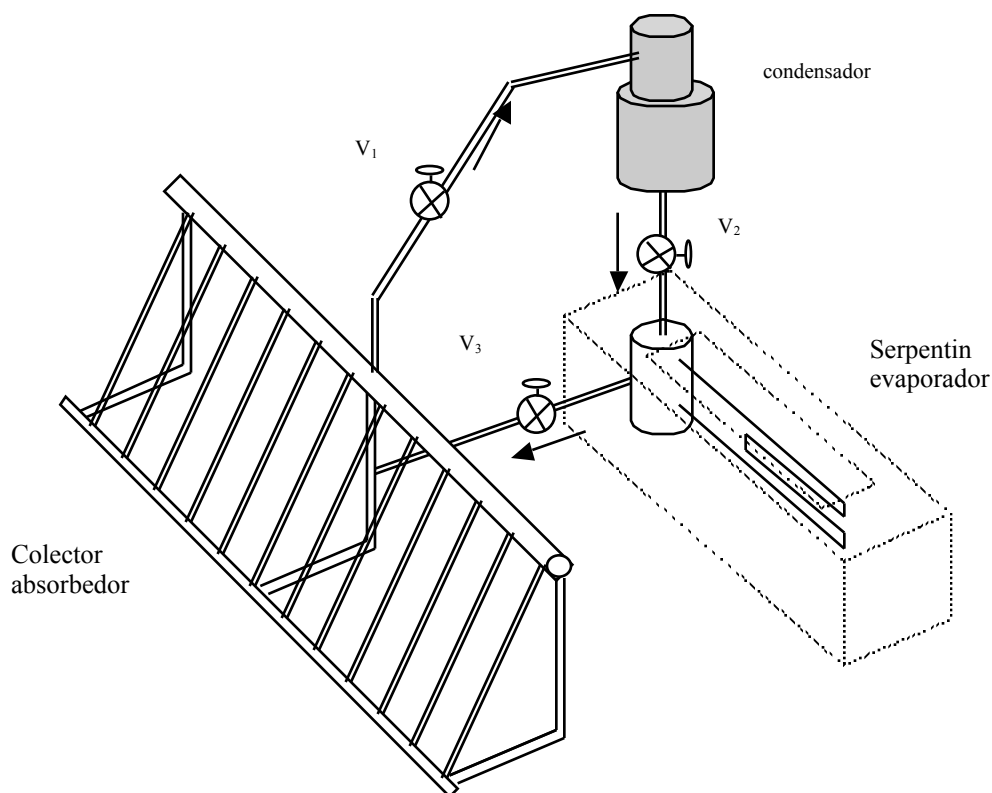


Figura 2 . Esquema del sistema de absorción amoníaco-agua solar intermitente

En el prototipo existe una válvula de cheque después de la válvula (V1) con el fin de impedir que el amoníaco regrese al colector al bajar la temperatura en las primeras horas de la noche.

La operación nocturna se consigue al cerrar la válvula (V1) y abrir la válvula de expansión (V2), con una temperatura del conjunto evaporador de aproximadamente -4°C . La nevera propiamente dicha está conformada por un recipiente rectangular de 86 litros (0.086 m^3) sumergido en un baño de salmuera que se usa como refrigerante secundario. La salmuera rodea al tanque receptor y al serpentín evaporador y todo este conjunto está contenido en una caja aislada térmicamente del medio ambiente por medio de placas de poliuretano expandido.

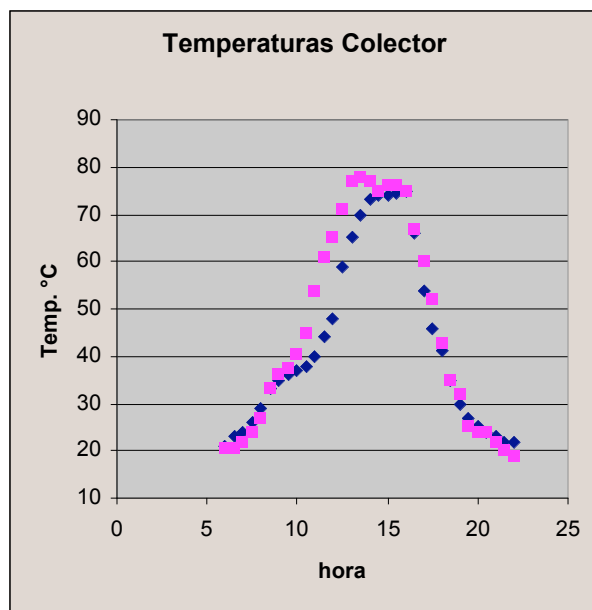


Figura 3 . Evolución de la temperatura de la solución

El vapor de amoníaco a baja presión pasa a través de la válvula de cheque colocada en la parte inferior (V3) y se disuelve en la solución débil contenida en el colector.

RESUMEN DEL DISEÑO

A continuación se presenta un resumen de los parámetros de diseño del refrigerador solar

1. Colector

| Componentes | No de partes |
|----------------------|--------------|
| Alimentador superior | 1 |
| Alimentador inferior | 1 |
| Tubería colector | 13 |
| Tubos de Circulación | 3 |
| Lámina colectora | 1 |

| Datos técnicos | |
|-------------------------|------------------------|
| Superficie del colector | 2.0 m ² |
| Inclinación | 30 grados ¹ |
| Volumen interno | 33 litros |
| Masa de la estructura | 117.7 kg |
| Cubierta | Vidrio, una capa |
| Aislamiento | Poliuretano expandido |
| Material de la tubería | Acero |

2. Condensador

| Componentes | Capacidad |
|----------------------|------------------|
| Receptáculo exterior | 60 litros |
| Depósito condensador | 10.8 litros |

3. Evaporador

| Componentes | Capacidad |
|--------------------|------------------|
| Tanque evaporador | 11.54 litros |
| Serpentín | 0.26 litros |

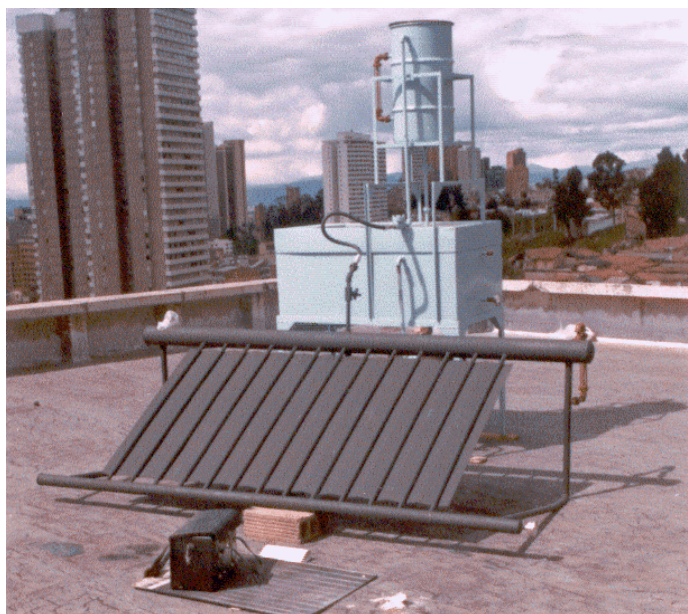


Figura 4 . Fotografía del prototipo

¹ La inclinación del colector fue dictada por razones de circulación de la solución dentro del colector, y en menor grado por razones de irradiación solar.

ANALISIS DEL CICLO

En la figura 4 se ilustra el proceso de evolución del vapor de amoníaco y el cambio de concentración de la solución en el colector comenzando con una concentración de 63% y presión de 463 kPa abs, a las 6 a.m. Como puede observarse, no se desprende vapor hasta que la presión no alcanza los 837 kPa abs a las 10 a.m. aproximadamente. Para los cálculos se ha supuesto que el condensador funciona a 837 kPa en forma constante hasta las 4 p.m. cuando ya no se recolecta calor útil. La concentración final es de 38% habiéndose evaporado 6.36 kg de vapor en el proceso.

El proceso de absorción ocurre a partir de las 10 p.m. cuando se pone en funcionamiento el refrigerador, hasta las 6 a.m. cuando se regresa a la concentración inicial de 63%.

La siguiente tabla muestra los resultados del ciclo diurno en la cual I_{col} representa la radiación que cae sobre el colector W/m^2 . Q_{util} es el calor aprovechado para evaporar el amoníaco, X' es la concentración de la solución en el colector y P_{sat} es la presión de saturación de la mezcla.

RESULTADOS DE LA OPERACION DIURNA DEL COLECTOR

| Hora | I_{col} Watt/m ² | Q_{util} Julios | X' | P_{sat} kPa |
|------|----------------------------------|----------------------|------|------------------|
| 6 | 0 | 0 | 0.63 | 455 |
| 8 | 363 | $1,3 \times 10^6$ | 0.63 | 803 |
| 10 | 709 | $3,86 \times 10^6$ | 0.57 | 837 |
| 12 | 832 | 5.55×10^6 | 0.47 | 837 |
| 14 | 709 | 3.86×10^6 | 0.39 | 837 |
| 16 | 363 | $1,3 \times 10^6$ | 0.38 | 837 |

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se ha desarrollado la parte experimental del proyecto cuyos objetivos son los siguientes:

- Comprobación de los parámetros de diseño del equipo, tales como presiones, concentraciones y masa de amoníaco condensada diariamente.
- Rediseño de aquellos componentes que no funcionan de la manera esperada, especialmente el condensador
- Optimización del diseño para eliminar aquellos componentes que son redundantes, y la utilización de materiales de mas bajo costo que presten igual servicio en algunas partes del equipo.

Se ha llevado a cabo pruebas de evaporación , comprobación de los parámetros de diseño del colector y algunas pruebas del proceso de refrigeración tales como expansión gradual del amoníaco por apertura parcial de la válvula de expansión, y utilización de serpentín inundado en el evaporador.

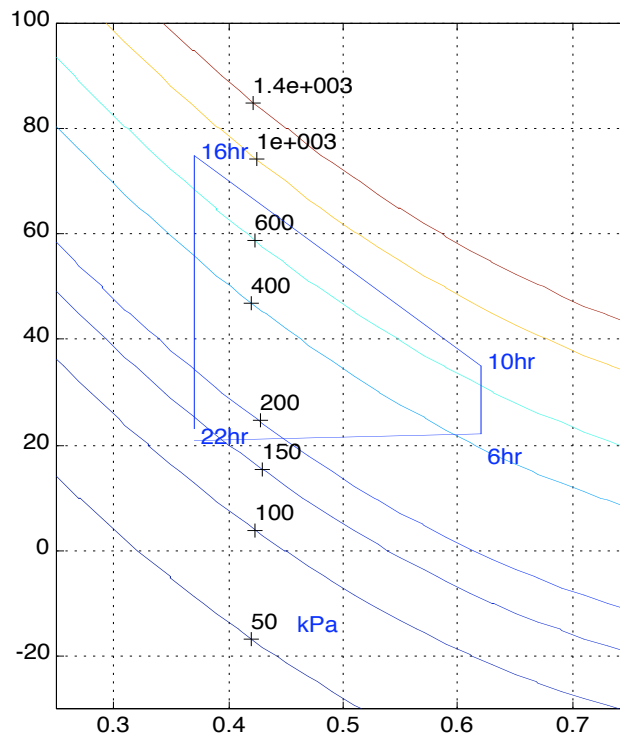


Figura 5. Diagrama temperatura versus concentración para el refrigerador solar

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los ensayos realizados en este equipo experimental permiten adelantar algunas conclusiones acerca de la conveniencia de sistemas de absorción para la producción de frío mediante la energía solar.

Los niveles de frío obtenidos fueron modestos y el equipo tenía una capacidad en general menor a la del diseño debido a la variabilidad del recurso solar en el sitio en donde se realizaron las pruebas. En general se podía obtener temperaturas no menores a los -5°C aun en los días de mejor insolación.

El diseño intermitente tiene múltiples ventajas tales como la ausencia de bombas y otros equipos que deben operar con energía eléctrica. Sin embargo, la operación es complicada y requiere de dedicación de una persona con un cierto grado de experiencia y preparación, lo cual limita mucho su aplicación.

Se ha ensayado la modalidad de emplear el equipo con el evaporador inundado con éxito relativo, aunque en principio esto simplificaría notablemente la operación y al mismo tiempo permitiría aprovechar mejor el área de transferencia de calor del serpentín.

Dados los niveles de presión que se obtienen, esto complica el diseño y el problema de las fugas. El desarrollo del prototipo se ha visto afectado por las fugas de la solución, pero principalmente por las del amoníaco gaseoso principalmente a partir de las 11 hr , hasta las 16 hr intervalo de tiempo en que la presión es máxima.

Otro factor que hay que tener en cuenta es que el colector se usaba como absorbedor durante la noche lo cual ha requerido implementar un sistema de aislamiento variable, es decir una cubierta desmontable , así como placas aislantes removibles para permitir eliminar el calor de la absorción.

El equipo de absorción intermitente se puede mejorar notablemente si se puede reducir su tamaño colocando el gabinete refrigerado debajo del colector. De esta forma se reduce la longitud de las tuberías y al mismo tiempo se obtiene una zona sombreada que reduce las pérdidas de calor. De la misma forma se ha visto necesario que todas la uniones sean soldadas ya que esto garantiza su hermetismo.

En el prototipo se ha utilizado tubería de acero de calibre 40 lo cual, dados los niveles de presión que se obtienen, no es necesario. Se podría utilizar tubería más delgada lo cual reduce el peso del equipo y facilita la soldadura de las partes.

REFERENCIAS

4. Franky R., Oswaldo. ,1978 "Investigación de sistemas de refrigeración a partir de energía solar", Uniandes, Facultad de Ingeniería, Proyecto de grado.
5. Onatra, Henry, 1978 "Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de bajo costo basado en energía solar para áreas rurales apartadas, Uniandes, Facultad de Ingeniería, Proyecto de grado.
6. Fernández , Oscar, 1979 "Análisis experimental del refrigerador accionado por energía solar", Uniandes, Facultad de Ingeniería, Proyecto de grado.
7. Kreider J.F., Kreith F. "Solar heating and cooling", McGraw Hill, 1978
8. Treyball R.E., Newton, A.J. "Survey of solar powered refrigeration", ASME publications, 1973
9. Althouse, Turnquist , Bracciano. " Modern Refrigeration and Air Conditioning, Goodheart Willcox, 1979
10. ASHRAE, "Refrigeration – Systems and Applications", ASHRAE, 1986

ABSTRACT

This article describes an experimental installation for the production of refrigeration by means of the intermittent absorption cycle driven by solar energy. This paper is based on work done at University of Los Andes in Bogotá, Colombia, in the Energy Systems Group of the Mechanical Engineering Department (refs. 1,2 ,3). The solar refrigerator was financed by the National Planning Department for small fishing communities of the Pacific Coast in Colombia where the energy infrastructure is minimum and refrigeration is required in order to conserve fish. The tests done in the equipment indicate that although this concept is feasible its cost is high compared to conventional systems. The intermittent operation gives rise to several problems that make it necessary to devise automatic means of operation.