



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción  
carbón activado / adsorbato**

AUTOR:

**Santin Castro, Marcel Andre**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO**

TUTOR:

M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

GUAYAQUIL – ECUADOR

18 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
**Santin Castro, Marcel Andre** como requerimiento para la obtención del  
título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO**.

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Santin Castro, Marcel Andre**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “**Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción carbón activado / adsorbato**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

---

SANTIN CASTRO, MARCEL ANDRE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Santin Castro, Marcel Andre**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción carbón activado / adsorbato”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

---

SANTIN CASTRO, MARCEL ANDRE

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

Lista de fuentes Bloques Fernando Palacios Meléndez (edwin\_palacios)

**Documento** [Tesis Marcel Santin 04.09.2020.docx](#) (D79019865)

**Presentado** 2020-09-12 14:05 (-05:00)

**Presentado por** masantinc@hotmail.com

**Recibido** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

**Mensaje** Adjunto TESIS [Mostrar el mensaje completo](#)

4% de estas 29 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="#">TESIS DIEGO STEVEN VELOZ FINAL.docx</a>
	<a href="#">TESIS DIEGO STEVEN VELOZ ARIAS2 23 FEB....</a>
	<a href="#">TESIS UNIDAD LUIS PROAÑO ucsg.pdf</a>
	<a href="#">Tesis final PROAÑO 25-02-19.pdf</a>
	<a href="https://docplayer.es/15376072-Escuela-poli...">https://docplayer.es/15376072-Escuela-poli...</a>
	<a href="https://m.facebook.com/academiaIT/posts...">https://m.facebook.com/academiaIT/posts...</a>
	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.pe/bitstream/h...">http://repositorio.ucsg.edu.pe/bitstream/h...</a>

Reiniciar Exportar Compartir

1 Adverten

UNIVERSIDAD CÁTOLICA DE SANTIAGO DE  
GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA: PROPUESTAS DE UN SISTEMA  
DE ENFRIAMIENTO EFICIENTE POR ADSORCIÓN CARBÓN  
ACTIVADO/ADSORBATO

AUTOR: SANTIN CASTRO, MARCEL ANDRÉ

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO

TUTOR: BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO

GUAYAQUIL - ECUADOR

28 DE AGOSTO 2020

UNIVERSIDAD CÁTOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco sobre todas las cosas a dios por darme la salud, las fuerzas y la capacidad de prepararme día a día para obtener una buena formación académica y cumplir todas mis metas propuestas.

Agradezco también a mis padres que siempre han sido mi pilar fundamental en mi vida y más aún en estos años de estudio superior, encaminándome con valores y virtudes para ser un buen profesional.

Agradezco también a mi hija ya que ella en tampoco tiempo que llego a mi vida ha sido mi motor y mi luz para alcanzar todo aquello que me proponga.

Agradezco de igual manera a todos quienes me han brindado su conocimiento para formarme en la vida como profesional.

**MARCEL ANDRE, SANTIN CASTRO**

## **DEDICATORIA**

Dedico todo este trabajo de titulación incondicionalmente a mis padres, ya que gracias a su apoyo he logrado todos mis objetivos. Su apoyo siempre fue vital a lo largo de mi vida y mis estudios.

Dedico también este trabajo a mi hija quien me ha motivado a dar cada pequeño paso en mi vida.

Dedico también este trabajo a mis abuelos por siempre apoyarme guiarme y lo más importante creer en mí.

**MARCEL ANDRE, SANTIN CASTRO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f.

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**

f.

**M. Sc. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema .....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación y alcance .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivo Específico .....	5
1.4 Hipótesis .....	6
1.5 Metodología de investigación .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Estado del arte.....	8
2.1.1. Trayectoria de los investigadores .....	15
2.1.2. El fenómeno de adsorción .....	16
2.1.3. Clasificación .....	16
2.1.4. Materiales adsorbentes .....	18
2.1.5 Etapas en el proceso de enfriamiento.....	19
2.1.6 Estudio de la máquina refrigerante.....	22
2.1.7 Sistema de captación .....	24
2.1.8 Sistema de acumulación .....	24
2.1.9 Torre de refrigeración .....	24
2.1.10. La radiación solar.....	25
2.1.11. Mapas de radiación solar.....	27
2.1.12 Análisis del Colector solar .....	27
2.1.13 Modelación matemática .....	29
2.1.14 Determinación de las isóteras .....	29

2.1.15 Caracterización de máquina refrigerante por ecuaciones DA .....	30
2.1.16 Refrigeración por adsorción .....	31
CAPITULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS .....	34
3.1. Comparación de los distintos sistemas refrigerantes .....	34
3.2. Análisis de Costos.....	35
3.2.1. Equipos comerciales.....	35
3.3. Ventajas y desventajas .....	36
3.4. Fabricantes de máquinas en funcionamiento .....	37
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	41
4.1. Conclusiones.....	41
4.2. Recomendaciones .....	42
Bibliografía .....	43

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Características de adsorción en carbón metanol .....	29
Tabla 2 Análisis de costos .....	36
Tabla 3 Costo variable por mantenimiento (en dólares) .....	36
Tabla 4 Comparación entre fabricante de máquinas refrigerantes .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Máquina frigorífica de compresión.....	9
Figura 2 Esquema del ciclo para la refrigeración.....	20
Figura 3 Función del evaporador .....	21
Figura 4 Máquina térmica de refrigeración .....	23
Figura 5 Torre de refrigeración .....	25
Figura 6 Refrigeración solar.....	26
Figura 7 Tipos de tecnología termosolar.....	28

## RESUMEN

El trabajo actual corresponde a un estudio de un sistema de enfriamiento por absorción de carbón activado, y el correspondiente estudio de factibilidad, técnica y económica, que de sustento de acción a dicha propuesta. Un sistema de refrigeración a través de “adsorción” es una forma de generar frío, al aprovechar las sustancias que absorben el calor al pasar de estado líquido a gaseoso. Se compararán dos procesos, el que utiliza un compresor y el que utiliza una bomba refrigerante, compuesta por un generador y absorbedor. Las variables cualitativas en el estudio serán la refrigeración frente al ahorro del consumo de energía eléctrica y la incidencia frente a la contaminación ambiental. Se determina la conveniencia del estudio, debido a que, los índices de radiación solar existentes en nuestro país son extremadamente altos, por lo tanto, existe la factibilidad operativa en la construcción, implementación y explotación de este tipo de maquinaria refrigerante. Los sistemas de enfriamiento que emplean la absorción de radiación solar, aún se encuentran en fase experimental, pero se emplea el calor remanente que sale de una turbina de otro equipo, este tipo de equipo ya son comerciales y pueden participar en el mercado. Los sistemas de compresión clásicos son más factibles en lo técnico y económico, sin embargo, se incluyen a consideración otras variables que no han sido incluidas dentro de la cuantificación, como el perjuicio al medio ambiente relacionado a la emisión de gases a la capa de ozono.

**Palabras claves:** SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, ABSORCIÓN, CARBÓN ACTIVADO, SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, SISTEMAS DE COMPRESIÓN

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación encuentra su justificación de acuerdo con el programa de eficiencia energética del sector eléctrico, realizado acorde al Plan Maestro de Electrificación, correspondiente al periodo 2013 – 2022 del CONELEC (Conelec). El cual, se plantea como meta el implementar políticas y programas alineados a la eficiencia en el consumo de energía, con lo cual, se logre eliminar los consumos innecesarios o acceder a equipos más idóneos en la reducción del costo de la energía, lo cual incida en la disminución del consumo energético, sin disminuir la satisfacción obtenida del servicio prestado, por lo que se busca implementar las políticas y lineamientos establecidos en la Constitución, enmarcados en los objetivos del PNBV 2013 - 2017 (Plan nacional del buen vivir). , estableciendo los programas a implementarse en el período 2013 – 2022 e identificar medidas para reducir los consumos energéticos y analizar la implementación de las mismas.

## **CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema**

### **1.1 Planteamiento del problema**

¿Bajo qué medidas se puede minimizar contaminación de refrigerantes en el medio ambiente y economizar energía? Primeramente es fundamental tener en cuenta que alrededor del 15% de la energía eléctrica generada de manera general, sea por hidroeléctricas o plantas termoeléctricas, es consumida por sistemas de refrigeración, Debemos tener en cuenta que con el actual déficit energético de los servicios tradicionales de producción de energía y la contaminación mundial mediante emisiones toxicas se refleja un inconveniente en el departamento energético, por lo sustentables tanto se plantea la medida de utilizar fuentes nuevas de energía sustentables y amigables para nuestro medio ambiente. (Greenpeace, 2019).

Según Proaño (2018) citado de Merk 2011 explica:

Por otro lado, los sistemas de refrigeración de compresión que son aplicados en un 90% en todo el mundo, emplea la energía eléctrica para activar un compresor, este sistema no ha evolucionado en la optimización del consumo energético y lo que es más importante genera un daño al ecosistema, pues la utilización de hidrofluorocarbonos tiene un índice de calentamiento global (PCG) mayor a 1300. (p.16)

Existen muchos países en desarrollo en los cuales se puede notar que existe una carencia en el suministro eléctrico, especialmente en sitios rurales donde es necesaria la implementación de energía eléctrica. Con el pasar de los años los valores se han ido cotizando mucho más y con ello la concientización de problemas directamente a nuestro ecosistema por el incremento de refrigerantes proporcionando un efecto invernadero (Bravo, 2015).

Por lo tanto, se propone la utilización de máquinas que recobren el calor residual, este proceso es por la aplicación de la energía solar, existen diferentes máquinas de adsorción y pueden lograr ser una opción muy sugerente para disminuir el gasto energético. Las energías renovables son

una opción factible libre de emisión de gases tóxicos y afable con el ambiente y lo más importante no gasta recursos.

En la actualidad enfocamos la producción de energía eléctrica mediante combustibles fósiles los cuales causan danos graves e incorregibles a nuestra biosfera terrestre acarreando fuertes consecuencias como hemos sido testigos en muchos casos por tal motivo y de carácter urgente es necesario implementar un proceso de obtención de energía eléctrica sostenible y amigable para nuestro medio ambiente.

Según Proaño (2018) citado de Merk 2011 explica:

La crisis energética comienza en 1973, cuando el mundo se encontró en una situación de incertidumbre y temor al darse cuenta de que el equilibrio oferta-demanda de los productos petrolíferos se había roto y que a partir de ese momento se entraba en un período de depresión económica, por no existir a corto plazo alternativas energéticas viables al principal componente de la balanza energética mundial. Pero, realmente, la crisis de la energía, aunque lentamente, Ya se venía fraguando al menos desde 25 años antes, existiendo una serie de hechos que presagiaban que tarde o temprano se desembocaría en una situación como la ocurrida en 1973. (p.18)

## **1.2 Justificación y alcance**

Según Buen Conocer (2015) expresa:

De acuerdo con el objetivo 11 del PNBV 2013 - 2017 que busca Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica”, establece la política de: “Reestructurar la matriz energética bajo criterios de Transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.

Es necesario motivar el ahorro de energía y el uso eficiente. Todo esto sin que afecte su calidad de servicio. Para así salvaguardar los recursos no

renovables para la producción de energía eléctrica mediante normas competentes.

De igual manera, es necesario argumentar medidas en el sector eléctrico para obtener un mejor control basándonos en normas internacionales para combatir el calentamiento global.

Según Informe Especial del Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (2018) establece:

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): Acuerdo adoptado en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y firmado ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países y la Comunidad Económica Europea. Su objetivo fundamental es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático”. Sus cláusulas exigen compromisos de todas las partes. En virtud de la Convención, las partes incluidas en el anexo I se comprometieron a regresar, para el año 2000, a los niveles de emisión de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal que se registraban en 1990. La Convención entró en vigor en marzo de 1994. En 1997, la CMNUCC incorporó el Protocolo de Kyoto. Véase también países incluidos en el anexo A, países incluidos en el anexo B y Protocolo de Kyoto. (p.175)

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar el Estudio de la factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de enfriamiento eficiente por adsorción carbón activado/adsorbato.

#### **1.3.2 Objetivo Específico**

- Efectuar un estudio comparativo entre el sistema convencional compresor y el carbón activado

- Investigar trabajos de investigación más destacados de los tipos de máquinas refrigerantes mediante carbón activo por medio de un estudio bibliográfico y de fuentes primarias.
- Fomentar el uso de los componentes de refrigeración mediante adsorción

#### **1.4 Hipótesis**

El uso de la maquina refrigerante que emplea el proceso de adsorción para carbón activo metanol es más conveniente en áreas donde existe alto nivel de radiación solar y poco acceso a la red de energía eléctrica.

#### **1.5 Metodología de investigación**

Este trabajo de investigación se fundamenta en el método de estudio de caso es una estrategia metodológica de investigación científica, utilizando la investigación bibliográfica de fuentes primarias, de igual manera es útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos; por lo tanto, contribuye al desarrollo de un campo científico determinado.

Según Kuhn los paradigmas son realizaciones que surgen de los muchos problemas que dejan las realizaciones científicas pasadas para ser resueltos por un grupo de científicos; es decir que la adquisición de un nuevo paradigma es un signo de madurez en el desarrollo de cualquier campo científico dado, afecta la estructura del grupo que practica en él implica una definición nueva y más rápida del mismo (Villatoro, Francisco, 2016).

En consecuencia, Guevara (2017) hace las siguientes recomendaciones a modo de conclusión:

- Elegir un tema significativo a la luz de la literatura existente y/o del estado de arte del momento, los conocimientos y experiencia del investigador, las oportunidades y recursos para realizar la investigación y los métodos aplicables, entre otros.

- Asegurarse de que el estudio es, tanto desde un punto de vista teórico como empírico, completo y coherente a la hora de relacionar las distintas partes del proceso. De hecho, la conexión íntima con la realidad que ofrece la aplicación de este método es lo que posibilita todo desarrollo teórico.
- Considerar perspectivas alternativas o explicaciones rivales al interpretar los datos, incluso en el caso de estudios meramente descriptivos o exploratorios (Cabeza, 2015).

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

En las últimas décadas se ha incrementado la búsqueda orientada a sistemas de refrigeración y bombas de calor distintos a los sistemas de comprensión de vapor, los cuales tienen la desventaja de utilizar electricidad a altos costo. Esto ha inducido al estudio en el uso de procesos de sorción para la generación de refrigeración, que han sido estudiados en el área de la absorción líquida, así como de la adsorción sólido-gas (Moreno, Bandarra, & Guevara, 2017).

El fenómeno conocido como adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida); por ello se considera como un fenómeno sub-superficial. La sustancia que se concentra en la superficie -o se adsorbe- se llama "adsorbato"

Según Revista CeroGrados (2019) considera que:

Sin embargo, el desarrollo científico en el campo de la refrigeración por absorción se remonta varios años antes de que el apellido Carré figurara en la historia. De acuerdo con el presidente de CIBSE Heritage Group, Brian Roberts, uno de los antecedentes fue el estudio de Joseph Priestley, en 1784, para aislar el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), oxígeno y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), así como la investigación del físico Michael Faraday, en 1823, acerca de la absorción del  $\text{NH}_3$  a través del cloruro de plata para producir enfriamiento. Décadas después, en 1850, el hermano menor de Carré, Edmond, inventó un dispositivo de refrigeración de absorción intermitente que usaba agua y ácido sulfúrico, el cual llegó a usarse en los cafés de París. A partir de este modelo, Ferdinand continuó trabajando en el proceso y estudió las diversas máquinas de enfriamiento con éter etílico y  $\text{NH}_3$ , hasta que logró mejorarlo. "En 1858 desarrolló una máquina que usaba amoníaco como refrigerante y agua como absorbente", escribe Roberts.

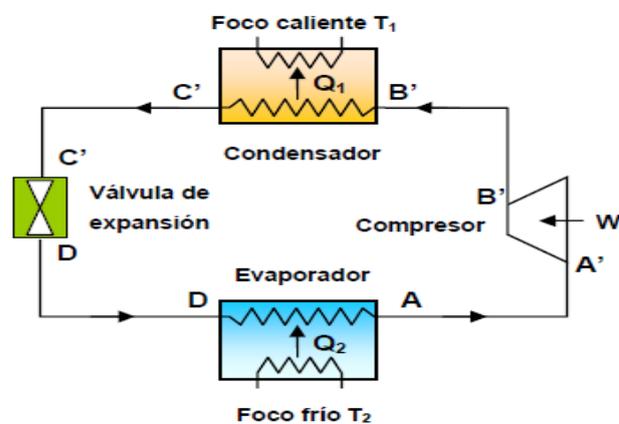
Este diseño fue implementado en barcos para transportar carne congelada intercontinentalmente, estas máquinas fueron populares hasta la primera

década del siglo veinte, sin embargo, luego fueron reemplazadas por sistemas de compresión de vapor, hasta la actualidad

Según Templeton (2016) expresa:

Durante 1930 el desarrollo de sistemas de enfriamiento y refrigeración se inclinó hacia los sistemas de compresión mecánicos con la introducción de los refrigerantes Cloro Fluoruro Carbones y el aumento de las eficiencias sobre la de los sistemas de adsorción. En los 70 la crisis intensificó la búsqueda de nuevos recursos energéticos y tecnologías de ahorro y de nuevo atrajo la atención a sistemas de adsorción, seguido del trabajo pionero de Tchernev que observó la capacidad de adsorción de vapor de agua de un mineral natural llamado zeolita cuando es enfriado y como el agua podía desorberse cuando se le calentaba estudiando así el ciclo de enfriamiento de zeolita – agua. (p.210)

La máquina frigorífica de adsorción se compone fundamentalmente de un adsorbedor, el cual se conecta, para trasiego de fase vapor, alternativamente a un condensador y a un evaporador (Fig. 3), así como, energéticamente, a una fuente de calor a alta temperatura, a otra de disipación a temperatura intermedia y, por último, a la fuente de temperatura baja, lugar donde se genera el efecto adecuado como una máquina productora de frío. Los ciclos de este tipo de máquinas de adsorción se reflejan en diagramas tales como, los de Clapeyron



**Figura 1** Máquina frigorífica de compresión

**Fuente:** Vélez (2018)

Posterior a estos trabajos investigativos, se escogieron tres referencias relevantes; la primera corresponde al diseño de un prototipo de refrigeración solar por adsorción, que emplea carbón activado/metanol, realizado por Sánchez y González (2011). El segundo, aplica al diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar, que emplea carbón activado (Hernández & Córdoba, 2011); y, el tercer referente, desarrolla la refrigeración solar para la producción de hielo, mediante la utilización de carbón activo y metanol.

De acuerdo con los estudios mencionados, se describe la utilización de dos tecnologías que explican la sorción sólido-gas, que corresponden a la adsorción y a las reacciones químicas, que se da incluso en los hidratos metálicos. Las similitudes, diferencias, como también las ventajas y desventajas, se detallan en el trabajo realizado por Venecio (2016).

El sistema por adsorción posee la ventaja que el elemento o medio sólido (adsorbente) no sufre una alteración de su volumen mientras se dan los procesos de sorción, como ocurre de forma contraria, en el proceso de absorción líquida; tampoco es necesaria la utilización de columna de rectificación como en este último proceso. Igualmente, los procesos de adsorción emplean una mayor cantidad de fluidos refrigerantes en cada ciclo, lo que genera un mejor rendimiento en comparación con otros procesos de sorción. (Blesa & Cicerone, 2020).

Otra ventaja que se revela en el ejercicio comparativo en estos procesos es que, la tecnología de refrigeradores adsorptivos, es de mayor simpleza, debido a que no se necesitan las partes móviles, y la energía térmica mínima, que puede obtenerse a través del calor residual o por medio de la energía solar (Ferreira, 2015).

El problema de investigación dentro del diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción, que utiliza carbón activado y metanol, se condiciona por el uso pasivo de la energía solar, que se recepta a través de un colector, donde se establecen parámetros, tales como: ángulo de inclinación ( $\beta$ ), la

transmutación de la cubierta transparente ( $\tau$ ), la absorbancia ( $\alpha$ ), la radicación solar, y la orientación (Beltrán, 2018).

Esta investigación tendrá un enfoque metodológico de tipo empírico e inductivo, en la cual, la vaporización se dará mediante un sistema de sorción, basado en la adsorción, utilizando un par adsorbente/adsorbato, que cumple con las características en dependencia del punto hasta el que se desea enfriar (Orihuela, 2015).

El coeficiente de desempeño de los sistemas de adsorción (también conocidos como bombas químicas o bombas de calor) es relativamente bajo teniendo como referencia una máquina térmica de Carnot. Algunos valores de COP característicos de estos sistemas están en la orden de la unidad, sin embargo, pueden aprovechar calor residual a bajas temperaturas que en otras aplicaciones sería considerado un calor sin uso práctico o calor de desecho. Entre los factores que influyen el bajo COP de estos sistemas está la baja conductividad térmica de algunos adsorbentes sólidos entre ellos; Sílica Gel en la orden de  $0.17 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $0.16 - 0.21 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  para la Zeolita, lo cual disminuye la transferencia de calor entre el fluido térmico y el lecho adsorbtivo. Actualmente se están utilizando la mezcla de algunos compuestos con adsorbentes para mejorar su conductividad térmica.

Este proyecto tuvo como objetivo de resolución dentro de su problemática, la cobertura de un sistema de captación solar, cuya estructura tenía dos vidrios, y dentro del espacio entre estos, se ubicaban elementos anti-convectivos de policarbonato, también conocido como, cobertura TIM, por sus siglas en inglés (Transparent Insulation Material). Se incluyó también una nueva configuración para el adsorbedor y evaporador, que por lo general son rectangulares y en cajón único, por el contrario, para el caso de este proyecto, se implementó una configuración multi tubular.

En la metodología se emplearon fundamentos de la adsorción, a través de ecuaciones que describieron la termodinámica de este proceso, que considera como variables la relación de la temperatura (T), la presión (P) y la

concentración de la fase adsorbida. Estas funciones, se conocen también como “isotermas de adsorción”. La ecuación empleada, se llama, Dubinin Astakhov, que sirve para describir los procesos de adsorción en los materiales microporosos y la distribución de esto en materiales polimodales, tales como el carbón activado. (García, 2014).

El funcionamiento de este proceso tiene su fundamento en un bucle intermitente, donde no existe la recuperación calórica. Este ciclo posee dos etapas, una que se caracteriza por el proceso de adsorción per sé, y otra, que incluye la regeneración del medio poroso a través de la conversión térmica de la energía solar.

El prototipo está conformado por tres elementos: un adsorbente – colector solar, un evaporador y un condensador. El flujo gaseoso se modifica con relación a la etapa, ya sea de producción frigorífica o de regeneración. La producción frigorífica empieza al final de la tarde, en el momento en que la temperatura y la presión del adsorbente disminuyen, acorde a un proceso isostérico, es decir, un proceso en donde la concentración de la fase adsorbida es constante. La evaporación se desencadena, en el instante en que el flujo de adsorbato camina hacia el adsorbedor, lo que ocurre en la noche hasta que el adsorbedor llega a un valor mínimo. Al final de este proceso, el adsorbedor se encuentra con una presión y temperaturas adecuadas a la saturación de la fase gaseosa en el evaporador. Cuando se calienta el adsorbedor por causa del sol, la presión aumenta, lo que conlleva a otro proceso isostérico. Al momento que el reactor alcanza la presión de condensación adecuada, la desorción inicia, lo que prosigue hasta que el adsorbedor alcanza la temperatura máxima, con lo que culmina el ciclo. (Chiriboga & Collaguazo, 2018).

El Adsorbedor – Colector, se estructura por 8 tubos, cuyo diámetro corresponde a 76 mm y con 1,61 metros de longitud, lo que guarda correspondencia a un área de captación solar de 1 metro. Esta superficie colectora es considerada colectiva, y la cobertura casi transparente de este, se compone de dos placas de 3 mm de vidrio; el espacio que se ubica entre

ellas se cubre por elementos de tipo hexagonal de policarbonato (TIM – Transparent Insulation Material), con una relación de aspecto igual a cinco. Cada tubo de los adsorbedores lleva 2,5 kg de carbón activado, con una cantidad total de 20 kg de material adsorbente. La relación masa de adsorbente/área de captación solar adoptada (20kg/m<sup>2</sup>) tiene como base la mayoría de los estudios y realizaciones experimentales encontradas en la literatura, tratándose de refrigeradores que usan el mismo par (Romero & Carbonell, scielo.sld.cu, 2014)

El condensador está compuesto por una serie de tubos de 48 mm de diámetro nominal. El conjunto está ubicado en la base de un recipiente de dimensiones 1,00 x 0,95 x 0,30 m<sup>3</sup>, con una capacidad para contener 250 litros de agua. Las paredes del estanque no tienen aislamiento y su cara superior abierta, pero protegida de la incidencia solar por el absorbedor/colector. Los tubos forman un plano inclinado de 7° del plan horizontal, para permitir un flujo máximo de metano líquido hacia el evaporador. El dimensionamiento se hizo teniendo en cuenta la potencia térmica disipada en agua durante el cambio de fase gas-líquido del adsorbato,

En forma de conclusión, se dimensionó un refrigerador solar, que usa la adsorción del metanol en carbón activado. Se pudo comprobar que la utilización de cobertura TIM en el elemento adsorbedor – colector solar, ha representado eficiencia en comparación que las usadas frecuentemente en refrigeradores solares. Los resultados que se obtuvieron permitieron demostrar que la cobertura TIM, permite la obtención de temperaturas de regeneración que superan los 100°C, con colectores de helio estático, lo que condensa grandes cantidades de adsorbato, lo que vuelve más eficiente el ciclo.

La comparación realizada entre los resultados prácticos con los teóricos, dentro de un sistema similar, refieren un incremento de casi un 50% en el nivel de hielo producido, cuando se incluye la cobertura TIM dentro del equipamiento. Respecto a los resultados de lo simulado, es probable la producción de hasta 10 kg de hielo por m<sup>2</sup> de área de colector, en climas que

se caractericen por una mayor presencia de radiación solar (XVII Encuentro de Superficies y Materiales Nanoestructurados, 2017).

Como punto final; se busca crear una nueva estructura y un refrigerador que emplea carbón activado, en el que se aplicó carbón activado adsorbente, de tal manera que, esta investigación busca sacar ventajas en la energía solar, como herramienta para sacar provecho de la energía en diversas áreas que tienen una accesibilidad compleja para la red de electricidad que solicite sistema de refrigeración.

El modelo del colector solar, donde se deposita el carbón activado, con presencia y contacto directo de la radiación solar directa, que en presencia y ausencia permitirá el ciclo termodinámico del metanol, un condensador y un evaporador, donde se enfriará el agua a 4 °C. Las variables del proceso se monitorearon con sensores de temperatura y presión obteniéndose valores de rendimiento de 0.018 el cual es relativamente bajo comparado con el COP ideal de 0.13. El refrigerador solar demuestra los principios de la refrigeración alternativa y ecológica, adaptándose muy bien en la educación de energías renovables.

El refrigerador solar consiste en un colector solar, un condensador y un evaporador acoplados por medio de una estructura y conectados en serie por medio de un tubo de acero inoxidable de un cuarto de pulgada. El colector solar tiene las dimensiones 1.6 m \* 0.8 m \* 0.13 m con placas en acero inoxidable. Internamente el colector tiene ocho tubos de acero inoxidable de 1.6 m de longitud y 1.5 pulgadas de diámetro, que contienen el carbón activado, cubierto con mallas de acero formando un tubo de 2 cm de diámetro, permitiendo el acceso del metanol en fase gaseosa para la adsorción.

El colector tiene un vidrio templado de dimensiones 1.65 m \* 0.82 m, que determina el área de captación de la radiación solar. El condensador fue fabricado con tubería de acero inoxidable calibre 18, 1.5 pulgadas de diámetro y 0.6 m<sup>2</sup> de área de intercambio de calor. La estructura que compone el

condensador está inmersa en una caja de aluminio de dimensiones 0.32m \* 0.80m \* 0.45m donde intercambia calor con el agua.

El evaporador fabricado de acero inoxidable calibre 18, 1.5 pulgadas de diámetro y 0.5 m<sup>2</sup> de área de intercambio de calor, Para determinar las dimensiones de los intercambiadores, colector-condensador-evaporador, cantidad de masa de metanol y carbón activado se utilizaron las siguientes condiciones de diseño: \* 5 Kg de agua líquida a 26 °C que se convertirán en hielo a 0 °C.

El metanol es inyectado en el evaporador el cuál se encuentra aislado con poliuretano. Posteriormente se introduce el carbón activado en el colector solar y se genera un vacío en el sistema. Paralelamente se registra la radiación solar con un pirómetro, obteniéndose un valor promedio de 777.8 w/m (Hernandez, M, D, 2011)

La temperatura más baja que se mantuvo estable por un tiempo considerable se mantiene entre 8 y 10 grados, de tal forma para el cálculo del se estima una reducción de temperatura desde 23°C a 8°C. Teniendo una cantidad de 5 litros de agua en el evaporador, se procede:  $Q_{c.agua} = (4.18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}) * (5 \text{ kg}) * (15 \text{ K}) = 313.50 \text{ kJ}$

Como conclusión se construyó un sistema de refrigeración solar constituido por un colector solar, un condensador y un evaporador fabricados en acero inoxidable. Debido a la radiación y la acción del carbón activado el sistema permite un ciclo de refrigeración intermitente estableciéndose el enfriamiento en horas nocturnas. De los resultados del experimento se obtuvo una temperatura mínima en el agua del evaporador de 8 °C, con lo cual se determinó el COP del sistema de 0.018 con una eficiencia de 14%.

### **2.1.1. Trayectoria de los investigadores**

- Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Santa Ana de Coro, Falcón, Venezuela.

- Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. e-mail: jjgbayon@ceter.cujae.edu.cu
- Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad Federal de Paraíba.

### **2.1.2. El fenómeno de adsorción**

La adsorción es un proceso reversible y exotérmico, se caracteriza porque un gas es fijado en un sólido, el cual debe tener un índice muy alto de porosidad. El material sólido que adsorbe se lo conoce como el adsorbente y el elemento gaseoso que es adsorbido en la superficie se lo conoce como adsorbato. El calor generado en el proceso se debe a la condensación de este unido a la energía que se genera en la unión adsorbente-adsorbato. Por otro lado, el proceso de desorción es inverso a la adsorción, además es endotérmico.

Debido a que la concentración en el área es pequeña; se utilizan los sólidos muy porosos con grandes densidad áreas internas, por lo general las áreas son irregulares y las energías de enlace se deben a las fuerzas de van der Waals. Según citado de Geankopolis (1998) por Rodríguez & Torres, (2018) expresan:

El proceso de adsorción global consta de una serie de pasos. Cuando el fluido pasa alrededor de la partícula en un lecho fijo, el soluto primero se difunde desde el volumen del fluido hacia toda la superficie exterior de la partícula. Luego, el soluto se difunde hacia el interior del poro hasta la superficie de este. Por último, el soluto se adsorbe sobre la superficie. (p.64)

### **2.1.3. Clasificación**

#### **2.1.3.1 Adsorción física**

La adsorción física se la conoce como fisisorción ocurre cuando el adsorbato y el área de la superficie del material adsorbente interactúan por las fuerzas de Van der Waals. En esta etapa las moléculas adsorbidas están unidas débilmente a la superficie y el calor de adsorción es bajo, similar al calor de vaporización del adsorbato (Taborda-, Jurado, & Cortés, 2015).

Según Leyva (2017) indica:

Desde un punto de vista comercial, los adsorbentes más usados en orden decreciente son carbón activado, zeolitas, silica gel y alúmina activada. El carbón activado es el adsorbente más usado en el ámbito industrial y se emplea tradicionalmente en la remoción de olor, color y sabor que son causados por contaminantes en niveles traza. En 1794 el carbón activado se aplicó industrialmente por primera vez cuando carbón activado de madera se usó para decolorar jarabes en la industria azucarera en Inglaterra. El carbón activado se aplica en el tratamiento de muy diversos tipos de efluentes residuales gracias a su gran capacidad de adsorción y versatilidad.

Bajo este tipo de adsorción, se presentaron varianzas en la capa de espesor, tanto de una molécula como de muchas moléculas, debido a que, las fuerzas de Van der Waals, logran extenderse desde una a otras capas de células. De acuerdo con esto, la máquina de adsorción posee, por lo menos, con dos cámaras de adsorción, y con esto, se logra que las cámaras inviertan el ciclo, para qué, donde ocurra la adsorción, se genere también la desorción, y viceversa, con el objeto de que el proceso tenga la continuidad requerida.

#### **2.1.3.2. Adsorción química**

Proceso conocido como quimisorción, este sucede al momento que las moléculas reaccionan químicamente en la superficie, en donde se forman y rompen a la vez los enlaces químicos, esto causa la formación de una mono capa en la superficie, a causa de la unión química entre el adsorbato y el adsorbente, momento en el que se vuelve más difícil de revertir el proceso y se utiliza mayor energía para eliminar las moléculas que fueron adsorbidas en comparación a las generadas por adsorción física. En este tipo de adsorción, se emplea el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

Otro tipo de elemento empleado como adsorbente es el hidrógeno, que se lo utiliza como refrigerante, debido a esto se lo puede integrar a sistemas que empleen este combustible. El agua logra calentarse a una temperatura de

80°C en función del hidruro que se utiliza y la temperatura de calor de rechazo. Se logra un COP, alrededor de los 0.5 (Martínez, 2018).

#### **2.1.4. Materiales adsorbentes**

Son los materiales que generan reacciones y procesos que se utilizan para tal propósito, entre los que se cuentan los siguientes: carbón activo, alúmina, zeolita, gel de sílice, tierra de Fuller, otras arcillas, etc. El elemento mayormente característico de estos materiales es la separación de los gránulos, que va desde los 0.1 – 12 mm, con una partícula con poros muy finos, con un volumen que alcanza un 50% de la partícula propiamente dicha. Esto ocurre en una mono capa en la superficie de los poros, pero en algunos casos llegan a formarse varias capas. La adsorción física, o conocida también como Van der Waals ocurre entre las moléculas adsorbidas y la superficie interior sólida del poro de la partícula. Los adsorbentes comerciales llegan a tener grandes áreas en las superficies de los poros, que van de los 100 – 2000 m<sup>2</sup>/g. (Amancio, 2019):

##### **2.1.4.1 Carbón activo.**

Este elemento posee una particularidad microcristalina que se logra luego de la descomposición térmica de la madera, cortezas vegetales, carbón, etc. Generalmente, las sustancias orgánicas tienen muy buenas respuestas frente a la adsorción del carbón activo (Navarrete, Quijano, & Vélez, 2014).

##### **2.1.4.2 Gel de sílice.**

Este absorbente se logra al mezclar un ácido, con una solución de silicato de sodio, y posteriormente secándose. Tiene una dimensión (área superficial) de 600 a 800 m<sup>2</sup>/g, con un diámetro de porosidad de 20 a 50. Este material se emplea para la deshidratación de gases líquidos y el fraccionamiento de hidrocarburos. (Sinche & Vilcatoma, 2019).

##### **2.1.4.3 Alúmina activada.**

Esto se obtiene al activar el óxido de aluminio hidratado, a través de calentamiento, con lo que se elimina el agua. Este elemento se lo emplea principalmente para secar gases y otros elementos líquidos.

#### **2.1.4.4. Zeolitas tipo tamiz molecular.**

Estos son aluminosilicatos cristalinos con gran cantidad de poros de tamaño pequeño que en su cúmulo producen en red cristalina abierta. Este material en específico se emplea para el secado, separación de hidrocarburos y de mezclas.

#### **2.1.4.5. Polímeros o resinas sintéticas.**

Este material se genera luego de la polimerización de dos clases de monómeros, que se generan en base a compuestos aromáticos, tales como el estireno. El compuesto se utiliza para la absorción de compuestos orgánicos no polares en soluciones acuosas. El absorbente de uso más común es el gel de sílice, como el uso mayormente amplio, luego sigue en nivel de importancia el carbón activo, alúmina y finalmente, las zeolitas en menor medida (Gutiérrez & Tijerino, 2016).

### **2.1.5 Etapas en el proceso de enfriamiento**

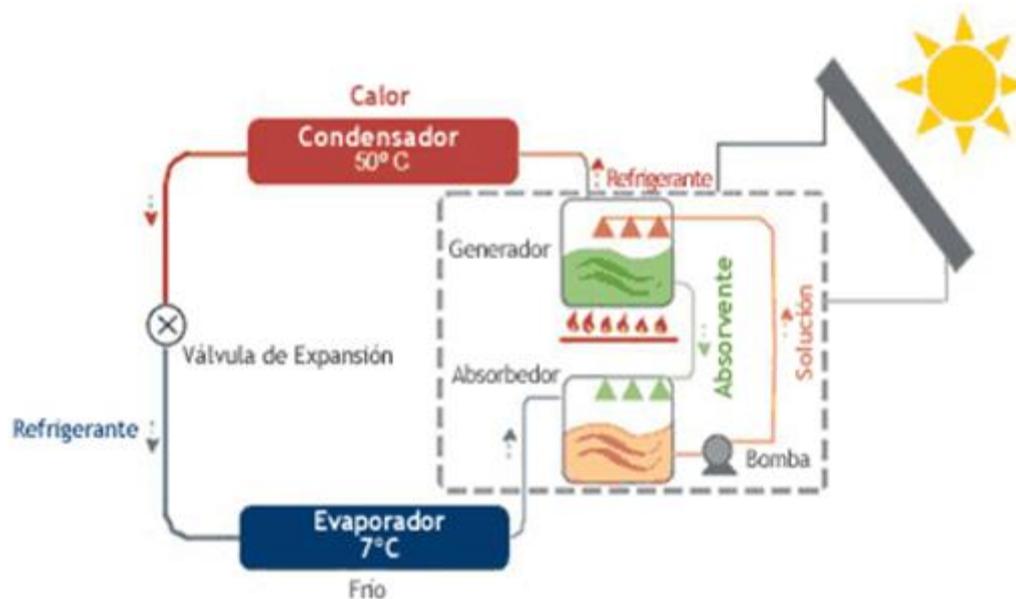
En sistemas clásicos, se evidencia la transferencia de energía térmica en la máquina frigorífica a partir de un espacio de temperatura baja a otra de temperatura mayor, debido al trabajo que se da desde una fuente externa, generado usualmente por algún tipo de motor, en el ciclo de Carnot se denominan como ciclos de refrigeración por compresión de vapor (Castelo et al, 2018).

El fluido que genera los cambios de temperatura, presión y volumen se llama refrigerante, que puede pasar de un estado líquido a gaseoso, de acuerdo con la transferencia de energía

Otro método que se conoce dentro de esta etapa se llama como “sistema de adsorción”, en el que se sustituye la etapa de compresión, por una etapa de adsorbente (adsorbato), que emplea el calor obtenido desde el medio, el que posteriormente modifica su temperatura gracias al par adsorbente. Esta tecnología se aplica desde mediados del siglo XIX; Ferdinand Carré, produjo hielo al utilizar la primera maquinaria frigorífica de absorción, al aplicar el ciclo amoníaco / agua. Esta metodología se volvió popular en los primeros años del

siglo XX. Se reemplazó cuando se dio paso a la utilización de sistemas que usan el ciclo de compresión de vapor líquido (Revista CeroGrados, 2019)

Debe recalcar que el amoníaco, agua y metanol, poseen calores latentes altos de 1368, 2258 y 1160 kJ/kg al ser sus volúmenes bajos en el orden de 3/kg. El agua es el elemento más térmicamente estable, en presencia de adsorbentes adecuados, en orden le sigue el metanol y luego el amoníaco. El problema que existe con el agua está en el hecho de que su temperatura de congelamiento es de 0°C, lo que convierte al metanol en el adsorbato más favorable para lograr un par con un adsorbente estable.



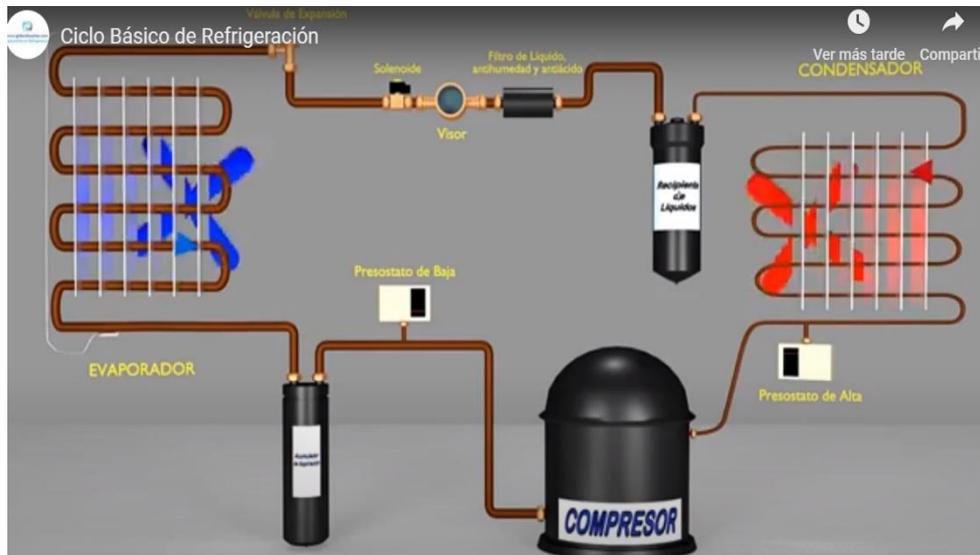
**Figura 2** Esquema del ciclo para la refrigeración

**Fuente:** Romero & Carbonell (2014)

### 2.1.5.1 Evaporador

Es en la superficie se da la transferencia de calor, donde se da la vaporización de un líquido y se elimina el calor de un espacio refrigerado. Los evaporadores se clasifican en tubos de acero para lo evaporadores con amoníaco, y los de cobre son los tubos más pequeños; los de superficie plana se construyen con un par de placas refrigerantes, por lo general, los mismos que se usan en neveras, y por último, los aleteados, que son tubos descubiertos, donde se implementan aletas, que incrementan el área superficial, lo que mejora la eficacia para enfriar los gases. La capacidad del evaporador corresponde a la

razón en la cual el calor pasa por las paredes del evaporador, que provienen externamente por el producto refrigerado, esto se expresa en BTU/h (Aylas, 2017).



**Figura 3** Función del evaporador

**Fuente:** Yáñez (2020)

### 2.1.5.2 Condensador

De forma similar que funciona el evaporador el condensador también funciona como una superficie de transferencia de calor. Es así que el calor del vapor caliente del refrigerante atraviesa las paredes del condensador para su respectiva condensación, debido a la pérdida de calor hacia el medio condensante el vapor refrigerante es primero enfriado hasta su saturación y después condensado hasta su estado líquido.

Según Ospino (2019) considera que:

Las capacidades de los condensadores dependen en parte del DT o diferencial de temperatura entre la temperatura de condensación y la temperatura ambiental del fluido que enfría el condensador. Si la temperatura del ambiente disminuye, se incrementa la capacidad el condensador, esto se traduce en una presión y un consumo menores del compresor. En cuanto a los sistemas de expansión, la mucha caída de presión en el condensador afecta negativamente su rendimiento de estos, reduciendo la capacidad el evaporados incrementándose el recalentamiento. Esta caída de presión

también puede afectar el retorno de lubricante por las tuberías del sistema afectando la vida útil del mismo.

### **2.1.5.3 Generador**

En este tipo de sistema, los generadores están conformados por un colector solar y el absorbente, La ubicación del absorbente está dentro de los tubos del colector sola o de otra manera está separado del colector en un recipiente en donde se utiliza un fluido calentado por el colector solar, la cama absorbente cuenta con tres opciones (Energía solar, 2015):

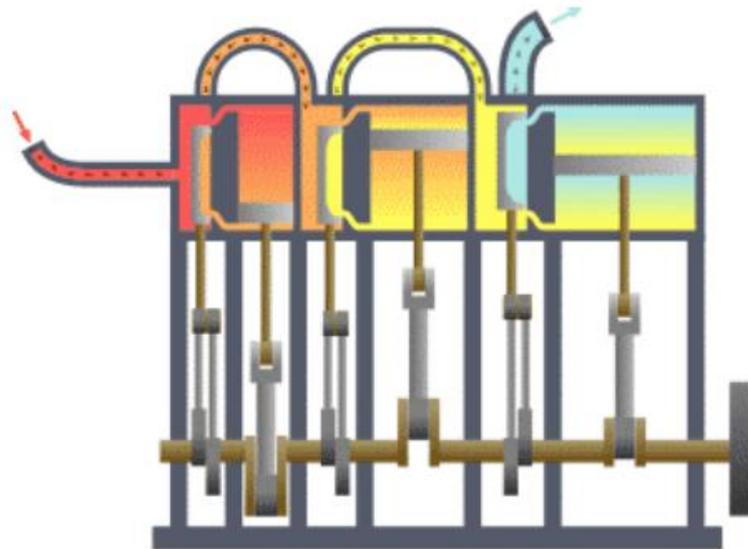
- Adsorbentes inconsolidados: Se busca optimizar la capacidad térmica, para esto el adsorbente es distribuido en el intercambiador de tubos aleteados con el fin de administrar el calor eficiente y de esta manera producir COPS aceptables, también se puede mezclar absorbente de varios tamaños de grano.
- Absorbedores recubiertos: Se los emplea en aplicaciones donde se busca un alto coeficiente de operación (COP) sin importar una alta capacidad específica de enfriamiento (SCP). Se fundamenta en aumentar el coeficiente de transferencia de calor disminuyendo la resistencia térmica de contacto entre la superficie de transferencia de calor y el adsorbente.
- Absorbedores consolidados: Otra forma de obtener un coeficiente alto de transferencia de calor es utilizar un adsorbente consolidado con mayor índice de conductividad térmica. Este material es consolidado utilizando un pegamento, fabricado de soluciones de conductividad térmica adecuada.

### **2.1.6 Estudio de la máquina refrigerante**

La máquina refrigerante trabaja de una manera completamente automática con las conocidas cuatro etapas como se observa en la figura, el fluido puede ser gel silicático y zeolita empleados como absorbente o par metanol – carbono. La etapa en la que se genera el calor y se da la evaporización del refrigerante, se conoce como “evaporador”; existe una válvula que une la cámara de adsorción con el evaporador, la misma que debe encontrarse abierta y el condensador cerrado, con la finalidad de que el refrigerante ingrese a la

cámara, que se encuentra en una presión un poco más baja que la del evaporador (Torres, 2014).

El refrigerante se adsorbe por el adsorbente, el que llegará a saturación en esta fase del proceso de adsorción; adicionalmente, se da la circulación de agua, para menguar el calor generado en este momento



**Figura 4** Máquina térmica de refrigeración

**Fuente:** Conesa (2011)

De forma simultánea en la cámara 2 se genera el proceso de desorción, en el que se regenera el adsorbente, que al momento está saturado con vapor de agua proveniente del ciclo previo. Posteriormente se hace correr agua en el intercambiador de calor. A la válvula que une el condensador con la cámara de desorción se le da apertura, por el contrario, la que conecta la cámara de desorción con el evaporador se encuentra cerrada; la presión al interior de esta es ligeramente menor.

El refrigerante cumple su función específica en el condensador, al ceder agua del circuito de torre. El vapor de agua generado pasa al evaporador por la válvula de expansión, con lo que, dado esto, se cierra el ciclo.

Al momento en que el adsorbente de la cámara 1 se encuentra saturado de agua y en la cámara 2 seco, la máquina realiza de forma inmediata, la

inversión del funcionamiento de las dos cámaras. En un primer momento se cierran las válvulas que conectan las cámaras con el evaporador y condensador, y luego, al abrir las válvulas se posibilita que las presiones de ambas cámaras logren igualarse. Luego, al agua caliente que se encuentra en la cámara de desorción, se le da circulación a la otra cámara para transferir la temperatura e iniciar el calentamiento de esta.

### **2.1.7 Sistema de captación**

Está conformado por uno o varios captadores solares térmicos que se encargan de transformar la radiación solar en energía térmica para calentar, el fluido en cuestión, es decir son lo que proveen agua caliente a la máquina para que pueda ocurrir el ciclo de desorción.

Esta etapa es una de las más importantes del sistema de adsorción con energía solar es la que sustituye la fuente de calor de otros sistemas donde no se cuente con un nivel apreciable de radiación solar, Existen varios tipos entre los cuales los de tubo de vacío y los de placa plana de alta calidad son los más utilizados en este tipo de máquinas. Mientras que los captadores de concentración parabólicos normalmente no son muy usados (Revelo & Salazar, 2015).

### **2.1.8 Sistema de acumulación**

Esta etapa amacena la energía térmica que obtuvo por medio de los de los captadores solares, donde se acumula el agua caliente o fría en diferentes tanques el momento que se lo necesita usar. Las dimensiones Del acumulador tienen la relación ancha/alto lo más pequeña para mejorar la estratificación y de esa manera optimizar el rendimiento del sistema.

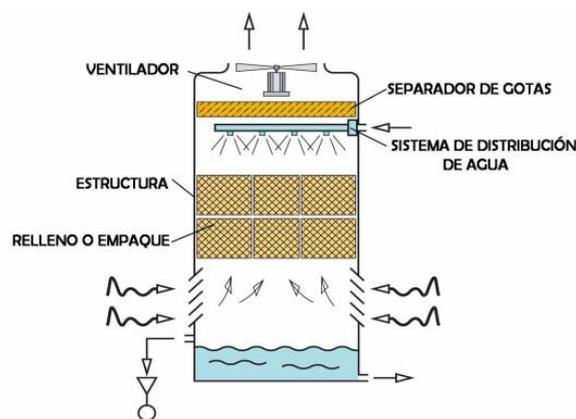
### **2.1.9 Torre de refrigeración**

Según Flores (2016) indica que:

El diseño de una torre de enfriamiento refrigera grandes volúmenes de agua, esto ocurre cuando el agua que circula y cae a través de la torre, el agua se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente

o a flujo cruzado. La temperatura de bulbo húmedo del aire es inferior a la temperatura del agua caliente, en esta condición el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, este al ganar calor eleva su temperatura y humedad mientras que la temperatura del agua desciende; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre. (p.7)

En la figura se muestra un esquema del modelo de torre de refrigeración en la que el agua es rociada sobre los serpentines que contienen el líquido refrigerante y que en este punto está en fase gaseosa. La torre de refrigeración disipa al medio ambiente el calor que ha sido ganado en la unidad de refrigeración, pues en la para disipar el calor de condensación ya que en la máquina de adsorción se condensa el agua, la misma que es recogida en un depósito desde donde es enviada de nuevo a los circuitos de refrigeración.

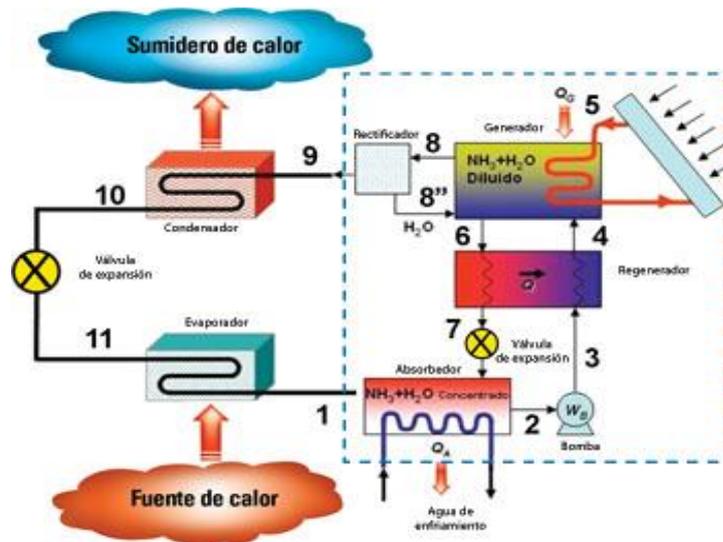


**Figura 5 Torre de refrigeración**

**Fuente:** Flores (2016)

#### **2.1.10. La radiación solar**

La máquina refrigerante utilizará energía de fuente residual, que se puede obtener mediante procesos industriales, donde existen residuos de energía en forma de vapor, que provengan de cualquier tipo de maquinaria (Manual Buenas Prácticas en Refrigeración , 2018).



**Figura 6** Refrigeración solar

**Fuente:** Dorantes (2007)

Por otra parte, en latitudes donde la radiación solar es intensa, generalmente en zonas cercanas al trópico y el Ecuador, con altos índices de insolación, se vuelve posible la construcción de generadores de colectores solares, para lo cual es necesario medir los índices de insolación dentro del territorio, lo que será útil para definir en qué localidad específica es más factible la instalación de la máquina refrigerante.

Existen varios parámetros que se emplean para la definición de estos datos, entre los que se pueden mencionar:

- Radiación extraterrestre
- Radiación directa
- Radiación difusa
- Radiación global
- Número de horas del sol
- Incidencia de la radiación sobre superficie plana
- Emitancia
- Materiales transparentes
- Angulo de incidencia
- Latitud geográfica
- Inclinación

- Angulo de Acimut
- Angulo horario
- Angulo de altitud solar
- Angulo de acimut solar
- Estimación de radiación
- Componentes directa y difusa

#### **2.1.11. Mapas de radiación solar**

Según Cañar (2014) considera:

Desde agosto del 2008 el Ecuador cuenta con un Atlas de Irradiación Solar desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) para uso y difusión del Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC. En el Atlas Solar se puede encontrar datos geo referenciados sobre radiación global, difusa y directa en el Ecuador continental, siendo este documento una importante herramienta para desarrollar proyectos de energía solar. (p.25)

Para obtener estos datos relacionados con la radiación solar estas instituciones cuentan con algunos instrumentos como el pirómetro, el pirheliómetro y heliógrafo, el primero mide la radiación total compuesta por la directa y difusa, el segundo instrumento mide solo la radiación directa y el tercer instrumento mide el número de horas de sol.

#### **2.1.12 Análisis del Colector solar**

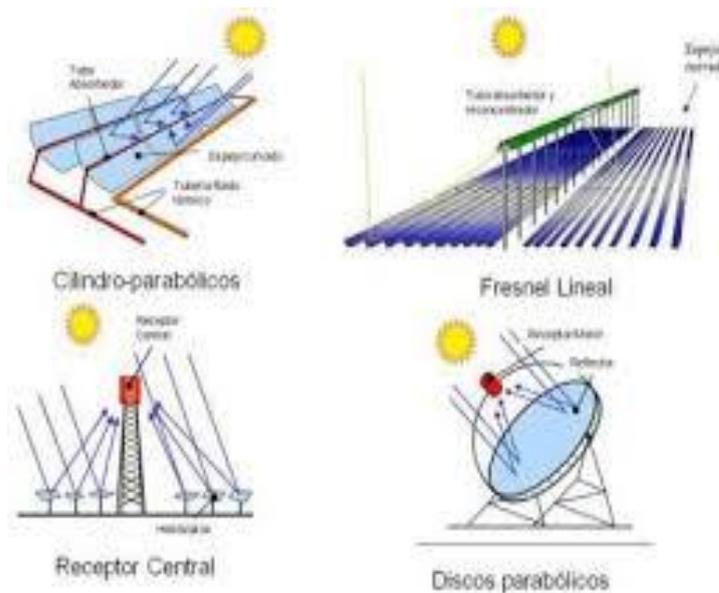
El colector tiene la función de captar energía solar y convertirla en energía térmica para entregar calor al sistema, los colectores se clasifican dependiendo del índice de concentración, esto son los que tienen concentración tales como cilindro parabólico, colector parabólico compuesto, reflector de Fresnel lineal y con reflector de plato parabólico. Por otro lado, los que no tienen concentración, esto son los de placa plana y los de tubos de vacío.

El colector de placa plana son los más utilizados, aumenta la temperatura a 60 C con un costo reducido, cuenta con una cubierta exterior para evitar las pérdidas por el viento, un adsorbente que capta la energía solar

transformándola en calor hacia el fluido que portara el calor, un aislante térmico que disminuye las pérdidas y la carcasa.

Según Recalde et al, (2015)manifiesta:

Los colectores solares transforman la radiación solar en energía térmica, reemplazan el uso de electricidad y reducen la emisión de gases efecto invernadero. Además, los costos de operación y funcionamiento son muy bajos respecto a los dispositivos eléctricos y son amigables con el ambiente. Sin embargo, la inversión inicial es muy alta, trabajan solamente con radiación total (directa y difusa) y no funcionan adecuadamente en días nublados. Por otro lado, hay numerosos tipos de colectores para aplicaciones prácticas: de placa plana, de tubos térmicos y colectores de tubos evacuados o tubos al vacío, estos últimos se agrupan según su diseño en "fluido en metal" o "fluido en vidrio.



**Figura 7** Tipos de tecnología termosolar

**Fuente:** Alegría (2016)

La característica principal es buen ángulo de aceptación que habilita todo el día sin necesidad de orientación permite también concentra la radicación difusa. En el caso del cilindro parabólico, está construido de manera de sectores cilíndricos, donde el foco lineal se ubica la tubería que tiene el fluido a calentar. La tecnología cilindro-parabólica basa su funcionamiento en el seguimiento del movimiento aparente del sol para que los rayos incidan

perpendicularmente a la superficie de captación, y en la concentración de estos rayos solares incidentes en unos tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal de los concentradores.

### **2.1.13 Modelación matemática**

En el fenómeno de adsorción no puede aplicarse el ciclo de Carnot, tal como sucede en otros sistemas, como por ejemplo en los de compresión, en los cuales se aplica el modelo de Dubinin-Atakhov, para lo cual se requiere la parametrización y caracterización con la utilización de las isóteras.

### **2.1.14 Determinación de las isóteras**

Las isóteras se definen como la medición que se realiza a una concentración de gas en oposición a una isoterma, en la cual, el gas permanece en temperatura regular y constante. La primera persona en emplear esta variable fue J. Langmuir que, en 1919, realizó estudios de las relaciones físico – químicas dentro del estudio de las moléculas de un gas

Posteriormente, con los estudios realizados por Karge Weitkamp, se conocen 2 métodos nuevos en la determinación de las isóteras en el par carbón – metanol. Se emplea este par, debido a la mejor factibilidad que presentan para su tratamiento en temperatura, regeneración, lectura y creación en laboratorio. Estos métodos son conocidos como gravimétrico y volumétrico. Entre ambos métodos, el volumétrico presenta mayor factibilidad en la determinación y medición de las isóteras.

**Tabla 1 Características de adsorción en carbón metanol**

<b>Tipo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Numero de lodo</b>	<b>granulometría</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>
ECOK-70	ECOKARBONES	700 mg/gr	4x8 TYLER	500

Fuente: Sanitron (2020)

Es recomendable emplear el método volumétrico determinación de las isóteras aplicado en el dispositivo de laboratorio para obtener un gran aporte. En el cual, se pueda verificar la teoría de DA, que indican una igualdad en las isóteras contenidas temperaturas de carbón activado y presión.

### **2.1.15 Caracterización de máquina refrigerante por ecuaciones DA**

La dimensión, las características del colector solar, cama adsorbente, evaporador y el condensador forman parte de los elementos que se consideran dentro del diseño de una máquina refrigerante. En el diseño del colector se debe de tomar en cuenta la regeneración del adsorbente, que en el caso particular, es carbón activado a 120°C. De preferencia, se debe diseñar un concentrador parabólico compuesto, con la finalidad de aprovechar la radiación difusa. Esto debe calcularse a través de modelos o simulación matemática para definir la cantidad de aire que debe removerse para lograr que el metanol pase de estado gaseoso al líquido (Tremolada, 2016).

En el diseño del evaporador, se tomará en cuenta que, el metanol que provenga del condensador deberá encontrarse a temperatura ambiente; para el caso, debe considerarse el calor sensible del metanol para la disminución de su temperatura desde el ambiente hasta el evaporador. Por ello, se determina que el mejor prototipo es a través del modelo matemático Dubinin Astarkov, cuyas principales características son:

- Altura del colector (medida desde el centro del tubo) 0.62m
- Longitud para el colector: 1.22 m
- Material refractivo: acero inoxidable
- Longitud para el reflector: 1.7 m
- Material del tubo receptor e interno: acero inoxidable
- Recubrimiento exterior: pintura negro mate
- Radio externo tubo receptor: 0.0381
- Radio externo tubo interior: 0.00635
- Aislante: lana de vidrio
- Espesor de aislante: 5 cm
- Cubierta: vidrio

- Evaporador y Condensador, material: tubería de cobre flexible
- Diámetro exterior tubo: 0.0127 m
- Espesor del tubo: 0.000813
- Longitud tubo condensador: 10 m
- Longitud tubo evaporador: 4.8 m
- Refrigerante
- Sustancia: metanol
- Volumen: 400 ml
- Recinto a enfriar, largo: 0.44 m
- Ancho: 0.32 m
- Profundidad: 0.21 m
- Cantidad de agua a enfriar: 250 cm
- Adsorbente, material: carbón activado ECOK-70
- Peso: 3.5 kg

#### **2.1.16 Refrigeración por adsorción**

Estos sistemas fundamentan su operación en la propiedad que ciertos sólidos, de alta área superficial y porosidad, poseen al momento de adsorber cantidades considerables de vapores específicos y de restituir dicho gas al momento de pasar por calentamiento. El refrigerante, que posee forma de vapor se adsorbe en la superficie interna de gránulo, perla o cristal del material adsorbente específico. Este material se retiene físicamente sin dificultad, y tiene la posibilidad de ser liberado con cierto grado de facilidad, sea por calor o al vacío. El proceso de adsorción se produce gracias a las fuerzas de Van der Waals, que acontece entre los átomos y moléculas del refrigerante y la superficie del adsorbente.

Según Argumedo, (2018) expone:

En un ciclo de refrigeración por adsorción de tipo intermitente consta de tres elementos, un evaporador, un generador adsorbente y un condensador. En el evaporador se produce el efecto frío extrayendo el calor y evaporando el refrigerante. El refrigerante en estado gaseoso es adsorbido por el lecho poroso, a medida que se condensa se genera calor de adsorción, el cual es

disipado al ambiente. En la etapa de desorción el calor captado en el generador – adsorbedor evapora el refrigerante, luego se disipa el calor en el condensador pasando a estado líquido, para comenzar un nuevo ciclo. (p.4)

El sistema de refrigeración por adsorción se compone de los siguientes elementos: dos lechos adsorbentes, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión, en la que se obtiene el efecto frigorífico. El enfriamiento requerido tanto en el condensador como en el lecho que realiza la adsorción se logra entregando calor al ambiente. La operación inicia con un lecho saturado de refrigerante, al cual se le aplica calor solar para liberar dicho refrigerante, pasando éste al condensador donde se le retira calor latente y sale en forma líquida, posteriormente se pasa por la válvula de expansión donde baja su presión y temperatura, luego ya con baja temperatura entra al evaporador donde recibe calor del área o fluido a enfriar. El refrigerante al recibir calor se evapora y finalmente entra al otro lecho de adsorbente donde es atrapado/adsorbido.

Esto continua hasta que el lecho que es calentado se agota o ya no tiene refrigerante, al mismo tiempo el lecho receptor termina saturado y se realiza el cambio de líneas para que ahora se caliente el lecho que contiene el refrigerante y lo adsorba el agotado. De esta forma se continúa produciendo el efecto frigorífico como si fuera un proceso continuo. Los pares de trabajo (adsorbente/adsorbato) más comunes son Zeolita H<sub>2</sub>O para temperaturas arriba de 0 °C y carbón activado 35/metanol para temperaturas por debajo de 0 °C. Otros menos comunes son amoníaco/SrCl<sub>2</sub>, agua/sílica gel o aire/sílica gel en los ciclos abiertos

Estos sistemas se caracterizan por tener un COP bajo (de 0.4 -0.7) y operar con baja temperatura (60 –100 °C), por lo cual se pueden usar colectores más baratos, pero los materiales adsorbentes son de precio elevado haciendo la unidad de enfriamiento todavía de coste elevado. Desde hace mucho tiempo el principio de la adsorción ha sido empleado en diferentes campos de la técnica de procesos, pero su aplicación en técnicas de refrigeración o climatización es relativamente nueva. Es entre los años veinte y treinta del

siglo XX cuando se desarrolló la máquina de refrigeración por adsorción, desplazada enseguida por la aplicación de los compuestos CFC, descubiertos en aquella época en los sistemas de refrigeración por compresión.

Una de las razones más notables para su sustitución fue el carácter intermitente de su funcionamiento. En 1927, la firma Copeland y la corporación americana Sílica - Gel Corp. presentaron una máquina de refrigeración por adsorción con sílica - gel. Esta tecnología fue luego introducida por la firma Safety Car Heating y Lighting Co. en el enfriamiento de vagones ferroviarios. Después de numerosas pruebas bajo las distintas condiciones, el sistema desarrollado convenció tanto que se comenzó a realizar su producción en serie y se construyeron 50 vagones ferroviarios con dicha tecnología de enfriamiento para el transporte de pescado. En este sistema fue utilizado SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) como refrigerante.

Este tipo de equipo no pudo mantenerse por mucho tiempo en operación por que la sílica - gel disminuía el nivel y capacidad de adsorción a través del tiempo, lo cual tenía una incidencia directa en la disminución del rendimiento.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

### 3.1. Comparación de los distintos sistemas refrigerantes

Para la refrigeración de espacios existen dos tipos de sistemas a emplear: los de compresión y los de adsorción. Los sistemas de compresión se basan en el ciclo frigorífico convencional (o también llamado de compresión); éste consiste en la cesión de calor, por parte de un fluido frigorígeno, al condensador (unidad exterior), para adsorberlo posteriormente en el evaporador, enfriando la estancia o ambiente al que sirve.

Según Yáñez (2020) expresa:

Existen varios instrumentos de control de flujo que pueden emplearse, pero en la ilustración se considera únicamente la válvula de expansión, la cual controla la alimentación del refrigerante líquido al evaporador, y por medio de un pequeño orificio reduce la presión y la temperatura del refrigerante. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste hierva o se vaporice, hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la de su presión.

Los equipos de compresión, en definitiva, transportan calor de un lugar a otro, aprovechando la energía contenida en el aire; de ahí que su rendimiento sea superior a 1 (100 %), pudiendo llegar a 4-5. Su fuente de alimentación es la energía eléctrica. Estos equipos funcionan mediante el aumento y descenso de la presión del fluido frigorígeno; al tratarse de circuitos cerrados, al variar la presión, varía la temperatura.

Por contra, el ciclo de adsorción, si bien nace del ciclo de compresión, presenta diferencias con respecto a éste, basándose en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el agua y determinadas sales como el Bromuro de Litio, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias como el amoniaco y el agua, respectivamente. En definitiva, se trata de disponer de un adsorbente (bromuro de litio o agua) más un refrigerante (agua o amoniaco).

Según Zúñiga, Vallejo, & Vega (2019) asevera:

En el acondicionamiento de espacios, el par absorbente/refrigerante más utilizado es bromuro de litio/agua. Los sistemas de absorción de una etapa requieren una fuente externa de calor a una temperatura entre 80 °C y 120 °C, y tienen un desempeño menor. La ventaja de los sistemas de absorción versus los sistemas de compresión es la posibilidad de utilizar fuentes de energía libres o residuales

Eso sí, como fuente de alimentación para los sistemas de absorción se puede emplear gas, biomasa, energía solar, conociéndose en este último caso como frío o refrigeración solar. He aquí la gran ventaja de los sistemas de absorción frente a los de compresión, la posibilidad de emplear fuentes de energía gratuita o residual.

### **3.2. Análisis de Costos**

Se determinará el costo fijo del equipo, costo variable que depende del mantenimiento para ello se conoce que:

Costo de materiales: 550 dólares Costo de mano de obra: 200 dólares  
Total, costo fijo: 750 dólares

Costo variable mantenimiento: 150 dólares Producción: 5-10 kg de hielo diario

#### **3.2.1. Equipos comerciales**

De acuerdo con el sitio web (ecuclima) la máquina que fabrica hielo, modelo snowman tiene un consumo de energía de 3.7 Kwh y produce 80.0 kg por día por lo tanto al año será:

- Precio 4500 Costo fijo: 4500 dólares
- Total, costo fijo: 4500 dólares
- Costo energía  $3.7 \times 0.091 \times 24 \times 30 = 242.424$  dólares al mes Costo energía al año:  $242.424 \times 12 = 2.909$  dólares
- A 0.091 dolares por Kwh
- Mantenimiento del equipo: 190 dólares por año Costo variable: 950 dólares

**Tabla 2 Análisis de costos**

<b>COSTO FIJO</b>	1150	4500
<b>COSTO VARIABLE</b>	220	950
<b>PRODUCCION</b>	10/día=3650/año	80/día=29200/año
<b>INGRESO ANUAL</b>	2800	23.360

Elaborado por: El autor

Fuente: Santin (2020)

Se puede notar que la producción del compresor es 6.2 veces mayor.

**Tabla 3 Costo variable por mantenimiento (en dólares)**

	<b>SOLAR</b>	<b>SOLAR ACUMULADO</b>	<b>COMPRESOR</b>	<b>COMPRESOR ACUMULADO</b>
<b>AÑO</b>	1150		4500	
1	190	1340	950	5450
2	290	1440	950	6400
3	390	1540	950	7350
4	490	1640	950	8300
5	590	1740	950	9250

Elaborado por: El autor

Fuente: Santin (2020)

### 3.3. Ventajas y desventajas

Se observa que los prototipos poseen una producción mínima de 10kg. Usualmente de hielo a diferencia de los comerciales que producen 60kg estableciendo así, un valor más alto de 6 veces más en comparación a cinco años se observa un aproximado de 4.5 veces al valor superior.

Por ende, este equipo es dos veces mejor. Aun estos equipos están en proceso de prueba así, se ha logrado un mayor incremento en el colector solar y las dimensiones que espera una producción de diez veces más alta, en el cual, se reduce los costos productivos, uno de los beneficios se enfoca en la instalación en sector que carece de energía eléctrica o sus costos sean

elevados, que tenga energía fotovoltaica o termo generadores que no se conecte con el sistema nacional.

A continuación, se van a explicar la comparación en diversos prototipos:

- Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción, empleando carbón activado/metanol, investigación realizada por el Ing. Esp. Mariela Sánchez Díaz\* y Dr. Juan José González Bayón
- Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbón activado. E.
- Refrigerador solar para producción de hielo usando carbón activo metanol realizado por Antonio Pralon y Ferreira Leite.

### **3.4. Fabricantes de máquinas en funcionamiento**

Existe dos fabricantes de Japón de enfriadoras de adsorción que son; Mycom–Mayekawa y Nishiyodo y otros tres pertenecientes a Alemania; GBU, Invensor y Sor Tech AG.

Las enfriadoras en Japón aplican potencias elevadas (70 – 500 kW) a diferencia de las alemanas que poseen herramientas más pequeñas (7 – 50 kW). Con el nombre de MYCOM, Mayekawa Mfg. Co. Ltd. Esta elabora una enfriadora de adsorción de gel de sílice/agua (modelos ADREF) con rangos entre los 35 hasta 350 kW empleadas en los aires acondicionado.

Esta funciona en temperaturas altas entre 60 – 90 °C. el COP calcula temperatura de 9 °C de salida, 75 °C de agua caliente a la entrada y 30 °C al ambiente que se basa a 0.6. Por lo general si su capacidad es de un 6% para enfriar y el porcentaje peso/ enfriamiento al culminar es de 0.2 toneladas/ kw.

Y lo que se puede observar viendo la tabla 3.4 sobre los fabricantes, los alemanes ofertan máquinas de adsorción de potencia Pequeña (8 – 15 kW, a excepción de GBU que puede llegar a tener modelos de potencia superior a 400 kW) para usos en viviendas, oficinas o pequeña industria, mientras que fabricante japonés y el norteamericano ofertan máquinas de mucha potencia para grandes industrias en general (10 – 1200 kW).

**Tabla 4 Comparación entre fabricante de máquinas refrigerantes**

	P(kw)	COP	Temp	Temp	t. agua fria	Peso kg.	Par trabajo
INVERSO R HTC 11 H ACS08	11	0.52	45-100	20-37	10-23	365	SILICE AGUA
SORTEC H ACS 15	35	0.6	50-95	22-37	6-20	580	SILICE AGUA
INVERSO R LTC 09	9.5	0.61	40-100	20-36	10-23	360	ZEOLITA AGUA
SORTEC H ACS08	8	0.7	55-95	22-37	5-20	285	ZEOLITA AGUA
SWAC	9	0.5	85	20	5	1499	SILICE AGUA

Elaborado por: El autor

Fuente: Santin (2020)

El fabricante chino de momento sólo lleva a cabo prototipos para investigación y mejora. A nivel de parejas de trabajo utilizadas para el proceso de adsorción, hay una clara mayoría de fabricantes que se inclinan por usar el par gel de sílice / agua mientras que sólo uno se decide por el par zeolita / agua. El motivo de usar zeolita es porque en comparación con los adsorbentes de gel de sílice ampliamente difundidos hasta ahora, la técnica de refrigeración usando la adsorbente zeolita de la empresa Inventor permite alcanzar potencias más elevadas con un consumo de energía de accionamiento más reducida. En un punto de funcionamiento una enfriadora de gel de sílice similar necesita un 16 % más de energía para dar la misma potencia de enfriamiento que equipos que usen zeolita.

En cuanto a rendimiento, el COP es muy parecido en todos los fabricantes (figura 47). Entre 0.5 – 0.65 se encuentran casi todos los fabricantes menos el prototipo chino que sólo alcanza el 0.4. Por tanto, no se comprueba que haya una relación entre la potencia de una máquina de adsorción y su rendimiento ya que éste casi no varía.

En cuanto al peso de cada máquina, el prototipo chino es, en comparación con el resto de los fabricantes en su mismo rango de potencia, superior ya

que tiene un peso total de 1500 kg mientras que el resto oscilan entre los 300 – 600 kg.

En esta figura se comprueba cómo hay mayoría de fabricantes alemanes hoy en día, también un importante fabricante japonés que fue de los primeros en apostar por esta tecnología, mientras que otro japonés como Mayekawa actualmente parece ser que no se dedica a esta tecnología. También hay un fabricante norteamericano y un fabricante chino que próximamente comercializará sus productos.

Por consiguiente, se puede visualizar que no existe mucha diferenciación en las temperaturas de ambos fabricantes puesto que, lo mínimo que deben tener es 45 – 60 °C y la máxima entre los 90 – 100 °C. Y lograr que agua fría tenga una temperatura de los 3 – 10 °C y la máxima entre los 15 – 24 °C.

En lo que respecta a la temperatura del agua caliente se puede usar como inversor que le permite función a menores temperaturas en comparación a los otros (hasta los 45 °C) ya que, normalmente estas cámaras solo funcionan a temperaturas inferiores (50 – 60 °C) que los de absorción (que a temperaturas menores a 80 °C disminuyendo su capacidad mediante el ahorro de energía que genera calentar agua constantemente, en el que se establece que será la decisión más idónea ya que se consumirá en el sistema unos 1000 €/kW enfriamiento.

Otras de las alternativas que pueden funcionar es el sistema de adsorción el de una y dos etapas que se gastaría 1200€/kW enfriamiento en comparación a los sistemas desecantes que deben utilizar cantidades grandes de aire y agua.

Es común conocer que la mayoría de estos sistemas utilizan el sistema gel de sílice/agua que se manejan de forma cíclica mediante dos cámaras distantes relacionados con el proceso de sorción/ desorción. El gel de sílice puede ser empleado como refrigerante para una adsorción de dos fases, que puede hacer uso de calor natural poco utilizado y a la vez lograr mayor eficacia sin

gastos eléctricos. Su valor es muy reducido en comparación a las máquinas de adsorción. Estos solo son diseñados en Japón y Alemania, pero en la actualidad se han realizado instalaciones en Estados Unidos y países europeos.

La refrigeración de adsorción es aplicada en diversos mercados como: refrigeración de oficinas, organizaciones alimenticias, organizaciones químicas, cervecerías, en agricultura incluso para calefacción. Los valores finales detallados de los sistemas de refrigeración se encuentran en Europa con valores como 5000y 8000 €/kW.

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

En el presente trabajo investigativo se estableció la comparación entre los beneficios relacionados a lo económico y lo productivo, y de igual manera el estado del arte de los prototipos que han podido desarrollarse a la fecha en centros de estudio universitario, como aquellos que utilizan energía residual y tienen vida vigente dentro del mercado.

Este tipo de sistemas, los que utilizan radiación solar para aplicar enfriamiento por adsorción, aún se encuentran en etapa experimental; por el contrario, aquellos que utilizan el calor residual provenientes de turbinas, o calderas de otro equipo, son los que, por lo general, tienen un calificativo comercial y compiten en el mercado.

Desde la perspectiva de la factibilidad técnica y económica, los sistemas clásicos de compresión representan una alternativa idónea; sin embargo, dentro de esa caracterización, no han sido incluidas variables de impacto ambiental como, por ejemplo, emisión de gases de efecto invernadero a la capa de ozono, que efectivamente, tendrán una incidencia directa en próximas décadas.

En lugares alejados o inhóspitos, que no cuenten con una conexión con el sistema interconectado de energía, como lo son las centrales hidroeléctricas; la utilización de sistemas de adsorción que utilizan la energía solar, podría representar una alternativa económica y de gran utilidad en zonas con una alta presencia de radiación generada por el sol, como lo son, la selva amazónica, plataformas marinas y desiertos.

Se determinó una verdadera utilidad y beneficio económico en la elección de un sistema de enfriamiento por adsorción, que emplea el par carbón activo – metanol, aplicable en zonas que se encuentren fuera del alcance de la red eléctrica.

## **4.2. Recomendaciones**

Realizar una revisión periódica de los prototipos que se encuentran en trabajos de investigación y que ya hayan pasado su fase de experimentación, para seleccionar los más factibles en el aspecto económico, para su aplicación en zonas donde la energía eléctrica tenga un alto costo, o no se disponga del acceso a la misma.

Dar impulso a las investigaciones que se preocupen en encontrar nuevas formas en la producción de hielo, ya sea con el incremento en la dimensión de las partes en las máquinas que emplean el principio de adsorción, o a través de la conexión en serie de esta, para lograr el incremento de la producción de hielo, para la resolución de problemas en la conservación de alimentos.

Promover la investigación posterior a este trabajo y tomarlo como referente, en el uso del principio de adsorción en las máquinas de climatización que utilicen la energía solar, específicamente, la radiación.

## Bibliografía

- Alegría, D. (30 de 06 de 2016). *repositorio.unican.es*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8543/DAA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alma de Herrero. (27 de 01 de 2008). *almadeherrero.blogspot.com*. Obtenido de <http://almadeherrero.blogspot.com/2008/01/refrigeradores-solares-de-absorcion.html>
- Amancio, S. (25 de 11 de 2019). *.es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/436859081/Fficio>
- Argumedo, C. (2018). *bdigital.unal.edu.co*. Obtenido de [bdigital.unal.edu.co: http://bdigital.unal.edu.co/64483/1/15679104.2018.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/64483/1/15679104.2018.pdf)
- Aylas, A. (09 de 06 de 2017). *es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/AndleAylas/evaporadores-parte-i2013>
- Beltrán, C. (2018). *repository.unilibre.edu.co*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15916/Tesis%20Potencial%20de%20Radiaci%C3%B3n%20solar%20Final%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blesa, M., & Cicerone, D. (05 de 2020). *aargentinapciencias.org*. Obtenido de [https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2020/05/CIENCIAS\\_EXACTAS\\_Y\\_NATURALES\\_PARA\\_LA\\_GESTION\\_AMBIENTAL.pdf](https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2020/05/CIENCIAS_EXACTAS_Y_NATURALES_PARA_LA_GESTION_AMBIENTAL.pdf)
- Bravo, V. (04 de 2015). *A LOS IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE LOS RECURSOS NATURALES*. Argentina: Fundacion Bariloche. Obtenido de [http://fundacionbariloche.org.ar/wp-content/uploads/2016/12/INTRODUCCION-A-LOS-IMPACTOS-AMBIENTALES-VB-2015.docx1\\_.pdf](http://fundacionbariloche.org.ar/wp-content/uploads/2016/12/INTRODUCCION-A-LOS-IMPACTOS-AMBIENTALES-VB-2015.docx1_.pdf)
- Buen Conocer. (13 de 02 de 2015). *book.floksociety.org*. Obtenido de <https://book.floksociety.org/ec/2-4-energia-conocimientos-libres-y-empoderamiento-social-para-un-cambio-de-matriz-energetica/>
- Cabeza, M. (10 de 12 de 2015). *es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/milagrocabeza/metodo-de-estudio-de-caso>
- Cañar, D. (2014). *dspace.ucuenca.edu.ec*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20895/1/Tesis.pdf>
- Castelo et al. (03 de 2018). *www.eumed.net*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/sistemas-refrigeracion.html>
- Chiriboga, J., & Collaguazo, P. (08 de 2018). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15968/1/UPS-ST003730.pdf>

- Conesa, J. (15 de 04 de 2011). *rua.ua.es*. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- Dorantes, R. (10 de 2007). *www.mundohvacr.com.mx*. Obtenido de <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/10/la-refrigeracion-solar/>
- Energía solar. (28 de 09 de 2015). *solar-energia.net*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/componentes/colector-solar-termico>
- Flores, E. (2016). *repositorio.unsa.edu.pe*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3243/Mcflsael.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, N. (06 de 2014). *digital.csic.es*. Obtenido de [https://digital.csic.es/bitstream/10261/103330/1/Tesis\\_Natalia%20Garc%C3%ADa%20Asenjo.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/103330/1/Tesis_Natalia%20Garc%C3%ADa%20Asenjo.pdf)
- Greenpeace. (07 de 2019). *www.ulpgc.es*. Obtenido de <https://www.ulpgc.es/sites/default/files/ArchivosULPGC/noticia/2019/Jul/en-marcha-por-el-clima-lr-1.pdf>
- Guevara, R. (27 de 01 de 2017). *www.scielo.org.co*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/folios/n44/n44a11.pdf>
- Guía del apoyo docente ne el cambio climático. (08 de 2018). *mma.gob.cl*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-apoyo-docente-en-Cambio-Climatico.pdf>
- Gutiérrez, C., & Tijerino, L. (2016). *ribuni.uni.edu.ni*. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/1190/1/80582.pdf>
- Informe Especial del Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. (03 de 2018). *www.ipcc.ch*. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren\\_report\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf)
- Leyva, R. (10 de 2017). *www.researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/320407302\\_Importancia\\_y\\_Aplicaciones\\_de\\_la\\_Adsorcion\\_en\\_Fase\\_Liquida](https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida)
- Leyva, R. (10 de 2017). *www.researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/320407302\\_Importancia\\_y\\_Aplicaciones\\_de\\_la\\_Adsorcion\\_en\\_Fase\\_Liquida](https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida)
- Manual Buenas Prácticas en Refrigeración . (06 de 2018). *www.mades.gov.p*. Obtenido de <http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/06/Manual-Buenas-Practicas.pdf>
- Martínez, J. (06 de 2018). *es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/380718935/Unidad-4-refrigeracion-y-aire-acondicionado-Normas-APA>

- Moreno, F., Bandarra, E., & Guevara, D. (25 de 09 de 2017). */scielo.conicyt.cl*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26n4/0718-3305-ingeniare-26-04-00622.pdf>
- Navarrete, D., Quijano, N., & Vélez, C. (2014). *www.dspace.espol.edu.e*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/29845/1/D-70080.pdf>
- Orihuela, E. (2015). *eprints.ucm.es*. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/52719/1/5309859314.pdf>
- Ospino, A. (13 de 01 de 2019). *es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ANTONIOFAVIOOSPINOMA/capitulo-iii-condensador-y-el- evaporador-en-refrigeracion-y-climtizacin>
- Proaño, L. (05 de 03 de 2018). *repositorio.ucsg.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10163/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-140.pdf>
- Recalde et al. (08 de 2015). *scielo.conicyt.cl*. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642015000400012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000400012)
- Revelo, M., & Salazar, S. (0 de 05 de 2015). */bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10567/1/CD-6251.pdf>
- Revista CeroGrados. (25 de 10 de 2019). *Ogrados.com.mx*. Obtenido de <https://0grados.com.mx/la-invencion-de-carre-para-el-frio/>
- Rodríguez et al. (04 de 2016). */scielo.sld.cu*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012016000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012016000100003)
- Rodríguez, Á., & Torres, J. (2018). Obtenido de <file:///C:/Users/Windows7/Downloads/IQtoarjv.pdf>
- Romero, J., & Carbonell, T. (12 de 2014). *scielo.sld.cu*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012014000300013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300013)
- Romero, J., & Carbonell, T. (12 de 2014). *scielo.sld.cu*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012014000300013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300013)
- Santin. (20 de 7 de 2020). *Sanicarb*. Obtenido de <https://www.sanitronec.com/producto/sanicarb-carbon-activado-granular-1050/>
- Sinche, J., & Vilcatoma, T. (2019). *repositorio.uncp.edu.pe*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5239/Shinche%20-%20Vilctoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Taborda-, E., Jurado, W., & Cortés, F. (16 de 12 de 2015). */www.scielo.org.co*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n39/n39a07.pdf>

- Templeton, I. (12 de 2016). *cimav.repositorioinstitucional.mx*. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/914/1/%27lv%C3%A1n%20Levi%20Templeton%20Olivares%20MER.pdf>
- Torres, D. (06 de 2014). *e-archivo.uc3m.es*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22946/PFC\\_david\\_torres\\_cicuendez\\_2014.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22946/PFC_david_torres_cicuendez_2014.pdf)
- Tremolada, G. (26 de 08 de 2016). */core.ac.uk*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/29405196.pdf>
- Vélez, L. (06 de 11 de 2018). */makinandovelez.wordpress.com*. Obtenido de <https://makinandovelez.wordpress.com/tag/maquinas-frigorificas/>
- Villatoro, Francisco. (24 de 01 de 2016). *francis.naukas.com*. Obtenido de <https://francis.naukas.com/2016/01/24/kuhn/>
- XVII Encuentro de Superficies y Materiales Nanoestructurados. (03 de 2017). *fisica.cab.cnea.gov.ar*. Obtenido de [https://fisica.cab.cnea.gov.ar/nano2017/images/figuras/XVII\\_Encuentro\\_de\\_Superficies\\_y\\_Materiales\\_Nanoestructurados\\_libro\\_de\\_resumenes\\_version\\_Completa.pdf](https://fisica.cab.cnea.gov.ar/nano2017/images/figuras/XVII_Encuentro_de_Superficies_y_Materiales_Nanoestructurados_libro_de_resumenes_version_Completa.pdf)
- Yáñez, G. (22 de 08 de 2020). */www.gildardoyanez.com*. Obtenido de <https://www.gildardoyanez.com/tips/ciclo-de-refrigeracion/>
- Yáñez, G. (22 de 08 de 2020). *www.gildardoyanez.com*. Obtenido de <https://www.gildardoyanez.com/tips/ciclo-de-refrigeracion/>
- Zúñiga, H., Vallejo, E., & Vega, J. (06 de 2019). *scielo.senescyt.gob.ec*. Obtenido de [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-860X2019000100041](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2019000100041)

## **ANEXOS**

## Anexo 1.1: Valoración de fabricación de colector solar

COSTOS DE FABRICACION DEL EQUIPO		
CANT.	DESCRIPCION	COSTO (USD)
20	Tubo cofre flexible 1/2	135
4	Neplox Polimer 1/2 * 20cm	1,5
2litr	Sellador	15
1	Valvulas de bola gas 1	45
1	Caja Termica amarilla	85
2	Teflon amarillo	1,2
5	Silicon transparente	12
4	Ruedas 4 pulgadas 110 kg	12
2	Plancha de acero inoxidable	120
3	Ace. Inox Rosca 90npt	30
1.5	Ace. Inox Plancha 4mm	23
4	Ac. Inox Neplo roscado 1/2 *200	17
2	Tubo Inox. 3004l 1/2p	6,3
3	Tubo Inox. 304l 1/2p	9,9
2	Tubo Inox. 3p	7,8
4	Papel Aluminio	9,25
2	Pintulax Roja	30,5
100	Tornillos punta broca 1*8	4,6
3	Broca Titanium 2.5 mm	3,5
3	Broca Titanium 4.5 mm	3,5
6	Conexiones cumb 1/2 macho	60
2	Conexiones cumb 1/2 hembra	25
7,5	Tuberia de cobre	135
3	Lijas de hierro	4,5
3	Lijas de madera	3,5
3	Cintas Dupto	10
3	Neplox Conexión 1/2	3,5
2	TEE HG	3,2
2	Electrodos E30	60
2	Estructuras de madera	220
3	Boquilla manguera 1/2 *1/8	15
3	Canaletes 1/2	4,5
3	Vidrios	95
2	Planchas de acero 3mm	90
TOTAL		1149,75

Elaborado por: El autor

## Anexo 1.2: Rendimientos de colector solar

**Tabla 2.** Rendimientos del colector solar

Simulación	Eficiencia Térmica $\eta$ (%)	Calor máximo $q$ (%)	Pérdidas de energía $U$ ( $W/m^2\text{°C}$ )	Temperatura de salida $T_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Placa de Cobre, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Poliuretano	45,44	89,16	9,0039	103,23
Placa de Cobre, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{1}{2}$ , Poliuretano	45,44	89,16	9,0039	103,23
Placa de Aluminio, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Poliuretano	45,13	87,82	8,86	02,83
Placa de Cobre, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Polietileno	44,27	88,05	9,21	100,8
Placa de Aluminio, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Poliestireno	43,95	86,67	9,07	100,39
Placa de Cobre, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Fibra de Vidrio	44,55	88,3	9,17	101,36
Placa de Aluminio, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Fibra de Vidrio	44,55	86,95	9,02	100,99
Placa de Cobre, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Celulosa	43,9	87,75	9,29	100,02
Placa de Aluminio, Tubo de cobre $\frac{1}{2}$ , Cabezal cobre $\frac{3}{4}$ , Celulosa	43,6	86,33	9,14	99,64

Fuente: Rodríguez et al (2016)



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Santin Castro, Marcel Andre** con C.C: # 070655657-8 autor del Trabajo de Titulación: **Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción carbón activado / adsorbato** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Santin Castro, Marcel Andre

C.C: 070655657-8

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción carbón activado / adsorbato		
<b>AUTOR(ES)</b>	Santin Castro, Marcel Andre		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico-Mecánico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	18 de Septiembre del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	61
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas Microcontroladores, Diseño Electrónico		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, ABSORCIÓN, CARBÓN ACTIVADO, SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, SISTEMAS DE COMPRESIÓN		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El trabajo actual corresponde a un estudio de un sistema de enfriamiento por absorción de carbón activado, y el correspondiente estudio de factibilidad, técnica y económica, que de sustento de acción a dicha propuesta. Un sistema de refrigeración a través de “adsorción” es una forma de generar frio, al aprovechar las sustancias que absorben el calor al pasar de estado líquido a gaseoso. Se compararán dos procesos, el que utiliza un compresor y el que utiliza una bomba refrigerante, compuesta por un generador y absorbedor. Las variables cualitativas en el estudio serán la refrigeración frente al ahorro del consumo de energía eléctrica y la incidencia frente a la contaminación ambiental. Se determina la conveniencia del estudio, debido a que, los índices de radiación solar existentes en nuestro país son extremadamente altos, por lo tanto, existe la factibilidad operativa en la construcción, implementación y explotación de este tipo de maquinaria refrigerante. Los sistemas de enfriamiento que emplean la absorción de radiación solar, aún se encuentran en fase experimental, pero se emplea el calor remanente que sale de una turbina de otro equipo, este tipo de equipo ya son comerciales y pueden participar en el mercado. Los sistemas de compresión clásicos son más factibles en lo técnico y económico, sin embargo, se incluyen a consideración otras variables que no han sido incluidas dentro de la cuantificación, como el perjuicio al medio ambiente relacionado a la emisión de gases a la capa de ozono.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593987695440	E-mail: arturo_jacs@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-67608298		
	E-mail: <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			