



**UNIVERSIDAD CÁTOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TEMA:**

Estudio de un sistema de refrigeración a través de la adsorción carbón  
activado-metanol utilizando fuentes renovables de energía

**AUTOR:**

Veloz Arias, Diego Steven

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

**TUTOR:**

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil- Ecuador

5 de marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CÁTOLICA  
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 **Veloz Arias, Diego Steven** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico.**

**TUTOR:**

---

**Bohórquez Escobar, Celso Bayardo**

**DIRECTOR DE CARRERA**

---

**HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**

Guayaquil, a los 5 días del mes de marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CÁTOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Veloz Arias, Diego Steven**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A TRAVÉS DE LA ADSORCIÓN CARBÓN ACTIVADO-METANOL UTILIZANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA**” 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 auditoria.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación.

Guayaquil, a los 5 días del mes de marzo del 2018

AUTOR:

---

VELOZ ARIAS, DIEGO STEVEN



**UNIVERSIDAD CÁTOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Veloz Arias, Diego Steven**

Autorizo a la universidad católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación: “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A TRAVÉS DE LA ADSORCIÓN CARBÓN ACTIVADO-METANOL UTILIZANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de marzo del 2018

AUTOR:

---

VELOZ ARIAS, DIEGO STEVEN

# REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, document metadata is shown: 'Documento: TESIS DIEGO STEVEN VELOZ FINAL.docx (D35883298)', 'Presentado: 2018-02-24 02:27 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Mostrar el mensaje completo'. A summary indicates '3% de estas 26 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' table lists sources with their similarity percentages and checkboxes:

Porcentaje	Descripción de la Fuente	Estado
37%	El par carbón activado/metanol es el seleccionado para este trabajo, ya que el refr...	<input checked="" type="checkbox"/>
100%	Radiación solar promedio: 13 MJ/m2. Temperatura en el condensador: 35 °C. Tem...	<input type="checkbox"/>
97%	la producción de 3 kg de hielo, en un refrigerador solar por adsorción empleando ...	<input type="checkbox"/>
	<a href="http://fbposgrado.org/icuall/Estudio%20de%20caso.pdf">http://fbposgrado.org/icuall/Estudio%20de%20caso.pdf</a>	<input type="checkbox"/>
95%	El método de estudio de caso es una estrategia metodológica de investigación cie...	<input type="checkbox"/>

Below the table, the document's content is displayed, including the university name (UNIVERSIDAD CÁTOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL), the faculty (FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA), the subject (ELECTRICO-MECÁNICA), the title (TEMA: ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A TRAVÉS DE LA ADSORCIÓN DEL PAR CARBÓN ACTIVADO-METANOL UTILIZANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA), the author (AUTOR: VELOZ ARIAS, DIEGO STEVEN), the tutor (TUTOR: BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO), and the location (Guayaquil- Ecuador).

Reporte Urkund del Trabajo de titulación **“Estudio de un sistema de refrigeración a través de la adsorción carbón activado-metanol utilizando fuentes renovables de energía”** del estudiante Veloz Arias, Diego Steven al 3% de coincidencias.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por darme vida, por darme la fuerza y la voluntad cada día para poder estudiar y no darme por vencido en los retos que da la vida.

Agradezco a mi señor padre por darme buenos ejemplos de superación, por apoyarme durante estos 5 años de carrera y lograr a que alcance mis metas de las cuales tanto el como yo se siente orgulloso.

Agradecer a mi señora madre por no darse por vencida y tener fe en mí de que podía llegar a este logro.

Agradezco a la compañía MEM por darme la facilidad para concluir este trabajo de titulación.

Veloz Arias, Diego Steven

## **DEDICATORIA**

Dedico todo este trabajo de titulación, primeramente, a Dios por darme un día a día con fe de ánimo y esperanza, luego a mi familia en especial a mi abuela que es mi pilar fundamental en la que me brindaron, enseñanza, día a día por nunca haber desconfiado durante estos cinco años hasta lograr unos de mis objetivos ser Ingeniero de la república del Ecuador sin nunca darme por vencido en mis metas propuestas.

Veloz Arias, Diego Steven



**UNIVERSIDAD CÁTOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO**  
COORDINADOR DE TITULACION

f. \_\_\_\_\_  
**ECHEVERRÍA PARRA, RICARDO JAVIER**  
OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.2. Justificación y alcance .....	15
1.3. Planteamiento del problema.....	16
1.3.1.    Formulación de variables de investigación .....	18
1.4.            Objetivos .....	18
1.4.1.    Objetivo General .....	18
1.4.2.    Objetivo Específico.....	18
1.5.            Metodología de investigación .....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	20
2.1.            Estado del arte .....	20
2.1.1.    Trayectoria de los investigadores .....	28
2.1.2.    El fenómeno de adsorción .....	28
2.2.            Clasificación .....	29
2.2.1.    Adsorción física .....	29
2.2.2.    Adsorción química .....	30
2.3.            Materiales adsorbentes .....	30
2.3.1.    Carbón activo. ....	31
2.3.2.    Gel de sílice. ....	31
2.3.3.    Alúmina activada. ....	31
2.3.4.    Zeolitas tipo tamiz molecular. ....	31
2.3.5.    Polímeros o resinas sintéticas. ....	31
2.4.            Etapas en el proceso de enfriamiento .....	32
2.5.            Evaporador.....	34

2.6.	Condensador .....	34
2.7.	Generador .....	34
2.8.	El par carbón activado-metanol.....	35
2.9.	Estudio de la máquina refrigerante.....	36
2.10.	Sistema de captación.....	39
2.11.	Sistema de acumulación .....	39
2.12.	Torre de refrigeración.....	40
2.13.	La radiación solar.....	40
2.14.	Mapas de radiación solar .....	41
2.15.	Análisis del Colector solar .....	42
2.16.	Modelación matemática .....	44
2.17.	Determinación de las isóteras .....	44
2.18.	Caracterización de máquina refrigerante por ecuaciones DA.....	47
2.18.1.	Refrigeración por adsorción.....	48
CAPITULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS .....		52
3.1.	Comparación de los distintos sistemas refrigerantes.....	52
3.2.	Análisis de Costos.....	53
3.2.1.	Equipos comerciales.....	53
3.3.	Ventajas y desventajas .....	54
3.4.	Fabricantes de máquinas en funcionamiento .....	55
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		60
4.1.	Conclusiones .....	60
4.2.	Recomendaciones .....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		62
ANEXOS .....		65

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 2. 1: Esquema con fases del proceso de enfriamiento .....	32
Figura 2. 2: Esquema del ciclo para la refrigeración convencional .....	33
Figura 2. 3: Esquema de operación de un intercambiador de calor .....	36
Figura 2. 4: Recorrido y ciclo del calentamiento de agua con colector solar	37
Figura 2. 5: Modelo de torre de refrigeración con líquido refrigerante .....	40
Figura 2. 6: Atlas Solar del Ecuador .....	42
Figura 2. 7: Incidencia de rayos solares en colectores parabólicos .....	43
Figura 2. 8: Sistema con adsorción de par carbón activado-metanol .....	45
Figura 2. 9: Iteraciones a través del programa Datafit.....	46
Figura 2. 10: Curvas de isóteras del carbón activado-metanol.....	46
Figura 2. 11: Sistema de funcionamiento y componentes de la maquina .....	51

### Capítulo 3

Figura 3. 1: Fabricación de máquina, enviada a África .....	59
---	----

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Características de adsorción en carbón metanol.....	44
---	----

### Capítulo 3

Tabla 3. 1: Análisis de costos .....	54
Tabla 3. 2: Costo variable por mantenimiento (en dólares) .....	54
Tabla 3. 3: Comparación de los prototipos producidos .....	55
Tabla 3. 4: Comparación entre fabricante de máquinas refrigerantes .....	56

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación comprende el estudio de la factibilidad técnica y económica de una máquina refrigerante usando el par carbón activado metanol empleando la energía solar. Se emplea la investigación bibliográfica en el estudio del estado del arte, pues se consideran tres trabajos en donde se analizarán las características del proceso de adsorción y las dimensiones físicas de la máquina, así como el producto final. Se compara el proceso entre las etapas de la máquina que utiliza compresor y la que utiliza la bomba refrigerante que está compuesta por el generador y el adsorbedor. Las variables cualitativas son el estudio del sistema de refrigeración frente al conveniente ahorro del consumo eléctrico y la contaminación ambiental. Se determina la conveniencia del estudio pues en nuestro país los índices de radiación solar son altos por lo que existe la factibilidad en la construcción, implementación y explotación de este tipo de máquina refrigerante. Los sistemas de enfriamiento por adsorción utilizando radiación solar, todavía están en fase de experimentación, pero si se utiliza el calor remanente que sale de una turbina o caldera de otro equipo, estos ya son comerciales y pueden competir en el mercado. Los sistemas clásicos de compresión son más factibles técnica y económicamente sin embargo se considera otras variables que todavía no han sido cuantificadas como el perjuicio al medio ambiente por emisión de gases a la capa de ozono.

**Palabras Claves:** ENFRIAMIENTO, ADSORCIÓN, PAR CARBÓN ACTIVADO-METANOL, GENERACIÓN ELÉCTRICA.

## **ABSTRACT**

The present work includes the study of the technical and economic feasibility of a refrigerating machine using the pair activated carbon-methanol using solar energy, in the quantitative and qualitative approach. Bibliographic research is used in the study of the state of the art, since three works are considered in which the characteristics of the adsorption process and the physical dimensions of the machine, as well as the final product, will be analyzed. The process is compared between the stages of the machine that uses the compressor and the one that uses the cooling pump that is composed of the generator and the adsorber. The qualitative variables are the study of the cooling system against the convenient saving of electricity consumption and environmental pollution. The convenience of the study is determined because in our country the solar radiation indexes are high because of the feasibility in the construction, implementation and exploitation of this type of refrigerant machine. Adsorption cooling systems using solar radiation are still in the experimentation phase, but if the remaining heat coming from a turbine or boiler of other equipment is used, these are already commercial and can compete in the market. The classical compression systems are more technically and economically feasible, however, other variables that have not yet been quantified are considered as the damage to the environment due to the emission of gases to the ozone layer.

**Keywords:** COOLING, ADSORPTION, ACTIVATED CARBON-METHANOL PAIR, ELECTRIC GENERATION

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Este trabajo de investigación se justifica en el programa de eficiencia energética del sector eléctrico de acuerdo al Plan Maestro de Electrificación del periodo 2013- 2022 del CONELEC (Conelec).

El cual tiene como objetivo Implementar políticas y programas enfocados al consumo eficiente de la energía, de tal manera que se puedan eliminar los consumos innecesarios o acceder a equipos más apropiados para reducir el costo de la energía, contribuyendo a 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 (Plannacionalbuenvivir). , 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.

### **1.2. Justificación y alcance**

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”, bajo los siguientes lineamientos: Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios. Optimizar el uso de los recursos no renovables en la generación de energía eléctrica, a través del empleo de tecnologías eficientes.

Por otro lado, se fundamenta con los convenios internacionales con el sector eléctrico del Ecuador, son aquellos que se han suscrito en el contexto de los esfuerzos internacionales por controlar y revertir el cambio climático. El

instrumento central de estos esfuerzos es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Naciones Unidas), CMNUCC, cuyo objetivo fue el lograr una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel tal que permita que las poblaciones humanas y los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático.

Posiblemente el más conocido de los instrumentos internacionales, es el Protocolo de Kyoto, un acuerdo vinculante en el que se han establecido los compromisos nacionales para la reducción de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono). La noción básica del Protocolo de Kyoto, es que los países industrializados reduzcan su índice general de emisiones, en un promedio de 5,2% con respecto a sus niveles de 1990. Para este fin, se promueve la investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías que sean ecológicamente racionales (Merk, 2011)

### **1.3. Planteamiento del problema**

Se parte de la interrogante, ¿De qué manera se puede ahorrar energía y disminuir los índices de contaminación de los refrigerantes en el medio ambiente? Esto determina una segunda interrogante ¿Cómo se puede caracterizar una máquina de refrigeración casera utilizando energía solar? Por lo que es necesario primero conocer que aproximadamente el 15% de la electricidad producida a nivel global ya sea por plantas térmicas o hidroeléctricas, es consumida por los sistemas de refrigeración, debido a esto es necesario optimizar la eficiencia de esta máquina en el ahorro de energía. (Merk, 2011) Además, con la actual crisis energética de los sistemas convencionales de generación de energía y la contaminación global por emisión de gases tóxicos, se evidencia el problema en el sector energético, por lo que se plantea la necesidad de utilizar nuevas fuentes de energías.

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. (Merk, 2011)

De igual manera, en los países en vías de desarrollo, donde existe un déficit de suministro eléctrico, sobre todo en sitios alejados de los centros urbanos se encuentra la necesidad de utilizar la energía solar directa ya que por medio de los paneles solares tiene un alto costo de inversión. A partir de la década del 70 por el incremento de los precios del petróleo y en la década de los 90 en la concientización de problemas del ecosistema por el aumento del uso de refrigerantes generando el efecto invernadero se evidencia el problema de estudio.

Se plantea la necesidad de utilizar máquinas que recuperen el calor residual de un proceso anterior o la utilización de la energía solar, como las máquinas de adsorción, pueden ser una alternativa muy interesante para reducir el consumo energético. La energía solar es una alternativa viable en los países donde se cuenta con alto nivel de radiación solar, ya que en estos lugares esta energía es abundante, libre de emisión de gases tóxicos y amigables con el ambiente y sobre todo no consume las reservas de petróleo. (Merk, 2011)

El actual modelo basado en los combustibles fósiles causa daños a la biosfera terrestre, en ocasiones irremediables y trae graves consecuencias, ya que el Medio Ambiente se altera, cada vez más, padeciendo huracanes, tornados, graves sequías, fuertes lluvias y crudos inviernos, el actual modelo energético es insostenible, por lo que urge acelerar su proceso de sustitución. (Merk, 2011)

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. (Merk, 2011)

### **1.3.1. Formulación de variables de investigación**

Se determina las variables de investigación.

Variable independiente: Estudio de los sistemas de refrigeración basado en absorción carbón activado metanol

Variable dependiente: Ahorro en el consumo eléctrico, disminución de la contaminación ambiental

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.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar el Estudio de la factibilidad técnica y económica en la máquina refrigerante carbón activo metanol.

### **1.4.2. Objetivo Específico**

- Analizar el estado del arte de los trabajos de investigación más relevantes de los prototipos de máquinas refrigerantes mediante el carbón activo metanol mediante un estudio bibliográfico y de fuentes primarias.
- Realizar un estudio comparativo entre el sistema convencional compresor y el carbón activado metanol
- Promover el uso de los equipos de refrigeración por adsorción en lugares donde exista acceso a la 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 (KUHN, 2004) 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. (Hernandez, M, D, 2011)

En consecuencia, Rialp (Postgradoorg, 2009) 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.

## 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 compresión 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 sorción sólido-gas. (Hernandez, M, D, 2011)

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"

A partir del año 1850, Edmond Carre, diseñó el primer refrigerador utilizando el principio de absorción, usando el par agua ácido sulfúrico. El hermano Ferrnidad siguió con las investigaciones, y construyó una máquina que utilizó el par agua y amoníaco, esta máquina fue patentada y en 1862 estuvo en la Exposición Universal de Londres, generando 200 kg. Por hora. (González, 2015)

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 compresión vapor, hasta la actualidad

En la misma línea Tchernev realizó investigaciones para máquinas de refrigerantes de absorción utilizando el par zeolita agua, con la característica que en el día se utilizaban las radiaciones solares para el secado de la zeolita y de noche se producía el deseado efecto frigorífico. En los años 90 Critoph construyó una máquina frigorífica que utiliza energía solar, el mismo fue recomendado por las Naciones Unidas para zonas en áreas subdesarrolladas. (Bayón, 2016)

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 baja temperatura, donde produce el efecto útil como máquina de producción de frío. Los ciclos de una máquina de adsorción suelen reflejarse sobre el denominados diagrama de Clapeyron o Dühring.

A partir de estas investigaciones, se han escogido tres trabajos de investigación relevantes el primero es el ***Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción***, (Merk, 2011). Empleando carbón activado/metanol, investigación realizada por el Ing. Esp. Mariela Sánchez Díaz\* y Dr. Juan José González Bayón, el segundo es el ***Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbón activado. E. Hernandez Arroyo, E.J. Córdoba Tuta***. (Hernandez, M, D, 2011, pág. 11) y el ***Refrigerador solar para producción de hielo usando carbón activo metanol***.

Según estos estudios se ha determinado que existen dos tecnologías que explican la sorción sólido-gas, estas son la adsorción y la reacción química, incluso los hidratos metálicos. Las similitudes, diferencias, así como ventajas y desventajas están detallados en (Venecio, 2016)

El sistema por adsorción tiene la ventaja que el medio sólido (adsorbente) no es sometido a modificación de volumen durante los procesos de sorción, como ocurre con la absorción sólida; ni tampoco necesita columna de rectificación, como en el caso de la absorción líquida. De igual manera, en los procesos de adsorción existe el uso de mayor cantidad de fluido refrigerante por cada ciclo, generando un mejor rendimiento en relación con los otros procesos de sorción.

Otra ventaja comparativa es que en la tecnología de refrigeradores adsortivos es sumamente simple, pues no necesitan partes móviles y energía

térmica mínima que se la pueden obtener a partir del calor residual o también la energía solar. (Ferreira, 2015)

En el Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción, empleando carbón activado/metanol; el problema de investigación está condicionado en la utilización de una manera pasiva de la energía solar, la cual es receptada por medio de un colector solar, estableciéndose los parámetros como el ángulo de inclinación ( $\beta$ ), la transmitancia de la cubierta transparente ( $\tau$ ), la absorbancia ( $\alpha$ ), la radiación solar, la orientación (en este caso hacia el Sur, debido a las coordenadas geográficas). (Ferreira, 2015)

El objetivo de este trabajo se orienta al diseño de un prototipo que produzca 3 kg de hielo, a una temperatura ambiente de 30 °C, la temperatura máxima de generación de 90 °C, la presión de condensación y evaporación en 22 kPa y 8,55 kPa, respectivamente, y la relación de equilibrio propuesta por -Astakhov. Además, como parámetros del diseño la Radiación solar promedio: 13 MJ/m<sup>2</sup>. Temperatura en el condensador: 35 °C. Temperatura en el evaporador: -5 °C.

Con relación a la metodología, diversos proyectos se han realizado hasta la fecha [Anyanwu, 2004; Lemini, 2005; Anyanwu, 2003; Buchter, 2002; Li, *et al.*, 2001, y Leite, 2000], con la utilización del par carbón activado/metanol.

Según Anyamu, 2005, El par mejor empleado para climatizar es la zeolita/agua mientras que el par carbón activado/metanol y carbón activado/amoníaco son mejores para la producción de hielo.

Esta investigación utiliza el método con un enfoque epistemológico empirista inductivo, donde la vaporización se crea a partir de 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 (Ferreira, 2015)

Para este trabajo se utiliza el carbón activado/metanol, ya que el refrigerante (metanol) es conveniente porque se evapora a temperaturas inferiores a 0°C, tiene una entalpía de vaporización (1 200 kJ/kg, para -5 °C) la cual es significativa, es económico, bajo en toxicidad y alta disponibilidad, consiguiendo COP más elevados en comparación con otros pares de adsorbentes/adsorbatos.

El resultado de la investigación consiste en un prototipo diseñado que tiene tres componentes: el colector solar-generador-adsorbedor, el condensador y el evaporador, se obtuvo un dispositivo con superficie de colector solar de 0,374 m<sup>2</sup>, donde se introducen 5 tubos de acero inoxidable, de 76 mm de diámetro, la sección anular está compuesto de una malla, con un diámetro exterior de 30 mm, y la cantidad de carbón activado deberá ser de 7,5 kg, y esta diseminado a razón de 1,5 kg por el tubo. La cantidad de metanol será de 2,25 kg, el área del condensador de 0,214 m<sup>2</sup> y del evaporador de 0,24 m<sup>2</sup>, y la cámara de enfriamiento tendrá un volumen de 60 L. Para las conexiones se empleará una tubería de acero inoxidable de 30 mm de diámetro externo, 5 válvulas de paso rápido, una válvula de presión y cinco termocuplas tipo K & (González, 2002)

A manera de conclusión se obtuvo la producción de 3 kg de hielo, un refrigerador solar por adsorción empleando el par carbón activado/metanol, el colector plano debe tener 2,25 kg de metanol y 7,5 kg de carbón activado. El carbón activado será distribuido en cantidades iguales de 1,5 kg en 5 tubos de acero inoxidable de longitud de 0,98 m, los cuales serán colocados uno al lado del otro, ocupando una longitud total de 0,38 m, cubriendo así el área de captación necesaria para el sistema, la cual es de 0,374 m<sup>2</sup>. Adicionalmente, se reporta el COP teórico para el sistema, el cual es de 0,25. (González, 2002)

En el proyecto denominado; diseño del refrigerador solar para producción de hielo usando carbón activo metanol el problema de investigación tiene como objetivo la cobertura de un sistema de captación solar, conformado en dos vidrios, conteniendo en el espacio entre ellos elementos anti-convectivos de policarbonato, denominada cobertura TIM –

“Transparent Insulation Material”. Se adoptaron nuevas configuraciones geométricas para el adsorbedor y para el evaporador que son multitubulares, en lugar del formato rectangular/trapezoidal en cajón único, adoptado para estos componentes en las máquinas de fabricación francesa.

En la metodología se utiliza los fundamentos de adsorción, por medio de la ecuación de estado para describir el equilibrio termodinámico de un sistema adsorptivo, relacionando la temperatura  $T$  la presión  $P$  y la concentración de la fase adsorbida, estas funciones son denominadas “isotermas de adsorción”. La ecuación Dubinin Astakhov sirve para procesos de adsorción en materiales microporosos con distribución de dimensiones de poro del tipo polimodal, como el carbón activado Dubinin y Astakhov en 1971.

Según (Ferreira, 2015) el principio de funcionamiento se fundamenta en un ciclo intermitente, donde no hay recuperación de calor. El ciclo consiste en dos etapas: una caracterizada por el proceso de adsorción, cuando ocurre la evaporación del fluido de trabajo (el adsorbato) y otra, de regeneración del medio poroso (el adsorbente), mediante la conversión térmica de energía solar, en la cual el adsorbato.

El prototipo del refrigerador está conformado por tres componentes: un conjunto adsorbedor/colector solar, un evaporador y un condensador. La dirección del flujo gaseoso cambia, de acuerdo a la etapa, de producción frigorífica o de regeneración. La etapa de producción frigorífica empieza al final de la tarde, cuando la temperatura y la presión del adsorbedor comienzan a disminuir, según un proceso isostérico, o sea, un proceso en que la concentración de fase adsorbida es constante. La evaporación es desencadenada, cuando el flujo de adsorbato se dirige hacia el adsorbedor, ocurriendo durante todo el período nocturno, hasta la temperatura del adsorbedor alcanzar un valor mínimo. Al final de la adsorción, el adsorbedor está con una temperatura y una presión correspondiente a la saturación de la fase gaseosa en el evaporador. Con el calentamiento del adsorbedor, por acción del sol, su presión aumenta, siguiendo otro proceso isostérico. (Juárez, 2002)



Cuando el reactor alcanza la presión de condensación, la desorción comienza, prosiguiendo hasta que el adsorbedor llega a la temperatura máxima, completando así el ciclo. Un análisis termodinámico detallado del ciclo de refrigeración por adsorción es descrito por (Méndez, 2016)

El Adsorbedor/Colector Solar está conformado por 8 tubos, de diámetro nominal 76 mm y 1,61 m de largo, correspondiendo a un área de captación solar de 1 m<sup>2</sup>. La superficie colectora es considerada selectiva y la cobertura semitransparente del colector está compuesta por dos placas de vidrio de 3mm, cuyo espacio entre ellas está lleno de elementos hexagonales (Transparent Insulation Material-TIM) de policarbonato, con una razón de aspecto igual a 5. Cada uno de los tubos del adsorbedor lleva 2,5 kg de carbón activado, correspondiendo a una cantidad total de 20 kg de 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. (González, 2002)

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 adsorbedor/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,

El evaporador se constituye por una serie de tubos de 57 mm de diámetro nominal colocados en forma paralela. El recipiente en la que contendrá el agua a congelar es de una capacidad de 10 litros. El volumen total de metanol en los tubos es de 7,5 litros. Lo que equivale a una capacidad de adsorción de 300 g/kg de carbón activado, se considera la masa específica de metanol líquido, a -5°C, de 1200 kg/m<sup>3</sup>. (González, 2015)

Para obtener las dimensiones del evaporador han sido estimadas la energía utilizadas en los dos procesos siguientes: la disminución de temperatura del agua hasta 0oC y la solidificación. Considerando los coeficientes de transferencia de calor involucrados en cada uno de estos procesos, se adoptará para la superficie de evaporación necesaria el mayor valor obtenido. Con  $h_1 = 355 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $\Delta t_1 = 10\text{C}$  se obtiene  $A_{ev1} = 0,65 \text{ m}^2$ ; con  $h_2 = 29 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $\Delta t_{ev} = 40\text{C}$  se obtiene  $A_{ev2} = 1,25 \text{ m}^2$ . Por lo tanto, la superficie de evaporación necesaria es de  $1,25 \text{ m}^2$ , lo que corresponde a 14 tubos de 1 m de largo. (Bayón, 2016, pág. 52)

A manera de conclusión se obtuvo el dimensionamiento de un refrigerador solar basado en la adsorción del metanol en carbón activado. Se comprobó que el uso de una cobertura TIM en el componente adsorbedor/colector solar ha sido eficiente que las usadas en refrigeradores solares. Los resultados de los cálculos demuestran que, con la cobertura TIM, es posible obtener temperaturas de regeneración superiores a los  $100^\circ\text{C}$ , con colectores helio estático, permitiendo condensar una cantidad importante de adsorbato, mejorando así, la eficiencia del ciclo. (Bayón, 2016, pág. 56)

El análisis comparativo entre los resultados teóricos y los resultados experimentales, obtenidos con un sistema similar, indica un aumento de casi un 50% en la cantidad de hielo producido, cuando se considera la cobertura TIM. De acuerdo con los resultados de la simulación, es posible producir hasta 10 kg de hielo por metro cuadrado de área de colector, en climas con elevada incidencia de radiación solar. (Ferreira, 2015, pág. 215)

Finalmente, los resultados del proyecto; diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbón activado. Se utilizó metanol como adsorbato y carbón activado como adsorbente. El proyecto de investigación surge como una iniciativa para proponer el aprovechamiento de la energía solar en zonas de difícil acceso para la red eléctrica y con necesidades de un sistema de refrigeración.

El modelo consiste en un colector solar, donde se deposita el carbón activado en contacto con la energía solar directa, cuya 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 (COP) 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 (Hernandez, M, D, 2011)

El refrigerador solar consiste de 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 (Hernandez, M, D, 2011)

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 COP 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% (Hernandez, M, D, 2011)

### **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. (Autor)

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*.

Es necesario recalcar que en el proceso de adsorción, si el fluido circula alrededor de la partícula ubicada en un lecho fijo, primeramente el soluto se difunde a partir del volumen del fluido hacia toda la superficie exterior de la partícula, posteriormente, se difunde el soluto desde el interior del poro hasta la superficie, finalmente se adsorbe el soluto sobre la superficie. (Autor)

## **2.2. Clasificación**

### **2.2.1. 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. (Cordova, 2017)

Materiales adsorbentes tales como la zeolita, el gel de sílice, el carbón activo y la alúmina tienen como propiedad una estructura muy porosa lo que determina un índice de relación superficie/volumen del orden de cien, debido a esto tienen la capacidad de adsorber sustancias refrigerantes. Si se logra saturar se puede regenerar simplemente efectuando un calentamiento para que esa cámara se libere.

En este tipo de adsorción la capa el espesor varío, de una molécula a muchas moléculas, ya que las fuerzas de Van der Waals se extienden desde

una capa de moléculas a otras. Debido a esto, la máquina de adsorción cuenta al menos con 2 cámaras o lechos de adsorción ya que de esta manera se consigue que las cámaras inviertan el ciclo, y donde ocurre la adsorción se genera la desorción y viceversa con el objeto de que el proceso sea continuo (Cordova, 2017, pág. 27)

### **2.2.2. Adsorción química**

Conocida como *quimisorción*, ocurre cuando las moléculas químicamente reaccionan en la superficie, donde se forman y se rompen los enlaces químicos, se crea en una mono capa en la superficie, por la unión química fuerte entre el adsorbato y el adsorbente, siendo mucho más difícil de revertir y se emplea más energía para eliminar las moléculas adsorbidas comparada con la adsorción física. Para este tipo de adsorción es el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

Otro tipo de adsorbente metal hidruro usa el hidrógeno como refrigerante, por lo que se podría integrar con los sistemas que usen este combustible. El agua se calienta a la temperatura desde los 80 °C, dependiendo del hidruro que se usa y la temperatura de calor de rechazo. Se obtiene un COP en torno a 0.5 (Murthy, 1995)

### **2.3. Materiales adsorbentes**

Para que ocurran este tipo de reacciones y procesos se utilizan materiales sintéticos o naturales llamados adsorbentes cuya estructura puede ser cristalina o amorfa, las más utilizados son el carbón activo, la alúmina activa, la zeolita, el gel de sílice, la tierra de Fuller, otras arcillas, etc., La principal característica de estos materiales son la separación de los gránulos comprenden desde 0.1 mm a 12 mm. Con una partícula con muchos poros muy finos con un volumen del 50 % total de la partícula. Ocurre en mono capa en la superficie de los poros, sin embargo, en ciertos casos se forman varias capas. La adsorción física, o de *Van der Waals*, sucede entre las moléculas adsorbidas y la superficie interna sólida del poro. Los adsorbentes comerciales y tienen grandes áreas superficiales de los poros, que van desde 100 hasta más de 2000 m<sup>2</sup>/g. y los más comerciales son:

### **2.3.1. Carbón activo.**

Con una característica micro cristalina que se obtiene a partir de la descomposición térmica de madera, cortezas vegetales, carbón, etc., con un área de superficie de 300 a 1200 m<sup>2</sup>/g con un promedio de diámetro de poro de 10 a 60 Å. Por lo general las sustancias orgánicas adsorben carbón activo. (Murthy, 1995)

### **2.3.2. Gel de sílice.**

La fabricación de este adsorbente se obtiene de la mezcla del ácido una solución de silicato de sodio y luego secándola. Se caracteriza por un área superficial de 600 a 800 m<sup>2</sup>/g con diámetro promedio de poro de 20 a 50 Å. Se utiliza principalmente para deshidratar gases líquidos y para fraccionar hidrocarburos.

### **2.3.3. Alúmina activada.**

Para obtener este material se activa el óxido de aluminio hidratado calentándolo eliminando el agua. Se usa para secar gases y líquidos. Las áreas superficiales comprenden entre 200 y 500 m<sup>2</sup>/g y diámetro promedio del poro de 20 a 140 Å.

### **2.3.4. Zeolitas tipo tamiz molecular.**

Son aluminosilicatos cristalinos con muchos poros de tamaño preciso formando una red cristalina abierta. Debido al tamaño uniforme del poro es diferente al de otros tipos de adsorbentes, tienen un tamaño del poro de 3 a 10 Å. Las zeolitas se usan para secado, separación de hidrocarburos y de mezclas. (Murthy, 1995)

### **2.3.5. Polímeros o resinas sintéticas.**

Se fabrican polimerizando dos tipos principales de monómeros. Los que se generan a partir de compuestos aromáticos como el estireno y el divinil benceno se usan para adsorber compuestos orgánicos no polares de soluciones acuosas. Los que provienen de esteres acrílicos se utilizan para solutos más polares en soluciones acuosas.

El adsorbente que más se suele usar en las máquinas de adsorción es el gel de sílice como la sustancia más común y también carbón activo, alúmina y zeolitas, pero en menor medida. (Hoyland, 200)

#### 2.4. Etapas en el proceso de enfriamiento

En los sistemas clásicos en la máquina frigorífica se evidencia la transferencia de la energía térmica a partir de una región de temperatura baja hacia otra de mayor temperatura, debido al trabajo aportado desde el exterior, por cualquier tipo de motor, como por ejemplo un motor eléctrico (compresor), en el ciclo de Carnot se llaman ciclos de refrigeración por compresión de vapor (Hoyland, 200)

El fluido donde ocurre los cambios de presión, temperatura y volumen es llamado el refrigerante pudiendo cambia de la fase líquido a gaseosa y es donde existe la transferencia de energía.

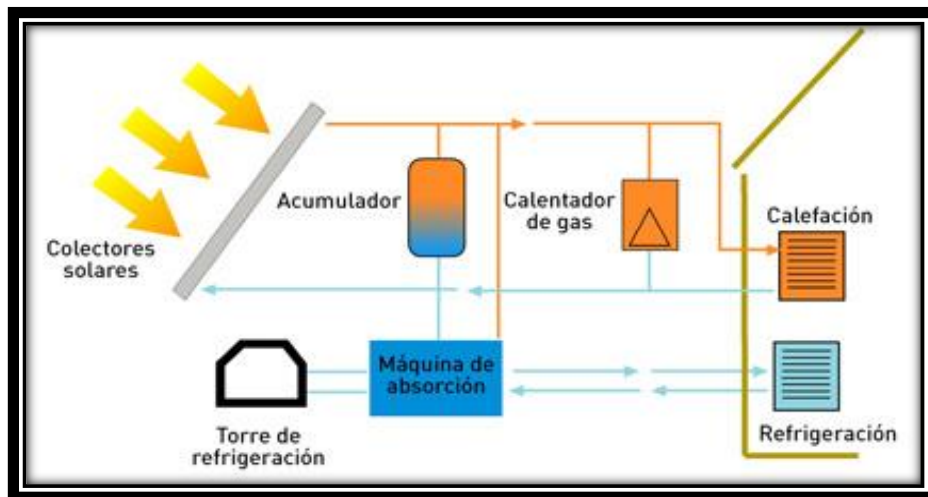


Figura 2. 1: Esquema con fases del proceso de enfriamiento  
Fuente: (González, 2015)

Existe otro método conocido como el sistema de adsorción en donde la etapa de compresión se sustituye por una etapa compuesta de adsorbente adsorbato en donde utiliza calor desde el medio y luego cambia de temperatura por medio del par adsorbente adsorbato.



Esta tecnología se utilizó desde 1859, cuando Fernidad Carre fabrico hielo utilizando la primera máquina frigorífica de absorción utilizando el ciclo amoniaco-agua, este método se popularizó durante los fines de primeros años del siglo XX. Fue reemplazado por sistemas que usan el ciclo de compresión de vapor líquido. (Hoyland, 200)

En la figura 2.2 se muestra el esquema de un circuito refrigerado y se aprecia en línea de color rojo fluido a alta temperatura y fluido refrigerado (color azul) a baja temperatura.

Cabe resaltar que el amoníaco, metanol y agua tienen calores latentes relativamente altos de 1368, 1160 y 2258 kJ/kg siendo sus volúmenes específicos bajos en el orden de 3/kg. El agua es el más estable térmicamente en la presencia de adsorbentes adecuados, le sigue el metanol y el amoníaco. El problema con el agua que su temperatura de congelamiento es de 0°C, esto hace que el metanol sea un adsorbato favorable para formar un par con un adsorbente estable.

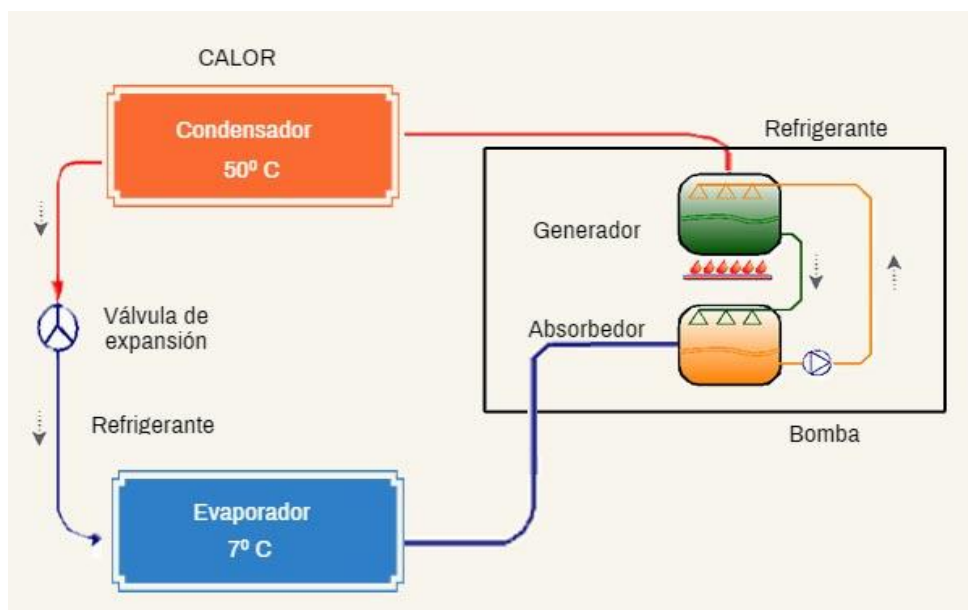


Figura 2. 2: Esquema del ciclo para la refrigeración convencional  
Fuente: (Sanchez & González, 2002)

## **2.5. Evaporador**

En la superficie este dispositivo ocurre la transferencia de calor donde se vaporiza un líquido y se elimina calor de un espacio o producto refrigerado. Estos evaporadores se clasifican en tubos descubiertos los cuales son construidos con tubos de acero para evaporadores con amoniaco, mientras los pequeños son de cobre, los de superficie de placa planas construidos con dos placas planas refrigerantes, utilizadas en neveras y refrigeradores caseros y finalmente los aleteados, que son tubos descubiertos donde se instalan aletas, tienen la capacidad de aumentar el área superficial, mejorando así la eficiencia para enfriar gases, la capacidad del evaporador o serpentín de enfriamiento es la razón por la cual pasa calor a través de las paredes del evaporador proveniente del espacio o producto refrigerado a la vaporización del líquido interior y puede ser expresado en BTU/h. (Hernandez, M, D, 2011)

## **2.6. Condensador**

De la misma manera que 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. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

El de tipo de placas, el vapor del refrigerante se enfría por la circulación natural del aire entre las placas las cuales tienen ondulaciones que forman canales o tubos, en todo caso los condensadores son enfriados por aire o por agua. En refrigeración doméstica los condensadores son enfriados por aire y estos a su vez también se dividen en dos grupos que son del tipo de circulación forzada y del tipo de circulación natural.

## **2.7. 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:

- Adsorbedores 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 (Campuzano & Chiriboga, 2010)

- Adsorbedores 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. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

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.

## **2.8. El par carbón activado-metanol**

Se conoce que la temperatura de regeneración del carbón activado es aproximadamente de 120° C, debido a esto y a su gran área de superficie es el adsorbente más utilizado. Se lo recomienda para ser utilizado con la energía solar con metanol y amoníaco actuando como refrigerante. También se conoce que presenta un mejor coeficiente de operación (COP) que otras combinaciones de pares de adsorción. Como característica el carbón activado se conoce que tiene una isoterma de presión casi lineal, es económico y disponible ya que puede ser producido en su país de origen. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

De igual manera el metanol tiene una presión mayor que la del agua, debido a esto se puede usar para la elaboración de hielo, pero es inestable a

una temperatura mayor de 120° C, debido a esto se considera como el mejor refrigerante de los sistemas de adsorción, manteniéndose en estado líquido a temperaturas muy bajas, con un tamaño de molécula más pequeño estado líquido en condiciones ambiente ordinarias se deja adsorber bien por sólidos micro porosos adecuados. Otro beneficio de este material es que puede ser elaborado en países en vías desarrollo, no es corrosivo ni tóxico, pero tiene el inconveniente de ser inflamable.

UL M., SULAIMAN M., AZMI B., SOPIAN K. Critoph, Vogel y Meunier estudiaron los coeficientes de operación (COP) de los pares carbón activado–metanol, zeolita–agua y otros y sus resultados muestran que el carbón activado-metanol, es el par de trabajo ideal para energía solar debido a su alto COP y baja temperatura de regeneración (Campuzano & Chiriboga, 2010, pág. 45). En lo que respecta al etanol las propiedades físicas y térmicas son menores que el metanol, además con el dióxido de carbono se necesita una elevada presión en el condensador, Se ha fabricado adsorbato compuestos que son un resultado de la mezcla de adsorbato de fisorción y quimisorción como es el caso de carbón activado con cloruro de calcio (CaCL).

### 2.9. 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 solícite y zeolita como absorbente o par metanol carbono

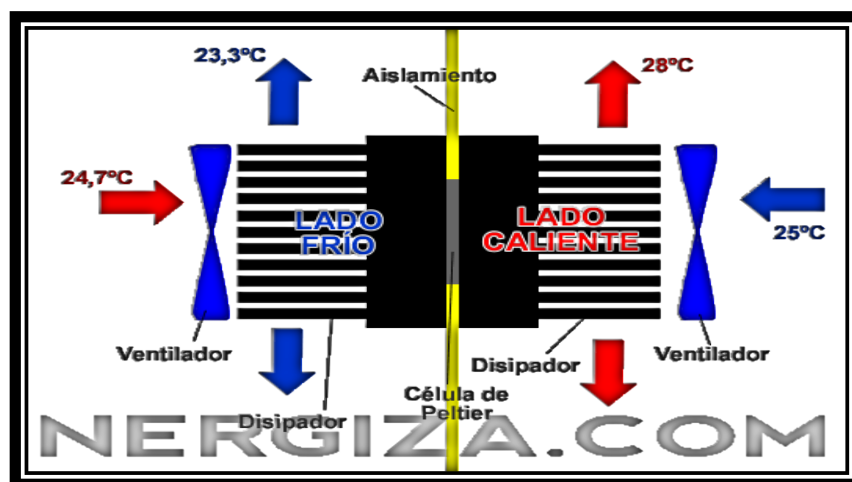


Figura 2. 3: Esquema de operación de un intercambiador de calor  
Fuente: (Hernandez, M, D, 2011)

El evaporador es la etapa donde se genera el calor y es donde se evapora el refrigerante, donde se encuentra el mismo a baja presión, luego existe una válvula que conecta el evaporador con la cámara de adsorción (cámara 1) la cual debe estar abierta y la válvula que conecta esta cámara con el condensador debe estar cerrada. Por lo tanto, el refrigerante evaporado entra en la cámara, que se encuentra a una presión ligeramente menor a la presión del evaporador.

El fluido refrigerante es adsorbido por el adsorbente, el mismo que se satura en este proceso de adsorción. Además, en el intercambiador de la cámara circula agua procedente del circuito de torre para disipar el calor generado. (Autor)

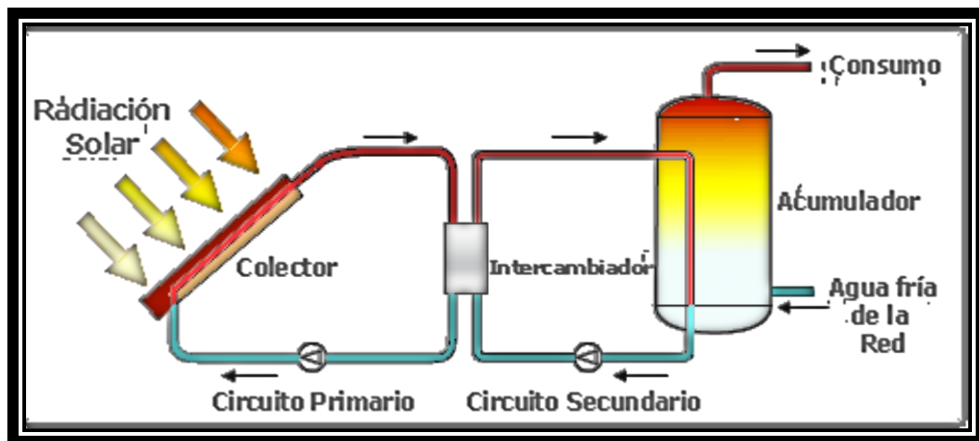


Figura 2. 4: Recorrido y ciclo del calentamiento de agua con colector solar  
Fuente: (González, 2015)

Simultáneamente en la otra cámara (cámara 2) ocurre el proceso de desorción donde se regenera el adsorbente que se encuentra saturado de vapor de agua del ciclo anterior. Luego se hace circular agua caliente a través del intercambiador de calor. La válvula que conecta el condensador con la cámara de desorción (cámara 2) está abierta y la válvula que conecta esta cámara con el evaporador está cerrada. La presión en el interior de esta cámara es ligeramente menor. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

En el condensador, el fluido refrigerante condensa, cediendo calor al agua del circuito de torre. El vapor de agua condensado pasa al evaporador a través de la válvula de expansión, cerrándose el ciclo.

Cuando el adsorbente de la cámara 1 está saturado de agua y el adsorbente en la cámara 2 está seco, la máquina automáticamente invierte las funciones de las dos cámaras. El primer paso es cerrar las válvulas que conectan ambas cámaras con el evaporador y condensador, y abrir las válvulas entre las dos cámaras permitiendo que las presiones se igualen. A continuación, el agua caliente de la cámara de desorción (cámara 2) se hace circular a través de la cámara 1 para transferirle el calor residual de la cámara 2 y comenzar el proceso de calentamiento de ésta. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

El proceso de inversión de las cámaras se completa y comienza el proceso de desorción en la cámara 1 y el proceso de adsorción en la cámara 2 (Etapa 2 de la figura 2.5), repitiéndose el proceso descrito.

El proceso es capaz de funcionar con una amplia gama de temperaturas del agua. Se regula fácilmente y se equilibra el rendimiento utilizando múltiples programas de control. Para obtener el mejor rendimiento, el agua caliente debe estar a unos 90 °C, el agua de refrigeración entre 30 – 24 °C y el agua fría en la salida entre 11 – 5 °C.

Las únicas partes móviles en el interior del refrigerador son simples amortiguadores barométricos que se abren automáticamente cuando la presión en el interior de las cámaras cambia. No hay componentes en el interior del refrigerador que necesiten ser reparados habitualmente. Las válvulas de control del agua tienen una vida útil de un millón de ciclos y están diseñados para durar toda la vida de la enfriadora. (Hernandez, M, D, 2011)

En definitiva, este equipo funciona de manera similar a una máquina de absorción, pero en comparación con este sistema tiene una serie de ventajas e inconvenientes que serán tratados en el apartado 5.2. Durante el

calentamiento de un lado, el receptor está parcialmente enfriado por el flujo de agua fría del condensador, para extraer el calor generado a través de la adsorción. Después de la expiración del tiempo de ciclo, cambia por medio de válvulas de accionamiento neumático.

Las cámaras están conectadas con diferentes soportes automatizados. El sistema operativo de los soportes se determina por las diferencias de presión en las cámaras durante el ciclo de operación. El refrigerante llega a la parte superior de la cámara de evaporación por gravedad o con la ayuda de una pequeña bomba. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

### **2.10. 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. (González, 2015)

### **2.11. 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.

## 2.12. Torre de refrigeración

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.

En la figura 2.5 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. El agua absorbe de este fluido el calor necesario para evaporarse. Al final del proceso el refrigerante es devuelto a la unidad de refrigeración y el agua se recoge en un depósito desde donde será reciclada (Hernandez, M, D, 2011)

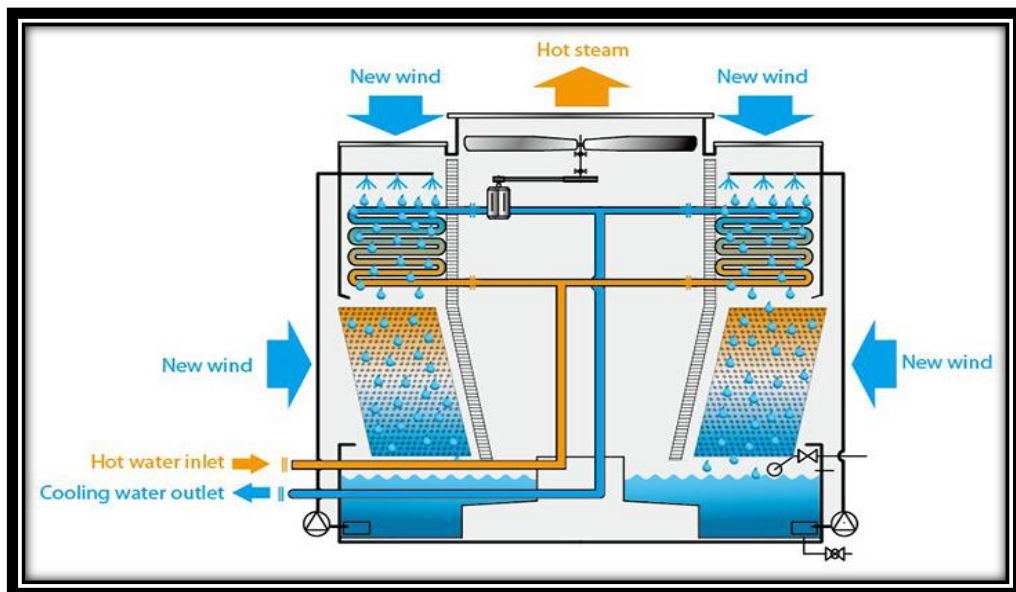


Figura 2. 5: Modelo de torre de refrigeración con líquido refrigerante  
Fuente: (Sanchez & González, 2002)

## 2.13. La radiación solar

La máquina refrigerante empleara energía de tipo residual que puede obtenerse de un proceso industrial donde quede remanente energía en forma de vapor a través de una caldera o turbina, en realidad en cualquier maquinaria. (González, 2015)



Por otro lado, en las localidades donde exista radiación solar con altos índices de insolación, ubicadas en zonas cercanas al trópico, en este caso es factible la construcción de generador con el colector solar, debido a esto se analizará los índices de insolación en el territorio nacional, para determinar en qué lugares es mucho más conveniente la instalación de esta máquina refrigerante.

Existe algunos parámetros para la determinación de estos datos estos son:

- Radiación extraterrestre
- Radiación directa
- Radiación difusa
- Radiación global
- Número de horas del sol
- Incidencia de la radiación sobre superficie plana
- Absortividad
- Emitancia
- Materiales transparentes
- Angulo de incidencia
- Latitud geográfica
- Inclinación
- Angulo de Acimut
- Angulo horario
- Angulo de altitud solar
- Angulo de acimut solar
- Estimación de radicación
- Componentes directa y difusa

#### **2.14. Mapas de radiación solar**

Con la finalidad de estudiar los índices de insolación en el diseño del generador del colector solar se debe tener la cuenta la información disponible por medio del Atlas Solar del Ecuador realizado por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) además del Consejo Nacional de Electricidad

(CONELEC), los datos son promedio mensual de la radiación difusa, directa y global.



Figura 2. 6: Atlas Solar del Ecuador  
Fuente: (Conelec)

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 (Bayón, 2016)

### 2.15. 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 absorbedor que capta la energía solar transformándola en calor hacia el fluido que portará el calor, un aislante térmico que disminuye las pérdidas y la carcasa.

El colector de tubos al vacío, cuenta con colectores que alcanzan temperatura de más de 100 C, el costo también es mayor que el de placa plana, dentro de los tubos existen las tuberías que transportan el fluido, debido al vacío creado impide la transmisión del calor hacia afuera, lo que determina las altas temperaturas. (Hildbrand, 2004) Por otro lado, los colectores con concentración el parabólico compuesto cuenta con el relector que refleja los rayos del sol hacia el foco de la parábola, el absorbedor que capta los rayos y contiene en su interior el fluido portador de calor y la cubierta que sirve para eliminar las pérdidas de calor. La característica principal es buen ángulo de aceptación que habilita todo el día sin necesidad de orientación permite también concentra la radiación 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 (Hildbrand, 2004)

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. (Hildbrand, 2004)

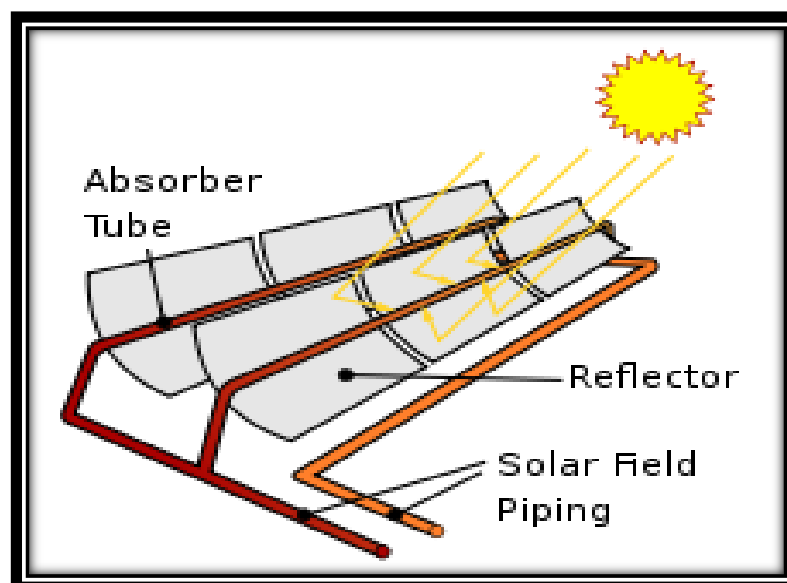


Figura 2. 7: Incidencia de rayos solares en colectores parabólicos  
Fuente: (Hernandez, M, D, 2011)

## 2.16. Modelación matemática

En el fenómeno de adsorción no es factible aplicar el ciclo de Carnot como ocurre en los sistemas de compresión presión, temperatura, en estos casos se aplica el modelo matemático de Dubinin-Astakhov para ello es necesario parametrizar y caracterizar por medio de la obtención de las isóteras.

## 2.17. Determinación de las isóteras

Se define a una isótera como la medición de un gas a concentración constante en oposición a una isoterma en donde permanece el gas a temperatura constante. El primero en utilizar esta variable fue J. Langmuir en el año 1919 quien estudio las relaciones físico-químico en el estudio de las moléculas de un gas. (Hernandez, M, D, 2011, pág. 231)

A partir de los estudios de Karge Weitkamp (Campuzano & Chiriboga, 2010) de conocen 2 métodos para determinar las isóteras en el par carbón metanol, se escoge este par ya que cuentan con una temperatura menor de regeneración y por ser más factible la lectura y creación de un laboratorio. Estos métodos son el gravimétrico y el volumétrico. La característica de par adsorción a utilizar tiene las siguientes características, véase la tabla 2.1

Tabla 2. 1: Características de adsorción en carbón metanol

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

Fuente: Autor

Es mucho más factible utilizar el método volumétrico para la determinación de las isóteras se describe el dispositivo de laboratorio construido por (referencia) donde se realizar el caso de estudio correspondiente. Donde se obtendrá y así comprobar la teoría de DA, Se puede observar que las isóteras son similares, manteniendo la forma de la

relación presión y temperatura del carbón activado (Campuzano & Chiriboga, 2010)

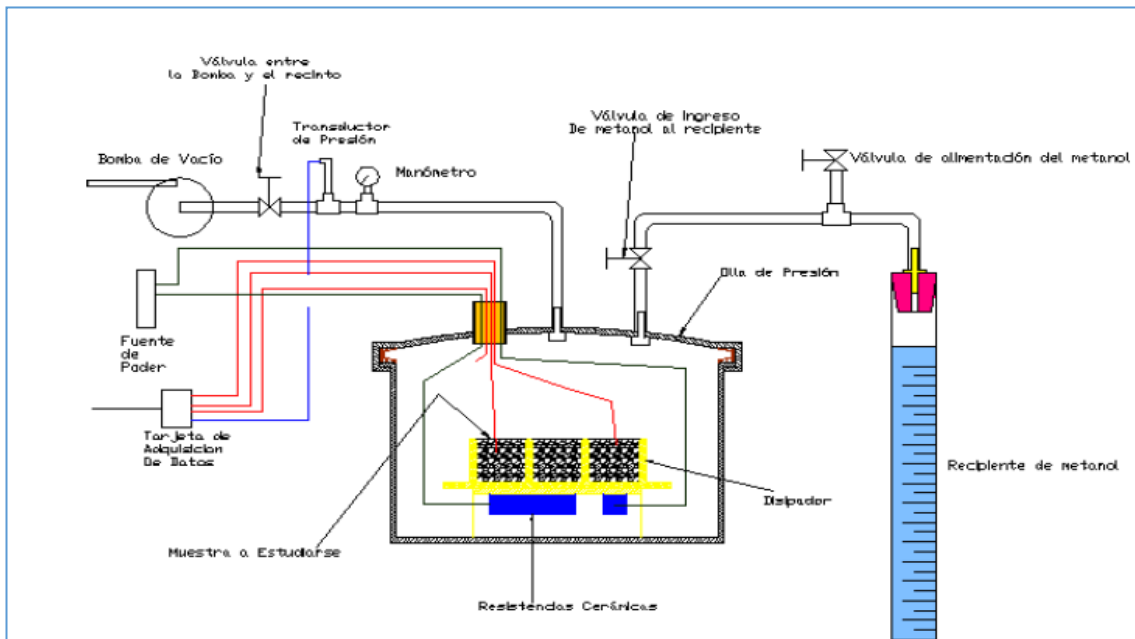


Figura 2. 8: Sistema con adsorción de par carbón activado-metanol  
Fuente: (Hernandez, M, D, 2011)

Ecuación Dubinin Astakh

$$\frac{X}{P_{met} - liq} = w^{\circ} \exp\left[-d \left[ Tc - A^{IN} \frac{psat}{p} \right] n\right]$$

X= concentración, cantidad de adsorbato que hay en el adsorbente por unidad de masa del adsorbente (kg/kg)

Wo= máxima capacidad de adsorción (m3/kg)

Pmet liq = densidad del metanol estado líquido (kg/m3)

D = coeficiente de afinidad, que depende de las características del adsorbato y adsorbente.

n = exponente obtenido experimentalmente

Para determinar los parámetros de la ecuación se reescribe y queda como:

$$\ln\left(\frac{x}{p_{met-liq}}\right) = \ln(Wo) - D(Tc - A \ln\left(\frac{p_{sat}}{p}\right))n$$

El valor de “n” no es conocido por lo que se varía el valor de n hasta que este se ajusten a los valores de la nube de puntos a una recta. Para ajustar esta ecuación se ha tomado el método de los mínimos cuadrados y con la ayuda del programa Datafit se han encontrado los valores en la cual “R2”se ajustan mejor. (Bayón, 2016, pág. 111) En la figura 2.9 se muestra las interacciones que se De acuerdo a la tabla 2.1 se tomaron los valores den = 1.18, Wo = 0.138 (litros met/kg C-A) y D=3.48E<sup>-4</sup>. En la figura. 2.10 se muestra el diagrama Dubinin-Astakhov mostrando el ajuste con n=1.18.

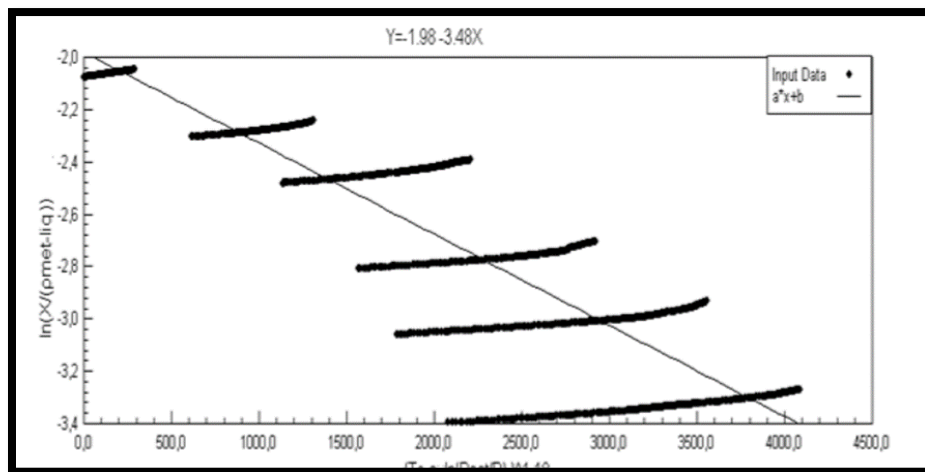


Figura 2. 9: Iteraciones a través del programa Datafit  
Fuente: (González, 2015)

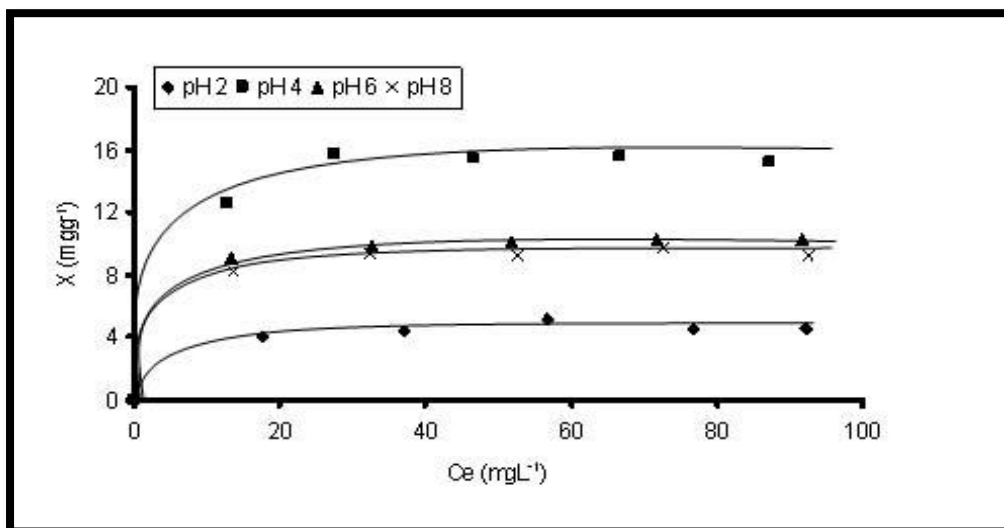


Figura 2. 10: Curvas de isótermas del carbón activado-metanol  
Fuente: (González, 2015)

## 2.18. Caracterización de máquina refrigerante por ecuaciones DA

El diseño de una máquina refrigerante comprende el dimensionamiento y características del colector solar, cama absorbadora, el condensador y el evaporador con la cámara fría, se obtienen a partir de la resolución de la ecuación DA. (González, 2015) Para el diseño del colector solar se debe considerar la temperatura de regeneración del adsorbente, en este caso el carbón es de 120°C, además es preferible el diseño del concentrador parabólico compuesto porque tiene las ventajas de aprovechar la radiación difusa. En el diseño del condensador es necesario calcular mediante simulación o métodos numéricos la cantidad de aire que debe remover para poder llevar al metanol del estado gaseoso al líquido.

Para el diseño del evaporador se considerará que el metanol que proviene del condensador se encuentra a la temperatura ambiente, por tal motivo, hay que considerar el calor sensible del metanol para que disminuir su temperatura desde el ambiente hasta la del evaporador (González, 2015) Luego de revisar el estado de arte (Campuzano & Chiriboga, Diseño y construcción de un sistema de enfriamiento por adsorción solar, 2010) (pag. 65) se determina que el mejor prototipo es que ha sido determinado las dimensiones a través del modelo matemático Dubinin Astarkov cuyas características son:

- Ancho del colector: 0.8m
- Altura del colector (medida desde el centro del tubo): 0.62m
- Longitud del colector: 1.22 m
- Material del reflector: acero inoxidable
- Longitud del reflector: 1.7m
- Material del tubo receptor y el interior: acero inoxidable
- Recubrimiento del tubo receptor: pintura negro mate
- Radio externo del tubo receptor: 0.0381
- Radio externo del tubo interior: 0.00635
- Material del aislante: lana de vidrio
- Espesor del aislante: 5 cm.

- Material de la cubierta: vidrio
- Evaporador y Condensador
- Material: tubería de cobre flexible
- Diámetro exterior del tubo: 0.0127m
- Espesor del tubo: 0.000813
- Longitud del tubo del condensador: 10m
- Longitud del tubo del evaporador: 4.8m
- Refrigerante
- Sustancia: metanol
- Volumen: 400ml
- Recinto a enfriar
- Largo: 0,44m
- Ancho: 0.32m
- Profundidad: 0.20m
- Cantidad de agua a enfriar: 250 cm
- Adsorbente
- Material: Carbón activado tipo ECOK-70, suministrado por ECOKARBONES
- Peso: 3.5 kg

### **2.18.1. Refrigeración por adsorción**

Estos sistemas basan su funcionamiento en la propiedad que poseen algunos sólidos de alta área superficial y porosidad de adsorber grandes cantidades de un vapor determinado y de restituir dicho vapor cuando se calientan.

El refrigerante en forma de vapor es adsorbido sobre la superficie (principalmente la superficie interna) de un gránulo, perla o cristal de material adsorbente. El material adsorbido es retenido físicamente sin demasiada fuerza y puede ser liberado (desorbido) de modo relativamente fácil, ya sea por calor o al vacío. El proceso de adsorción es debido a las fuerzas de Van der Waals entre los átomos o moléculas del refrigerante y la superficie del adsorbente (Horn, 2002) El término adsorción se deriva de un proceso general



denominado sorción, que describe la transferencia periódica de energía en dos sub procesos (adsorción y desorción), en los cuales un medio sólido adsorbente bajo transferencia de energía adsorbe y desorbe una materia en estado gaseoso.

El sistema de refrigeración se identifica por el fenómeno de adsorción, donde se produce el efecto de enfriamiento de dicho sistema, cuando el lecho adsorbente bombea todo el fluido gaseoso que sale del evaporador, haciendo la equivalencia del compresor en un sistema de compresión de vapor; de ahí que sea comúnmente llamado sistema de refrigeración por adsorción (Hildbrand, 2004)

El sistema de refrigeración por adsorción está compuesto por dos lechos de adsorbente, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador donde 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. (Hildbrand, 2004)

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 amoniaco/SrCl<sub>2</sub>, agua/sílica gela aire/sílica gela los ciclos abiertos (Pons, 2009)

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 (Velasquez, 2006) 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 nuevo. 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 (Restuccia, 2006, pág. 34). 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 su capacidad de adsorción con el tiempo, lo cual repercutía directamente en la disminución del rendimiento. (Hildbrand, 2004) En aquel entonces el agua fue utilizada en muy pocas ocasiones como medio refrigerante; tal es el caso de la firma Carrier Co., que construyó sistemas de aire acondicionado en los cuales se utilizó la combinación sílica - gel-agua como medio de trabajo en el sistema (Whang, 2006)

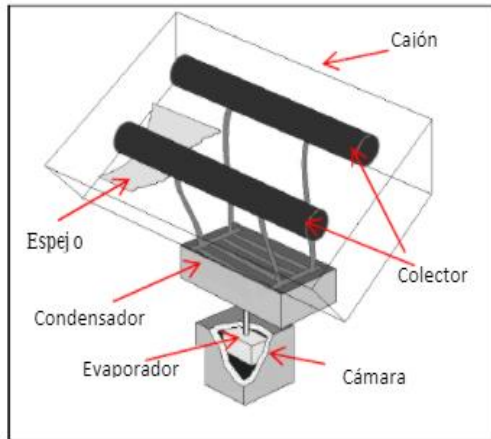


Figura 2. 11: Sistema de funcionamiento y componentes de la maquina  
Fuente: (González, 2015)

## 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 absorción. 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 absorberlo posteriormente en el evaporador, enfriando la estancia o ambiente al que sirve.

Es decir, un ciclo de compresión se compone de condensador y evaporador, además de un compresor mecánico, que es el encargado del transporte del fluido frigorígeno, y de una válvula expansora. (Campuzano & Chiriboga, 2010)

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 absorción, 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 absorbente (bromuro de litio o agua) más un refrigerante (agua o amoniaco). (Hernandez, M, D, 2011)

En climatización de espacios, la pareja absorbente-refrigerante más empleada es bromuro de litio-agua. Los sistemas de absorción no disponen de compresor mecánico, si no de compresor térmico, formado por el absorbedor más el generador. A diferencia de los sistemas de compresión, los

de absorción (de simple etapa) necesitan una fuente de calor externa a una temperatura entre 80 °C y 120 °C, y poseen un rendimiento inferior a 1 (100 %). (Campuzano & Chiriboga, 2010)

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 (TANTUM) la máquina que fabrica hielo, modelo BIM 25 tiene un consumo de energía de 3.5 Kwh y produce 625 kg por día por lo tanto al año será

Precio 2500 dólares

Costo fijo: 2500 dólares

Total, costo fijo: 2500 dólares

Costo energía  $3.5 * 0.091 * 24 * 30 * 12 = 65.52$  dólares al mes

Costo energía al año:  $65.52 * 12 = 786$  dólares

A 0.091 dolares por Kwh

Mantenimiento del equipo: 100 dólares por año

Costo variable: 886 dólares

Tabla 3. 1: Análisis de costos

COSTO FIJO	750	2500
COSTO VARIABLE	150	886
PRODUCCION	10/día=3600/año	62/día=22500/año
INGRESO ANUAL	2880	18000

Elaborado por: Autor

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

Tabla 3. 2: Costo variable por mantenimiento (en dólares)

	SOLAR	SOLAR ACUMULADO	COMPRESOR	COMPRESOR ACUMULADO
AÑO	750		2500	
1	150	900	886	3386
2	300	1050	886	4272
3	450	1200	886	5158
4	600	1350	886	6044
5	750	1500	886	6930

Elaborado por: Autor

### 3.3. Ventajas y desventajas

Se puede notar que los prototipos tienen todavía muy baja producción aproximadamente 10 kg. Diarios de hielo mientras que los comerciales más de 60 kg diarios lo que determina una producción 6 veces mayor frente a un costo de comparación luego de 5 años, la comparación de costos es de 6990/1500 por lo que da aproximadamente 4.5 veces de costo mayor.

Es decir el dispositivo con compresor es 4.5 veces más caro pero produce 6 veces más por lo que todavía es aproximadamente 2 veces más rentable. Estos tipos de equipos todavía están en fase experimental y de prototipo por lo que aumentado el colector solar y las dimensiones se podría aumentar la producción por lo menos unas 10 veces más. Disminuyendo la relación costo producción, en todo caso la ventaja radica en que se pueden instalar y construir en lugares donde no exista acceso a la energía eléctrica o sea mucho más cara, probablemente con acceso a energía fotovoltaico o termo generadores más no al sistema nacional interconectado.

En la comparación de los prototipos producidos se puede notar las siguientes relaciones

1 *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*

2 *Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbón activado. E.*

3 *Refrigerador solar para producción de hielo usando carbón activo metanol realizado por Antonio Pralon y Ferreira Leite*

Tabla 3. 3: Comparación de los prototipos producidos

TIPO	1	2	3
Producción hielo	3	10	5
Metanol	2.25	7.5	No indica
Carbón	7.5	20	No indica

Elaborado por: Autor

### 3.4. Fabricantes de máquinas en funcionamiento

Hay principalmente 2 fabricantes japoneses de enfriadoras de adsorción como son Mycom–Mayekawa y Nishiyodo y 3 fabricantes alemanes: GBU, Invensor y Sor Tech AG

Los fabricantes japoneses diseñan enfriadoras para grandes potencias (70 – 500 kW) mientras que las empresas alemanas fabrican pequeños equipos (7 – 50 kW). Con el nombre de MYCOM, Mayekawa Mfg. Co. Ltd. Produce una enfriadora de adsorción de gel de sílice/agua (modelos ADREF) con rangos entre los 35 hasta 350 kW para la industria de producción de aire acondicionado. (Autor)

Estas unidades pueden funcionar con calor a una temperatura de entre 60 – 90 °C. El COP se ha calculado para una temperatura de 9 °C de salida, 75 °C de agua caliente a la entrada y 30 °C de temperatura ambiente y está en torno a 0.6. La potencia eléctrica de consumo de estas unidades es

normalmente un 6 % de la capacidad de enfriamiento y el porcentaje peso/enfriamiento a la salida es de 0.2 toneladas/kW. (Autor)

NISHIYODO KUCHOUKI CO. LTD, produce también enfriadoras de adsorción de gel de sílice/agua. Estas máquinas se comercializan en EEUU por la empresa HIJC USA Inc. y en España por ICOGEN-SA. Dichas enfriadoras (modelo ADCM) tienen capacidades entre 70 – 1300 kW capaces de enfriar a baja temperatura (50 – 90 °C) y alcanzar COP superiores a 0.60. GBU ha desarrollado un sistema de enfriadoras de adsorción bajo el nombre de “NAK”, modelo con un diseño modular y con capacidades entre 10 – 300 kW. Esta enfriadora usa gel de sílice/agua como par de adsorción. Sor Tech AG desarrolla máquinas de adsorción a pequeña escala con los modelos ACS 08 y ACS 15, de 8 y 15 kW respectivamente. (Bayón, 2016)

Tabla 3. 4: Comparación entre fabricante de máquinas refrigerantes

	<b>P(kw)</b>	<b>COP</b>	<b>Temp</b>	<b>Temp</b>	<b>t. agua fria</b>	<b>Peso kg.</b>	<b>Par trabajo</b>
SORTEC H ACS08	8	0.6	55-95	22-37	6-20	295	SILICE AGUA
SORTEC H ACS 15	35	0.6	55-95	22-37	6-20	590	SILICE AGUA
GBU	50-430	0.55- 0.62	60-100	31-37	3-14	4000- 12000	SILICE AGUA
INVERSO R LTC 09	9	0.61	45-100	20-37	10-24	370	ZEOLITA AGUA
INVERSO R HTC 11	11	0.53	45-100	20-37	10-24	370	ZEOLITA AGUA
NISHYDO ADCM	11-1200	0.65	50-90	20-35	6-15	500- 10000	SILICE AGUA
SWAC	8.5	0.4	85	32	5	1500	SILICE AGUA

Elaborado por: Autor

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).

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. (Bayón, 2016)

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. (Hernandez, M, D, 2011)

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.

Y por último, las temperaturas de trabajo, se observa que no hay grandes diferencias entre los distintos fabricantes ya que para el agua caliente la temperatura mínima varía entre los 45 – 60 °C y la máxima entre los 90 – 100 °C. Para el agua fría la temperatura mínima varía entre los 3 – 10 °C y la máxima entre los 15 – 24 °C. (Hernandez, M, D, 2011)

Y respecto a la temperatura del agua caliente se puede comprobar cómo Invensor puede llegar a trabajar a temperaturas inferiores al resto (hasta los 45 °C) y cómo en general los fabricantes de cámaras de adsorción trabajan a temperaturas inferiores (50 – 60 °C) que los de absorción (que a temperaturas menores a 80 °C reducen mucho su rendimiento) con el ahorro energético que ello conlleva al tener que calentar el agua a una temperatura menor.

Con la ayuda de este estudio, se llega a la conclusión de que la opción más económica de todas es el sistema de absorción de una etapa con un coste total del sistema de unos 1000 €/kW enfriamiento.

Las siguientes opciones más económicas son el sistema de adsorción de una etapa y el de absorción de doble etapa con unos costes en torno a los 1200 €/kW enfriamiento. Mientras que la opción de sistemas desecantes es más cara debido a que se maneja grandes cantidades de aire y agua. (Hernandez, M, D, 2011)

La mayoría de enfriadoras de adsorción trabajan con el sistema gel de sílice/agua. Consisten en dos cámaras separadas que contienen el material de adsorción y que son operadas cíclicamente en procesos de adsorción/desorción. El gel de sílice/agua se puede utilizar como el par adsorbente/refrigerante para una enfriadora de adsorción de dos etapas, que puede utilizar el calor solar de baja temperatura inexplorado y ofrece una posibilidad atractiva para mejorar la conservación de la energía y la eficiencia. Su cuota de mercado es significativamente inferior a la de máquinas de

absorción. Este tipo de refrigerador se produce en Japón y Alemania, sin embargo, durante los últimos años algunas máquinas han sido instaladas en Europa y EE.UU. (Hernandez, M, D, 2011)

Una refrigeradora de adsorción puede tener aplicación en los siguientes mercados: refrigeración de oficinas, industria alimentaria, industria química, fábricas de cerveza, agricultura y calefacción. La combinación de una enfriadora de adsorción con captadores solares, especialmente en las regiones del sur de Europa como Grecia, España e Italia. Por otro lado, según datos de la empresa Sor Tech AG, el valor promedio necesario de superficie de captador de los sistemas de refrigeración instalados en Europa es de alrededor de 3 m<sup>2</sup>/kW.

Los costes totales específicos de los sistemas de refrigeración (sin costes de instalación y distribución del frío) están en Europa entre 5000y 8000 €/kW (datos de 2008)..



Figura 3. 1: Fabricación de máquina, enviada a África  
Fuente: (González, 2015)

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

### **4.1. Conclusiones**

En el trabajo de investigación se comparó los beneficios económicos, frente a los beneficios de la producción, así como el estado del arte de los diferentes prototipos que han sido desarrollados en los centros de estudio superior de igual manera los que han sido producidos utilizando energía residual que ya están en el mercado industrial.

Los sistemas de enfriamiento por adsorción utilizando radiación solar, todavía están en fase de experimentación, pero si se utiliza el calor remanente que sale de una turbina o caldera de otro equipo, estos ya son comerciales y pueden competir en el mercado.

Los sistemas clásicos de compresión son más factibles técnica y económicamente sin embargo se considera otras variables que todavía no han sido cuantificadas como el perjuicio al medio ambiente por emisión de gases a la capa de ozono, es un problema que pasará factura en las próximas décadas

Sin embargo, en lugares alejados de los suministros de bajo costo de energía eléctrica como centrales hidroeléctricas los sistemas por adsorción utilizando energía solar podrían ser más económicos, en lugares apartados que tengan un alto índice de radiación solar como por ejemplo la selva amazónica, los desiertos, plataformas marinas.

Se determinó el beneficio económico y el ambiental al escoger el sistema de enfriamiento por adsorción par carbón activo metanol en áreas que están fuera del alcance de la red eléctrica.

### **4.2. Recomendaciones**

Implementar los prototipos que están disponibles en los trabajos de investigación y escoger el económicamente más factible para la producción

de hielo en sitios apartados donde no llegue la energía eléctrica o sea muy cara conseguirla.

Impulsar la investigación para aumentar la producción del hielo, ya sea aumentando el dimensionamiento de las partes de las máquinas frigoríficas con principio de adsorción o conectarlas en serie para de la misma manera aumentar la producción de hielo y así resolver los problemas de conservación de alimentos.

Promover el estudio a través de este trabajo de investigación de la climatización utilizando máquinas de adsorción con energía solar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayón, M., (2016). Rendimiento de prototipos por adsorción y comparación de distintos fabricantes. págs. 54-60.
- Campuzano, M., & Chiriboga, J. ( 2010). Diseño y construcción de un sistema de enfriamiento por adsorción solar. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Conelec.(2012). Campaña capa de ozono .Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de <https://www.regulacionelectrica.sonstabilidad-social-y-ambiental.pdf>
- Córdova, J. (2017).Prototipos De Refrigeradores Solares Por Adsorcion. Recuperado el 21 de enero del 2018, a partir de [http://nicolasdiruscio.com./archivos/Refrigerador\\_Solar/Refrigerador.pdf](http://nicolasdiruscio.com./archivos/Refrigerador_Solar/Refrigerador.pdf)
- Ferreira, G, D,. (2015). *Energía solar termica en la comunidad de madrid,camara oficial de comercio e industrias de madrid. págs. 75-98.*
- González, L, & Camboa, R. (2015). Recent Development on Adsorption Refrigeration, Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de [http://nicolasdiruscio.com./archivos/Refrigerador\\_Solar/Refrigerador.pdf](http://nicolasdiruscio.com./archivos/Refrigerador_Solar/Refrigerador.pdf)
- Hernandez, H,. (2011). Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbon activado. págs. 130-145. Editorial la prensa (MEXICO)
- Hildbrand. (2004). Cilindro parabólico foco lineal. Recuperado a partir de [https://commons.wi.org/wiki/File:Ciclo\\_refrigeración\\_por\\_absorción](https://commons.wi.org/wiki/File:Ciclo_refrigeración_por_absorción).
- Horn, P, & González, H,. (2002). Carbon activado-metanol adsorbente refrigerador. Recuperado a partir de <https://www.researchgate.net/publication/22>

- Hoyland, S., & Martin, L. (2006). Tipo de maquinaria firogrifica ciclo amoniaco-agua. Demostración de ciclo refrigerativo .Obtenido de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8490/PhD>
- KUHN, t. (2004). Las estructuras de las revoluciones científicas. Buenos Aires, Argentina: University Chicago Press. Recuperado a partir de [http://www.internet.com.uy/arteydif/SEM\\_UNO/PDF/PARADIGMA.pdf](http://www.internet.com.uy/arteydif/SEM_UNO/PDF/PARADIGMA.pdf)
- Merk, D , A. (2011). *Equilibrio de absorcion de mezclas gaseosas*. Recuperado a partir de <https://www.google.com.ec/search?>. págs. 65-70.
- Murthy, G. (1995). Tipos de zeolitas, tipos de adsorventes y prubeas de adsorcion. págs. 7-9. Sus fundamentos de calor y transfe <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803>
- Naciones Unidas. (2000). Objetivos de desarrollo sostenible NU. Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cop23-conferencia-de-la-onu-sobre-el-cambio-climatico-de-2017/>
- Plan nacional buen vivir.(2015).*Sistema ecologico sobre las contaminaciones ambientales*. págs. 10-16.
- Pons, R, & Hilary, Y. (2009). Adsorbente y Adsorbato procesos de adsorcion de calor y enfriamiento continuo págs. 23-39. *Revista(procesos de adsorcion)*
- Postgradoorg, M., (2009). El estudio de caso. Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de <http://jbposgrado.org/icuali/Estudio%20de%20caso.pdf>
- Restuccia, G, K,. (2006). Carbon activado-metano implementacion. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/266289433.pdf>
- Sanchez, M., & González, J. (2002). Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción empleando carbón activado-metanol.

<http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Ecosolar/Ecosolar29/HTML/articulo02.htm>

TANTUM. (2014). Sistemas de paneles solares con recubrimiento de carbon activado. Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de <http://www.bloquedehielo.com/anasayfa/index/ES>

Velasquez, U, & Mendez, L. (2006). Sistema de baja temperatura y colectores de adsorvedores. Recuperado a partir de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-152.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-152.htm)

Venecio, C, & Consuegra, J,. (2016). Refrigeracion por absorcion. págs. 54-56. Recuperado a partir de <https://www.google.com.ec/search?source=hp&ei=l-2PWqvjCY-c>

Whang, J, H. (2006). Sistema de refrigeración por adsorción carbon activado metanol págs. 11-19. Recuperado a partir de <https://www.researchgate.net/publication/259177158>



## **ANEXOS**

**Anexo 1.1:** costos de fabricación de colector solar (Sanchez & González, 2002)

**COSTOS DE FRABICACIÓN DEL EQUIPO**

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
3	Silicon rojo 30 onz.	6
4	Ruedas 3 pulgadas 100 Kg	2.03
1	Plancha de acero inoxidable	46.61
1	Sellador 1/4 litro	5.5
1	Válvula de bola gas de media	27.5
2	Neplos polimex 1/2 por 10 cm	0.26
15	Tubo de cobre flexible 1/2	50.89
1	Teflon amarillo	0.45
1	Caja térmica Azul	45.54
1.32	Tubo inox 304L Sch 3 pulgadas	59.78
1.5	Tubo inox 304L SCH 40 1/2 pulgada	13.61
2	Ace. Inox Codo Rosc 90 NPT 1/2 pulgada	4.84
0.75	Ace. Inox Plancha retazo 4 mm	6.6
2	Ac inox Neplo roscado 1/2x100 SCH 40	6.9
0.2	Tubo inox 3004L SCH 40 1/2 pulgada	2.13
2	Papel aluminio	2.8
1	pintulax verde esmeralda	4.73
90	tornillos punta broca 1 por 8	1.6
2	broca titanium 2.5 mm	0.54
2	brocas titanium 4.5 mm	0.9
1	lija madera	0.14
1	lija para hierro	0.53
1	cinta ductos	5.09
3	conexiones CuMb 66 BR ½ por ½ macho	19.75
1	conexión CuMb 66 BR ½ por ½ hembra	5.68
5.5	Tubería de cobre Tipo k	25.14
3	neplo conexión B-122 1/2	8.49
2	bush HG 1/2 *1/4	0.58
2	TEE HG	0.7
1	boquilla mangera MRCFB-3 1/2 por 3/8	3.84
1	Estructura de madera	130
1	Electrodos E3018	25
1	Vidrio	25
<b>TOTAL</b>		<b>539.315</b>

**Anexo 1.2:** Tabla de tipos de temperaturas de colector (Hernandez, M, D, 2011)

Movimiento	Tipo de colector	Tipo de absorbedor	Índice de concentración	Rango de temperatura (°C)
Estacionario	Placa plana (flat plate collector) (FPC)	Plano	1	30-80
	Colector de tubos al vacío (evacuated tube collector) (ETC)	Plano	1	50-200
Estacionario	Concentrador parabólico compuesto (compound parabolic concentrator) (CPC)	Tubular	1-5	60-240
			5-15	60-300
Rastreo alrededor de un eje	Reflector de Fresnel lineal (linear Fresnel reflector) (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Cilindro-parabólico (parabolic trough collector) (PTC)	Tubular	15-45	60-300
Rastreo alrededor de dos ejes	Reflector de plato parabólico (parabolic dish reflector) (PDR)	Punto	100-1000	100-500
	Colector de campo de heliostatos (heliostat field collector) (HFC)	Punto	100-1500	150-2000

Anexo 1.3: propiedades termo físicas del metano (González, 2015)

Pressure, bar	Temp., K	$c_p, m^2/kg$	$c_p, m^2/kg$	$h_g, kJ/kg$	$h_g, kJ/kg$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$c_{p,c}, kJ/(kg \cdot K)$	$\mu_c, 10^{-6} Pa \cdot s$	$k_c, W/(m \cdot K)$	$Pr_T$
$4 \times 10^{-6}$	175.6	0.001 057	1700000	0.0	1303.1	2.9114	10.2328	2.531	625	0.204	7.75	
0.1	288.4	0.001 257	7.309	261.0	1440.3	3.9383	8.0281	2.554	525	0.196	6.84	
0.2	301.7	0.001 276	3.801	293.9	1455.4	4.0493	7.9032	2.669	401	0.193	5.55	
0.5	320.7	0.001 307	1.599	345.0	1476.2	4.2117	7.7386	2.777	329	0.189	4.83	
1.013	337.7	0.001 336	0.819	391.7	1492.1	4.3516	7.6104	2.845	288	0.186	4.41	
1.5	348.0	0.001 356	0.5632	421.0	1500.3	4.4361	7.5379	2.894	268	0.184	4.22	
2.0	356.0	0.001 371	0.4276	444.2	1505.8	4.5014	7.4836	2.946	242	0.182	3.92	
2.5	362.5	0.001 385	0.3443	463.6	1509.8	4.5536	7.4398	2.984	227	0.181	3.74	
3.0	368.0	0.001 396	0.2893	479.8	1512.4	4.5992	7.4051	3.050	204	0.179	3.48	
4.0	377.1	0.001 417	0.2188	507.8	1515.9	4.6728	7.3474	3.117	187	0.178	3.27	
5	384.5	0.001 434	0.17569	529.7	1517.4	4.7307	7.2902	3.176	174	0.177	3.12	
6	390.8	0.001 450	0.14683	549.6	1518.4	4.7836	7.2624	3.265	156	0.175	2.91	
8	401.3	0.001 479	0.11015	582.7	1518.0	4.8678	7.1988	3.349	141	0.173	2.73	
10	409.8	0.001 504	0.08783	610.3	1516.1	4.9366	7.1471	3.540	117	0.171	2.42	
15	426.3	0.001 560	0.05761	665.8	1507.9	5.0708	7.0461	3.72	102	0.169	2.25	
20	438.9	0.001 611	0.04224	710.5	1533.8	5.1744	6.9677	3.91	92	0.167	2.15	
25	449.3	0.001 666	0.03290	749.0	1486.4	5.2605	6.9017	4.12	84	0.165	2.10	
30	458.2	0.001 710	0.02661	783.8	1474.7	5.3355	6.8435	4.67	72	0.160	2.10	
40	472.9	0.001 814	0.01863	846.7	1450.1	5.4650	6.7409	5.55	63	0.154	2.27	
50	484.9	0.001 934	0.01373	905.2	1423.2	5.5793	6.6475	6.5543	6.3791	6.0979	6.0979	
60	495.1	0.002 066	0.01032	963.3	1391.8	5.6899	6.5543	6.3791	6.0979	6.0979	6.0979	
80	508.1	0.002 507	0.00642	1065.3	1318.7	5.8803	6.3791	6.0979	6.0979	6.0979	6.0979	
90.95 <sup>t</sup>	512.6	0.003 715	0.00372	1186.8	1186.8	6.0979	6.0979	6.0979	6.0979	6.0979	6.0979	

<sup>t</sup> = triple point;  $c$  = critical point;  $v$ ,  $h$ ,  $s$ , and  $c_p$  interpolated and converted from Goodwin, R. D., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 16, 4 (1987): 799-891.



**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, **Veloz Arias, Diego Steven** con C.C: # **0941325409** autor/a del trabajo de titulación: **Estudio de un sistema de refrigeración a través de la adsorción carbón activado-metanol utilizando fuentes renovables de energía** 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, 5 de Marzo del 2018

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

**Veloz Arias, Diego Steven**

**C.C: 0941325409**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio de un sistema de refrigeración a través de la adsorción carbón activado-metanol utilizando fuentes renovables de energía		
<b>AUTOR(ES)</b>	Veloz Arias, Diego Steven		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	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>	05 de marzo de 2018	<b>No. PÁGINAS:</b>	<b>DE 68</b>
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Mecánica de fluido, Generación Eléctrica, Fuentes renovables		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Enfriamiento, Adsorción, Carbón Activado-Metanol, Generación eléctrica		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente trabajo de titulación comprende el estudio de la factibilidad técnica y económica de una maquina refrigerante usando el par carbón activado metanol empleando la energía solar. Se emplea la investigación bibliográfica en el estudio del estado del arte, pues se consideran tres trabajos en donde se analizarán las características del proceso de adsorción y las dimensiones físicas de la máquina, así como el producto final. Se compara el proceso entre las etapas de la máquina que utiliza compresor y la que utilizan la bomba refrigerante que está compuesta por el generador y el adsorbedor. Las variables cualitativas son el estudio del sistema de refrigeración frente al conveniente ahorro del consumo eléctrico y la contaminación ambiental. Se determina la conveniencia del estudio pues en nuestro país los índices de radiación solar son altos por lo existe la factibilidad en la construcción, implementación y explotación de este tipo de maquina refrigerante. Los sistemas de enfriamiento por adsorción utilizando radiación solar, todavía están en fase de experimentación, pero si se utiliza el calor remanente que sale de una turbina o caldera de otro equipo, estos ya son comerciales y pueden competir en el mercado. Los sistemas clásicos de compresión son más factibles técnica y económicamente sin embargo se considera otras variables que todavía no han sido cuantificadas como el perjuicio al medio ambiente por emisión de gases a la capa de ozono.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	Teléfono:+593-42973233/0979131171	E-mail: diegopchiluiza@gmail.com
<b>CONTACTO INSTITUCIÓN (COORDINADOR PROCESO UTE)::</b>	<b>CON LA DEL</b>	Nombre: Orlando Philco Asqui	
		Teléfono: +593-4-2202935	
		E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec	
<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>			