



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

TEMA:

**Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente /
adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes
renovables de energía**

AUTORA:

Montaño Patiño, Suly Dayanara

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Montaño Patiño, Suly Dayanara**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera en Eléctrico Mecánica**.

TUTOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Montaño Patiño, Suly Dayanara**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía** previo a la obtención del título de **Ingeniera en Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

LA AUTORA

Montaño Patiño, Suly Dayanara



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Montaño Patiño, Suly Dayanara**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

LA AUTORA:

Montaño Patiño, Suly Dayanara

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento: TRABAJO DE TITULACION EN INGENIERIA EN ELECTRICIDAD MECANICA.pdf (D111896220)

Presentado: 2021-08-30 09:12 (-05:00)

Presentado por: orlandophilico_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philico.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: tesis Montaña [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 27 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
ET	http://constoria.ucsg.edu.ec/npstream/337/3537/1/T-UCSG-PPE-TEC/
ET	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/337/32493/1/T-UCSG-PPE-TEC/
	Tesis Blanca Sartin 04/09/2020.docx
	https://m.facebook.com/academiaT/posts/2208914932903608

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICO MECANICA

TEMA:

ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE PARES ADSORBENTE / ADSORBATO PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

UTILIZANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA-AUTOR: Montaña Patiño, Suly Dayanara

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERIA EN ELECTRICO MECANICA TUTOR: Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Mgs. Gueyacuili, Ecuador 28 de agosto del 2021.

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICO MECANICA CERTIFICACION Certificamos que el presente trabajo de titulación,

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico Mecánica denominado: **“Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía”** perteneciente al estudiante **Montaña Patiño, Suly Dayanara**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 1% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs

Revisor

AGRADECIMIENTO

Como punto principal quiero agradecer a Dios por bendecirme en gran manera, Él ha sido parte fundamental de mi crecimiento personal y estudiantil, me ha dado la fortaleza de seguir adelante a pesar de las adversidades, agradezco que me haya permitido llegar hasta estas instancias y lograr vencer cada reto que se ha presentado durante la carrera.

Agradezco a mis padres quienes me han brindado su apoyo incondicional, por haber estado presentes en cada paso de mi vida. Por su sabiduría e inmenso amor; aconsejándome y siendo un ejemplo de perseverancia.

Agradezco a mi hermana pues ha sido un pilar fundamental en esta etapa de mi vida, por su apoyo en los momentos más difíciles, por preocuparse y estar pendiente de mí, dándome ánimos para seguir a adelante.

Montaño Patiño, Suly Dayanara

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a Dios ya que sin Él no hubiese podido llegar a culminarlo.

Lo dedico a mi familia porque fueron la inspiración que necesitaba para seguir adelante, se merecen todos mis logros.

También quiero dedicar este trabajo a todas las personas que me han brindado su apoyo y de cierta manera han aportado un granito de arena para que cumplir mis objetivos.

Montaño Patiño, Suly Dayanara



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

DECANO

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO



Ing. Philco Asqui Luis Orlando M. Sc

OPONENTE

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES.....	4
1.1 Justificación y alcance.....	4
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Metodología de la investigación.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Estado del arte.....	8
2.2 Fundamentos de adsorción.....	10
2.2.1 Ciclo de adsorción.....	11
2.2.2 Tipos de adsorción.....	13
2.2.3 Aplicaciones de la adsorción.....	15
2.3 Fundamentos de desorción.....	16
2.3.1 Tipos de desorción.....	16

2.4	Adsorbentes.....	17
2.4.1	Propiedades de los adsorbentes.....	17
2.4.2	Adsorbentes importantes	18
2.5	Refrigerantes	20
2.5.1	Refrigerantes comunes	20
2.5.2	Otros refrigerantes	22
2.5.3	Propiedades de los adsorbatos.....	22
2.6	Sistemas de enfriamiento por adsorción.....	23
2.6.1	Evaporador.....	24
2.6.2	Condensador.....	26
2.6.3	Generador	27
2.7	Estudio de máquina refrigerante.....	29
2.8	Sistema de captación.....	31
2.9	Sistema de acumulación.....	31
2.10	Torre de refrigeración	31
2.11	Radiación solar	32
2.12	Colector solar	33
2.13	Modelación matemática.....	35
2.14	Determinación de isoterma de adsorción	35
CAPÍTULO III.....		38
APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN		38
3.1	Comparación de los sistemas de compresión y adsorción	38
3.2	Propiedades del cuesco de la palma africana	41

3.3 Pares adsorbente/adsorbato.....	43
3.3.1 Propiedades de pares adsorbente/adsorbato	45
3.4 Ventajas y desventajas	45
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1 Proceso de adsorción	11
Figura2.2 Diagrama Clayperon del ciclo de refrigeración por adsorción.....	12
Figura 2. 3 Adsorción física.....	14
Figura2.4 Adsorción química	15
Figura 2. 5 Estructura de carbón activado	19
Figura 2. 6 Cristal de zeolita	20
Figura2.7 Acondicionador de aire por adsorción.....	24
Figura2.8 Evaporador	24
Figura2.9 Generador.....	28
Figura 2. 10 Funcionamiento de un sistema de refrigeración por adsorción	29
Figura 2. 11 Torre de refrigeración	32
Figura2.12 Colector solar.....	34
Figura2.13 Isotermas de adsorción.....	36

Capítulo 3

Figura 3. 1 Ciclo de compresión	38
Figura3.2 Proceso de adsorción y desorción.....	40
Figura3.3 Proceso adsorción / desorción.....	41
Figura3.4 Palma africana y cuesco.....	41
Figura3.5 Obtención de carbón activado	43
Figura3.6 Potencial de adsorción y volumen	44

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla2.1 Característica de adsorción física y química	13
Tabla2.2 Procesos de adsorción.....	15
Tabla2.3 Refrigerantes maás comunes	21

Capítulo 3

Tabla3.1 Propiedades del cuesco de palma africana	42
---	----

RESUMEN

Dentro del trabajo de investigación que se realizó en este proyecto sobre el estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente/adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía y la factibilidad de su proceso. Se define a partir de los conceptos de adsorción; que es adherir mas no absorber una sustancia con otra, esto produce una liberación de energía, es decir, ocurre un traspaso de energía de las moléculas que están adheridas a la superficie aumentado la temperatura a su alrededor, mientras que desorción una vez cumplida la función expulsa la sustancia para que se vuelva a cumplir el ciclo del sistema, adsorbiendo el calor del ambiente, pues adentro empieza aumentar la temperatura del adsorbente, en realidad significa que alrededor disminuye la temperatura. Este tipo de sistema de enfriamiento llamado ecológico debe ser usado por componentes naturales y dentro de estos componentes se encontró el carbón activado el cual es proveniente del cuesco de la palma africana que obtuvo mediante un proceso químico y su par idóneo es el metanol ya que juntos cumplen una gran capacidad de adsorción y desorción. Debido a esta investigación se llegó a la conclusión de que este tipo de sistema es conveniente por su bajo impacto negativo al ambiente, mientras que el sistema de enfriamiento por compresión debería ir quedando obsoleto por emisiones de gases nocivos. Esta investigación se obtuvo gracias a la recopilación bibliográfica de estudios experimentales y teóricos sobre estos sistemas de refrigeración.

Palabras Claves: Sistema de enfriamiento, Adsorción, Desorción, Adsorbente, Adsorbato, Sistemas de compresión.

ABSTRACT

Within the research work carried out in this project on the study of adsorption and desorption of adsorbent/adsorbate pairs for cooling systems using renewable energy sources and the feasibility of its process. It is defined from the concepts of adsorption, which is to adhere but not absorb a substance with another, this produces a release of energy, there is a transfer of energy from the molecules that are attached to the surface by increasing the temperature around it, while desorption once fulfilled the function expels the substance so that the system cycle is fulfilled again, adsorbing the heat of the environment, because inside begins to increase the temperature of the adsorbent, actually means that around decreases the temperature. This type of cooling system called ecological should be used by natural components and within these components was found the activated carbon which comes from the African palm bark obtained through a chemical process and its ideal pair is methanol because together they meet a great adsorption and desorption capacity. Due to this research, it was concluded that this type of system is convenient due to its low negative impact on the environment, while the compression cooling system should become obsolete due to harmful gas emissions. This research was obtained thanks to the literature collection of experimental and theoretical studies on these cooling systems.

Keywords: Cooling system, Adsorption, Desorption, Adsorbent, Adsorbate, Compression systems.

INTRODUCCIÓN

Según el estudio medioambiental de la ONU dentro de su informe anual del 2018 hasta la fecha existe una gran lucha para reducir las emisiones que causan la refrigeración y la calefacción de uso doméstico y mucho más alarmante cuando son emisiones de empresas con producciones industriales. Se sabe bien que la refrigeración y la calefacción son una gran ayuda y han beneficiado a quienes lo poseen, favoreciendo así dentro de los domicilios el manteniendo y conservación de alimentos frescos, a que personas logren mantenerse frescos en épocas de extremo calor e inclusive a mantenerse cálidos en épocas de extremo frío. Dentro del sector salud ha ayudado a mantener vacunas en excelente estado, entre otros medicamentos para su utilización más óptima.

Pero como todo éxito tiene un precio; el precio de éste ha sido sin lugar a dudas el deterioro de nuestra capa de ozono trayendo consigo una alarma medioambiental por emisiones de gases de efecto invernadero que ha llevado a estos sistemas de enfriamiento a gastar más del 50% de energía que consumen los domicilios y que funcionan en su mayoría con combustibles fósiles, causando la elevación de la temperatura del planeta de una forma peligrosa. (ONU, 2019)

Aunque gracias a la pandemia del Covid-19 y a que el mundo detuvo su producción por varios meses las emisiones de CO₂ tuvieron una disminución alentadora y esto es algo que demuestra que está en nosotros el encontrar solución a este gran problema, pero aún no es suficiente para salir de un estado de alerta dirigido a un aumento de más de 3°C de temperatura en este siglo. (ONU, 2020)

Es por ende que se han realizado estudios para el hallazgo de alternativas ecológicas que cumplan con la misma función y que sean amigables con el medio ambiente, mediante los sistemas de enfriamiento por adsorción se pretende llegar al cambio de maquinarias por medio de métodos alternativos y generar o ayudar en un porcentaje de disminución a

la emisión de gases tóxicos que causan el calentamiento global, a los grandes países que están comprometidos con este cambio y así paulatinamente se irían sumando los países subdesarrollados. Esta metodología basada en el uso de fuentes de energías renovables y sustancias naturales que ayudan a la depuración de contaminantes brinda mayores beneficios a la humanidad y al planeta es por ende que en los siguientes capítulos se detallara en que consiste este sistema con fuentes alternativas y la mejora que traería al planeta siendo todos conscientes de lo que a futuro se espera alcanzar.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Justificación y alcance

Según el Plan Nacional del Buen Vivir (2017) tiene como objetivos:

“Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental.”

“Por esta razón se pretende investigar nuevas alternativas mediante fuentes renovables de energía.”

A nivel internacional, este objetivo se sustenta en un instrumento al cual están suscritos 197 países, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, misma que se puso en marcha en 1994.

Esta Convención se ejecuta a través de un protocolo llamado el Protocolo de Kyoto, en el cual se detallan bajo que principios y disposiciones deben regirse los países suscritos a dicha Convención. El objetivo de este es establecer un compromiso con los países industrializados para que las emisiones de gases de efecto invernadero sean menores; los países miembros deben adoptar y cumplir medidas, e informar continuamente sobre la ejecución de estas.

Monzonis Salvia (2011) expresa que:

“Existen opiniones contradictorias al respecto que manifiestan abiertamente que la base científica del Protocolo de Kioto es muy débil y que, pese a ello, las medidas que se proponen tendrán un impacto económico desproporcionado con los resultados que se pueden ofrecer, es decir, con un retraso escaso en el calentamiento global a largo plazo.”

Ahora bien, Ecuador pasa a ser parte de los 197 Estados partícipes de dicho instrumento al ser miembro de las Naciones Unidas, por lo tanto, dentro de sus políticas de sostenibilidad del sector eléctrico se lo obliga a considerar parámetros que garanticen el desarrollo e implementación de tecnologías que permitan una mejor adaptación y resistencia a los diversos cambios que se dan en cuanto al cambio climático.

Por esta razón se pretende investigar nuevas alternativas mediante fuentes renovables de energía en el proceso de enfriamiento que hacen los aires acondicionados y máquinas que generen el mismo sistema; haciendo uso de investigaciones con fuentes bibliográficas en las que ya se han hecho experimentos, comprobándose que la única variación fue el adsorbente, desde donde también se utilizaría la misma fuente de energía renovable.

1.2 Planteamiento del problema

¿En qué afectan los sistemas de enfriamientos convencionales o tradicionales al medio ambiente?

Los sistemas de compresión son utilizados por gran parte de la población en todo el mundo. Un ejemplo de ello son los aires acondicionados que a partir de los años 30s cobraron bastante popularidad entre las familias; actualmente, son muchos los hogares que cuentan con un equipo en casa o hasta dos, sin considerar los efectos que esto ocasiona en el medio ambiente y sin tomar en cuenta directamente empresas que se dedican a producción de productos en cantidades industriales, es sabido que dentro de sus procesos de fabricación emiten gases a gran escala.

Es importante mencionar que los sistemas de enfriamiento convencionales ya sean por compresión, centrífugos, por absorción u otros, han sido en parte los causantes de la contaminación del medio ambiente.

Otro ejemplo es la utilización de la energía eléctrica para activar un compresor; mismo que para su funcionamiento hace uso de hidrofluorocarbonos, compuestos altamente nocivos para la capa de ozono; y esto se debe a que no se ha desarrollado un nuevo sistema de consumo

energético que minorice este daño o de repente los empresarios hacen un análisis más económico que objetivo.

Cuando hablamos de las afectaciones al medio ambiente por el uso desmedido de los sistemas de enfriamiento, hacemos referencia al cambio climático, que no es más que la alteración de las temperaturas de la tierra, así como también del clima y ecosistemas, por la actividad humana, convirtiéndose en un fenómeno ambiental de carácter urgente ya que genera fuertes repercusiones en la sociedad y economía, llegando a ser los países en vías de desarrollo los más afectados por estas políticas poco amigables con la naturaleza.

En los últimos años, la actividad humana, como el uso de energías eléctricas, los procesos industriales, el mal uso de los residuos, entre otros, ha sido la principal contribuyente en el aumento excesivo de gases de efecto invernadero, lo cual no solo genera cambios en lo social y económico sino también en las condiciones de la producción de alimentos, desastres naturales, etc.

Según estudios, la temperatura de la tierra ha llegado a variar curiosamente; en zonas frías se han registrado olas de calor, y viceversa. Por lo que mundialmente se hacen llamados a ejecutar acciones que reduzcan las emisiones de estos compuestos que a grandes escalas resultan dañinos para la atmosfera; estimándose que de no tomar acción se produciría un aumento de 4°C, y, para ese entonces, no habrá acciones que se puedan emplear para reducir los daños. (Veloz Arias, 2018, p. 16)

Si bien es cierto, grandes cambios se han evidenciado desde la Revolución Industrial, y a la par de esos cambios, el mundo ha sido testigo del uso desmedido de varios componentes por las grandes potencias o industrias, como, por ejemplo: combustibles fósiles, carbón, petróleo, gases fluorados, este último altamente contaminante, entre otros, alterando el equilibrio energético de la tierra.

Sin embargo, y pese a lo grave del problema, expertos advierten que es una tarea bastante compleja el reducir la temperatura a la que está

sometida la tierra, y explican que, aunque se cuente con la tecnología para dicha acción, son los gobiernos de los países industrializados quienes no llevan a cabo las políticas sostenibles con la naturaleza.

Ahora bien, fundamentándose en esto, en el presente trabajo se realizará un estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbentes / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar mediante el estudio la adsorción y desorción de pares adsorbentes / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar la fundamentación que comprende un sistema de enfriamiento por adsorción.
- Diagnosticar los sistemas de enfriamiento para zonas industriales y domésticas.
- Realizar una comparación sobre los sistemas de enfriamiento por adsorción y compresión.

1.4 Metodología de la investigación

El presente trabajo se realizará con el método de investigación cualitativa porque se extraerá información de libros, revistas científicas además de tesis referentes al tema. También se utilizará el método deductivo el cual permitirá hacer un análisis general y lograr concluir con la parte específica de dicha investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En los últimos tiempos la humanidad se ha obligado a buscar alternativas las cuales ayuden con una solución para la reducción de CO₂ y así nació el sistema de refrigeración por adsorción puesto que los sistemas convencionales han ido afectando gravemente al medio ambiente. Se ha realizado una investigación de diferentes informes acerca de una metodología amigable para el ecosistema.

Por esta razón un estudio realizado por Sharafianardakani (2015) llegó a la conclusión de que los sistemas de refrigeración por adsorción impulsados por el calor residual son potenciales sustitutos de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor en aplicaciones de aires acondicionados. Sabiendo que los pares de trabajo en un sistema de refrigeración por adsorción son una combinación de un material adsorbente como zeolita y gel de sílice y un adsorbato como agua y metanol. La mayoría de estos materiales no son tóxicos, no son corrosivos, no agotan el ozono y son baratos. Además, un sistema de refrigeración por adsorción funciona de forma silenciosa y las válvulas son sus únicas piezas móviles. Sin embargo, el volumen y el peso de estos sistemas son los principales retos a los que se enfrenta la comercialización de estos sistemas respetuosos con el medio ambiente.

Más estudios han demostrado que los sistemas de refrigeración por adsorción resultan muy factibles, puesto que se ha estudiado el rendimiento del refrigerador con diferentes números de colectores, tiempo de ciclo y almacenamiento de calor. En primer lugar, se ha estudiado el rendimiento de un ciclo de adsorción básico acoplado directamente a un colector solar. Posteriormente, se ha estudiado el rendimiento del almacenamiento de calor, se ha investigado analíticamente. El estudio revela que el almacenamiento de calor es más eficaz que el acoplamiento solar directo;

sin embargo, requiere más colectores en función del tamaño del acumulador.(Ara Rouf et al., 2013)

Además del estudio de los sistemas de refrigeración por adsorción también se investigó los pares adsorbente-adsorbato que es el principio del funcionamiento de estos sistemas los cuales se aplican con frecuencia y las técnicas de mejora permiten mejorar su eficiencia. (Gwadera, 2016)

Una guía muy importante es la investigación realizada por Bohórquez Escobar et al. (2020) puesto que lograron determinar cuál adsorbente tuvo un comportamiento idóneo para los sistemas de refrigeración por adsorción, este trabajo experimental arrojaron valores acerca de la zeolita (adsorbente estudiado) indicando que permitía disponer de 8.3g de metanol por kg de adsorbente, además de realizar una comparación de los diferentes tipo de zeolitas existentes.

Wagh & Wankhede (2017) durante una investigación lograron determinar la máxima capacidad de adsorción que poseen los pares de trabajos estudiados teniendo una eficiente construcción del lecho de adsorbentes que a su vez obtiene una alta tasa de transferencia de calor y masa del lecho para aires acondicionados o sistemas de refrigeración.

Nishiyodo Kuchouki fue quien inventó una de las primeras máquinas para la comercialización en 1986, un enfriador de adsorción con los pares de gel de sílice-agua. El sistema de adsorción utilizaba agua para calentar y refrigerar. La empresa HIJC de Estados Unidos vendía este tipo de enfriadores de adsorción. El enfriador producía 3° C de agua de refrigeración cuando la temperatura de la fuente de calor era de 50-90° C.

Según un estudio de Wang (2014) indica que el hospital Malteser de Kammenz en Alemania fue el primero en instalar un sistema de cogeneración de frío, calor y electricidad para el que se utilizó una enfriadora de adsorción con una potencia de 105KW, empezando a funcionar en el año 2000. En el 2003 una empresa japonesa comenzó a producir un refrigerador por adsorción de gel de sílice y agua obteniendo 14°C de agua refrigerada cuando la temperatura impulsada es de 75° C. Este sistema fue alimentado

por calor residual, simultáneamente se puede generar la refrigeración para la deshumidificación y refrigeración. Con este sistema, el consumo anual de energía podría reducirse en un 10%, y las emisiones de CO₂ en un 12%.

Los pares adsorbente-adsorbato juegan un papel importante en el estudio de los sistemas de adsorción puesto que de acuerdo a los diferentes pares que existen se puede determinar la capacidad de adsorción y llegar a concluir cual es el más conveniente para lo que se requiera, además de entender que no todos los adsorbentes pueden ir con todos los adsorbatos, porque su rendimiento en unos es mucho más débil que con otros, más adelante se explicará los diferentes adsorbentes y adsorbatos que se pueden encontrar.

2.2 Fundamentos de adsorción

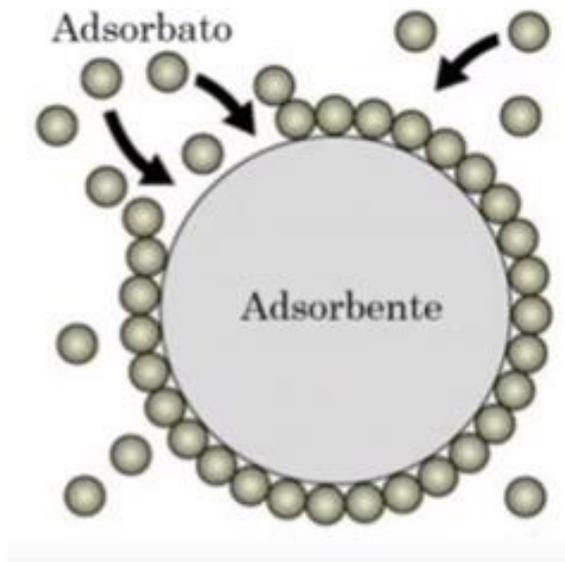
La industrialización fue una de las mejores ideas para el mundo ya que se generó un gran boom en el siglo XIX con su sistematización y el aumento de plazas de empleo, cambiando así el estilo de vida de muchas personas y bienestar para la sociedad sin darse cuenta del monstruo que se estaba originando por este avance, sin embargo con el pasar del tiempo el hombre se ha dado cuenta que el ecosistema se ha ido deteriorando paulatinamente provocando un efecto invernadero la cual se produce por los gases tóxicos de CO₂ que emanan estas industrias.

Gracias al alza de petróleo en los años 70 el hombre se interesó más en los sistemas de adsorción, viendo que este sistema empezaba a ser amigable con el medio ambiente en un cierto porcentaje, profundizó su interés en los años 90 ya centrado específicamente en beneficios medioambientales ya que aún se utilizan productos nocivos que causan graves daños a la capa de ozono y por esta razón se estudió más a fondo lo que es la adsorción.

La adsorción es el proceso mediante el cual posee la capacidad de adsorber sustancias entre sí y estas son retenidas en la superficie de otra sustancia, siendo así que, el adsorbato es adsorbido por el adsorbente. También se lo puede definir como un proceso mediante el cual se pretende

extraer materia de una fase para concentrarla en la superficie de otra fase como se muestra en la Figura 2.1. (Bravo Paredes, 2020, p. 3)

Figura 2. 1
Proceso de adsorción



Fuente: (De La Fuente & Morales, 2015)

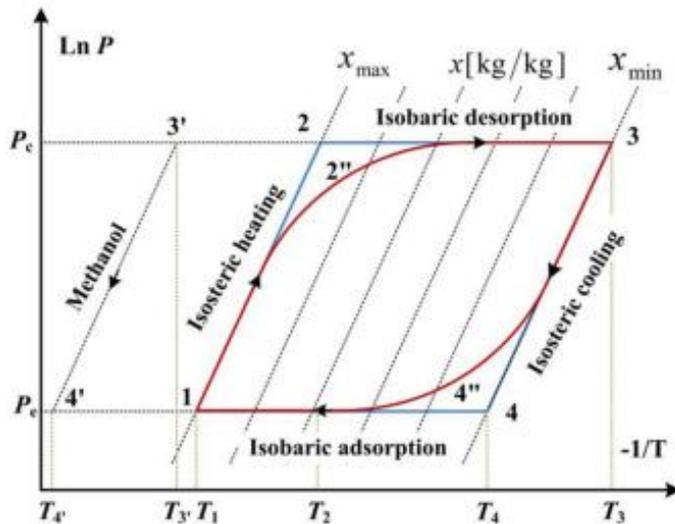
Acevedo Corredor (2014) explica que según los estudios que se han realizados al cuesco de la palma africana se ha determinado que el adsorbente cumple con el funcionamiento que sería adsorber al adsorbato sin ningún tipo de repercusión nociva, es por ende que en los siguientes subtemas se seguirá explicando como el carbón activado, en este caso el cuesco de palma africana ayuda a minimizar el impacto ambiental industrial y doméstico.

2.2.1 Ciclo de adsorción

El principio de funcionamiento de un ciclo de adsorción con energía solar puede explicarse mediante el diagrama de Clapeyron, como se muestra en la Figura 2.2. Consiste en un calentamiento isostérico, una desorción isostérica, un enfriamiento isostérico y una adsorción isobárica. El ciclo comienza en el punto 1 donde el refrigerante es absorbido por el adsorbente. La energía total obtenida por el sistema durante el período de calentamiento es la suma de la energía de 1 a 2 y la energía de 2 a 3. La energía de 1 a 2 es la energía necesaria para elevar la temperatura del

adsorbente y del refrigerante (calentamiento isostérico) y la energía de 2 a 3 es la energía necesaria para el calentamiento progresivo del adsorbente y para el proceso de desorción. (Ambarita & Kawai, 2016, p. 3)

Figura2.2
Diagrama Clayperon del ciclo de refrigeración por adsorción



Fuente: (Ambarita & Kawai, 2016)

Wilson & Kolokotroni (2013) en la pp. 2-3 explican con detalle lo que ocurre en cada fase del ciclo de refrigeración por adsorción del diagrama de Clayperon:

- Fase 1 a 2 Calentamiento y presurización. – Durante este proceso, el adsorbedor recibe calor. La temperatura del adsorbente aumenta (isostérica) a lo largo de la línea de concentración máxima, lo que induce un aumento de la presión de evaporación a la presión de condensación.
- Fase 2 a 3 Calentamiento y desorción más Condensación. – Durante este proceso, la temperatura del adsorbente sigue aumentando, induciendo así la desorción del vapor de refrigerante. El vapor desorbido migra hacia el condensador donde se licua.
- Fase 3 a 4 Enfriamiento y despresurización. – Durante este proceso el adsorbente libera calor. La temperatura del adsorbente disminuye, lo

que induce una disminución de la presión desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación.

- Fase 4 a 1 Enfriamiento y adsorción más Evaporación. – Durante este proceso la temperatura del adsorbente sigue disminuyendo, lo que induce adsorción de vapor. Este vapor adsorbido se vaporizado en el evaporador. El calor de evaporación es suministrado por la fuente de calor a baja temperatura.

2.2.2 Tipos de adsorción

Existen dos tipos de adsorción que son la adsorción física también llamada fisisorción y la adsorción química también llamada quimisorción, estos tipos son detallados más adelante, además en la Tabla 2.1 se puede apreciar las diversas características de estos tipos de adsorción.

Los pares de trabajo de adsorción física más estudiados son: carbón activado (o fibra de carbón activado) - metanol, carbón activado (o fibra de carbón activado) - amoníaco, gel de sílice - agua y zeolita - agua.

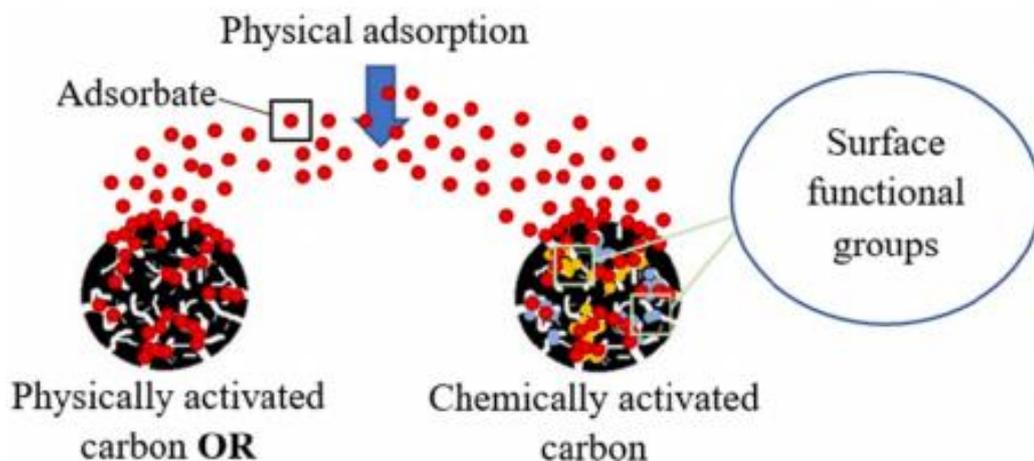
Tabla2.1
Característica de adsorción física y química

Adsorción física	Adsorción química
Fuerzas de Van der Waals	Enlaces químicos
Carácter exotérmico (1-10 kcal/mol)	Carácter exotérmico (10-100 kcal/mol)
Rápida	Lenta
Reversible	Irreversible
Formación de multicapas	Solo monocapa adsorbida
Ocurre en todos los sólidos y en toda su superficie	Ocurre en ciertos sólidos y en determinados puntos.
Poca selectividad	Gran selectividad
Dependencia lineal con T	Dependencia exponencial con T

Fuente: (Yajahiry, 2015)

La adsorción física depende de la temperatura de adsorción (0-170 °C), en la que un aumento de la temperatura disminuye la capacidad de adsorción de CO₂. Esto se debe porque las moléculas de CO₂ adsorbidas reciben mayores cantidades de energía que posteriormente disminuyen la fuerza de las fuerzas de Van der Waals debido a la naturaleza exotérmica de la adsorción. La capacidad de adsorción de CO₂ aumenta linealmente con el incremento de la presión (0,5-50 bar) siguiendo el principio de Le Chatelier ya que el volumen de CO₂ disminuye durante la adsorción, y viceversa como lo muestra en la Figura 2.3. (Lai et al., 2021, p. 6)

Figura 2. 3
Adsorción física



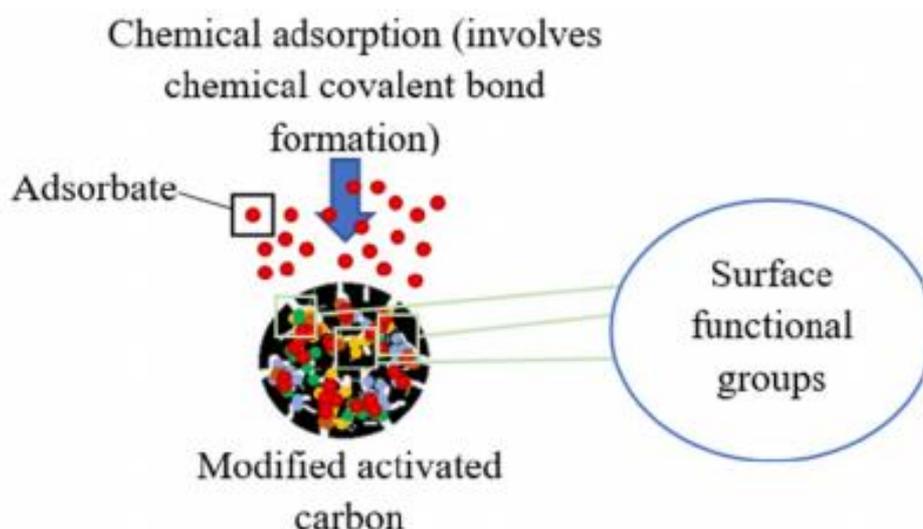
Fuente: (Lai et al., 2021)

Adsorción química por otro lado es una atracción fuerte entre las moléculas es por ello que es más difícil de revertir. Incluyen principalmente cloruros metálicos, hidruros metálicos y óxidos metálicos e hidratos de sal. La reacción de adsorción entre los cloruros metálicos y los refrigerantes es una reacción de complejidad, y el compuesto complejo también se llama compuesto coordinado.

La adsorción química implica la formación de enlaces covalentes, en el que la carga química o la transferencia de electrones entre las moléculas de CO₂ y los grupos funcionales de la superficie de los grupos funcionales de la superficie del adsorbente forman un enlace químico electrones (enlace covalente). Por lo tanto, para mejorar la capacidad de adsorción de CO₂ del

adsorbente, la modificación de la superficie como la impregnación y el injerto utilizando grupos aminos o de óxido metálico para alterar la superficie del adsorbente como lo explica la Figura 2.4. (Lai et al., 2021, p. 7)

Figura 2.4
Adsorción química



Fuente: (Lai et al., 2021)

2.2.3 Aplicaciones de la adsorción

En la Tabla 2.2 se puede observar las diferentes funciones que realizan los procesos de adsorción en la parte industrial. En la adsorción existen dos tipos de aplicaciones las cuales son:

- Aplicación en fase de líquida. – es la encargada de dividir los componentes orgánicos e inorgánicos del agua potable y aguas residuales, además restablece productos de reacción que no se pueden dividir con facilidad por destilación o cristalización.
- Aplicación en fase de vapor. – Rendon Velarde (2020) indica que esta aplicación ayuda a la separación y recuperación de residuos que pueden ser contaminantes como H₂S y CS₂.

Tabla 2.2
Procesos de adsorción

Fase líquida	Fase gaseosa
--------------	--------------

Tratamiento de agua potable y residual	Purificación de gases
Alimentos y bebidas carbonatadas	Purificación de aire
Hidrometalurgia	Recuperación de solventes
Productos químicos y farmacéuticos	Catalizadores
	Producción de gases
	Tratamiento de gases de combustión
	Celdas combustibles

Fuente: (Morales León & De La Fuente Vázquez, 2015)

2.3 Fundamentos de desorción

La definición de desorción es el significado contrario de la adsorción siendo este un proceso mediante el cual expulsa la sustancia total o parcialmente después del intercambio de temperatura cuando la sustancia es retenida, permitiendo la completa limpieza del adsorbente para que se realice un proceso nuevo de adsorción. (Rendon Velarde, 2020, p. 63)

2.3.1 Tipos de desorción

Existen algunos tipos de desorción que se utilizan según al tipo de estudio que se quiere llegar.

- Desorción térmica. – este tipo de desorción es aplicada con mayor frecuencia para el estudio de suelos y se subdividen en desorción térmica a alta temperatura y desorción térmica a baja temperatura.

Volke Sepúlveda & Velasco Trejo (2002) en la p. 47 expresan que:

“Las implementaciones de la desorción térmica son: inyección a presión de aire caliente, inyección de vapor y calentamiento del suelo por ondas de radio, estas producen energía que se transforma en energía térmica.”

Dentro del proceso de desorción térmica se aplica generalmente para la clasificación de desechos orgánicos. Su función varía según la volatilidad de la temperatura a la que pueda llegar según el proceso seleccionado.

Los siguientes tipos de desorción son aplicados para la eliminación de CO₂, eliminación de metano, tratamiento de aguas acidas, reducción de radón entre otros. Siendo clasificados como: desorción sólida – gaseoso, desorción líquida – gaseoso, desorción líquida – líquido, y desorción sólida – líquido.

- Desorción gaseosa. – es cuando en un líquido es disuelto un gas, además de ser arrastrado por un gas inerte, este a su vez es eliminado de un líquido. (Gutiérrez, 2015)
- Desorción sólida – líquido. – se conoce también como lixiviación y percolación. se conoce también por lixiviación donde el componente extraído es el valioso; lavado es cuando se pretende eliminar un componente no deseado de un sólido y la palabra percolación se refiere a la forma de operación. (Costa López, 2004, p. 49)

2.4 Adsorbentes

Los adsorbentes se denominan por ser materiales con una estructura amorfa y microcristalina, estos pueden ser adsorbentes naturales o adsorbentes sintéticos. El desarrollo de estos adsorbentes se ha ido incrementando y se caracterizan por ser de forma esférica con tamaños que comprenden desde 0.1mm a 12mm. Las partículas de estos adsorbentes poseen estructuras muy porosas la cuales son de gran beneficio al momento de la adsorción. Hay una variedad de adsorbentes comerciales, están compuestos por poros que contienen áreas superficiales bien grandes que parten de 100 y pueden llegar hasta más de 2000 m²/g.

2.4.1 Propiedades de los adsorbentes

Dusane & Ghuge (2016) indica algunas características que deben poseer los adsorbentes para ser aplicados en los sistemas de refrigeración por adsorción solar:

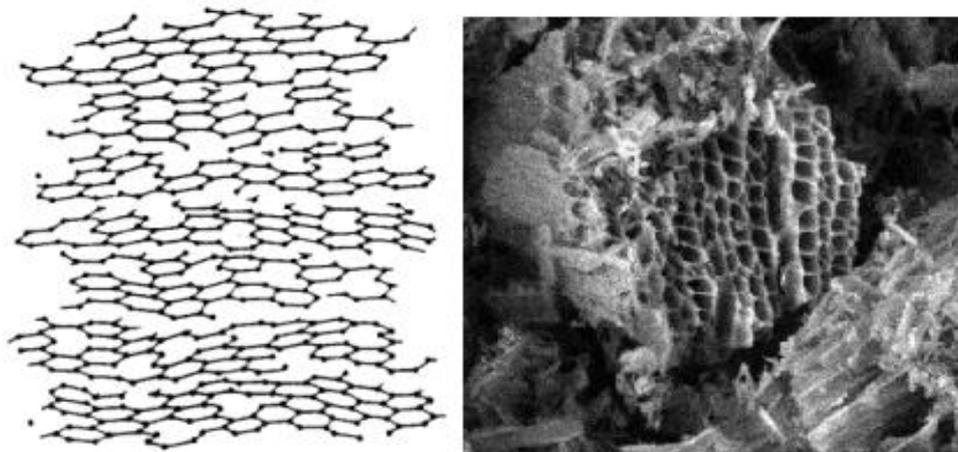
- Capacidad de adsorber una gran cantidad de adsorbato cuando se enfría a temperatura ambiente, para producir un alto efecto de enfriamiento.
- Desorción de la mayor parte del adsorbato cuando se calienta con la fuente de calor disponible.
- Bajo calor específico.
- Buena conductividad térmica, para acortar el tiempo del ciclo.
- No deterioro y pérdidas de capacidad de adsorción con el tiempo o con el uso.
- No es tóxico ni corrosivo.
- Compatible química y físicamente con el refrigerante elegido.

2.4.2 Adsorbentes importantes

Carbón activado. – posee gran cantidad de poros y es obtenida mediante una descomposición térmica de la materia prima, puede ser vegetal como madera, cascara de coco, huesco de palma africana, entre otros; o de origen animal como huesos. Pueden ser activadas por medio de altas temperaturas que van desde 700 a 1100°C, o su activación se puede realizar mediante tratamientos químicos permitiendo elevar una superficie específica. Existe una gran variedad de carbones activados los cuales se clasifican en dos grupos, los primeros se activan por adsorción en fase gaseosa y los otros por adsorción en fase líquida. (Campuzano Páez & Chiriboga Albuja, 2010, pp. 6-7)

En la adsorción por fase gaseosa la mayor parte de microporos son de 3 a 50 Å y en los macroporos son de 1000 a 5000 Å. En cambio, en la adsorción por fase líquida la cantidad de mesoporos que contienen los carbones activados permiten el paso de líquidos a la estructura del adsorbente.

Figura 2. 5
Estructura de carbón activado

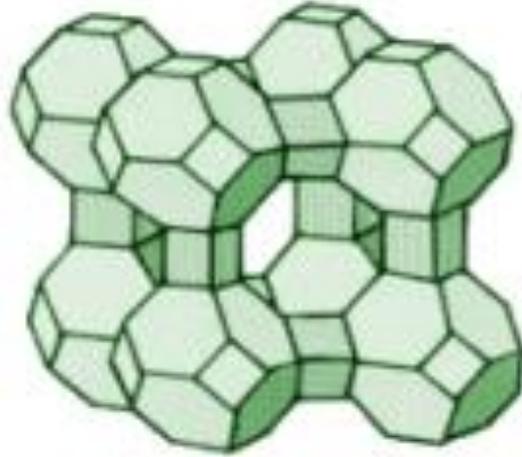


Fuente: (Campuzano Páez & Chiriboga Albuja, 2010)

En la Figura 2.5 se muestra como está compuesto un carbón activado, se consideran microcristales las cuales están compuestos por átomos de carbono formados hexagonalmente, los espacios que se encuentran en estas estructuras se las denomina poros, es allí donde las moléculas son retenidas.

- Gel de sílice. – este tipo de adsorbente se produce mediante una solución de silicato de sodio. Su área superficial es de 600 a 800 m^2/g , los poros de este adsorbente tienen un diámetro de 20 a 50 Å. Su principal función es la deshidratación de gases a líquidos y fraccionar hidrocarburos. (Fernández Pino, 2011, p. 57)
- Zeolita. – se denomina aluminosilicatos cristalinos porosos, este tipo de adsorbente está formada por una red cristalina con poros que tiene una similitud precisa como lo muestra la Figura 2.6. Es por ello que la igualdad de sus poros lo diferencia de los otros adsorbentes que existen. Hay varios tipos de zeolitas y cada uno tiene diferentes tamaños de poros que van de 3 a 10 Å. Este adsorbente es utilizado comúnmente para el secado y separación de partículas de los hidrocarburos y otras aplicaciones más.

Figura 2. 6
Cristal de zeolita



Fuente: (Campuzano Páez & Chiriboga Albuja, 2010)

- Alúmina activada. – este adsorbente se activa por la reacción del óxido de aluminio hidratado por calentamiento, permitiendo eliminar el agua. Comúnmente es utilizado para el secado de gases y además el secador de varios elementos líquidos. Su área superficial es de 200 a 500 m²/g teniendo un diámetro promedio de 20 a 140 Å.
- Polímeros o racinas sintéticas. – el adsorbente parte de la polimerización de dos tipos de monómeros, estos son generados por compuestos aromáticos que se utilizan para adsorber los compuestos orgánicos no polares de soluciones acuosas.

2.5 Refrigerantes

2.5.1 Refrigerantes comunes

La tecnología de adsorción puede utilizarse no sólo para el aire acondicionado y la refrigeración, sino también para mejorar el calor con transformadores térmicos, y los tipos de refrigerante deben seleccionarse en función de la aplicación.

Desafortunadamente, no se ha logrado encontrar refrigerantes que reúnan todas las características anteriores, y los refrigerantes comunes para

el sistema de refrigeración por adsorción son el amoníaco, el agua y el metanol. En la Tabla 2.3 se muestran algunas de las propiedades físicas que tienen los refrigerantes más comunes para sistemas de adsorción.

Tabla2.3
Refrigerantes más comunes

Refrigerantes	Fórmula química	Punto de ebullición normal (°C)	
		peso molecular	calor latente de vaporización L
		ρ (kg/m ³)	$\rho \times L$ (MJ/m ³)
Amoníaco	NH ₃	-34	
		17	
		1368	
		681	
		932	
Agua	H ₂ O	100	
		18	
		2258	
		958	
		2163	
Metanol	CH ₃ OH	65	
		32	
		1102	
		791	
		872	
Etanol	C ₂ H ₅ OH	79	
		46	
		842	
		789	
		665	

Fuente: (Wang, 2014)

Los refrigerantes con un punto de ebullición inferior a -10 °C a 1 atm son refrigerantes de presión positiva, mientras que los demás son refrigerantes de vacío. El amoníaco es un ejemplo de refrigerante con presión positiva, y se puede utilizar para los adsorbentes de cloruros, carbón activado y fibra de carbón activado. La presión de saturación del etanol y del metanol son similares, pero el calor latente del primero es aproximadamente un 30% menor que el del segundo. El metanol se utiliza normalmente en asociación con el carbón activado o la fibra de carbón activado. El agua podría considerarse un refrigerante perfecto, excepto por su presión de saturación extremadamente baja y por la imposibilidad de que se produzcan condiciones de congelación por debajo de 0 °C. El agua se emplea

normalmente en pareja con gel de sílice o zeolita. (Trujeque Bolio, 2010, pp. 33-34)

2.5.2 Otros refrigerantes

El hidrógeno y el oxígeno son ejemplos de otros refrigerantes para los sistemas de refrigeración por adsorción y bomba de calor. Los hidruros son los adsorbentes del hidrógeno, que se produce a partir de la descomposición del agua, y es inflamable, explosivo y requiere extremar las precauciones en su manipulación.

Los tipos de oxígeno que pueden ser adsorbidos por los óxidos son O_2 , O_2^- , O^- y O^{2-} . La reacción entre los óxidos y el oxígeno tiene una gran entalpía, por lo que suele emplearse en las bombas de calor químicas [19]. Sin embargo, este par también es adecuado para sistemas criogénicos con temperaturas inferiores a 120 K. (Trujeque Bolio, 2010, p. 36)

Otros refrigerantes, como el R134a, el R22, el R407c y el etanol, pueden utilizarse como adsorbentes del carbón activado o de la fibra de carbón activado. Sin embargo, en comparación con el metanol, su potencia de refrigeración por unidad de masa es menor debido a su pequeña cantidad de adsorción o a su bajo calor latente de vaporización. Además de las limitaciones descritas anteriormente, los hidroclorofluorocarbonos y los HFC también tienen el inconveniente de sus valores relativamente altos de GWP (potencial de calentamiento global).

2.5.3 Propiedades de los adsorbatos

Dusane & Ghuge (2016) en la p. 4, indican ciertas propiedades que deben cumplir los adsorbatos que ser utilizados en sistemas de refrigeración por adsorción solar:

- Temperatura de evaporación inferior a $0^{\circ}C$ (para fines de refrigeración puede ser superior en el caso de aplicaciones de aire acondicionado).
- Tamaño molecular pequeño para facilitar el efecto de adsorción.

- Alto calor latente de vaporización y bajo volumen específico cuando está en estado líquido.
- Alta conductividad térmica.
- Estable térmicamente con el adsorbente en el rango de temperatura de funcionamiento.
- Químicamente estable en el rango de temperatura de funcionamiento.
- Presiones de saturación bajas (ligeramente por encima de la presión atmosférica) a la temperatura normal de funcionamiento.

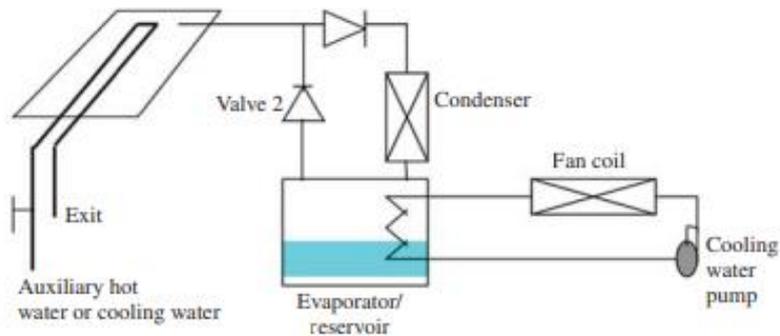
2.6 Sistemas de enfriamiento por adsorción

El componente principal de cualquier sistema de refrigeración por adsorción es un material sólido de superficie porosa con una gran superficie y una gran capacidad de adsorción. Inicialmente, esta superficie permanece insaturada. Cuando las moléculas de vapor entran en contacto con la superficie, se produce una interacción entre la superficie y las moléculas y éstas son adsorbidas en la superficie. (Hamdy et al., 2015, p. 2)

Fernández Pino (2011) expresa que la refrigeración por adsorción es un proceso cuasi continuo que requiere al menos 2 compartimentos o cámaras con material de sorción y que operan en paralelo. Los sistemas disponibles en el mercado usan generalmente agua como refrigerante y gel de sílice como adsorbente. Es por ello que se busca reemplazar el adsorbente por un carbón activado que en este caso sería el cuesco o también conocido como cuesco de palma africana, ya que este producto es unos de los que más rinde sobre todo por lo que es propio de la zona y esto daría una gran ventaja a quienes se dediquen a la fabricación de este material.

En la Figura 2.7 se puede apreciar el esquema de un acondicionador de aire por adsorción solar con un almacenamiento de calor, este sistema utiliza refrigeración por adsorción sólida, siendo impulsada por energía solar. Utiliza como pares de trabajo la zeolita – agua.

Figura2.7
Acondicionador de aire por adsorción

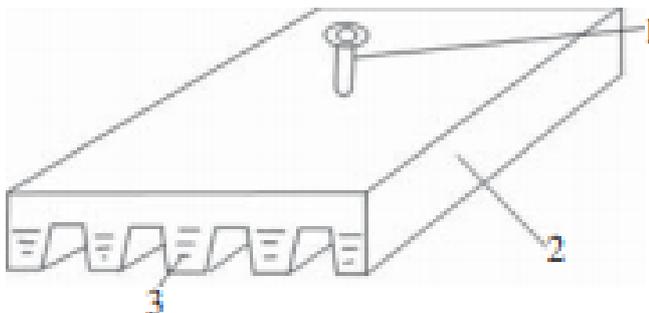


Fuente: (Noriega Sánchez & Pérez Rojas, 2011)

2.6.1 Evaporador

Es un dispositivo en el cual la transferencia de calor sucede en la superficie del mismo, convirtiendo un líquido en vapor y eliminando el calor de ese entorno. Para los evaporadores existen dos tipos de tubos, es decir, se utilizan tubos de acero en evaporadores grandes los cuales contienen amoníaco y para los evaporadores pequeños que no contengan amoníaco sino cualquier otro refrigerante se utilizan tubos de cobre; también poseen dos placas planas refrigerantes las cuales son instaladas en refrigeradores industriales como domésticas, los tubos aleteados de estos evaporadores sirven para aumentar el área externa además de incrementar la eficacia al momento de enfriar los gases. (Campuzano Páez & Chiriboga Albuja, 2010, pp. 24-25)

Figura2.8
Evaporador



Fuente: (Gwadera, 2016)

En la Figura 2.8 se puede observar un esquema del evaporador, en el calor latente de evaporación en el evaporador deber ser liberado al ambiente porque de tener un área de transferencia de calor, por eso debe tener el suficiente espacio para que se acople el refrigerante desorbido del adsorbedor.

- 1) Interfaz para el refrigerante
- 2) Carcasa del evaporador
- 3) Refrigerante líquido

Existen tres tipos básicos de evaporadores que serán detallados a continuación:

- Evaporadores inundados. – suelen ser evaporadores de tubos, ocasionalmente los de carcasa y tubos sumergidos en el líquido refrigerante. La profundidad de inmersión de los tubos es una de las características de este tipo de evaporadores. La mayor capacidad de refrigeración se logra cuando los tubos con aletas se sumergen en el agente hasta una profundidad igual al 80% del diámetro del tubo. El valor del coeficiente de transferencia de calor se ve afectado en gran medida por el paso de las aletas, es decir, la distancia entre las aletas. El coeficiente de transferencia de calor disminuye con la disminución del paso. El llenado de los espacios entre las aletas con líquido, que tiene lugar en pasos bajos (altas densidades de las aletas), implica una reducción de la superficie de evaporación y, en consecuencia, un deterioro de las condiciones de intercambio de calor. Un aumento del grosor de las aletas conduce a un mejor coeficiente de transferencia de calor. (Kalawa et al., 2019, pp. 1-2)
- Evaporadores asistidos por capilaridad. – se trata de evaporadores con conjuntos de tubos con una superficie exterior extendida (por ejemplo, con aletas), parcialmente sumergidos y en contacto con el refrigerante del depósito. Como resultado de la acción capilar, la columna de refrigerante sube (llamada subida capilar) en el depósito y hace que la superficie exterior del conjunto de tubos se cubra

uniformemente con el líquido (refrigerante o agua). (Kalawa et al., 2019, p. 2)

- Evaporadores de película descendente. – En los evaporadores de película descendente el refrigerante se distribuye en la superficie exterior de los tubos del evaporador. Este es el tipo básico de evaporador utilizado en los refrigeradores de adsorción. Las ventajas de este tipo de diseño incluyen altos coeficientes de transferencia de calor, baja carga de refrigerante y riesgo de fugas. Así, estos evaporadores permiten reducir el espacio necesario para la instalación del aparato. Sus principales desventajas son los elevados requisitos en cuanto a la correcta distribución del líquido refrigerante sobre la superficie del conjunto de tubos en el evaporador. En cuanto a la forma de distribuir refrigerante en la superficie de los tubos, los evaporadores de película descendente pueden dividirse en dos grupos, de pulverización y de goteo.
 - Pulverización: suelen requerir bombas de circulación para suministrar el líquido refrigerante al evaporador en una cantidad mayor que la cantidad de refrigerante evaporado de la superficie de los tubos.
 - Goteo: requieren un sistema de distribución de refrigerante que garantice una distribución uniforme sobre la superficie de la primera fila superior de los tubos del evaporador. Estos no requieren la instalación de bombas de circulación. (Kalawa et al., 2019, p. 2)

2.6.2 Condensador

El condensador cuenta con el mismo proceso del evaporador el cual funciona como transferencia de calor en la superficie del condensador. De esta manera es como el calor del vapor refrigerante traspasa las paredes del condensador y poder conseguir su condensación; por el hecho de que la pérdida de calor al condensante hace que el vapor refrigerante como primer

punto se enfríe hasta llegar a saturarse para que el condensado pase a su estado líquido.

El condensador del sistema de refrigeración por adsorción consta principalmente de dos tipos, refrigeración por aire y refrigeración por agua. Su diseño es similar al del condensador de un sistema de refrigeración comprimido. El diseño del condensador debe ajustarse a la capacidad del lecho de adsorción, teniendo en cuenta la carga del sistema y la presión de condensación. Este diseño debe, considerar que la carga del condensador cambiará cuando la cantidad de desorción del refrigerante del adsorbedor cambia. Debido al cambio de temperatura del lecho de adsorción en el proceso de desorción y el proceso de adsorción de no equilibrio, la cantidad de desorción del lecho de adsorción siempre cambia. Por lo general, en el período inicial del tiempo de desorción del lecho de adsorción, la cantidad de desorción es la más grande, simultáneamente, la carga de condensación del condensador es también la mayor. Por lo tanto, al determinar la carga de condensación del sistema, la carga de condensación máxima requerida debe considerarse en función de la cantidad máxima de desorción. (Wang, 2014, p. 249)

2.6.3 Generador

En los sistemas de enfriamiento por adsorción se emplean generadores que están compuestos por un colector solar y un adsorbente. En el generador hay dos variedades en las que se agrupan los adsorbentes, el primer grupo se caracteriza por encontrarse dentro del colector solar, en cambio en el segundo el adsorbente se encuentra separado del colector por un recipiente que se le aplica un fluido el cual es calentado por el colector solar. En la forma de cama adsorbente esta se divide por tres categorías, que serán descritas a continuación.

- Adsorbedores inconsolidados. – este tipo de tecnología es usado para la incrementación de la capacidad térmica que posee el adsorbedor, por esta razón los intercambiadores de calor pretenden mejorar la eficiencia de producción de calor para obtener un coeficiente de calor

razonable. Para ello se requiere realizar mezcla de los adsorbentes de diferentes tamaños, manejo de insertos metálicos, aplicación de adsorbentes compuestos con aditivos, entre otros.

- Adsorbedores recubiertos. – es aplicado para poder elevar el coeficiente de transferencia de calor por medio de una reducción de la resistencia térmica, esta reacción es mediante el contacto entre la superficie y el adsorbente. Esta tecnología tiene una gran desventaja pues el vínculo entre la masa inerte y la adsorbente provoca que el coeficiente de operación disminuya en gran manera.
- Adsorbedores consolidados. – se aplica esta tecnología para lograr alcanzar un incremento en el coeficiente de transferencia de calor utilizando adsorbente consolidados para una mayor conductividad térmica. Para llegar a consolidar un adsorbente es necesario utilizar pegamento elaborado con soluciones que tengan una conductividad térmica apropiada, pero sin causar una reducción en la transferencia de masa. Tiene como desventaja la capacidad de deteriorar la eficiencia de la transferencia de masa, en particular para refrigerantes que son evaporados bajo presión atmosférica, como lo son el agua, metanol, entre otros.

Figura2.9
Generador



Fuente: (Wang, 2014)

La Figura 2.9 muestra un generador, el cual posee en ambos lados dos entradas para que el gas pueda reducir la temperatura y así poder

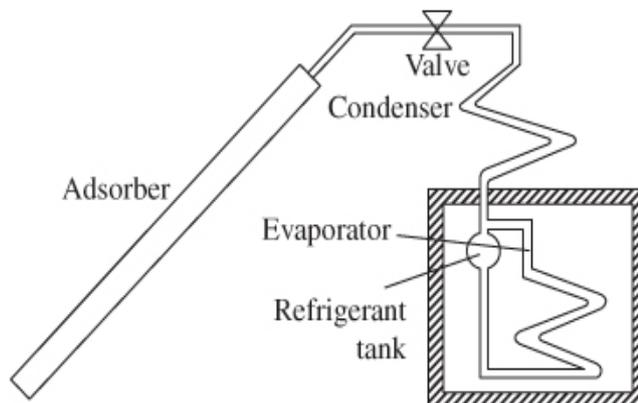
calentar el adsorbedor. El equipo posee un ventilador que es capaz de transportar una parte de aire frío hacia el mismo.

2.7 Estudio de máquina refrigerante

Dentro del avance tecnológico y la preocupación por la emergencia medioambiental surgió después de muchos intentos y correcciones la primera máquina refrigerante por adsorción para comercializar en 1986. La cual ayudaría a regular un problema de contaminación y entraría a reemplazar la función de más máquinas refrigerantes por compresión. La máquina refrigerante por adsorción cumple con un mecanismo netamente automático y alimentado por energía solar, cumple con las etapas descritas en el gráfico.

Como se puede observar en la Figura 2.10, la máquina refrigerante tiene una fuente de energía solar la cual ayuda a cumplir las siguientes etapas que son el adsorbedor, el condensador, el evaporador, la válvula y el tanque de refrigerante.

Figura 2. 10
Funcionamiento de un sistema de refrigeración por adsorción



Fuente: (Wang, 2014)

“Wang (2014) explica que cuando el adsorbedor se enfría por la noche, la presión dentro del adsorbedor disminuye, y el refrigerante dentro del evaporador, que se evapora bajo la diferencia de presión entre el adsorbedor y el evaporador, es adsorbido por el adsorbente dentro del adsorbedor”.

A continuación, una breve explicación del proceso:

Por la mañana se debe cerrar la válvula a una temperatura que se describe como T_{a2} , dentro de unas horas, la energía solar calienta el adsorbedor para generar aumento de presión del adsorbedor. y así finalmente, la presión del refrigerante será la presión saturada para la temperatura de condensación del refrigerante, La temperatura del adsorbedor será T_{g1} .

Cuando se abre la válvula el refrigerante desorbido del adsorbedor se condensará dentro del condensador que se enfría por el método de transferencia de calor por convección natural. Después, el refrigerante fluirá hacia el evaporador y el tanque de refrigerante y se acumulará allí. En esta fase la temperatura final del adsorbedor puede ser tan alta como T_{g2} (temperatura de desorción).

La válvula se cierra por la noche. La temperatura del adsorbedor comienza a disminuir debido a la escasa o nula energía solar en el exterior. La presión del adsorbedor disminuye también, y disminuirá hasta la presión saturada para la temperatura de evaporación, la temperatura de adsorbedor correspondiente es T_{a1} (temperatura de adsorción inicial).

Al abrir la válvula el refrigerante dentro del evaporador se evaporará y será adsorbido por el adsorbente dentro del adsorbedor debido a la diferencia de presión entre el adsorbedor y el evaporador. El proceso de evaporación del refrigerante proporciona la potencia de refrigeración, y el calor de adsorción del adsorbedor se liberará al medio ambiente. Esta fase continuará hasta la mañana siguiente, y después comenzará un nuevo ciclo.

La refrigeración por adsorción tiene dos procesos, que son el de calentamiento-desorción y el de enfriamiento-adsorción. Por ello, el ciclo tradicional simple es un tipo de ciclo de refrigeración intermitente, lo cual es una característica muy buena para la utilización de la energía solar porque la energía solar también es un tipo de energía intermitente. Si la fuente de calor puede ser proporcionada continuamente y el efecto de refrigeración continua es requerido, dos adsorbentes o multi adsorbentes necesitan ser diseñados

para un sistema de refrigeración por adsorción, para lo cual los procesos de calentamiento y enfriamiento de los multi adsorbentes serán arreglados complementariamente.

2.8 Sistema de captación

Se encuentra adecuado por una variedad de captadores solares térmicos teniendo como objetivo la transformación de la radiación en energía térmica para el calentamiento de fluidos, siendo los encargados de distribuir calor a la máquina y poder producir el ciclo de desorción.

Convirtiéndose en una etapa importante en el sistema de adsorción mediante energía solar, ya que es capaz de reemplazar la fuente de calor en varios sistemas en donde no se pueda apreciar la radiación solar. Hay un sin número de equipos, pero los más utilizados son los que tiene tubo vacío y placa plana por su alta calidad. (Santín Castro, 2020, p. 24)

2.9 Sistema de acumulación

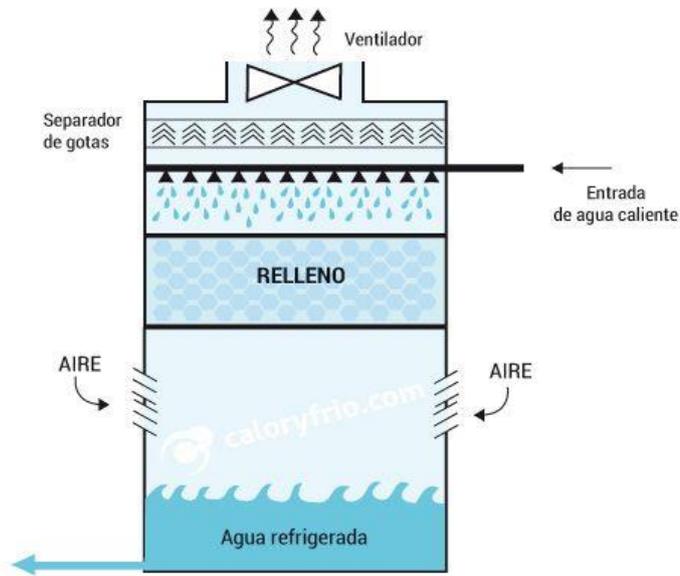
Este sistema es el encargado de almacenar la energía térmica obtenida gracias a los captadores solares, es donde se retiene agua caliente o fría en diversos tanques para usarlos al momento que sea necesario utilizar. Para mejorar el rendimiento del sistema las dimensiones del acumulador son muy pequeñas ya que mejoran la estratificación.

2.10 Torre de refrigeración

La torre de refrigeración disipa al medio ambiente el calor recolectado de la unidad, a través de un circuito cíclico de flujo de agua en la máquina de adsorción, el agua pasa a su estado líquido por medio de la condensación que se recolecta en un depósito.

En la Figura 2.11 se muestra un esquema del funcionamiento de la torre de refrigeración en la que el agua cumple un ciclo para ayudar al refrigerante a pasar de estado líquido a gaseoso. El agua al absorber el calor tiende a evaporarse y por medio de un sistema de ventilación vuelve a condensarse siendo esta agua reciclada.

Figura 2. 11
Torre de refrigeración



Fuente: (Noriega Sánchez & Pérez Rojas, 2011)

2.11 Radiación solar

En la maquina refrigerante se empleará energía de fuentes residuales, pudiendo obtenerse por procesos industriales, existiendo remanentes de energía en forma de vapor provenientes de diversas maquinarias. Es por ello que en las localidades donde la radiación solar tiene altos índices de insolaciones es viable la construcción de generadores con colectores solares, puesto que se podrá conocer cuáles son los lugares que más convienen para la implementación de este tipo de máquinas refrigerantes. (Veloz Arias, 2018, pp. 40-41)

A continuación, se muestran algunos de los parámetros que se necesitan para determinar lo indicado anteriormente:

- 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

2.12 Colector solar

El funcionamiento principal del colector es la recolección de energía solar puesto que esta se convierte en energía térmica y puede transmitir el calor necesario al sistema, dependiendo del tipo de concentración que requieran los sistemas se clasifican los colectores. Existen los que poseen su concentración en el cilindro parabólico, muestras que otros no poseen ninguna concentración, a estos colectores se los reconoce porque tienen placas planas y tubos de vacío. (Cárdenas Acosta, 2019, p. 19)

Los colectores de placa plana son comúnmente utilizados, puesto que son capaces de incrementar la temperatura a 60°C a bajos costos, tienen una cubierta en la parte exterior que sirve para evitar las pérdidas por el viento, también cuenta con un adsorbedor que es capaz de obtener energía

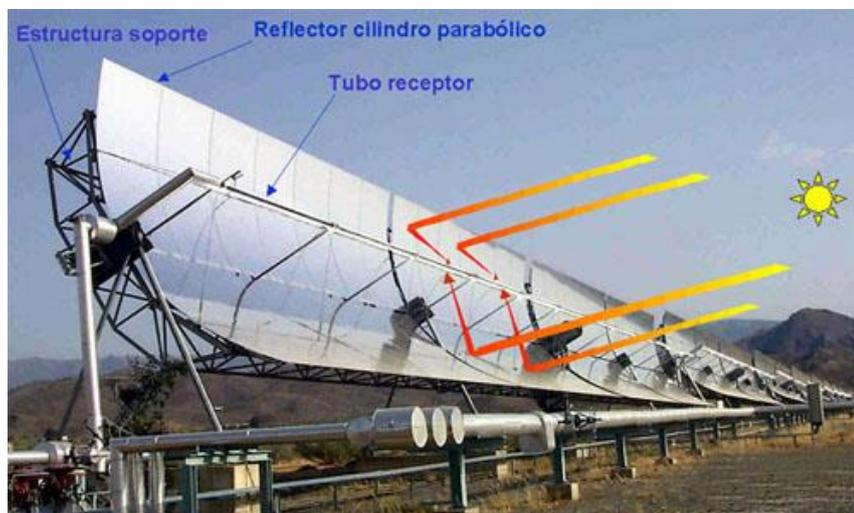
solar permitiendo transformarla en calor que se dirige al fluido quien es el portador de calor con un aislante térmico que reduce las pérdidas.

Los colectores con tubo al vacío son capaces de alcanzar temperaturas elevadas a más de 100°C , contienen tuberías que son los encargados de transportar los fluidos, el vacío creado en estos tubos no permite la transmisión de calor que se encuentra en el exterior.

Los que poseen concentración parabólica compuesta tienen un reflector que permite reflejar los rayos del sol dirigidos al foco de la parábola, el absorbedor cuenta en su interior con un fluido capaz conducir el calor y la cubierta que está diseñada para la eliminación de las pérdidas de calor. Tiene como características principales:

- Angulo de aceptación capaz de ser habilitado todo el día.
- Permitir la concentración de la radiación difusa.

Figura 2.12
Colector solar



Fuente: (Bravo Paredes, 2020)

En la Figura 2.12 se puede observar el funcionamiento de la tecnología de los diferentes tipos de colector que fueron explicados anteriormente. El cilindro parabólico es el encargado del seguimiento aparente del sol permitiendo que sus rayos caigan de forma perpendicular hacia el plano de captación.

2.13 Modelación matemática

En los sistemas de compresión es comúnmente utilizar el ciclo de Carnot, pero para los sistemas por adsorción no es recomendable aplicar este ciclo ya que es poco factible, pero para ellos se aplica el modelo matemático Dubinin-Astakhov la cual se encuentra fundamentada por la teoría de Polanyi, pues se refiere a la variedad que existe entre la energía libre que existe entre el fluido adsorbido y el líquido del sorbato que llega a saturarse a una determinada temperatura. (Trillos & Chejne, 2019, p. 6)

Ecuación Dubinin-Astakhov

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

X= es la cantidad de adsorbato que se encuentre en el adsorbente (kg/kg).

W^o= es la capacidad máxima de adsorción (m³/kg)

P_{met-liq}= es la densidad de metanol en estado líquido (kg/m³)

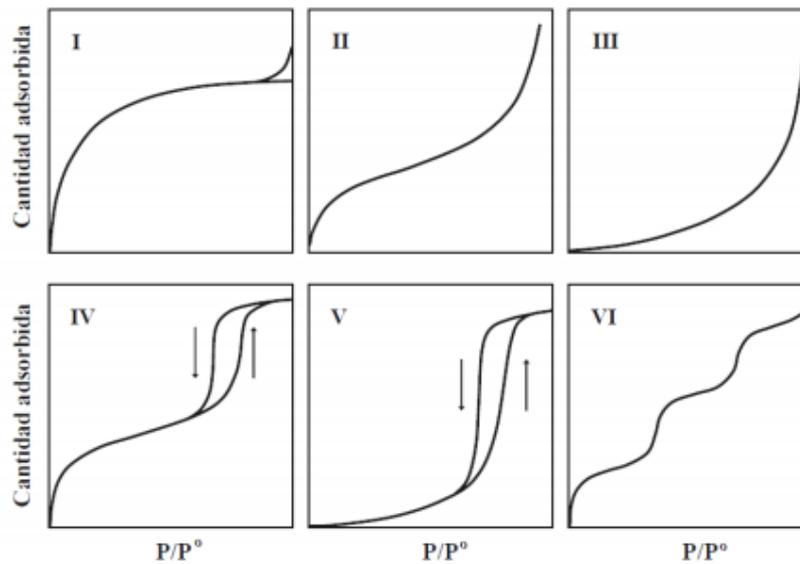
D= es el coeficiente de afinidad

N= exponente obtenido de forma experimental

2.14 Determinación de isoterma de adsorción

Las isotermas son representaciones gráficas en las cuales se determina el nivel de la adsorción y desorción de un par ordenado como vendrían a ser el carbón activado y el metanol de las situaciones de equilibrio y quedar con una temperatura requerida en el ejercicio, las isotermas se dividen de las siguientes maneras que se describirán con su respectiva gráfica. La Figura 2.13 muestra los tipos de isotermas de adsorción que existe, los cuales serán descritos a continuación.

Figura 2.13
Isotermas de adsorción



Fuente: (Acevedo Corredor, 2014)

- Tipo I. – Esta isoterma es de tipo Langmuir, se caracteriza por tener una forma cóncava con respecto al eje de presiones relativas. Posee una adsorción en monocapa, también pertenece al llenado de microporos con saturación al momento que el volumen de los poros se llena por completo.
- Tipo II. – Este tipo de isoterma corresponde a la adsorción no solo de monocapa sino también a la de multicapas encima de superficies abiertas. Sus procesos de adsorción en sólidos se caracterizan por ser no poroso. Además, se puede decir que este tipo de isotermas pueden ser el resultado de la suma del tipo I + II, obteniendo como ejemplo un tipo de gráfico no poroso y de carbón desprovistos de porosidad.
- Tipo III. – El procedimiento de adsorción de estas isotermas revelan una carencia en la relación entre los pares adsorbente/adsorbato, así como también en las interacciones entre adsorbato/adsorbato respectivamente. Un caso común es la adsorción que se produce del agua sobre superficies hidrófanas. Su estudio se ha ido dificultando puesto que la interacción entre un sólido – gas es casi inexistente.

- Tipo IV. – Una de sus características es la existencia de ciclos de histéresis. Tiene una interacción con fenómenos de condensación que dan lugar a los mesoporos. Esta isoterma tiene gran semejanza con la isoterma de tipo II, debido a que su al inicio tiene similitud con la adsorción de monocapa y multicapa. Con respecto a la desorción, esta isoterma es capaz de definir la distribución de los tamaños de poros. Un ejemplo de ellos es sílice y alúminas.
- Tipo V. – Este tipo de isoterma es poco común, lo cual hace que su interpretación tenga mucha dificultad. La atracción entre el adsorbente y el adsorbato es baja mientras que la histéresis se conecta con el llenado de los poros. Estos isotermas tienen dificultad en determinar el tamaño de los poros y la superficie específica. Su característica principal es el proceso de adsorción del vapor de agua proveniente del carbón prácticamente a temperatura ambiente.
- Tipo VI. – Es muy común por la adsorción de gases nobles en multicapas ya que son superficies homogéneas. Cada capa es adsorbida por medio de un intervalo de presiones, significando así que cada escalón corresponde al llenado de una capa. Estos procesos son procesos de adsorción denominados cooperativos porque se realizan mediante interacciones laterales de las moléculas. No son tan comunes, ya que la mayoría de los adsorbentes que se utilizan son homogéneos.

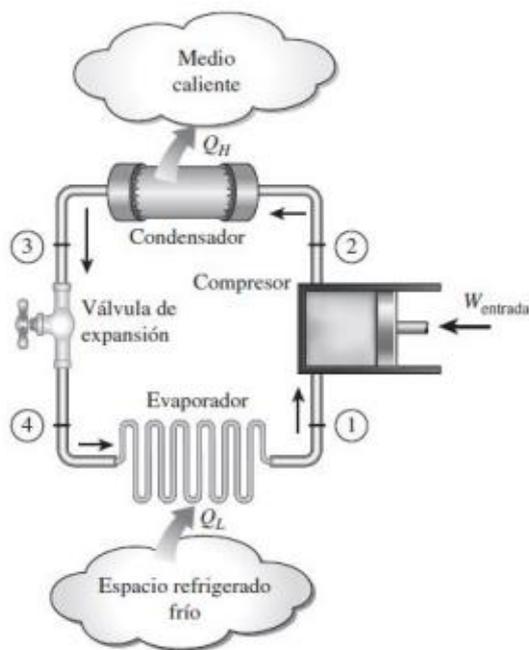
CAPÍTULO III

APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Comparación de los sistemas de compresión y adsorción

Es entendido que los sistemas de enfriamiento por compresión cumplen su proceso mediante las siguientes etapas: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador; son muy utilizados en el área domestica con aires acondicionados y neveras y en el área industrial con cámara frigoríficas, entre otros.

Figura 3. 1
Ciclo de compresión



Fuente: (Muñuas Gómez, 2015)

En la Figura 3.1 se puede observar que un ciclo por compresión se compone por cuatro estados termodinámicos. Estado termodinámico 1 y hasta el estado termodinámico 2 se determina el proceso de compresión isentrópica, es ahí donde está la entrega del trabajo necesario para la transferencia de calor en un ciclo de refrigeración. Desde el estado termodinámico 2 al estado termodinámico 3 existe el rechazo del calor isobárico a presión constante. Desde el estado termodinámico 3 al 4 está el

proceso de expansión en la válvula de estrangulamiento en donde se produce un cambio de fase de la sustancia, parte de ella pasa a ser gas en esta válvula de estrangulamiento y es un proceso isoentálpico. En el estado 4 finalmente está el proceso cíclico, la cual se cierra con la absorción de calor isobárica, es decir la extracción de calor de los alimentos que se pueden encontrar dentro de un refrigerador llegando a la zona de un vapor saturado. (Muñuas Gómez, 2015, p. 9)

Es decir que un sistema de refrigeración por compresión se compone de cuatro componentes importantes que son el evaporador, compresor, válvulas de expansión, condensador y el gas refrigerante. Al momento de que el gas refrigerante se encuentra dentro del circuito pasando por los diferentes elementos. Cuando el gas refrigerante pasa a la evaporación por el evaporador se encuentra en estado líquido y este a su vez gana lo que es calor latente, en ese momento el líquido se excita a tal grado que se convierte en gas por la alta temperatura. Este gas entra directamente al compresor; el compresor comprime el gas refrigerante y lo manda al evaporador en modo gaseoso, cuando se encuentre modo gaseoso y pasa al condensador; el condensador lo que hace es disipar el calor que se encuentra ganado por el gas refrigerante, cuando se disipa el calor pasa por la válvula de expansión; la válvula expansión lo que te hace es permitir que entre el gas refrigerante y el líquido. Después se inicia nuevamente el proceso, gana el calor, se convierte en modo gaseoso y pasa nuevamente al compresor y así se repite el ciclo.

Estos sistemas son muy comunes, pero a pesar de que tienen un gran beneficio poseen una enorme desventaja ya que son causantes de emisiones de CO₂ que perjudican paulatinamente la capa de ozono, es por ellos que se han buscado otras alternativas que sean amigables con el ecosistema y una de ellas es el proceso de enfriamiento por adsorción.

En la Figura 3.2 se muestra el proceso de adsorción y desorción, la cual se explicará a continuación. El adsorbente tiene el proceso de adsorción, el vapor (el adsorbato) son atraídas al adsorbente por la presión; viene con una velocidad y presión fija e inevitablemente va a chocar con el

adsorbente, en ese momento en que existe una colisión es cuando el adsorbato se adhiere al adsorbente y al adherirse a nivel microscópico se produce una liberación de energía, es decir, ocurre un traspaso de energía de las moléculas que están adheridas a la superficie; empieza a vibrar todas y sale calor.

En el proceso de desorción el calor es al adsorbente, es decir, es un proceso endémico, entonces cuando el adsorbato logra salir, lo que hace es adsorber calor del medio, pues adentro empieza aumentar la temperatura del adsorbente, en realidad significa que alrededor disminuye la temperatura, entonces éste es el fenómeno que se utiliza para poder diseñar equipos de refrigeración por adsorción.(Bravo Paredes, 2020, pp. 3-4)

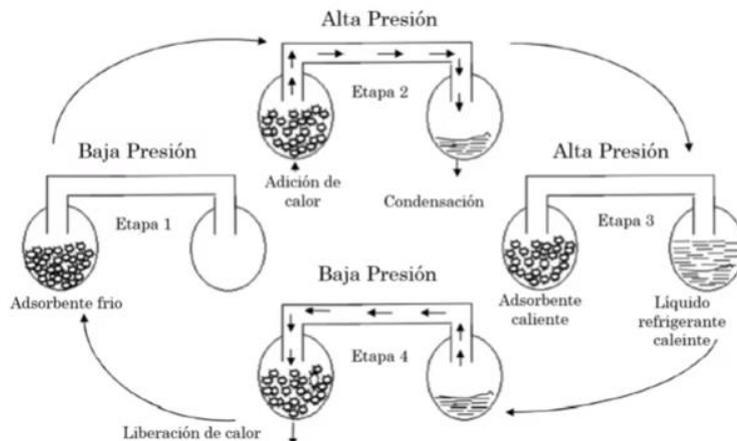
Figura3.2
Proceso de adsorción y desorción



Fuente: (Bravo Paredes, 2020)

En la Figura 3.3 se muestra otro tipo de explicación para un proceso adsorción/desorción. Un proceso de adsorción/desorción funciona así: en la etapa uno se tiene un adsorbente frío, un gas (adsorbato) se encuentra a baja presión, luego pasa a la etapa dos donde aumenta la presión, quiere decir que hay una adición de calor, como se tiene alta presión empieza a evaporarse y en el otro recipiente se empieza a ver una condensación, después pasa a la etapa 3 donde la presión sigue alta y se tiene un adsorbente y el otro recipiente se tiene el gas convertido en líquido, entonces se tiene un líquido refrigerante caliente y en la etapa cuatro se baja la presión; entonces aquí se obtiene una evaporación y se vuelve a adsorber, en esta parte se libera calor y se obtiene un sistema de refrigeración con semicontinuo. (Wagh & Wankhede, 2017, pp. 5-6)

Figura3.3
Proceso adsorción / desorción



Fuente: (Wagh & Wankhede, 2017)

3.2 Propiedades del cuesco de la palma africana

Según el último estudio realizado por la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) en el año 2018 y publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2019) se determinó que Ecuador es uno de los productores más grandes de palma africana en Latinoamérica con una producción de 2'785.756 toneladas lo que representa el 42.7% de la producción nacional, siendo la provincia de Esmeraldas una de sus mayores productoras, en la Figura 3.4 se puede observar una plantación de palma africana y también el cuesco de la misma, este cuesco viene a ser el recubrimiento del fruto de esta palma.

Figura3.4
Palma africana y cuesco



Fuente: (Acevedo Corredor, 2014)

Dentro de los beneficios que se encuentran en la producción de palma africana está el aprovechamiento del cuesco; este es un residuo que por muchos años se mantuvo como simple desecho y contaminante ya que no se le encontraba otra función, pero gracias a estudios científicos se ha descubierto que tiene grandes propiedades que pueden ser aprovechadas tanto como combustible y adsorbente, puesto que el adsorbente se puede emplear para la formación de carbón activado y este cumple su función como adsorbente para sistemas de refrigeración por adsorción. Estudios realizados por (Acevedo Corredor, 2014) ha descubierto que el cuesco de palma africana contiene las siguientes propiedades que están descritas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1
Propiedades del cuesco de palma africana

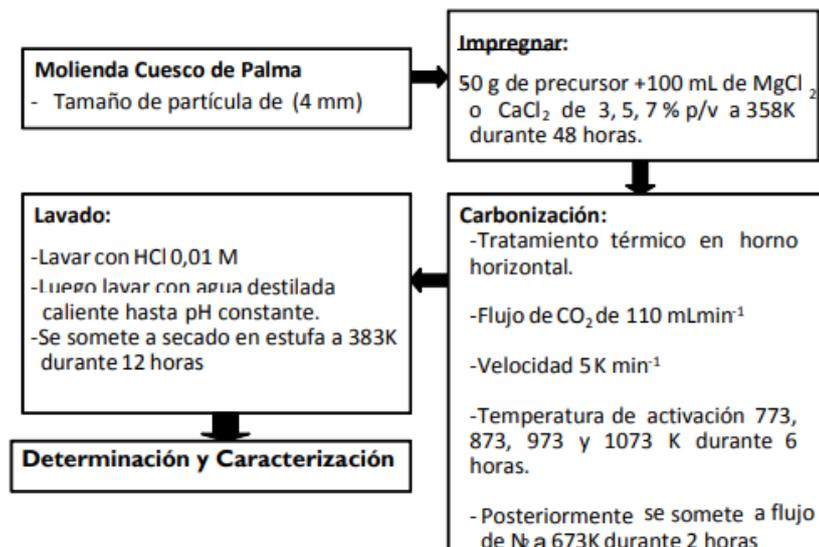
Cuesco de palma africana	
Análisis proximal (pp%_{obs})	
Humedad	17
Ceniza	3.2
Análisis elemental (pp%_{obs})	
Carbono	52.4
Hidrogeno	6.3
Nitrógeno	0.6
Azufre	0.2
Oxigeno	37.3
Poder calórico (MJ/kg_{bs})	
PCS	20.1

Fuente: (Heredia Salgado, 2017)

Según un estudio realizado por (Acevedo Corredor, 2014) indica como obtuvo el carbon activado a partir del cuesco de la palma africana. En la Figura 3.5 detalla el proceso que desarrolló mediante solidos que fueron activados por $MgCl_2$ y $CaCl_2$.

Una vez realizado el proceso de limpieza, trituración y selección de las particulas del cuesco se cumple con la obtención del carbón activado de forma granular, con sus siglas (CAG), y con un tamaño de 4mm, este carbón obtenido cumple con el rango que caracteriza el tamaño de un adsorbente para que realice una optima adsorción del refrigerante.

Figura 3.5
Obtención de carbón activado



Fuente: (Acevedo Corredor, 2014)

3.3 Pares adsorbente/adsorbato

Dentro de los tipos de adsorción física existen algunos pares que se acoplan muy bien para su función; estos son el carbón activado obtenido por el cuesco de palma africana como adsorbente y el metanol como adsorbato; este proceso puede considerarse como un proceso de llenado y condensación del adsorbato dentro de los poros del adsorbente. La adsorción se produce principalmente en los microporos, la función de los poros intermedios y de los poros grandes es principalmente transportar las moléculas adsorbidas a los microporos.

El carbón activado-metanol es uno de los pares de trabajo más comunes debido a la gran cantidad de adsorción y el menor calor de adsorción, que es de unos 1800-2000 kJ/kg. Como el principal consumo de calor en la fase de desorción se debe al calor de adsorción, los valores bajos de calor de adsorción son beneficiosos para el coeficiente de rendimiento.

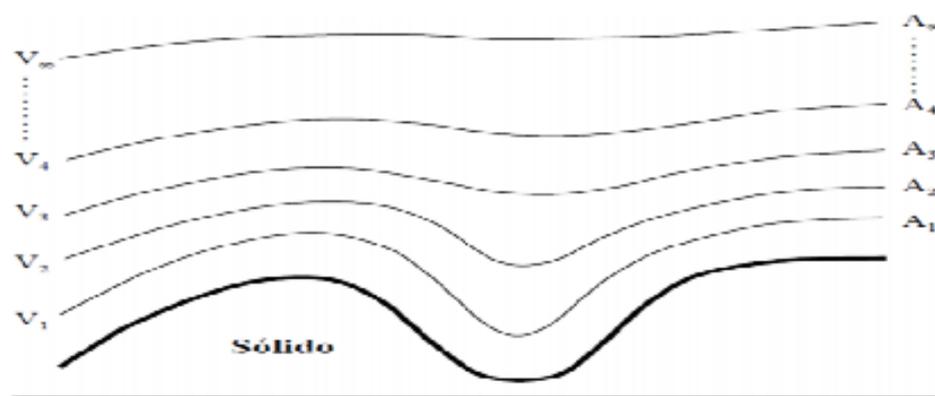
El carbón activado-metanol es también un par de trabajo adecuado para utilizar la energía solar como fuente de calor debido a la baja temperatura de desorción, que es de unos 100 °C. Deben evitarse las

temperaturas superiores a 120 °C porque por encima de esta temperatura se produce la descomposición del metanol en otros compuestos.

El carbón activado-metanol tiene la desventaja de que funciona a una presión inferior a la atmosférica. La necesidad de vacío en el interior de una máquina aumenta la complejidad de la fabricación y reduce la fiabilidad del sistema, ya que incluso una pequeña infiltración de aire puede comprometer seriamente el rendimiento de la máquina.

El carbón activado-metanol puede utilizarse para aplicaciones de congelación, y puede ser accionado por fuentes de calor con temperaturas inferiores a 120 °C. El carbón activado-metanol es también un par de trabajo adecuado para el calor residual de baja temperatura. Los pares para el calor residual de alta temperatura son la zeolita-agua, el carbón activado-amoniaco, los cloruros metálicos cloruros metálicos-amoniaco y adsorbentes compuestos-amoniaco. Sistemas de refrigeración por adsorción con carbón activado-metanol y la zeolita-agua funcionan en condiciones de vacío, y las máquinas a prueba de fugas son esenciales para mantener el rendimiento del sistema. Los sistemas que utilizan amoniaco como refrigerante tienen presión positiva, y la fabricación y el mantenimiento son mucho más fáciles si se comparan con los sistemas de vacío.

Figura3.6
Potencial de adsorción y volumen



Fuente: (Acevedo Corredor, 2014)

El estudio realizado por Acevedo Corredor (2014) muestra que el carbón activado obtenido de la palma africana cumple con las características

necesarias para ser un adsorbente. La Figura 3.6 muestra cómo se determina la microporosidad, las curvas delimitan los volúmenes de adsorción que hay en las superficies del carbón activado de cuesco de palma africana, por medio de las fuerzas de atracción se determinó el trabajo para la transferencia de moléculas del adsorbato. El potencial de adsorción representa un incremento de energía libre percibido por el metanol.

3.3.1 Propiedades de pares adsorbente/adsorbato

De acuerdo con Dusane & Ghuge (2016) expresa que existen algunas propiedades que deben cumplir el metanol con carbón activado para ser utilizados en los sistemas de refrigeración por adsorción, estas propiedades se indican a continuación:

- Funciona a baja temperatura de regeneración.
- Tiene gran capacidad cíclica de adsorción.
- Bajo calor de adsorción.
- Bajo punto de congelación.
- El metanol tiene un alto calor latente de evaporación

3.4 Ventajas y desventajas

La función de una máquina de sistema de enfriamiento por adsorción no abarca la suficiente potencia como para utilizarla productivamente en neveras y aires acondicionados domésticos, sino que deberían ser utilizados para un sistema industrializado porque abarcan grandes espacios por las dimensiones de sus paneles solares y la maquina en donde cumple su función de adsorción y desorción.

Una de sus grandes ventajas es que por ser un prototipo de magnitud industrial puede llegar a purificar el aire de CO₂ en grandes cantidades y su costo de fabricación y producción es mucho más económico que un sistema tradicional por compresión.

Los sistemas de enfriamiento por adsorción son denominadas como nuevas tecnologías las cuales tienen como ventaja el aprovechamiento de recursos naturales además de utilizar fuentes renovables haciendo que sea amigable para el ambiente.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación pudo cumplir con el objetivo principal que era analizar mediante el estudio la adsorción y desorción de pares adsorbentes / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía.

Viéndolo desde un punto de vista ecológico y amigable con el medio ambiente, este sistema es confiable mas no rentable económicamente al instante, ya que su producción o funcionamiento es mucho menor a la que abarca un sistema por compresión, pero si se enfocan en el beneficio que se lograra en el tiempo debe ser un sistema aplicable lo antes posible.

Se determinó el mejor par adsorbente / adsorbato son el carbón activado y metanol puesto que su funcionamiento con el agua no era el óptimo porque el metanol se evapora mucho más rápido que el agua generando una mayor adsorción.

Se llegó a la conclusión de que este sistema es aplicable a industrias mas no para un servicio doméstico por sus grandes dimensiones por lo que aún se encuentra en estudios este tipo de prototipo.

RECOMENDACIONES

Se debería tomar conciencia del daño que se está haciendo a uno mismo y se debe tomar la opción de cambiar a este tipo de sistema, ya que para cambiar se necesite empezar.

Se recomienda seguir realizando estudios para encontrar la opción de lograr hacer un equipo domestico para este tipo de sistemas y así en cada espacio físico donde se logre instalar un aire acondicionado o una nevera pueda aportar a la purificación del aire o a no seguir contaminando.

Implementar un prototipo dentro de la universidad para que los estudiantes puedan enfocarse e irse desarrollando en este tipo de sistemas y poder encontrar nuevas alternativas para la mejora del mismo.

REFERENCIAS

- Acevedo Corredor, S. A. (2014). Preparación y caracterización de carbón activado granular obtenido a partir de cuesco de palma africana (*Elaeis Guineensis*) para la adsorción de CO₂. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51880/74382041.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ambarita, H., & Kawai, H. (2016). Experimental study on solar-powered adsorption refrigeration cycle with activated alumina and activated carbon as adsorbent. *Case Studies in Thermal Engineering*, 7, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.01.006>
- Ara Rouf, R., Amanul Alam, K. C., Hakim Khan, M. A., & Baran Saha, B. (2013). Avance del enfriamiento por adsorción solar por medio de almacenamiento de calor. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.786>
- Bohorquez Escobar, C. B., Guillen Gordín, R. J., Imbert González, J., & Hernandez Rodríguez, J. C. (2020). Determinación de la adsorción y desorción de pares zeolita-metanol en un ciclo de enfriamiento // Determination of the adsorption and desorption of zeolite-methanol pairs in a cooling cycle. . . ISSN, 6.
- Bravo Paredes, L. (2020). Estudio de las alternativas de sistemas de refrigeración por adsorción.
- Campuzano Paez, M. G. C., & Chiriboga Albuja, J. V. (2010). Diseño y construcción de un sistema de enfriamiento por adsorción solar.
- Cardenas Acosta, Y. F. (2019). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE DUCHA EN EL SECTOR DE DEPORTES DE LA UTP. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/11053/T621.472%20C911.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Costa Lopez, J. (2004). Curso de ingeniería de química. Reverté S.A.
https://books.google.com.ec/books?id=XZNYpvnO_V8C&pg=PA48&q=tipos+de+desorci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjizMi1yrbYAhU6VzABHd8GDQkQ6AEwCHoECAIQAg#v=onepage&q&f=false
- Dusane, & Ghuge. (2016). A Review On Solar Adsorption Refrigeration System.
- Fernandez Pino, F. (2011). ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ADSORCIÓN.
- Gutierrez, J. (2015). ADSORCIÓN Y DESORCIÓN.
<https://prezi.com/nrtcrbl60brc/adsorcion-y-desorcion/>
- Gwadera, M. (2016). Adsorption-Desorption Processes in Adsorption Chillers. *Agricultural Engineering*, 20(2), 81-89.
<https://doi.org/10.1515/agriceng-2016-0029>
- Hamdy, M., Askalany, A. A., Harby, K., & Kora, N. (2015). An overview on adsorption cooling systems powered by waste heat from internal combustion engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1223-1234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.056>
- Heredia Salgado, M. (2017). Cuesco de palma africana, un nuevo combustible para uso comercial en Ecuador: Análisis económico y evidencia experimental.
- INEC. (2019). Cultivos con mayor producción en Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/2018-seis-cultivos-con-mayor-produccion-en-ecuador/>
- Kalawa, W., Grabowska, K., Sztekler, K., Krzywański, J., Sosnowski, M., Stefański, S., Siwek, T., & Nowak, W. (2019). Progress in design of adsorption refrigeration systems. *Evaporators. EPJ Web of Conferences*, 213. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921302035>

- Lai, J. Y., Ngu, L. H., Hashim, S. S., Chew, J. J., & Sunarso, J. (2021). Review of oil palm-derived activated carbon for CO₂ capture. *Carbon Letters*, 31(2), 201-252. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00206-1>
- Monzonis Salvia, J. (2011). *El Protocolo de Kioto*. 26.
- Morales León, G., & De La Fuente Vázquez, V. (2015). fisico quimica: Procesos de adsorción. fisico quimica. <http://procesosdeadsorcion.blogspot.com/2015/05/procesos-de-adsorcion.html>
- Muñas Gomez, M. A. (2015). DISEÑO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN MOLDE DE ACERO INOXIDABLE MEDIANTE LA ADAPTACIÓN DE CONVECCIÓN FORZADA CON UN EFECTO TERMOELÉCTRICO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1822/MDRPIM2015076.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Noriega Sanchez, C. J., & Perez Rojas, E. E. (2011). SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL USO DE CALOR RESIDUAL Y ENERGÍA SOLAR.
- ONU. (2019). ONU Medio Ambiente lucha para reducir las emisiones de la refrigeración y la calefacción. UNEP. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/onu-medio-ambiente-lucha-para-reducir-las-emisiones-de-la>
- ONU. (2020). Informe sobre la Brecha de Emisiones 2020. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/es/emissions-gap-report-2020>
- Plan Nacional del Buen Vivir. (2017). Sostenibilidad ambiental. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/ods/7-energia-asequible-y-no-contaminante>
- Rendon Velarde, R. B. (2020). Adsorción y desorción de cromo en un medio adsorbente (Bentonita), aplicando un proceso zero waster.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12374/IQroverb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santin Castro, M. A. (2020). Propuestas de un sistema de enfriamiento eficiente para la adsorción carbón activado / adsorbato. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/15532/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-255.pdf>

Sharafianardakani, A. (2015). Waste heat-driven adsorption cooling systems for vehicle air conditioning applications. 245.

Trillos, D. A. C., & Chejne, F. (2019). MODELADO DE ADSORCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES COV'S SOBRE MATERIALES MICROPOROSOS EN LECHOS FIJOS. 19.

Trujeque Bolio, J. (2010). Diseño de Refrigerador Solar por Adsorción para Clima Cálido Húmedo. [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6810/1/JGTB.TESIS.pdf>

Veloz Arias, D. S. (2018). Estudio de un sistema de refrigeración a través de la adsorción carbón activado-metanol utilizando fuentes renovables de energía.

Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología.

Wagh, H. D., & Wankhede, U. S. (2017). Review on Working Pairs for Adsorption Refrigeration System. 10.

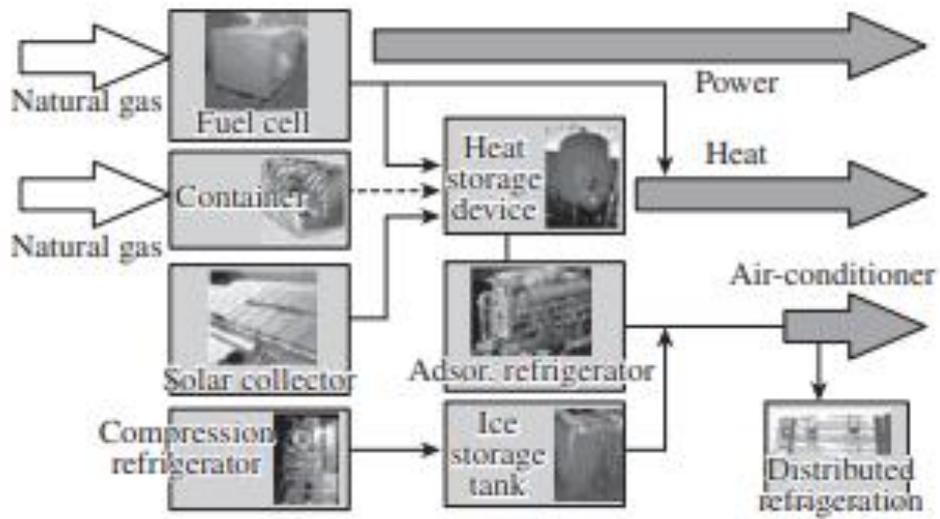
Wang, R. (2014). Adsorption Refrigeration Technology. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epub/10.1002/9781118197448>

Wilson, E. A., & Kolokotroni, M. (2013). Modelling the Isosteric Heating Process in a Charcoal Bed of a Solar Powered Adsorption Cooling System.

Yajahiry, K. (2015). Aplicaciones de la Adsorcion. Procesos de Adsorcion.
<http://fisicobloga.blogspot.com/2015/04/54-aplicaciones-de-la-adsorcion.html>

ANEXOS

Anexo 1. Sistema de cogeneración de frío, calor y electricidad. en el hospital Malteser de Alemania



Fuente: (Wang, 2014)

Anexo 2. Máquina de adsorción fabricada y enviada a África.



Fuente: (Veloz Arias, 2018)



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Montaño Patiño, Suly Dayanara**, con C.C: **#0802939850** autora del trabajo de titulación: **Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía** previo a la obtención del título de **Ingeniera Eléctrico Mecánica** 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, 17 de septiembre de 2021

Montaño Patiño, Suly Dayanara

C.C: **0802939850**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente / adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía.		
AUTOR(ES)	Montaño Patiño Suly Dayanara		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Bohórquez Escobar Celso Bayardo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Eléctrico Mecánica con Gestión Empresarial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	55
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mecánica de fluidos, Generación Eléctrica, Fuentes Renovables		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Sistema de enfriamiento, Adsorción, Desorción, Adsorbente, Adsorbato, Sistemas de compresión.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>Dentro del trabajo de investigación que se realizó en este proyecto sobre el estudio de la adsorción y desorción de pares adsorbente/adsorbato para sistemas de enfriamiento utilizando fuentes renovables de energía y la factibilidad de su proceso. Se define a partir de los conceptos de adsorción; que es adherir mas no absorber una sustancia con otra, esto produce una liberación de energía, es decir, ocurre un traspaso de energía de las moléculas que están adheridas a la superficie aumentado la temperatura a su alrededor, mientras que desorción una vez cumplida la función expulsa la sustancia para que se vuelva a cumplir el ciclo del sistema, adsorbiendo el calor del ambiente, pues adentro empieza aumentar la temperatura del adsorbente, en realidad significa que alrededor disminuye la temperatura. Este tipo de sistema de enfriamiento llamado ecológico debe ser usado por componentes naturales y dentro de estos componentes se encontró el carbón activado el cual es proveniente del cuesco de la palma africana que obtuvo mediante un proceso químico y su par idóneo es el metanol ya que juntos cumplen una gran capacidad de adsorción y desorción. Debido a esta investigación se llegó a la conclusión de que este tipo de sistema es conveniente por su bajo impacto negativo al ambiente, mientras que el sistema de enfriamiento por compresión debería ir quedando obsoleto por emisiones de gases nocivos. Esta investigación se obtuvo gracias a la recopilación bibliográfica de estudios experimentales y teóricos sobre estos sistemas de refrigeración.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 99 766 1286	E-mail: suly.montano@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593 96 274 5157		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			