

**INSTALACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BOMBA DE SECADO  
APLICADA AL SECADO DEL CAFÉ.**

**ANDERSON MAURICIO CAMPILLO ARANGO  
JONATHAN ANDRÈS GÒMEZ COPETE  
GABRIEL JAIME VALLEJO GAVIRIA**

**INSTITUCIÒN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
MEDELLÌN  
2014**

**INSTALACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BOMBA DE SECADO  
APLICADA AL SECADO DEL CAFÉ.**

**ANDERSON MAURICIO CAMPILLO ARANGO  
JONATHAN ANDRÉS GÓMEZ COPETE  
GABRIEL JAIME VALLEJO GAVIRIA**

**Trabajo para optar al título de Tecnólogo Mecánico**

**Director:  
ARLEY SALAZAR HINCAPIÉ  
Ingeniero Mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2014**

## CONTENIDO

RESÚMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
<b>1.1 ¿POR QUÉ ES NECESARIO IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE SECADO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ?</b>	11
1.2 ¿CÓMO ESTÁ CONSTITUIDO EL PROCESO?	11
1.3 ¿EN QUÉ CONSISTE EL PROYECTO DE LA BOMBA DE SECADO DE CAFÉ?	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. MARCO TEÓRICO	14
4.1 Definición de bomba de calor	14
4.2 Principio de funcionamiento.	14
4.4 HISTORIA DE LA BOMBA DE CALOR	15
4.5 PARTES QUE COMPONEN UNA BOMBA DE CALOR	16

4.5.1 Compresor:	16
4.5.2 Serpentín:	17
Figura 3. Serpentín intercambiador.	17
4.5.3 Elemento de expansión:	17
4.5.4 Presostato de alta y baja:	18
<b>Figura 6. Filtro secador.</b>	19
4.5.5 Acumulador de succión:	19
4.5.6 Válvula de carga:	20
4.5.7 Gas R22 (CLORODIFLUOROMETANO):	21
4.5.7.1 Información toxicológica	21
4.5.7.2 Propiedades físico-químicas	21
4.6 DIAGRAMA PRESIÓN-ENTALPÍA (P-H)	22
4.6.1 Presión:	22
<b>4.6.2 Entalpía:</b>	22
<b>Figura 9. Diagrama presión entalpía.</b>	22
4.7 DIAGRAMA TEMPERATURA ENTROPÍA (T-S)	24
Figura 10. Diagramas temperatura entropía.	24
4.8 EFICIENCIA EN UNA BOMBA DE CALOR (COP)	25
4.9 DATOS PSICROMÉTRICOS	25

4.10 EL PROCESO STC DE SECADO TÉRMICO A BAJA TEMPERATURA	27
4.10.1 Zona de carga, conformado y descarga	27
4.10.2 Los módulos de secado y condensación del agua	28
4.10.3 Consumo y aprovechamiento en el Sistema de Transferencia de Calor	29
4.10.4 Tecnología de la bomba de calor	30
5.1 RECURSOS	32
5.1.1 Humano	32
5.1.2 Económicos	33
5.1.3 Técnico	33
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	34
6.1 DISEÑO DE LA BOMBA	34
Figura 19. Serpentes bomba de secado de café.	35
Figura 20. Cilindro refrigerante R22.	35
6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	38
7. CONCLUSIONES	40
8. RECOMENDACIONES	41
<b>9. CIBERGRAFÍA</b>	42

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de funcionamiento de una bomba de calor.	15
Figura 2. Compresor especial para bombas de calor.	17
Figura 3. Serpentín intercambiador.	18
Figura 4. Tubo capilar.	19
Figura 5. Presostato.	19
Figura 6. Filtro secador.	20
Figura 7. Acumulador de succión.	21
Figura 8. Válvula de carga tipo gusanillo.	21
Figura 9. Diagrama presión entalpía.	23
Figura 10. Diagramas temperatura entropía.	25
Figura 11. Carta psicométrica.	27
Figura 12. Zona de carga, conformado y descarga.	28
Figura 13. Lodo seco homogenizado.	29
Figura 14. Esquema de circulación de aire en el túnel.	29
Figura 15. Consumo vs aprovechamiento.	30
Figura 16. Punto de condensación y evaporación.	31
Figura 17. Principio de la Bomba de Calor.	32
Figura 18. Bomba de secado de café.	35
Figura 19. Serpentes bomba de secado de café.	36
Figura 20. Cilindro refrigerante R22.	36
Figura 21. Diagrama presión entalpía del R22.	40

## GLOSARIO

**Artefacto:** Obra diseñada para desempeñar una función específica.

**Isobara:** Curva de igual presión o presión constante en un gráfico de datos.

**Isocaras:** Curva que coincide en un plano, con respecto al volumen específico de un fluido.

**Isoentálpica:** cambio significativo en la presión y en la temperatura de un fluido.

**Isotherma:** Curva que une dos ejes en un plano cartesiano, igual temperatura por unidad de tiempo.

**Isotrópica:** Características que tienen algunos cuerpo de ser examinados de acuerdo a la dirección en que se encuentran.

**Organoléptica:** características físicas de la materia perceptibles por los sentidos.

**Toxicología:** estudio de los mecanismos en los efectos tóxicos que producen las sustancias en un organismo.

## RESÚMEN

La caracterización de una bomba de calor direccionada al secado del café consta de un análisis previo de conservación e intercambio de energía calórica que puede entregar un artefacto frigorífico.

Esta consta de elementos básicos con los cuales se pueda generar un ciclo de refrigeración, en el cual se pueda basar su actividad en el foco caliente (condensador) y en la temperatura que se pueda medir, que éste pueda conducir hacia un recinto denominado cámara de secado.

Para lograr esta temperatura, una vez se carga el sistema con una carga específica de gas refrigerante R22, este es presurizado por la acción del compresor, aumentado así su temperatura y posteriormente siendo llevado al condensador para ceder el calor y hacer pasar el fluido ya en estado líquido.

Por la acción de un elemento de expansión este líquido es transportado en forma de rocío de un lugar de alta presión a otro de más baja presión, pasando nuevamente por otro intercambiador llamado evaporador quien se encarga de volver el estado original al fluido y posteriormente llevarlo al compresor donde este dará comienzo a un nuevo ciclo.

Esta bomba cuenta además con elementos complementarios de mucha importancia, los cuales juegan un papel secundario, y es de dar seguridad y protección a los elementos más importantes de todo el sistema garantizando así que todos funcionen armónicamente.

Una vez esta bomba esté lista para ser utilizada, se entrará a medir variables tales como temperaturas, presiones, humedades, energía, COP, entre otras, las cuales darán soporte y servirán para la estandarización del proceso de secado y optimización de cada una de ellas en la **BOMBA DE SECADO DE CAFÉ**.

Al sistema se le introduce una carga de 4 a 5 libras de gas refrigerante estipulada por el fabricante, con las cuales logra alcanzar una temperatura de 50°C y con ésta logra secar 8 kilogramos de grano de café que es la carga máxima alcanzando un tiempo de 4 horas de operación para la carga máxima.

## ABSTRACT

Develop a heat pump assisted drying of coffee, requires of previous analysis, about energy interchange heat, which this can be a refrigerating machine.

The heat system pump was developed with basic elements to refrigerating, in which pump will can do a refrigeration cycle, therefore create her main activity in heat focus (condenser) and temperature which can be measured there, so that the condenser lead to box called dried chamber.

To find the temperature requires, when the system is loading with a specific refrigerant gas (**R22**), this actuate by pressure compressor, increasing her temperature and subsequently carried to condenser for delivering heat and flow in liquid state.

By actuate of a valve expansion, the liquid flow in spray form, is brought to place of high pressure to other of low pressure, carried again to interchange called evaporator, so that the fluid return to normal state (refrigerant gas). Subsequently, flow is carried to compressor, there is storage ushering a new refrigeration cycle. Moreover the heat pump has complementary elements very important, which play a secondary role, these give security and careful to principals elements, ensuring harmony in all system.

When the heat pump is ready to be used, there are measured variables such as: temperature, pressure, humidity, energy, coefficient of performance (**COP**), E.T.C. These will give support and assist to **HEAT PUMP ASSISTED DRYING OF COFFEE**.

The system introduces a load of 4-5 pounds of refrigerant gas stipulated by the manufacturer, with which achieves a temperature of 50 ° C and dry it achieves 8 kg of coffee bean is the maximum system load, reached a time of 4 hours of operation for maximum load.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de secado por medio de una bomba de calor es un artefacto que funciona como sistema frigorífico en un ciclo de refrigeración definido basando su fuente de energía en el denominado foco caliente.

De tiempo atrás el hombre ha utilizado la técnica del secado como actividad base para prolongar la vida útil a los productos, garantizando su calidad. La técnica para secar era desarrollada en lugares amplios, donde se exponía el producto a la influencia del ambiente, minimizando así los niveles de humedad de éste.

Con el método empírico de secado por el ambiente, se corrían riesgos que generaban pérdidas considerables, generando cambios en el producto y el tiempo de puesta a punto era muy prolongado; sin embargo, con la invención la bomba de secado, las técnicas y procesos mejoraron significativamente, ligado directamente al ahorro energético y en el tiempo que tarda éste en obtener patrones estipulados en el medio de distribución.

Hoy día las bombas de calor son utilizadas en diferentes procesos industriales, con enfoques y aplicaciones diferentes al proceso a plantear en éste estudio.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 ¿POR QUÉ ES NECESARIO IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE SECADO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ?

El secar los productos alimenticios es una técnica desarrollada ancestralmente bajo la necesidad de obtener productos, vegetales, frutas o semillas libres de la presencia de humedad o agua. Sin embargo por la acción misma de los rayos solares y al no tener control sobre la temperatura, muchos productos perdían su contextura y sus propiedades nutricionales y organolépticas echándose a perder y generando baja productividad.

### 1.2 ¿CÓMO ESTÁ CONSTITUIDO EL PROCESO?

La caracterización de una bomba de secado de café irá directamente ligada a la **eliminación** de la humedad en el producto (café), controlando variables directas en él y generando un producto de mejor calidad en sus propiedades nutricionales y organolépticas, con mejores tiempos de secado medibles y cuantificables.

### 1.3 ¿EN QUÉ CONSISTE EL PROYECTO DE LA BOMBA DE SECADO DE CAFÉ?

Todo el proyecto consiste en diseñar y hacer montaje de la bomba como prototipo universitario, pero con fines industriales y agrícolas, haciendo mediciones basados en conceptos existentes consolidando así una **BOMBA DE SECADO DE CAFÉ**.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proceso de secado es una fuente de ingresos sólida y rentable, utilizada para dar mayor calidad al producto, reduciendo las pérdidas después de la cosecha y bajando los costos de transporte y bodegaje. Sin embargo cuando el proceso es realizado al aire libre es amenazado directamente por los cambios del clima, ya que este proceso requiere de amplios espacios para secar el producto directamente con el sol. De igual manera con éste proceso se requiere de tiempos de secado muy extensos para secar solo una pequeña parte del total de la cosecha.

Al implementar un sistema de secado por medio de una bomba de calor se mejora el proceso, ya que a la hora de cuantificar el tiempo que tarda, se pasa de días a horas, generando un crecimiento en la producción y mejorando la calidad en el producto. El secado por medio de un sistema de bomba de calor elimina la humedad del producto a mayor velocidad con la capacidad de controlar la temperatura y la cantidad de grano entrante al sistema.

Este proyecto irá de forma directa a beneficiar las pequeñas empresas y campesinos que hoy viven de la actividad cafetera, llegando a ser competitivos en el gremio, ayudándolos a ser reconocidos y mejorando la calidad en el proceso de sus productos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Instalar y caracterizar una bomba de calor direccionada al secado del café

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar por medio de conceptos de refrigeración el esquema de una bomba de secado.
- Realizar el montaje de las partes y componentes de la bomba ciñéndose a los parámetros estipulados por la literatura relacionada con la refrigeración.
- Evaluar por medio de diagramas el funcionamiento del equipo entendiendo las condiciones óptimas de diseño.
- Implementar cálculos de acuerdo a mediciones realizadas en pruebas al equipo para determinar el óptimo funcionamiento que debe tener en relación con el producto principal (café).

## 4. MARCO TEÓRICO

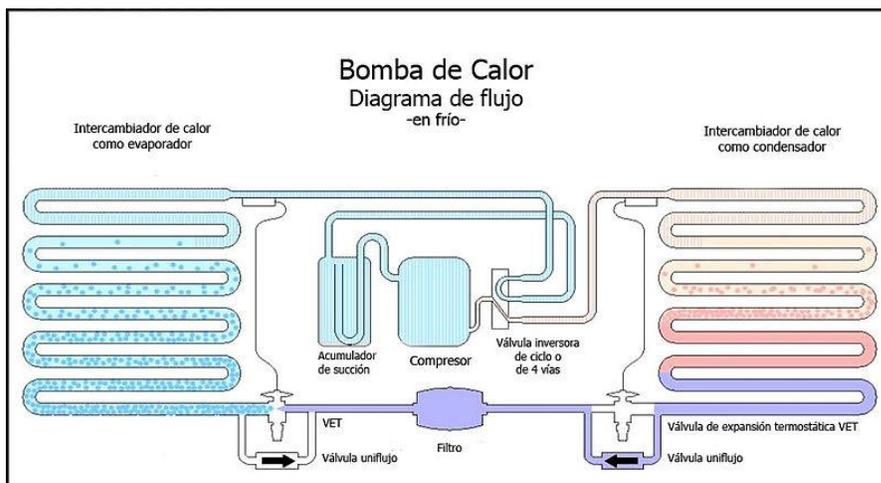
### 4.1 Definición de bomba de calor

Es una máquina que trasfiere energía térmica de un medio frío a otro más caliente. Se comparan con las bombas de agua ya que éstas ayuda a trasportar el agua de un nivel bajo a otro más alto. Éste tipo de artefacto ciñe su funcionamiento basado en la segunda ley de la termodinámica, entendiendo que el calor se transfiere espontáneamente de una fuente caliente a otra fría igualando la temperatura de la primera fuente y estabilizándose las dos en un mismo nivel de temperatura sin devolverse a su temperatura inicial.

### 4.2 Principio de funcionamiento.

Por medio del ciclo análogo de refrigeración por compresión de gases refrigerantes, el actor principal de la bomba será el condensador como intercambiador de calor, donde la temperatura entregada por la compresión del gas, sea quien alimente al sistema de energía calórica medible y cuantificable una vez ésta entre en contacto con la cámara (recinto)<sup>1</sup>.

**Figura 1. Sistema de funcionamiento de una bomba de calor.**



Tomada de:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor#Tipos\\_de\\_bomba\\_de\\_calor](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor#Tipos_de_bomba_de_calor)

<sup>1</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor#Tipos\\_de\\_bomba\\_de\\_calor](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor#Tipos_de_bomba_de_calor), Noviembre 15 de 2014.

### **4.3 CICLO DE REFRIGERACIÓN**

La refrigeración por compresión es un método de refrigeración que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en el evaporador y lo ceda en el condensador.

Una máquina frigorífica por compresión tiene por cometido desplazar energía térmica en forma de calor entre dos puntos. La más sencilla de ellas es la refrigeración por compresión mecánica de una etapa.

La refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante -y producir el subenfriamiento del mismo- es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante. De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión<sup>2</sup>.

### **4.4 HISTORIA DE LA BOMBA DE CALOR**

En 1852, William Thomson (también conocido como Lord Kelvin) desarrolló el concepto de la bomba de calor. Thomson prueba que el calor puede fluir de caliente a frío. Thomson desarrolló el dispositivo que hizo prever su aplicación inicialmente en las torres de enfriamiento, aires acondicionados, refrigeradores, neveras y bombas de calor.

La primera bomba de calor surgió en la década de 1940, cuando un inventor estadounidense descubrió la idea de bombeo de calor a través de su congelador en su casa, posteriormente consolidándose como bomba de calor y en teoría se

---

<sup>2</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n\\_por\\_compresi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_por_compresi%C3%B3n), Noviembre 22 de 2014.

convirtió en un concepto científico. Las bombas de calor se utilizan en todo tipo de recursos, incluidos los sistemas de aire acondicionado y refrigeradores<sup>3</sup>.

#### 4.5 PARTES QUE COMPONEN UNA BOMBA DE CALOR

- Compresor
- Serpentin de condensación
- Serpentin de evaporación
- Tubería de cobre
- Elementos de expansión (tubo capilar)
- Elementos consumibles (soldadura, refrigerante, pintura, Ángulos metálicos para estructura)
- Presostatos de alta y de baja presión
- Filtro secador
- Acumulador de succión
- Válvulas de recarga
- Gas comprimido

##### 4.5.1 Compresor:

Máquina de fluido que sirve para aumentar la presión y desplazar ciertos fluidos llamados compresibles tales como gases y vapores. Es utilizado para generar un intercambio de energía entre el fluido y la máquina, en el cual el trabajo realizado por la maquina es transferido a la sustancia que pasa por él, convirtiéndose en **energía de flujo**, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir<sup>4</sup>.

**Figura 2. Compresor especial para bombas de calor.**



<sup>3</sup> <http://www.automotriz.biz/coches/car-maintenance/general-car-maintenance/126716.html>, Noviembre 15 de 2014.

<sup>4</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor\\_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_(m%C3%A1quina)), Noviembre 22 de 2014.

Tomado de:

[http://www.refriworld.com.pe/prestashop/index.php?id\\_product=20&controller=product](http://www.refriworld.com.pe/prestashop/index.php?id_product=20&controller=product)

#### 4.5.2 Serpentín:

Se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente. Este aparato se utiliza de diversas formas pero más comúnmente en el laboratorio de química. Los serpentines se usan desde la antigüedad en la destilación de bebidas alcohólicas, aunque en la actualidad cualquier proceso de refinado de crudos u obtención de un producto químico puede utilizar un serpentín, bien para enfriar, bien para calentar líquidos o gases<sup>5</sup>.

**Figura 3. Serpentín intercambiador.**



Tomado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Serpent%C3%ADn>

#### 4.5.3 Elemento de expansión:

Es un elemento que disminuye la presión de un fluido pasando de un estado de alta presión y temperatura a uno de menor presión y temperatura. Al producirse la

---

<sup>5</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Serpent%C3%ADn>, Noviembre 15 de 2014.

expansión del líquido en un ambiente de menor presión, se evapora parcialmente reduciéndose la temperatura al absorber calor latente de él mismo. A su salida se pretende tener un aerosol, pequeñas gotas de refrigerante en suspensión, que facilite la posterior evaporación<sup>6</sup>.

**Figura 4. Tubo capilar.**



Tomado de: <http://spanish.alibaba.com/product-tp/copper-capillary-tubes-101145975.html>

#### **4.5.4 Presostato de alta y baja:**

El presostato de refrigeración de Alta o de Baja es un interruptor eléctrico operado por presión con el fin de proteger al sistema de refrigeración y al compresor, o hacer funciones de control<sup>7</sup>.

**Figura 5. Presostato.**



Tomado de: <http://clidair.com.ve/index.php?form=lista&cat=91>

<sup>6</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo\\_de\\_expansi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_de_expansi%C3%B3n), Noviembre 15 de 2014.

<sup>7</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Presostato>, Noviembre 15 de 2014.

#### 4.5.4 Filtro secador:

Es considerado uno de los cinco componentes básicos de un sistema sellado de refrigeración. Su función principal es retener humedad y eventuales partículas sólidas existentes en el sistema.

Uno de los aspectos más importantes del montaje de un sistema de refrigeración está relacionado con la correcta instalación del filtro secador, en la salida del condensador. La instalación del filtro en la posición adecuada garantiza la entrada de refrigerante solo en la fase líquida, lo que asegura la ecualización de las presiones en el menor tiempo posible. Al mismo tiempo que se busca la ecualización ideal de presiones, se debe atender para una posición del filtro secador que evite el desgaste por fricción del desecante. Esto se consigue con la instalación del filtro en forma vertical, en que el flujo de refrigerante actúa en el mismo sentido de la gravedad, evitándose con esto el movimiento de las partículas de desecante que pueden, por desprendimiento de residuos, obstruir el tubo capilar o provocar desgaste en los componentes internos del compresor<sup>8</sup>.

#### Figura 6. Filtro secador.



Tomado de:

[http://www.grupomevbrasil.com.br/produtos\\_refrigeracao\\_acessorios.htm](http://www.grupomevbrasil.com.br/produtos_refrigeracao_acessorios.htm)

#### 4.5.5 Acumulador de succión:

Es un depósito temporal que se utiliza para retener el exceso de líquido que después se enviará a un lugar donde se pueda manejar de manera más segura. Es un recipiente capaz de retener el exceso de líquido en el fondo, asegurando que el refrigerante que sale lo haga en forma de gas. Esta herramienta protege al compresor, porque a pesar de que el refrigerante líquido puede repentinamente retornar gracias a la línea de succión, no se desbordará dentro del compresor, ya

---

<sup>8</sup><http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/aTWNTwXGcE.pdf>, Noviembre 22 de 2014.

que el acumulador lo detendrá temporalmente y lo dosificará de regreso al compresor en una proporción controlada a través del orificio dosificador<sup>9</sup>.

**Figura 7. Acumulador de succión.**



Tomado de: <http://www.aprilgps.ru/prod/269/catalog.html>

#### **4.5.6 Válvula de carga:**

Las válvulas de carga son fabricadas en las medidas de 1 / 4 y 3/16, para garantizar que la carga de gas sea eficiente con un óptimo sellado hermético<sup>10</sup>.

**Figura 8. Válvula de carga tipo gusanillo.**



Tomado de: <http://suyre.com/valvula-obus-carga-p-865.html?osCsid=1e9ebd636940fd598580c798307a1e2f>

<sup>9</sup><http://www.forofrio.com/index.php/noticias2/351-acumulador-de-succion>, Noviembre 22 de 2014.

<sup>10</sup>[http://refriandinos.com/pag\\_productos5\\_valvulas2.html](http://refriandinos.com/pag_productos5_valvulas2.html), Noviembre 22 de 2014.

#### 4.5.7 Gas R22 (CLORODIFLUOROMETANO):

El **CLORODIFLUOROMETANO** (CFC) es un gas incoloro y casi inodoro. A temperaturas muy bajas puede ser un líquido. Se emplea en climatización, como impulsor de aerosoles y como un disolvente a temperaturas bajas. También se emplea como refrigerante en vitrinas para alimentos, máquinas de hacer hielo, congeladores domésticos y bombas de calor. Se obtiene de la creación del clorofórmico como el cloruro de Hidrogeno. Es el material de partida para la producción de Politetrafluoretileno (PRFE) y Bromo clorofluorocarbono (BCF) que se emplean para extinción de incendios y para el soplado de espumas plásticas.

##### 4.5.7.1 Información toxicológica

Hay pocos datos disponibles sobre los niveles de absorción del CFC22. Éste presenta una baja toxicidad aguda en los animales, con resultado de muerte para concentraciones del 28% (1 Kg/m<sup>3</sup>) y superiores. No se dispone de información acerca de la irritación o sensibilización de los animales<sup>11</sup>.

##### 4.5.7.2 Propiedades físico-químicas

El CFC22 es un gas incoloro con un ligero olor dulce.

**Peso molecular:** 86,47

**Factor de conversión**

(20 °C, 101 kPa): 3,60 mg/m<sup>3</sup> = 1 ppm

**Fórmula molecular:** CHClF<sub>2</sub>

**Solubilidad:** soluble en éter, acetona y clorofórmico; muy soluble en agua

**Punto de fusión:** 160 °C

**Punto de ebullición:** – 40,8 °C

**Presión de vapor:** 885 kPa a 20 °C<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup><http://www2.udec.cl/matpel/sustanciaspdf/c/CLORODIFLUOROMETANO.pdf>, Noviembre 15 de 2014.

<sup>12</sup><file:///C:/Users/agomez/Downloads/DLEP%2011%20-%20Clorodifluorometano.pdf>, Noviembre 15 de 2014.

## 4.6 DIAGRAMA PRESIÓN-ENTALPÍA (P-H)

También llamado diagrama de Mollier. Representa datos psicrométricos en un plano en relación a la presión/entalpía de un posible compuesto químico especialmente si es un gas refrigerante. Con éste diagrama se estudian diferentes sistemas frigoríficos en los sistemas de refrigeración por compresión.

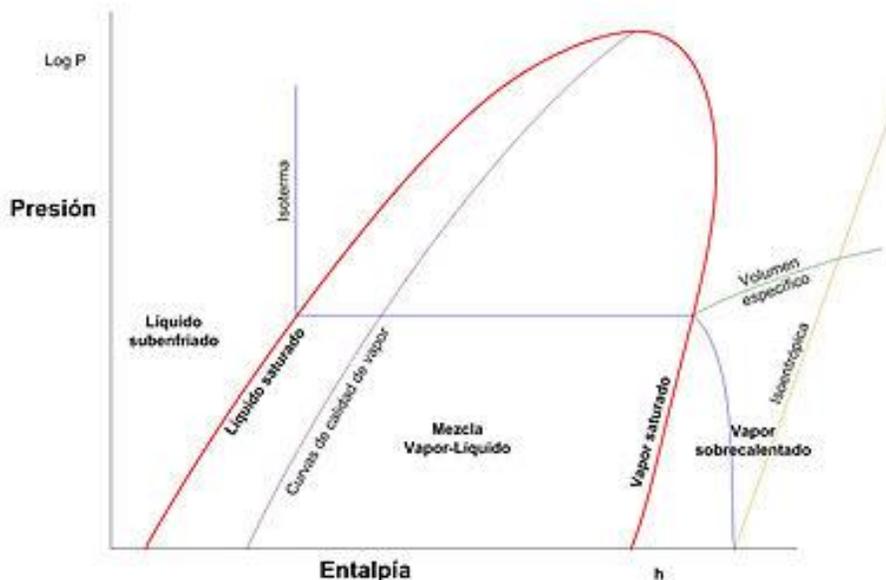
### 4.6.1 Presión:

Magnitud física que mide la proyección de una fuerza perpendicular a una superficie. También se puede definir como la fuerza que se puede aplicar perpendicular a un área. Las unidades de la presión son unidades de fuerza y longitud, estas últimas expresadas al cuadrado. En el sistema internacional se conoce como pascal que es el valor de un Newton por un metro cuadrado y en el sistema Ingles como el valor de una libra fuerza por una pulgada al cuadro<sup>13</sup>.

### 4.6.2 Entalpía:

Magnitud termodinámica simbolizada con la letra H. Cantidad de energía cedida a un sistema termodinámico. Transformación de la energía en donde se aporta o se recibe. Energía necesaria para realizar un trabajo mecánico<sup>14</sup>.

Figura 9. Diagrama presión entalpía.



<sup>13</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n>, Noviembre 15 de 2014.

<sup>14</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Entalp%C3%ADa>, Noviembre 15 de 2014.

El diagrama está compuesto por dos ejes principales y tres zonas delimitadas por una curva de saturación.

- En el eje de las ordenadas se registra el valor de Presión en (bar) -para diagramas Ph en SI-, eje graduado en escala logarítmica.
- En el eje de las abscisas se registra el valor de entalpía en unidad de masa en [kJ/kg] ó [kcal/kg].
- Una curva de saturación con forma de “U” invertida la cual determina si el compuesto se encuentra en estado de: líquido subenfriado, líquido saturado, mezcla líquido-vapor, vapor saturado o vapor sobrecalentado (color rojo).

A su vez presenta seis trazos donde se definen los ciclos de refrigeración y estados de agregación de la materia.

- **Isobaras:** Rectas que coinciden sus valores de presión perpendiculares al eje de ordenadas.
- **Isoentálpicas:** Rectas paralelas que coinciden con valores de entalpía en masa. Perpendicular al eje de abscisas
- **Isotermas:** que en la zona de líquido subenfriado son paralelas a la ordenada y dentro de la campana de mezcla son paralelas a la abscisa, y en la zona de vapor sobrecalentado descienden en forma curva. Estas trazas –“paralelas” entre sí- coinciden los valores de igual temperatura del sistema, y en las tablas Ph en el SI está expresado en grados Celsius (*color azul*).
- **Isocoras:** Son las curvas que coinciden los puntos con igual volumen específico y también son paralelas entre sí para distintos valores. En el SI está expresado en [m<sup>3</sup>/kg]. Se desarrollan en la izquierda de la zona de mezcla líquido-vapor y se extiende hacia la derecha hasta la de vapor sobrecalentado hasta el final del diagrama (*color verde*).
- **Isotrópicas:** Son las curvas que coinciden los valores de igual entropía en el sistema. En el SI se miden en [kJ/kg K] ó [kJ/kg°C]. Paralelas entre sí y de una elevada pendiente (*color amarillo*).
- Nueve curvas de "título de vapor" o "*calidad de vapor*" que indican el porcentaje en masa de vapor contenido en la mezcla líquido-vapor. Estas curvas, existentes sólo dentro de la campana de mezcla, son coincidentes en su extremo superior más su extremo inferior se encuentra relativamente equidistante a la adyacente y así sucesivamente. Son nominadas con los valores del 0,1 al 0,9 (*color violeta*).

- En la parte superior de la curva de saturación se define el llamado punto crítico el cual es el límite a partir del que, por mucho que se aumente la presión, no es posible condensar el gas<sup>15</sup>.

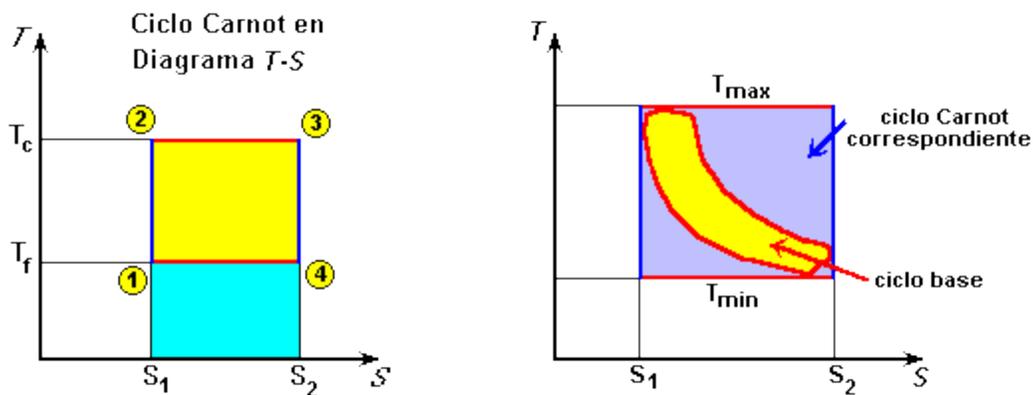
#### 4.7 DIAGRAMA TEMPERATURA ENTROPÍA (T-S)

El diagrama temperatura entalpía tiene varias propiedades interesantes que lo hacen útil para visualizar procesos y ciclos. A continuación se mostraran algunas de ellas:

En un diagrama T-S un ciclo de Carnot queda representado por dos horizontales (isotermas) y dos verticales (isotrópicas). Por lo tanto un ciclo de Carnot es un rectángulo.

Además el área encerrada dentro de un ciclo (o bajo la curva) representa los colores intercambiados con el exterior o en cada evolución. Un concepto interesante que surge de éste diagrama es el de ciclo de Carnot correspondiente. Si en un diagrama T-S se traza un ciclo cualquiera, el rectángulo que circunscribe al ciclo es el ciclo de Carnot correspondiente. La diferencia de área entre ambos ciclos representa la pérdida de eficiencia entre el ciclo real y el Carnot correspondiente<sup>16</sup>.

**Figura 10. Diagramas temperatura entropía.**



Tomado de: [http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_07/cap\\_07.htm](http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_07/cap_07.htm)

<sup>15</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_Ph](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_Ph), Noviembre 15 de 2014.

<sup>16</sup>[http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_07/cap\\_07.htm](http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_07/cap_07.htm), Noviembre 15 de 2014.

## 4.8 EFICIENCIA EN UNA BOMBA DE CALOR (COP)

También conocido como rendimiento. Es la cantidad de energía calórica que bombea el sistema; depende de la diferencia en la temperatura que dan el foco frío y caliente; Si ésta aumenta el rendimiento de la máquina será menor.

Es la relación entre la potencia que entrega la bomba como refrigeración o calor y la potencia entregada por el compresor. El COP se expresa sin unidades, se utilizan las mismas unidades tanto para el calor producido como para la potencia entregada.

$$COP = \frac{|Q|}{W}$$

En una bomba se determina que el calor que entrega el foco caliente es igual a la suma del calor entregado por el foco frío más la potencia que consume el compresor en éste proceso.

$$Q_C = Q_F + W$$

Se debe tener en cuenta que si esta fórmula se utiliza para un sistema que está en función de refrigerar, se debe calcular con el calor entregado por el foco frío:

$$COP = \frac{|Q_F|}{W}$$

Si la bomba se está utilizando para generar calor o calentar un lugar, la expresión será<sup>1718</sup>:

$$COP = \frac{|Q|}{W}$$

## 4.9 DATOS PSICROMÉTRICOS

### PSICROMETRÍA

Área de la ciencia que estudia el estado y las propiedades del aire húmedo y cuál es el efecto que realiza en los materiales la humedad atmosférica en el confort humano.

---

<sup>17</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor#El\\_principio\\_de\\_funcionamiento\\_en\\_cuatro\\_pasos](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor#El_principio_de_funcionamiento_en_cuatro_pasos), Noviembre 15 de 2014.

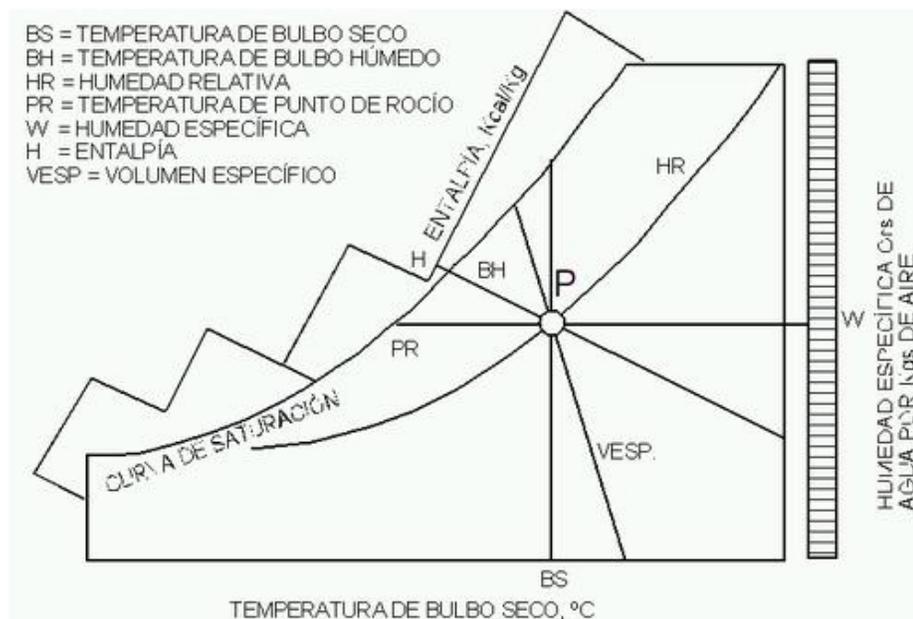
<sup>18</sup>[http://www.cbs.grundfos.com/GMX\\_Mexico/lexica/AC\\_COP.html#-](http://www.cbs.grundfos.com/GMX_Mexico/lexica/AC_COP.html#-), Noviembre 15 de 2014.

El aire frío está compuesto por aire seco, aire húmedo y vapor de agua. El aire seco que es el inhalado por el ser humano está formado por la mezcla de los siguientes gases: Nitrógeno en un 77%, Oxígeno en un 22%, Dióxido de carbono y otros gases un 1%.

De acuerdo a la temperatura, el aire se carga de vapor de agua. Si la temperatura es baja la cantidad de vapor de agua es baja y viceversa. Ésta proporcionalidad se mantiene si el gas está a presión atmosférica constante. La psicrometría es utilizada para la conservación de los alimentos bajo refrigeración, el acondicionamiento de aire acondicionado, **procesos de secado**, fabricación de alimentos.

En un diagrama psicrométrico se relacionan parámetros para realizar la mezcla adecuada de aire húmedo, en el que se tienen en cuenta las siguientes condiciones: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente, volumen específico. Se debe tener en cuenta que estos valores son variables de acuerdo la altura en que se esté al nivel del mar<sup>19</sup>.

**Figura 11. Carta psicrométrica.**



Tomado de:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama\\_psicrom.C3.A9trico](http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama_psicrom.C3.A9trico)

<sup>19</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama\\_psicrom.C3.A9trico](http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama_psicrom.C3.A9trico), Noviembre 15 de 2014.

## 4.10 EL PROCESO STC DE SECADO TÉRMICO A BAJA TEMPERATURA

El sistema de STC (Sistema de Transferencia de Calor) de secado térmico de fangos, mediante aire caliente a baja temperatura, permite reducir en un 70% la producción de fangos y mejorar las posibilidades de reutilización agrícola y valorización energética de éstos. La baja temperatura de trabajo, entre 65-80 °C, permite la utilización de energía residual de otros procesos y la utilización de la bomba de calor<sup>20</sup>.

### 4.10.1 Zona de carga, conformado y descarga

El fango deshidratado mecánicamente pasa a través de una conformadora para obtener un producto granulado de baja densidad en forma de cilindros, aumentando la relación superficie/volumen. Una vez conformado, se distribuye uniformemente a lo largo de la cinta del túnel, lo que facilita el paso del aire a través de la masa de producto<sup>21</sup>.

**Figura 12. Zona de carga, conformado y descarga.**



Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73007\\_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/)

El original diseño del sistema de conformado y alimentación del lodo para la posterior transferencia de calor, permite separar el recirculado del producto seco, que puede alcanzar sequedades de hasta el 90%.

<sup>20</sup> [http://www.secadolodos.com/73032\\_es/Secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos/](http://www.secadolodos.com/73032_es/Secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos/), Noviembre 30 de 2014

<sup>21</sup> [http://www.secadolodos.com/73007\\_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014

**Figura 13. Lodo seco homogenizado.**



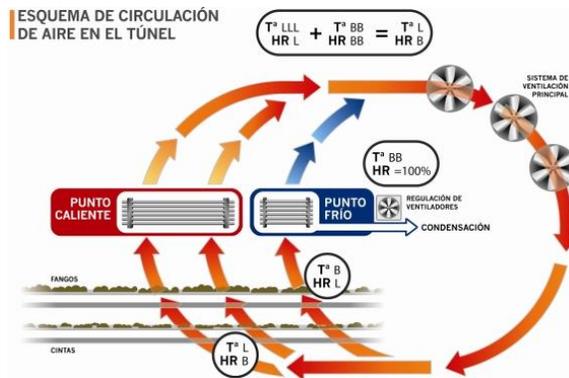
Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73007\\_es/Equipo-de-secado-t%C3%A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%C3%A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/)

Mediante el sistema de descarga, los lodos secos pasan por un molino rompedor para homogeneizar el tamaño del pellet y posteriormente se dirigen hacia el sistema de recogida<sup>22</sup>.

#### 4.10.2 Los módulos de secado y condensación del agua

En los módulos de secado se extrae propiamente el agua de los lodos.

**Figura 14. Esquema de circulación de aire en el túnel.**



Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73008\\_es/M%C3%B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%C3%B3n-del-aire-y-condensaci%C3%B3n-del-aqua-evaporada/](http://www.secadolodos.com/73008_es/M%C3%B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%C3%B3n-del-aire-y-condensaci%C3%B3n-del-aqua-evaporada/)

<sup>22</sup>[http://www.secadolodos.com/73007\\_es/Equipo-de-secado-t%C3%A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%C3%A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014

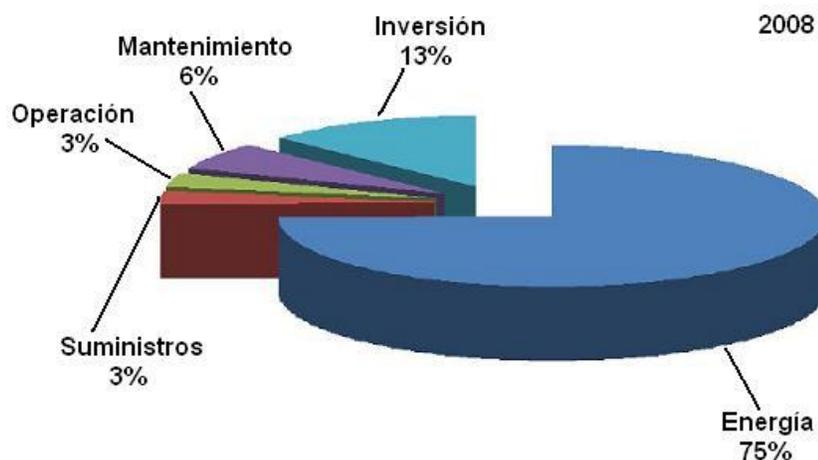
Están formados por dos cintas dispuestas en serie que recorren el túnel longitudinalmente. Durante su recorrido, se hace circular el aire caliente y seco perpendicular a éstas, a una temperatura entre 65-80 °C.

El aire caliente y húmedo, que pasa a través de la masa de fango, se condensa, separando el agua que se ha extraído del fango, a la vez que se le aporta nueva energía calorífica, lo que permite la recirculación del aire y mantener el proceso en circuito cerrado de aire<sup>23</sup>.

#### 4.10.3 Consumo y aprovechamiento en el Sistema de Transferencia de Calor

El sistema STC, caracterizado por la baja temperatura de trabajo (65-80 °C), permite un mejor aprovechamiento energético y el uso de un mayor rango de temperaturas entre el fluido primario y el sistema.

**Figura 15. Consumo vs aprovechamiento.**



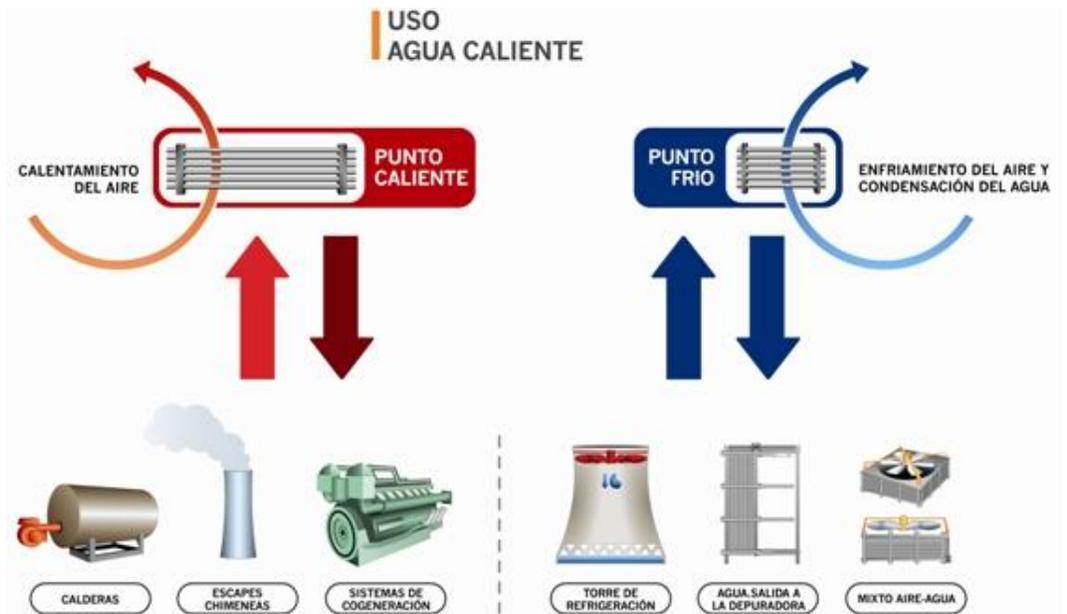
Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73036\\_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9mico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9mico-de-fangos-a-baja-temperatura/)

Los sistemas de alta temperatura pueden justificar consumos energéticos específicos inferiores, pero al tratarse de niveles energéticos de mayor rango, la cantidad de energía primaria consumida es mayor<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> [http://www.secadolodos.com/73008\\_es/M%25C3%25B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%25C3%25B3n-del-aire-y-condensaci%25C3%25B3n-del-agua-evaporada/](http://www.secadolodos.com/73008_es/M%25C3%25B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%25C3%25B3n-del-aire-y-condensaci%25C3%25B3n-del-agua-evaporada/), Noviembre 30 de 2014

<sup>24</sup> [http://www.secadolodos.com/73036\\_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9mico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9mico-de-fangos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014

Figura 16. Punto de condensación y evaporación.



Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73036\\_es/Aprovechamiento-energ%C3%A9tico-en-el-secado-t%C3%A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%C3%A9tico-en-el-secado-t%C3%A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/)

Cualquier fuente de energía calorífica con una temperatura superior a los 80 °C es útil, y permite la utilización de:

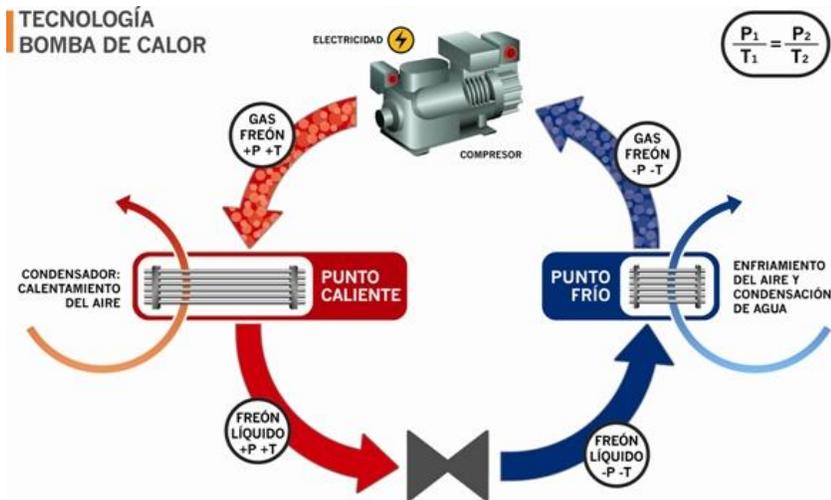
- Calor de bloque de los motores de cogeneración
- Gases de escape
- Excedentes de vapor o agua caliente
- Tecnología de la bomba de calor<sup>25</sup>

#### 4.10.4 Tecnología de la bomba de calor

STC se ha especializado en la aplicación de la tecnología de bomba de calor para el secado de diversos productos. En este sistema, el calor necesario para calentar el producto y evaporar el agua que contiene, es recuperado del propio aire saturado y caliente de la cámara, al mismo tiempo que se produce la condensación del agua eliminada.

<sup>25</sup> [http://www.secadolodos.com/73036\\_es/Aprovechamiento-energ%C3%A9tico-en-el-secado-t%C3%A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%C3%A9tico-en-el-secado-t%C3%A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014

Figura 17. Principio de la Bomba de Calor.



Tomado de: [http://www.secadolodos.com/73010\\_es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/](http://www.secadolodos.com/73010_es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/)

La técnica de bomba de calor permite transferir calor de un foco frío a otro caliente, recuperando de esta forma la energía residual y haciéndola útil.

### Ventajas del Sistema STC (Sistema de Transferencia de calor)

- Proceso a baja temperatura ( $T. < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Máximo aprovechamiento energético.
- Posibilidad de uso de energías residuales de otros procesos.
- Cumplimiento de requisitos ATEX sin medidas correctoras.
- Circuito cerrado de gases, sin olores ni emisiones.
- Planta modular de fácil ampliación (también exteriores).
- Agua condensada de alta calidad.
- Producto final granulado altamente higienizado.
- Procesos totalmente automatizados (70 horas sin supervisión).
- Alta flexibilidad de funcionamiento.
- Procesos de arranque-parada sencillos<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> [http://www.secadolodos.com/73010\\_es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/](http://www.secadolodos.com/73010_es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/), Noviembre 30 de 2014

## 5. METODOLOGÍA

Los resultados en éste proyecto se obtendrán mediante dos fases de operación en la bomba.

La primer fase consta de una perfecta instalación de cada componente y su puesta a punto, utilizando patrones ya estipulados y elementos de medición según normativas, aplicando valores de operación entregados por la designación técnica de cada componente y en conjunto, de acuerdo a datos psicrométricos ya establecidos, según el principio básico de bombas de calor, aplicados al secado de productos alimenticios.

La segunda etapa del proyecto se basa en tomar valores entregados por la bomba, una vez puesta en operación, siguiendo los parámetros de diseño de acuerdo a la cantidad de material a secar, con el cual se determinarán datos de iniciación y con los cuales se llegará a conclusiones precisas una vez el sistema armonice en su totalidad.

Los datos a medir son:

- Presión baja
- Presión de alta
- Temperatura de baja
- Temperatura de alta
- COP entregados bajo la eficiencia de la bomba.
- Calor en el evaporador
- Calor en el condensador
- Humedad absoluta
- Nivel de humedad del producto antes del proceso
- Nivel de humedad del producto después del proceso
- Tiempo de secado.

### 5.1 RECURSOS

#### 5.1.1 Humano

Contar con la influencia directa de personal capacitado en el área de refrigeración y sistemas de aire acondicionado.

Profesores que se convierten en tutores, direccionando bajo su experiencia el proyecto de la bomba, plasmando ideas claras y aportando al proyecto de investigación con énfasis en el secado del café.

### **5.1.2 Económicos**

Entender que este proyecto se llevó a cabo bajo el aporte monetario que hizo cada estudiante reseñado en el proceso.

### **5.1.3 Técnico**

Asesorías directas de proveedores y técnicos en refrigeración los cuales entregaron la información necesaria y precisa para llevar a cabo hasta el final dicho proyecto.

## 6. RESULTADOS DEL PROYECTO

### 6.1 DISEÑO DE LA BOMBA

Para la realización de la bomba se hizo necesario los siguientes componentes:

- Compresor
- Serpentín de condensación
- Serpentín de evaporación
- Tubería de cobre
- Elementos de expansión (tubo capilar)
- Elementos combustibles (soldadura, refrigerante, pintura, Ángulos metálicos para estructura)
- Presostatos de alta y de baja presión
- Filtro secador
- Acumulador de succión
- Válvulas de recarga
- Gas comprimido

Estos componentes se ensamblan cada uno de acuerdo al lineamiento u orden del ciclo frigorífico.

**Figura 18. Bomba de secado de café.**



**Figura 19. Serpentes bomba de secado de café.**



Éste sistema basa su funcionamiento directamente en el foco caliente, quien por su naturaleza de intercambiador, transforma la energía en forma de calor, suministrándola al punto de referencia (cámara de secado).

Es necesario entender que el sistema es en su totalidad debe ser hermético. De no serlo, éste dejaría fugar lentamente el gas, generando pérdidas de presión y déficit en las condiciones de diseño y funcionamiento de la Bomba. Por eso, se debe chequear con minucia todo el trayecto de tuberías para minimizar el riesgo de fugas y perdidas una vez éste esté terminado.

**Figura 20. Cilindro refrigerante R22.**



Tomado de: <http://www.lyrefrigerant.es/1-r22-refrigerant-2.html>, Noviembre 22 de 2014

Al sistema terminado, se le suministra una carga de gas refrigerante R22, según especificaciones técnicas estipuladas por el fabricante para ésta aplicación, no mayor a 5 libras. Una de las características principales para trabajar con este tipo de refrigerante es su punto de ebullición (-40,8°C), entregando un límite de confiabilidad para los intereses finales del proyecto. La presión con la que se ingresa el gas al sistema es de 60 PSI, entendiendo que esta presión es medible, una vez ésta oscila en la zona de baja presión, y amplificada en la de alta, entre 280 y 300 PSI.

El compresor es el corazón de cualquier sistema que trabaje conceptos frigoríficos. Con él se garantiza que la presión que el sistema requiere se mantenga estable, de no ser así, este debe ser protegido por otros elementos que garanticen su vida útil para los fines propios del proyecto. Como línea paralela a éste estudio se entiende que la parte de cálculos realizados a la bomba, dará ideas más propias al funcionamiento, en donde se podrá estudiar posibles fenómenos y mejoras. Una de las variables necesarias de funcionamiento, que está ligada directamente al compresor, es el coeficiente de rendimiento o **COP**, de quien se determina que tan eficiente es, para lo cual fue caracterizada la bomba de secado. En conjunto al llamar éste proyecto como bomba, se entiende que ésta consta de varios elementos que la constituyen para garantizar un trabajo óptimo.

Para un buen desempeño de la bomba se hace necesario adicionar al sistema puertos de control o servicio, con los cuales se le dará mayor soporte al funcionamiento, ubicando cuatro unidades de éstos en puntos estratégicos. Lo ideal con estos puertos es poder acceder al sistema para chequear presiones, en especial la del refrigerante, revisar que la cantidad de refrigerante que hay dentro, sea la adecuada o en un modo general puede hacer revisiones correctivas a todo el sistema.

Los serpentines utilizados para la caracterización de la bomba, no son serpentines comunes para trabajo de sistemas frigoríficos; se debe tener en cuenta que para armonizar en la bomba, éstos debe ser serpentines de confort, entendiendo que la bomba tiende a trabajarse como si fuera un sistema de calefacción, basando toda su actividad o trabajo en la generación de energía calórica, conducida a una cámara de secado. En este proyecto, el serpentín de condensación es el actor principal, conociendo que por su poder de intercambiador, éste va a ceder toda la energía en forma de calor que llegará a la cámara de secado, aclarando que el punto a donde se quiere llegar, es poder alcanzar una temperatura máxima de 50 ° C.

A la salida del serpentín de condensación se instala de forma vertical, como forma aprovechar la acción de la gravedad, un filtro secador, que armoniza con cada componente, entendiendo que lo que se quiere lograr con él es minimizar en la medida de lo posible niveles de humedad existentes en el sistema, y de igual modo, filtrar partículas sólidas que puedan llegar a obstruir el tubo capilar.

En el esquema de la bomba, el tubo capilar cumple la función de elemento de expansión, donde se aliviana la presión y la temperatura que es entregada por el serpentín de condensación. Adicional a que da el paso al fluido de un lado de alta presión, a otro de baja presión, en forma de rocío o efecto spray, ayuda así a que el fluido llegue hasta el serpentín de evaporación en forma líquida y con la presión adecuada (más baja) y una vez salga de éste, llegue nuevamente al compresor para generar el comienzo de un nuevo ciclo.

Un elemento importante en el cuidado y protección del compresor, que debe ir ligado a éste, es el acumulador de succión, el cual recibe ese nombre, porque acumula niveles de refrigerante en estado líquido, que entrando al compresor de forma directa, ocasionaría daños internos. Luego de acumular la cantidad límite, él lo dosifica y lo devuelve al sistema ayudando a dar equilibrio a la carga máxima existente en él.

Los Presostatos son elementos fundamentales en la bomba de secado, ya que su función es proteger de daños al compresor, por niveles de presión no permisibles por él, ya sea en baja o alta presión. En la etapa de alta presión, cuando el compresor eleva la presión por su estado natural de trabajo, de acuerdo a especificaciones técnicas, a los 300 ó 350 PSI, el presostato abre un conducto, el cual da la señal de protección, apagando el compresor, y dando a entender con esto que ha llegado a un límite de presión donde este corre riesgo de daño. Pasa de igual modo con el elemento de baja, solo que éste basa su función en la presión que entrega el serpentín de evaporación, del orden de los 25 PSI, presión muy baja para las condiciones del compresor, cerrándolo y apagándolo para que éste no dé comienzo a otro ciclo en vacío, actividad para la cual no fue diseñado. El presostato de baja eleva la presión con la que viene el refrigerante a los mismos 60 con los cuales fue cargado, y de este modo entrar de forma segura al acumulador y al compresor para poder iniciar nuevamente con el ciclo de trabajo de la bomba.

Una vez conociendo la función de cada componente para la cual fue instalada, es factible aclarar que el **COP** necesario para la bomba de secado, es el calor medido en el foco caliente, que es igual a la suma del calor entregado por el foco frío más el trabajo entregado por el compresor, al realizar esta función y este calor obtenido, dará el resultado energético consumible y ahorrable en la bomba de secado.

## 6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para dar mayor claridad a éste estudio, es necesario aclarar el funcionamiento del artefacto, entendiendo que se va a ahondar principalmente en el ciclo básico de refrigeración, desligando de ahí, la función principal que es el secado.

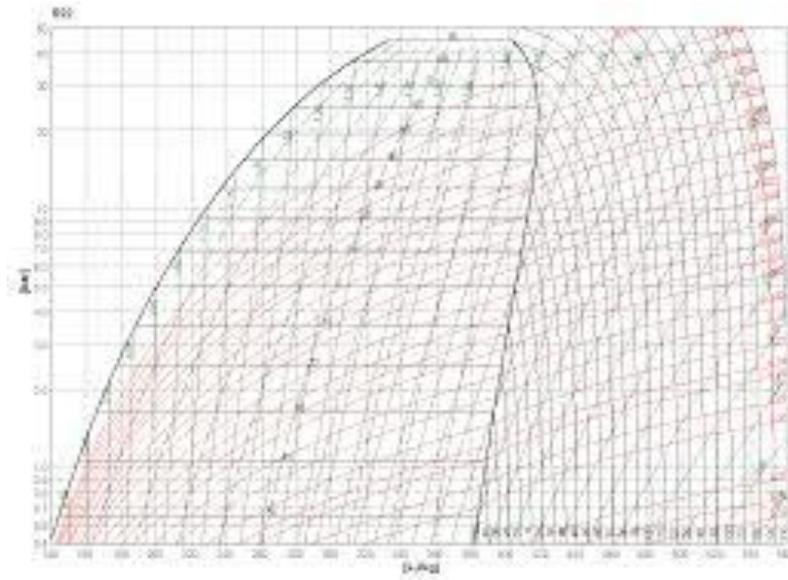
Después que el sistema está cargado específicamente con el gas, es impulsado por la acción del compresor, quien a su vez aumenta la presión del gas refrigerante aumentando su temperatura. Al tiempo, este es llevado al condensador aun en forma de gas, haciendo que éste, por la acción de intercambiador, salga de allí en forma líquida. El líquido sale perdiendo temperatura y con la misma presión de la que entró; es de aclarar que en realidad no es una pérdida de temperatura, sino que es la energía cedida o entregada con la que se trabajará para llevar a cabo el proceso de secado.

Luego de la entrega energética, el líquido es llevado y forzado a Pasar por el elemento de expansión, que para este proceso es un tubo capilar, el cual cambia o baja la presión con la que éste viene, minimizando en su totalidad la temperatura; por el cambio de sección del tubo capilar, y ciñéndose a los principios básicos, la idea es que este al disminuir variables, entregue del otro lado el fluido líquido en especie de rocío o efecto aerosol.

El gas ya en forma líquida es llevado al evaporador, quien toma éste nombre por cambiar el fluido de estado líquido entregado por la acción del elemento de expansión a estado gaseoso a baja presión y temperatura, y posteriormente impulsado al compresor, donde éste da comienzo a un nuevo ciclo de funcionamiento.

Esta bomba de calor, como ya se ha mencionado, trabajará con gas refrigerante R22, de acuerdo a especificaciones técnicas dada por el fabricante para éste tipo de aplicaciones, caracterizándolo como un compuesto químico, ligándolo directamente con la presión y la temperatura de trabajo de la bomba, por lo que se hace necesario calcular su nivel de función por medio de datos psicrométricos entregados de igual modo por el fabricante. A continuación se mostrará el diagrama de presión entalpía del R22.

**Figura 21. Diagrama presión entalpía del R22.**



Tomado de: <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/02/23/como-crear-frio-el-ciclo-de-refrigeracion-22/>

## 7. CONCLUSIONES

- Al lograr estandarizar el proceso de secado en la bomba, se podrán medir tiempos en donde se logre pasar de días a horas de secado.
- El COP necesario para que la bomba de un buen rendimiento es la suma entre el calor entregado por el foco frío y el trabajo dado por la actividad del compresor.
- Al secar el producto a un nivel mayor, se le dará mayor calidad y se podrán mejorar los costos de transporte y bodegaje, diferentes a los mostrados por secar el producto de la manera tradicional.
- La temperatura entregada por el la acción del condensador, se hace necesario amplificara por medio de resistencias electricas, aprovechando 100% la energía misma que entrega el sistema, logrando así la temperatura deseada para el proyecto (50°C).

## **8. RECOMENDACIONES**

- Se debe hacer un chequeo general de toda la tubería utilizada antes de poner en marcha la bomba, con el fin de identificar posibles fugas que dejen filtrar así el gas refrigerante.
- Se debe cargar el sistema con una entrada de refrigerante no mayor a 5 libras, con una presión especificada de 60 PSI.
- Hacer chequeos periódicos al filtro secador, con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento, para que este con el tiempo no deje pasar impurezas generadas por la fricción normal en la tubería y que puede llegar a obstruir el tubo capilar como elemento de expansión.

## 9. CIBERGRAFÍA

(1)[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor#Tipos\\_de\\_bomba\\_de\\_calor](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor#Tipos_de_bomba_de_calor),  
Noviembre 15 de 2014.

(2)[http://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n\\_por\\_compresi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_por_compresi%C3%B3n),  
Noviembre 22 de 2014.

(3)<http://www.automotriz.biz/coches/car-maintenance/general-car-maintenance/126716.html>,  
Noviembre 15 de 2014.

(4)[http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor\\_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_(m%C3%A1quina)),  
Noviembre 22 de 2014.

(5)<http://es.wikipedia.org/wiki/Serpent%C3%ADn>,  
Noviembre 15 de 2014.

(6)[http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo\\_de\\_expansi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_de_expansi%C3%B3n),  
Noviembre 15 de 2014.

(7)<http://es.wikipedia.org/wiki/Presostato>,  
Noviembre 15 de 2014.

(8)<http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Archivos/aTWNTwXGcE.pdf>,  
Noviembre 22 de 2014.

(9)<http://www.forofrio.com/index.php/noticias2/351-acumulador-de-succion>,  
Noviembre 22 de 2014.

(10)[http://refriandinos.com/pag\\_productos5\\_valvulas2.html](http://refriandinos.com/pag_productos5_valvulas2.html),  
Noviembre 22 de 2014.

(11)<http://www2.udec.cl/matpel/sustanciaspdf/c/CLORODIFLUOROMETANO.pdf>,  
Noviembre 15 de 2014.

(12)<file:///C:/Users/agomez/Downloads/DLEP%2011%20-%20Clorodifluorometano.pdf>,  
Noviembre 15 de 2014.

(13)<http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n>,  
Noviembre 15 de 2014.

(14)<http://es.wikipedia.org/wiki/Entalp%C3%ADa>,  
Noviembre 15 de 2014.

(15)[http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_Ph](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_Ph),  
Noviembre 15 de 2014.

(16)[http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_07/cap\\_07.htm](http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_07/cap_07.htm),  
Noviembre 15 de 2014.

- (17)[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba de calor#El principio de funcionamiento en cuatro pasos](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor#El_principio_de_funcionamiento_en_cuatro_pasos), Noviembre 15 de 2014.
- (18)[http://www.cbs.grundfos.com/GMX Mexico/lexica/AC COP.html#-](http://www.cbs.grundfos.com/GMX_Mexico/lexica/AC_COP.html#-), Noviembre 15 de 2014.
- (19)[http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama psicrom.C3.A9trico](http://es.wikipedia.org/wiki/Psicrometr%C3%ADa#Diagrama_psicrom.C3.A9trico), Noviembre 15 de 2014.
- (20)[http://www.secadolodos.com/73032 es/Secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos/](http://www.secadolodos.com/73032_es/Secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos/), Noviembre 30 de 2014
- (21)[http://www.secadolodos.com/73007 es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014
- (22)[http://www.secadolodos.com/73007 es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73007_es/Equipo-de-secado-t%25C3%25A9rmico-de-lodos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014
- (23)[http://www.secadolodos.com/73008 es/M%25C3%25B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%25C3%25B3n-del-aire-y-condensaci%25C3%25B3n-del-agua-evaporada/](http://www.secadolodos.com/73008_es/M%25C3%25B3dulo-de-secado-de-lodos-circulaci%25C3%25B3n-del-aire-y-condensaci%25C3%25B3n-del-agua-evaporada/), Noviembre 30 de 2014
- (24)[http://www.secadolodos.com/73036 es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014
- (25)[http://www.secadolodos.com/73036 es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/](http://www.secadolodos.com/73036_es/Aprovechamiento-energ%25C3%25A9tico-en-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fangos-a-baja-temperatura/), Noviembre 30 de 2014
- (26)[http://www.secadolodos.com/73010 es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/](http://www.secadolodos.com/73010_es/Tecnolog%25C3%25ADa-Bomba-de-Calor-para-el-secado-t%25C3%25A9rmico-de-fango/), Noviembre 30 de 2014