

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

Facultad De Ciencias Aplicadas
EAP de Ingeniería Agroindustrial

OPERACIONES UNITARIAS II



La refrigeración y el ciclo de compresión de vapor

FACILITADOR : ING. Miguel Angel QUISPE SOLANO

TARMA - PERÚ

- Definición, Aplicaciones, Tipos de ciclos de refrigeración. Ciclo invertido de Carnot. Ciclo estándar de compresión de vapor.
- Termodinámica del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Fundamentos de la conservación de alimentos

- La causa principal del deterioro de los alimentos es el desarrollo y proliferación de microorganismos(m.o.).
- Los m.o. no se encuentran en el interior:
 - De los tejidos de las plantas sanas, ni
 - En los animales sanos.
- Los m.o. siempre están presentes exteriormente y dispuestos a invadir los tejidos si hay:
 - Ruptura de piel.
 - Enfermedad o
 - Muerte.



..Fundamentos de la conservación de alimentos

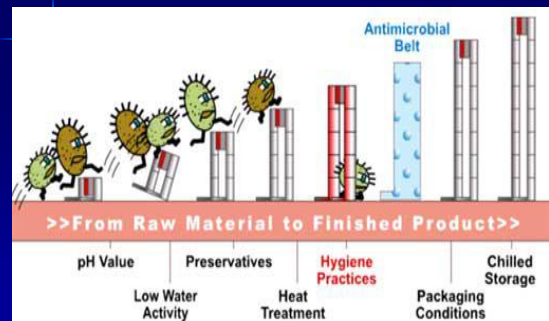
- A partir de la cosecha o del beneficio el equilibrio enzimático se pierde.
- Si los alimentos se deben de conservar por un periodo corto de tiempo, hay dos posibilidades:
 - Mantener el alimento vivo (ej. langostas vivas en los restaurantes).
 - Si el alimento no está vivo, hay que cubrirlo y enfriarlo (retardar la descomposición). Solo dura periodos breves.



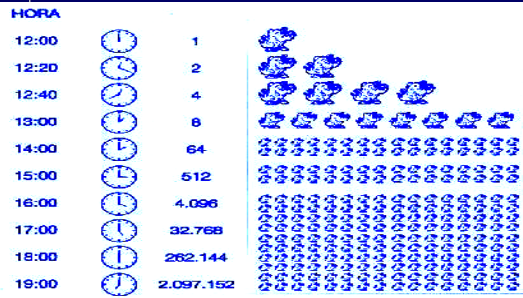
...Fundamentos de la conservación de alimentos

- Para la conservación durante periodos largos, se requieren otras barreras.
- Las características de los alimentos determinan los m.o. que pueden desarrollarse.
- Se puede predecir la flora microbiana conociendo las características del alimento.

Tecnología de obstáculos



Velocidad de Multiplicación de Microorganismos



Clasificación de los métodos de conservación de alimentos

- Según su acción sobre los m.o. los métodos de conservación de alimentos se pueden clasificar en:
 - Destructivos.
 - De efecto barrera y
 - Eliminación

a. Destructivos

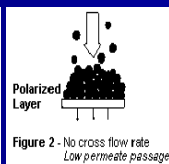
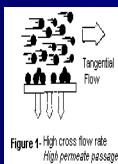
Por acción del calor	Pasteurización. Esterilización
Por radiaciones ionizantes.	Irradiación
Por acción mecánica	Altas presiones
Por acción mixta: calor-mecánica	Cocción-extrusión.

b. De efecto barrera

Bajas temperaturas.	Refrigeración. <u>Congelación.</u>
Atmósferas con oxígeno reducido.	Vacío. Gases inertes. Atmósferas controladas.
Por reducción del contenido de agua.	Deshidratación. Liofilización. Concentración.
Protección por incorporación y recubrimiento con inhibidores.	Salazón, recubrimiento con azúcar, inmersión en ácidos, fermentación.

c. Eliminación

Por separación física	Filtración esterilizante. Ultrafiltración.
-----------------------	---



Orígenes y desarrollo del frío industrial

- Los habitantes con un medio ambiente de frío natural entendieron la importancia del frío sobre la conservación de sus alimentos.
- Congelaron al aire libre pescado y animales cazados.
- Primero se utilizó el hielo o la nieve.
- Después se conservó y trasladó el hielo para su utilización en estaciones eólicas y en lugares lejanos.



...Orígenes y desarrollo del frío industrial

- Con el uso de mezclas refrigerantes se pasa a una etapa que se puede considerar intermedia entre el frío natural y el artificial.
- En el periodo 1875-1914 se desarrolla el frío artificial.
- El empleo del frío artificial se extiende debido a tres sectores:
 - La fabricación del hielo.
 - La industria cervecera.
 - El transporte de carne a través de los océanos.



Cadena de frío

- En 1908 se utiliza por primera vez la expresión "cadena de frío".
- Expresa el conjunto de elementos fijos o móviles, que aseguran la permanencia continua de los productos alimenticios perecederos bajo temperatura controlada desde su producción hasta su consumo.



...Cadena de frío

- Existen dos tipos de conservación a través del frío:
 - Refrigeración (días, semanas).
 - La congelación (largo plazo).
- El frío inhibe los agentes alterantes en una forma total o parcial.
- Al disminuir la temperatura se reduce considerablemente la velocidad de reproducción de los m.o.

¿Porqué no se debe romper la cadena de frío?

- Ni la refrigeración ni la congelación eliminan a los microorganismos.
- Al elevar la temperatura las bacterias reanudan su actividad.
- Si se baja la temperatura nuevamente, ese alimento ya tiene más carga microbiana.



IMPORTANCIA DEL USO DEL FRIO

- Ω El uso de frío es esencial en la producción y distribución de alimentos y para el funcionamiento eficiente de la industria agroalimentaria.
- Ω El sector del Frío tiene gran importancia tanto en el presente como en el futuro.
- Ω Hoy día la sociedad desarrollada es un cliente de esta técnica de conservación tanto refrigerados como congelados.
- Ω El desarrollo se ve potenciado por los siguientes factores:
 - a) Tendencia creciente en la población
 - b) Grado de urbanización

.....IMPORTANCIA DEL USO DEL FRIO

- c) Desarrollo de determinados países
 - d) Disponibilidad de alimentos
 - e) Tráfico mundial de alimentos
 - f) Ayuda de los países desarrollados al auge económico de los países en desarrollo
- Cuantitativamente la importancia del frío es que del total de la producción de alimentos en el mundo que supera 4.000 millones de toneladas anuales un 30% sufre tratamiento frigorífico.

.....IMPORTANCIA DEL USO DEL FRIO

Así por ejemplo más de 7 millones de toneladas de plátanos al año son movilizados por el auxilio del frío desde los productores hasta los consumidores.

Se mueven más de 6 millones de toneladas de carne desde Sudamérica, Australia y Nueva Zelanda hasta Europa y más de 70 millones de toneladas anuales de productos pesqueros desde la zona de captura hasta las de consumo.

La utilización del frío es un pilar básico en la organización del consumo en el mundo desarrollado de tal manera que el 40% de los alimentos que forman la dieta de dichos países utilizan el frío

La técnica del frío Produce:

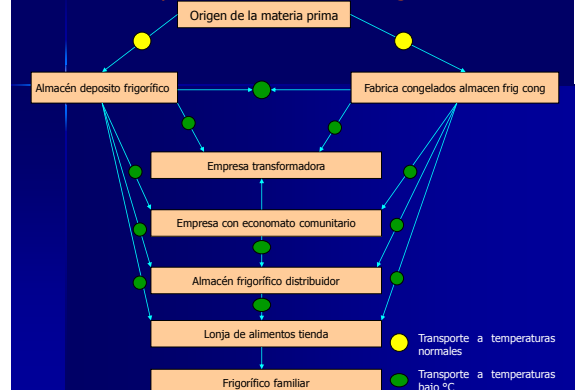
- Máxima prolongación de la capacidad de conservación de los alimentos
- Mínima modificación de las características sensoriales de calidad y del valor nutritivo
- Posibilidad de utilización versátil de la técnica
- Costes reducido
- Ausencia de acciones nocivas para la salud

Desde el punto de vista de rentabilidad económica ,el coste de la aplicación del frío no es elevado, se obtiene los siguiente valores estimados:

refrigerado	25 Kwh/t
congelado	100 kwh/t
pasteurizado	130 kwh/t
esterilizado	225 kwh/t
secado	600 kwh/t

Como se observa la refrigeración y la congelación son procedimientos baratos que permite aplicarlo en las condiciones adecuadas. Por ello esta técnica se ha extendido universalmente , continuando dicho desarrollo paralelamente al aumento de las producciones agropecuarias, especialmente en el caso de las materias primas perecederas. Brindando un mejor abastecimiento productos al mercado a lo largo del tiempo, con una calidad superior del producto y una reducción de perdidas durante la vida útil del producto.

Esquema de una cadena frigorífica



Sistemas de Producción de frío

1) Sistemas basados en Medios químicos

2) Sistemas basados en Medios físicos

2.1 Sistemas basados en Cambios de estado

2.2 Sistemas basados en la expansión de fluidos No condensables

2.3 Sistemas basados En efectos especiales

a) Fusión

b) Sublimación

c) Evaporación

c.1 SIN RECUPERACION DE GAS PRODUCIDO

c.2 CON RECUPERACION DE GAS PRODUCIDO

C.2.1 absorción

C.2.2 adsorción

C.2.3 Comprensión de vapor

C.2.4 Eyección de vapor

1. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS QUÍMICOS

- No tienen importancia industrial
- Elevado costo
- La sal pasa del estado sólido a un estado de dispersión comparable al estado líquido
- Produce efecto de refrigeración al absorber el calor necesario para su desintegración molecular.
- Disoluciones de sustancias con calores de disolución negativos.
- Disgregación molecular => consumo de energía => tanto mayor sean fuerzas de cohesión entre las moléculas del sólido.

- Separadas las moléculas es preciso que se difundan entre las moléculas del disolvente lo que consume también energía.
- Elección adecuada de sustancias para lograr descensos importantes

2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.1 BASADOS EN CAMBIOS DE ESTADO

a) FUSIÓN

- Fusión del hielo.
- Refrigeración independiente del equipo mecánico"
- Calor latente 80 cal/g + calor sensible
- Desventajas: Problema de eliminación de agua, imposibilidad de conseguir temperaturas bajo 0 °C
- Solución salina (salmuera) congela y funde a temperatura más baja que el agua pura.
- El cambio de fase (fusión) puede combinarse con la disolución. Hielo en contacto con sal => descensos considerables de temperatura

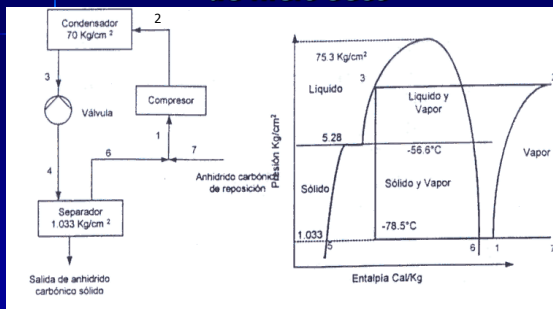
b) SUBLIMACIÓN

CO₂

- Hielo seco
- Resuelve el problema de la eliminación del líquido proveniente de la fusión
- Temperatura de sublimación del hielo seco -78.3°C a presión atmosférica.
- Ciclo para producir hielo seco casi idéntico al ciclo de compresión de vapor.
- 1 Kg hielo seco 500 litros de gas => renovación activa del contenido gaseoso favorece convección y buena distribución del frío

- Calor latente de sublimación 135 cal/g + calor sensible produce un efecto de refrigeración mayor porque se suma su calor sensible al calor latente.
- El calor específico de CO₂ gaseoso a presión constante es un promedio de 0.19 cal/g-°C. Empleando 1 Kg de hielo seco hasta que llegue a una temperatura de 0°C se tendrá entonces :
135 cal (calor latente)+ 0.19 (0- -78.3)=150 cal por g.
- El elevado peso específico del CO₂ 1,45 g/dm³ contribuye a su mayor concentración, mientras un decímetro cúbico sólo contiene 0.9 g de hielo que desarrolla 72 cal (0.9 g x 80 cal/g) el mismo volumen de hielo seco representa 1.45 g con un efecto refrigerante de 218 cal (1.45 g x 150 cal/g, incluyendo calor latente y sensible hasta 0°C).

Ciclo típico para la producción de hielo seco



Ventajas

- Medio concentrado, ocupa poco volumen
- Facilidad para desarrollar temperaturas de congelación
- No produce humedad, no moja los artículos ni oxida ni destruye materiales
- Buena circulación y convección debido al gran desprendimiento del gas
- Gas inerte contribución a la conservación

Desventajas

- Costo elevado
- Grandes mermas por volatilidad
- Necesidad de aislamiento especial
- Dificultad de manipulación
- Desigualdad de temperaturas excesivamente frías cerca del hielo mucho menos frías a poca distancia.

c) VAPORIZACIÓN

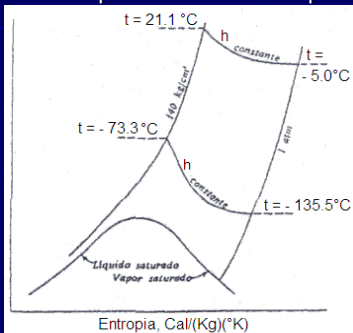
- Más usado ciclo de refrigeración por compresión de vapor
- Controlando la presión a la que se realiza la vaporización se regula la temperatura del proceso.
- Dos casos:
 - c.1. Sin recuperación del gas producido
 - c.2. Instalaciones con recuperación de gas producido

c.1 SIN RECUPERAR EL GAS PRODUCIDO

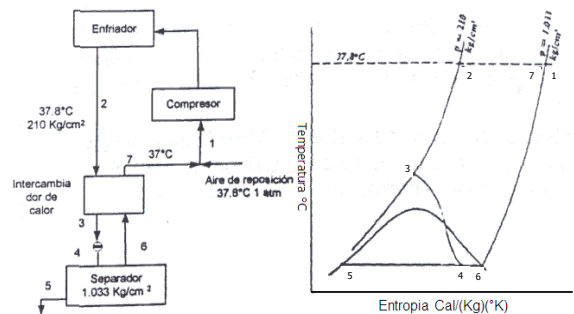
- Líquido con bajo punto de ebullición a presión atmosférica es vaporizado aprovechando calor de vaporización y posteriormente el gas es eliminado en la atmósfera NITROGENO LIQUIDO
- Coeficiente de Joule y Thomson: Cuando un gas real se expande, aunque permanezca constante la entalpia puede variar la temperatura pudiendo permanecer constante, disminuir o aumentar El término que expresa la magnitud y el signo de la variación de la temperatura se llama coeficiente de Joule y Thomson
- Coeficiente de Joule y Thomson= $(\partial T/\partial p)_h$

- Prácticamente todos los procesos de licuefacción de gases emplean el efecto de Joule y Thomson. Este proceso es una etapa en la separación de una mezcla de gases, la licuefacción del aire es un paso para la obtención de oxígeno nitrógeno y argón a partir del aire.
- Si el coeficiente de Joule y Thomson es positivo la temperatura desciende cuando el gas fluye a través de la válvula de estrangulamiento.

- Para tener provecho de un coeficiente de Joule y Thomson alto la temperatura del gas debe ser baja como sea posible antes de la expansión



SISTEMA LINDE PARA LIQUEFACCION DEL AIRE



- La elección del gas licuado se hace en función de la técnica a emplear, de la temperatura requerida y del comportamiento físico químico de aquél.
- No combustible (que se inflaman directamente) no carbúrente (que aceleran una combustión) El oxígeno por ejemplo promueve la combustión, lo cual constituye un factor muy importante a tener en cuenta en su aplicación. El hidrógeno es combustible. El nitrógeno y el helio no son combustibles ni comburentes. El punto de licuación de este último es el más bajo de todos los gases - 269°C (a sólo 4°K del cero absoluto).

- Pero el helio existe en el aire en proporciones minúsculas. El oxígeno y el nitrógeno se obtienen por licuación del aire y destilación fraccionada de éste.
- Nitrógeno gas principal del aire (78%) licuado es un líquido incoloro, con punto de ebullición de -195.8°C, calor latente de vaporización de 47.74 Kcal/Kg.

c.2 CON RECUPERACION DEL EL GAS PRODUCIDO

C.2.1 INSTALACION DE ABSORCION

- Empleo de dos sustancias que tienen entre si gran afinidad y tienden a unirse o disolverse una en otra cuando están frias, pero pueden ser separadas cuando a la mezcla se le aplica calor.
- Una de las sustancias debe tener el carácter de refrigerante es decir susceptible de evaporarse y condensarse y otra comportarse como absorbente.
- Sistema que consta de los siguientes elementos: adsorbedor, evaporador, generador, condensador, válvula de expansión y sistemas de impulsión de fluidos.

c.2 CON RECUPERACION DEL EL GAS PRODUCIDO

C.2.2 INSTALACION DE ADSORCION

- Adsorción fenómeno distinto, netamente físico se explica por la propiedad de ciertas sustancias de retener en su masa porosa gases y vapores de los que las rodean. La retención es superficial.
- La instalación funciona de forma intermitente en ciclos alternativos de calentamiento y enfriamiento.
- Consta de los siguientes elementos: adsorbedor, evaporador, condensador, válvula de retención

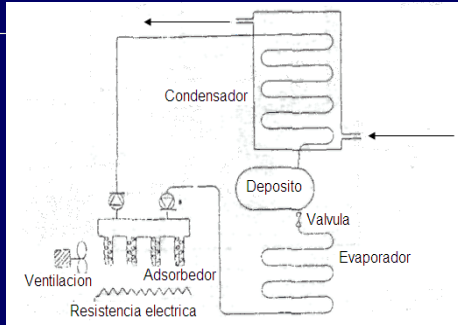
Ciclo de calentamiento

- En el Adsorbedor gel de sílice totalmente saturada de vapores de SO₂ => resistencia eléctrica, la gel de sílice se calienta y desprende los vapores de SO₂ que a través de la tubería van hacia el condensador.
- Una válvula de retención B, impide que los vapores puedan volver al evaporador.
- Los vapores llegan al condensador y allí son enfriados mediante una corriente de agua, condensados y enviados a un depósito de líquido. Esta operación continúa hasta eliminar por completo al SO₂ de la gel de sílice.

Ciclo de enfriamiento

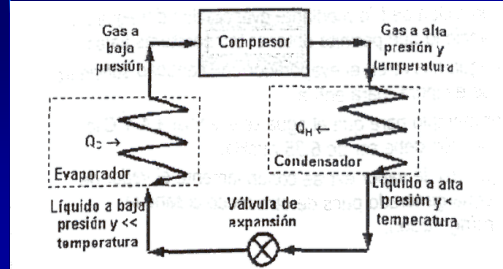
- Una vez limpia la gel de sílice, se desconecta la resistencia eléctrica y se pone en marcha el ventilador, la corriente de aire enfría la gel de sílice, hasta temperatura ambiente.
- La gel de sílice comienza entonces a adsorber vapores de SO₂ procedentes del evaporador, debido a lo cual se crea en éste una baja presión, con lo que el SO₂ contenido en él comienza a hervir, tomando calor del recinto que lo rodea y enfriándolo. La cantidad de líquido que pasa a vapor es repuesta mediante una válvula a partir del depósito de líquido. Este proceso continúa hasta que la gel de sílice se satura de SO₂ y cesa de producirse el efecto frigorífico. A partir de este momento comienza de nuevo el ciclo de calentamiento.

INSTALACION DE ADSORCION

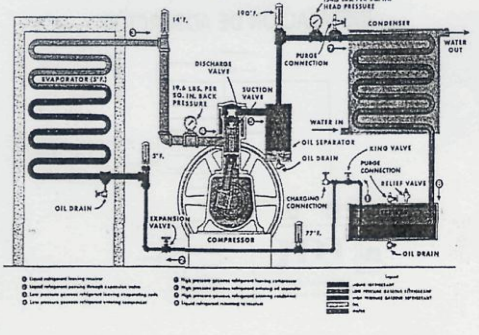


c.2 CON RECUPERACION DEL EL GAS PRODUCIDO

C.2.3 INSTALACION DE REFRIGERACION POR COMPRESION



Flow Diagram of Compression Refrigeration System

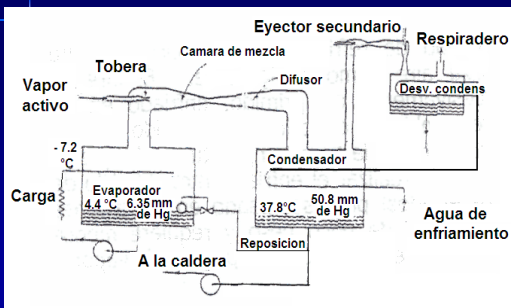


c.2 CON RECUPERACION DEL EL GAS PRODUCIDO

C.2.4 INSTALACION DE EYECCION DE VAPOR

- Producción de frío mediante evaporación del agua en vacío lo que permite obtener temperaturas bajas.
- El agua hierve en el evaporador una cantidad suficiente se evapora para enfriar. Por ejemplo para que el agua se evapore a 4.4°C la presión debe ser de 6.35 mmHg. El chorro de vapor extrae continuamente el vapor de agua generado pues de otro modo cesaría la refrigeración.

Sistema de refrigeración por chorro de agua



- El costo de una unidad de refrigeración por chorro de vapor es bajo cuando hay disponible vapor a bajo precio. Costos de mantenimiento casi nulos

Inconvenientes

- no se logra temperatura inferiores a 0°C
- La cantidad de calor que hay que extraer del condensador de una unidad de eyección de vapor por ton de refrigeración es el doble que en el caso de refrigeración por compresión.

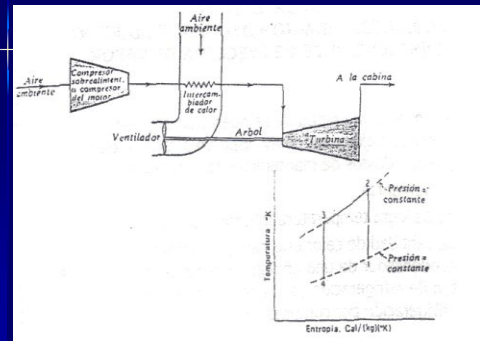
2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.2 BASADOS EN EXPANSION DE FLUIDOS GASEOSOS NO CONDENSABLES

MAQUINAS DE AIRE FRIO

La unidad de refrigeración por ciclo de aire utiliza aire como refrigerante. El aire es sucesivamente comprimido, enfriado en un intercambiador de calor y expandido en una turbina hasta la baja temperatura a la que es capaz de realizar el enfriamiento. El ciclo de aire es ideal para ser usado en los aviones porque es de poco peso y requiere menos espacio que el ciclo de compresión de vapor.

Ciclo del aire ideal



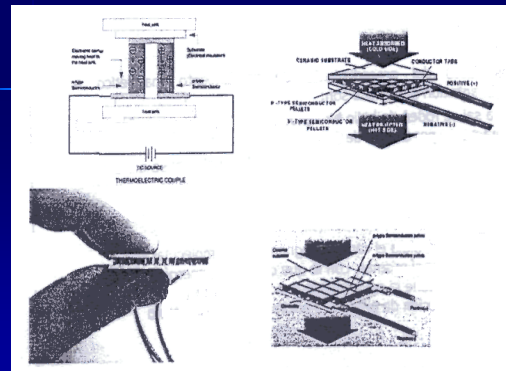
2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.3 EFECTOS ESPECIALES

a) EFECTO TERMOELECTRICO



- Las células Peltier son unos dispositivos termoeléctricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperatura entre las caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente. Esta es una alternativa a la clásica refrigeración mediante compresión de vapor con cambio de fase
- Las células peltier son totalmente silenciosas tienen un tamaño y un peso muy reducidos, soportan sin problemas golpes y vibraciones, se pueden utilizar en cualquier posición y además gracias a ellas, se puede regular la potencia frigorífica variando simplemente la corriente de alimentación



2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.3 EFECTOS ESPECIALES

b) EFECTO MAGNETICO

- Las temperaturas más bajas alcanzadas hasta la fecha se han conseguido por enfriamiento magnético. Temperaturas tan bajas como 0.001°K se han alcanzado por este método. Consiste básicamente en producir frío mediante la desimantación de una sal paramagnética.
- Por sus propiedades magnéticas, una sustancia puede clasificarse como diamagnética, cuando es repelida por un imán o paramagnética, como por ejemplo, el hierro, cuando es atraída por un imán. Para el enfriamiento magnético se usa una sal paramagnética, tal como el sulfato de gadolinio. Cuando se enfría ésta sal a una baja temperatura, sus moléculas actúan como diminutos imanes, y se alinean por sí mismas cuando están sometidas a un campo magnético

Las fases del procedimiento de enfriamiento magnético o desimantación adiabática son:

- La sal se rodea de helio hirviendo a baja presión que enfría la sal ligeramente por debajo de 1 °K.
- Se aplica un campo magnético a la sal por el cual se alinean las moléculas y se produce calor. El helio absorbe el calor producido.
- El baño de helio se separa y la sal se aísla térmicamente.

Finalmente, se aleja el campo magnético. Las moléculas se desalinean por sí mismas, con lo que consumen energía. Esta energía la obtiene la sal haciendo descender su propia temperatura hasta una fracción de grado por encima del cero absoluto

2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.3 EFECTOS ESPECIALES

c) EFECTO MAGNETOTERMICO ELECTRICO

- Supongamos un conductor recorrido por una corriente eléctrica continua de intensidad I . Situemos un campo magnético perpendicular a la dirección de la corriente y que se sitúe a ambos lados del conductor. Se aprecia inmediatamente que se produce en el conductor un gradiente de temperatura en dirección perpendicular a las de los campos, de modo que una de las caras del conductor se enfría y la otra se calienta. Mientras la primera absorbe calor, la opuesta lo desprende

2. SISTEMAS BASADOS EN MEDIOS FÍSICOS

2.3 EFECTOS ESPECIALES

d) EFECTO VORTEX

- Al introducir aire comprimido en el interior del cilindro, de forma tangencial y a velocidad sónica, se crea en el interior de la cámara un movimiento circular ciclónico. Este movimiento origina una depresión en la zona cercana al eje del cilindro y como consecuencia una expansión del aire en esa zona, con el consiguiente enfriamiento del mismo. Por el contrario en la periferie se produce una sobrepresión del aire y consecuentemente un calentamiento del mismo.
- El aprovechamiento frigorífico se realiza extrayendo el aire cercano al eje central y conduciéndolo al recinto a refrigerar. El rendimiento es muy bajo