



CONDENSADORES REFRIGERADOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES ORGÁNICAS DE AIRE

**CONDENSADORES REFRIGERADOS PARA
EL CONTROL DE EMISIONES ORGÁNICAS
DE AIRE**

Preparado por

The Clean Air Technology Center (CATC)
(Centro de Tecnología Aire Limpio)
U.S. Environmental Protection Agency (E 143-03)
(Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.)
Research Triangle Park, North Carolina, USA 27711

U.S. Environmental Protection Agency
(Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.)
Office of Air Quality Planning and Standards
(Oficina de Calidad Aire, Planificación y Normas)
Information Transfer and Program Integration Division
(División de Transferencia de Información y el Programa de Integración)
Research Triangle Park, North Carolina, USA 27711

ADVERTENCIA SOBRE LA REVISIÓN DE LA U.S. EPA

Este informe se ha sido revisado por la *Information Transfer and Program Integration Division* (división de transferencia de información y el programa de integración) de la *Office of Air Quality Planning and Standards of the U.S. Environmental Protection Agency - U.S. EPA* (oficina de calidad aire, planificación y normas de la agencia de protección ambiental de EE.UU) y aceptado para su publicación. Esta aprobación no significa que el contenido de este informe refleja los puntos de vistas y políticas de la Agencia de la Protección ambiental de EE. UU. La mención de nombres comerciales o de productos comerciales no constituye endoso o recomendación para su uso. Las copias de este informe están disponibles en el *National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia, USA 22161*, (servicio de información técnico nacional, sección americana de comercio) en el número del teléfono (800) 553-6847.

PROLOGO

EL *Clean Air Technology Center (CATC)*, centro de tecnología para el aire limpio), sirve como un recurso en todas las áreas emergentes y existentes de prevención de contaminación de aire y tecnologías del control, y proporciona el acceso público a datos e información sobre su uso, efectividad y costo. Además, el *CATC* proporcionará soporte técnico, incluyendo el acceso a la base de conocimiento de la *U.S. EPA*, las agencias gubernamentales u otros, de acuerdo a como los recursos lo permitan, relacionados a la viabilidad técnica y económica, funcionamiento y mantenimiento de estas tecnologías.

Acceso Público y Transferencia de Información

INTERNET / World Wide Web Home Page (Sitio Web)
<http://www.epa.gov/ttn/catc> (inglés)

Contactos e Información

CATC línea de información: (919) 541-0800 (solo inglés)
Fax: (919) 541-0242 (español/ingles)
E-Mail (correo electrónico): catcmail@epamail.epa.gov (ingles/español)

Recursos de datos

RACT/BACT /LAER Clearinghouse (RBLC), centro de distribución de datos)
Responde a preguntas específicas y transmite datos que usted selecciona:
a. Aplicaciones Específicas de Tecnología de una Fuente
b. Requisitos Reguladores de Contaminación aérea

Productos de *CATC*

Transmite informes técnicos e información sobre costo de control de contaminación y Programas de Computadora

Programas Relacionados y Centros

Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la Frontera entre EE. UU. y México

Teléfono: (919) 541-1800 (español)
Fax: (919) 541-0242 (español/ingles)
Home Page (Sitio Web)(español/ingles) : <http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/>
E-Mail (correo electrónico): catcmail@epamail.epa.gov (español/ingles)

Small Business Assistance Program (SBAP)

(Programa de Ayuda Comercial para los negocios pequeños)

International Technology Transfer Center for Global Greenhouse Gases

(Centro de Traslado de Tecnología Internacional para Gases del Invernadero Global)

RECONOCIMIENTOS

Este boletín técnico fue hecho posible a través de los esfuerzos diligentes y persistentes de Lyndon Cox, Empleado Medioambiental con Antigüedad de el *Clean Air Technology Center (CATC)*, centro de tecnología del aire limpio). Lyndon hizo un trabajo excepcional identificando las fuentes de información, recogiendo los datos relativos y desarrollando este boletín. Jaime Mendieta, Empleado Medioambiental con Antigüedad de *CATC* y el Centro de Información de Contaminación de Aire (CICA) para la Frontera entre EE.UU.- México, también hizo un trabajo excelente al traducir este boletín al español. La labor dura y constante de Jaime para lograr esta tarea fueron meritorias. *CATC* también agradece a Paul Almodovar de la *Coatings and Consumer Products Group, Emissions Standards Division, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, U.S. EPA*, al proporcionar una revisión editorial de la versión en español de este boletín técnico, *CATC* también aprecia los comentarios útiles y oportunos y cooperación de los siguientes compañeros críticos:

Randy McDonald, *Organic Chemicals Group, Emissions Standards Division, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, U.S. EPA*

Dr. Cynthia L. Gage, *Atmospheric Protection Branch, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA*

Además, *CATC* agradece a las personas, compañías e instituciones que proporcionaron la información sobre la tecnología de condensadores refrigerados usada para preparar este Boletín Técnico. Estos contribuyentes son nombrados en la sección de Referencias de este Boletín.

TABLA DE CONTENIDO

| TEMA | Página |
|--|--------|
| ADVERTENCIA SOBRE LA REVISIÓN DE LA <i>U.S. EPA</i> | ii |
| PROLOGO | iii |
| RECONOCIMIENTOS | iv |
| TABLA DEL CONTENIDO | v |
| FIGURAS | vi |
| ¿QUE ES UN CONDENSADOR REFRIGERADO? | 1 |
| ¿POR QUÉ ES LA CONDENSACIÓN REFRIGERADA IMPORTANTE? | 1 |
| ¿DÓNDE USTED PUEDE USAR UN CONDENSADOR REFRIGERADO? | 2 |
| ¿QUE ES LA REFRIGERACIÓN? | 3 |
| ¿CÓMO LA REFRIGERACIÓN HA CAMBIADO CON EL TIEMPO? | 3 |
| ¿QUÉ HACE FUNCIONAR EL CONDENSADOR REFRIGERADO? | 5 |
| Sistemas de Refrigeración por Compresión Mecánica | 5 |
| Sistemas de Ciclo Inverso Brayton | 7 |
| Enfriamiento Criogénico | 9 |
| ¿QUÉ NIVEL DE CONTROL SE PUEDE LOGRAR? | 10 |
| ¿QUÉ FACTORES AFECTAN LA OPERACIÓN DE CONDENSADORES REFRIGERADOS? | 11 |
| Temperatura Versus Razón de Corriente | 12 |
| Compatibilidad de Material | 14 |
| Contaminantes | 14 |
| Funcionamiento Seguro | 15 |
| ¿QUÉ PRECAUCIONES DE SEGURIDAD DEBEN OBSERVARSE? | 15 |
| Sistemas de Refrigeración por Compresión Mecánica | 16 |
| Sistemas de Ciclo Inverso Brayton | 16 |
| Enfriamiento Criogénico | 17 |

TABLA DE CONTENIDO (continuación)

| TEMA | Página |
|---------------------------------------|---------------|
| ¿CUÁNTO CUESTAN ESTOS SISTEMAS? | 19 |
| ¿QUÉ NOS TRAE EL FUTURO? | 20 |
| CONCLUSIONES | 20 |
| REFERENCIAS (Ingles Solamente) | 22 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Sistema de Refrigeración por Compresión Mecánica | 6 |
| Figura 2: Condensador por Contacto | 7 |
| Figura 3: Sistema de Refrigeración de Ciclo Inverso Brayton | 8 |
| Figura 4: Enfriamiento Criogénico | 10 |
| Figura 5: Corriente a Través de Permutador Térmico Pre-enfriado | 13 |

Condensadores Refrigerados para Control de Emisiones Orgánicas de Aire

Este Boletín Técnico describe condensadores y refrigeración y que juntos forman una tecnología de control para emisiones orgánicas. Estas emisiones pueden resultar de la evaporación de: *Volatile Organic Compounds (VOC*, compuestos orgánicos volátiles) los cuales contribuyen a la formación de ozono en el troposfera; los *Hazardous Air Pollutants (HAP*, contaminantes peligrosos del aire) que pueden tener un impacto directo en nuestra salud y seguridad; o compuestos volátiles que reducen el ozono estratosférico. Los términos como *VOC* y *HAP* son usados en las definiciones reguladoras para indicar los compuestos químicos específicos y las emisiones relacionadas que están sujetas a una regla. Las razones para regular los grupos específicos de compuestos orgánicos pueden ser muy diferentes. Sin embargo, pueden usarse los condensadores refrigerados para controlar los vapores de la mayoría de las emisiones orgánicas que pueden ser incluidas en cualquiera de estas definiciones reguladoras.

Los tipos de refrigeración discutidos son: la refrigeración de absorción; la refrigeración de compresión mecánica (usando el dióxido de azufre (SO₂), los cloro-floro-carbones (CFC) y hidro-floro-carbones (HFC)); El Sistema de Refrigeración de Ciclo Inversa Brayton; y El Enfriamiento Criogénico (nitrógeno líquido enfriado). Este Boletín Técnico también discute cómo un condensador opera, las ventajas y las limitaciones para cada tipo de sistema de refrigeración, las precauciones de seguridad que deben tomarse, y el costo para cada tipo de sistema de refrigeración.

¿QUE ES UN CONDENSADOR REFRIGERADO?

Un condensador refrigerado es un dispositivo de control que se usa para enfriar una corriente de emisión que contiene vapores orgánicos en él, y cambiar los vapores a un estado líquido. Un condensador refrigerado condensa los vapores orgánicos justamente cuando la humedad es condensada o convertida en agua en un sistema de aire acondicionado. Sin embargo, mientras el agua condensada de un sistema de aire acondicionado es desechada por medio de un desagüe, los vapores orgánicos condensados pueden recuperarse, refinarse, y podrían ser re usados, previniendo su descarga al aire del medio ambiente.

¿POR QUÉ ES LA CONDENSACIÓN REFRIGERADA IMPORTANTE?

Los óxidos de nitrógeno (NO_x, la "x" se usa porque hay cinco óxidos) y *VOC* reaccionan entre sí en la luz ultravioleta (UV) del sol para producir el ozono troposférico. El ozono en la troposfera (sección de la atmósfera por debajo de la estratosfera) es el componente principal del smog (mezcla de humo y neblina) y es dañino a la salud pública. Los condensadores refrigerados pueden reducir las emisiones de *VOCs*, las cuales reducen el ozono, potencial generador de NO_x. La técnicas reducciones de NO_x son discutidas en un el Boletín Técnico separado del *CATC*.

Muchos compuestos orgánicos han sido designados como reactivos depreciables con respecto a

la formación de ozono y están exentos de las regulaciones de *VOC*, a pesar de que algunos *VOC* pueden ser *HAP*, algunos compuestos exentos de las regulaciones de *VOC*, también pueden ser *HAP* y necesitan ser controlados. Además, los químicos que reducen el ozono estratosférico no son considerados *VOC* o *HAP*, pero aun necesitan ser controlados. El ozono estratosférico nos protege de los rayos dañinos en la luz solar.

¿DÓNDE USTED PUEDE USAR UN CONDENSADOR REFRIGERADO?

Un condensador refrigerado trabaja mejor en corrientes de emisión que contienen concentraciones altas de emisiones orgánicas volátiles. Estos son menos eficaces en corrientes diluidas (es decir, dónde hay mucho más corriente de aire que de vapor orgánico). Por ejemplo, una cabina de rociar pintura requiere una cantidad sustancial de corriente de aire a través de ella para proteger la salud del obrero y su seguridad. Como resultado, la mayoría del calor quitado por un condensador refrigerado vendría del aire. El vapor orgánico contenido en la corriente de emisión de una cabina de pintura podría ser recuperado usando un condensador refrigerado, pero sería muy costosa la tonelada de compuesto orgánico recuperada. Además, al re-usar el compuesto orgánico, probablemente la condensación de humedad necesitaría ser removida.

Un condensador refrigerado podría ser una opción de control viable para cualquier fuente de las emisiones orgánicas evaporables si:

- hay una corriente de aire mínimo transportando las emisiones orgánicas (es decir, la corriente de aire esta saturada con el compuesto orgánico)
- el sistema de contención de vapor orgánico limita la corriente de aire
- la corriente de aire requerido no recarga excesivamente un sistema de refrigeración con calor
- sólo un compuesto orgánico es emitido (o el sistema esta diseñado para el compuesto que es el más difícil de controlar)

Los condensadores refrigerados son usados en las siguientes aplicaciones:

- La Industria de Lavado en Seco - acostumbraba a re-procesar el liquido de lavado en seco (per-cloro-etileno o solventes a base de petroleo) virtualmente sin ninguna corriente de aire. Los vapores son generalmente condensados sin que el aire sea usado para transportarlos a ellos.
- Desengrasantes usando *VOC* o Solventes Halogenados - algún aire esta mezclado con vapores porque el solvente esta descubierto (es decir, expuesto a la atmósfera). La preparación (desengrasar/limpiar) de las partes antes de el revestimiento con polvo es un ejemplo de esto.
- Transferir Líquido Orgánico Volátil (LOV) y Productos de Petróleo (i.e., las plantas de volumen, estaciones terminales a granel, y las operaciones de traslado similares).
- Vapores de los Recipientes de Almacenamiento / Tanques

¿QUE ES LA REFRIGERACIÓN?

Todas las unidades de refrigeración son básicamente "bombas de calor," absorbiendo calor en el "lado frío" del sistema y descargando el calor en el, "lado caliente" del sistema. Todos los sistemas de refrigeración tienen un lado caliente y un lado frío. Algunos tienen un compresor. La diferencia entre los sistemas de refrigeración es si el refrigerante realmente está en estado líquido dentro del aparato y que tan baja temperatura puede alcanzar el "lado frío."

¿CÓMO LA REFRIGERACIÓN HA CAMBIADO CON EL TIEMPO?

El sistema de refrigeración más primitivo era cortar el hielo en el invierno y guardarlo en aislamiento de aserrín para enfriar artículos en el verano. Ha habido una evolución con el tiempo en la refrigeración, y cada tipo tiene capacidades y limitaciones diferentes. Algunos bombean el calor directamente del material a ser enfriado. Otros tipos usan un material intermedio, como salmuera o nitrógeno en forma líquida, para mover la bomba de calor a un localización más remota. Esto requiere hacer entregas de el material intermedio enfriado por uno de los dos, tubería o camión. Si la entrega es por camión, esto hace el condensador en cierto modo como la nevera de nuestros bisabuelos, una caja de hielo, o un cajón enfriador de comidas campestres - excepto que es a menudo más frío.

Se inventó la refrigeración de absorción hacia el año 1850. En este sistema de refrigeración, el amoníaco era hervido del amoníaco acuoso, licuado por enfriamiento bajo presión alta, y luego se le permite hervir para generar una temperatura baja antes de ser de nuevo absorbido por el agua. El lado frío frecuentemente fue usado para enfriar la salmuera. La salmuera se usó entonces como una intermediaria para intercambiar el calor entre el material siendo enfriado y el refrigerante. A causa de que el amoníaco estaba bajo presión alta, y porque el amoníaco causa inflamación de los pulmones y pulmonía a 25 partes por millón en el aire, se usaron otros refrigerantes cuando ellos llegaron a estar disponibles. Aun existen vendedores de unidades de refrigeración de absorción, solamente, estos tipos de unidades de refrigeración se venden principalmente para el uso como aires acondicionados o refrigeración en las casas rurales o cabañas que no tienen electricidad. Porque los sistemas de refrigeración de absorción raramente son, si alguna vez, usados para control de vapores orgánicos, no serán discutidos más allá en este Boletín.

La refrigeración de compresión mecánica usó el dióxido de azufre inicialmente como un refrigerante. El dióxido de azufre es otro químico nocivo. Sin embargo, puede ser comprimido mecánicamente, condensado bajo presión alta (al lado caliente), y entonces hervido en un vacío parcial para producir una temperatura baja (al lado frío). El dióxido de azufre fue reemplazado por cloro-fluoro-carbonos (CFC tales como el Freón que no es tóxico e inerte en la atmósfera más baja) en más unidades de refrigeración en los años 1930 y 1940. Porque el dióxido de azufre raramente es, si alguna vez, fue usado para el control de vapores orgánicos, igualmente, no se discutirá de nuevo en este Boletín Técnico.

La compresión mecánica de CFC llegó a ser casi el sistema de refrigeración universal de los años

1940 a los 1980. Estas unidades tenían un compresor mecánico que dirigía la energía al lado caliente dónde el refrigerante era enfriado y licuado bajo presión, antes de ser descargado por una válvula de admisión al lado frío dónde el refrigerante era hervido a temperaturas bajas.

Las turbinas de Ciclo Inverso Brayton, también llamadas máquinas de ciclo-aire, han sido usadas como sistemas de refrigeración desde los años 1940, y ellas usan un refrigerante benigno al medio ambiente. El ciclo es diferente porque el refrigerante (aire) no se vuelve un líquido. Las turbinas de Ciclo Inverso Brayton, siempre perdieron las batallas económicas con el CFC, en la cual la refrigeración de compresión mecánica basada en la eficacia contra una temperatura controlada. La eficacia era exacta cuando las temperaturas de los lados calientes y fríos eran la misma, pero el Ciclo Inverso Brayton no podía asegurar lo que las temperatura del lado frío serían. La máquina de Ciclo Inversa Brayton llegó a ser una ganadora en los 1990 cuando CFC, dejó de ser fabricado domésticamente, un cambio de temperatura grande llegó a ser deseable, y el uso de un refrigerante no contaminante llegó a ser necesario.

La refrigeración criogénica también llegó a ser una opción después de los años 1960. La refrigeración criogénica no usa ninguna maquinaria, por lo menos ninguna de las plantas dónde el nitrógeno líquido se usa para enfriar. La maquinaria está en una planta de separación de aire central, y el nitrógeno líquido se entrega en la forma de líquido frío. Este líquido frío es un fragmento licuado de aire (nitrógeno el cual es 79-80% de aire) que hierve a $-195.8\text{ C}(-352.44\text{ F})$. Cuando el nitrógeno líquido se usa, el proceso es llamado enfriamiento Criogénico. La descarga de nitrógeno a la atmósfera no es considerada contaminación.

En los años 1980 llegó a ser evidente que el ozono en la estratosfera estaba siendo destruido por la descomposición de CFC. Su misma "inercia" causa que los CFC, no se de-compusieran molecularmente hasta que ellos recibieran intensa radiación ultravioleta después de difundirse en la estratosfera. El ozono estratosférico nos protege de los efectos adversos de ionizar la radiación (UV, radiografías, y los rayos gamma). Esta radiación ionizada penetra la troposfera (el aire que nosotros respiramos) cuando el ozono estratosférico es insuficiente. La ionización de la radiación causa efectos de salud adversos. Como resultado, la fabricación de CFC se ha descontinuado en el mundo desarrollado, y el uso de CFC ha sido descontinuado mundialmente.

Los Hidrofluorocarbonos (HFC) fueron desarrollados para reemplazar CFC como refrigerantes en los años 1990. Los CFC han sido reemplazados, en parte, por HFC reactivos los cuales son menos estable y algunos incluso son inflamables. Los HFC no persisten el tiempo suficiente en la atmósfera para propagarse en ella. Sin embargo, algunos CFC reciclados todavía estaban usándose en el año 2000 porque la maquinaria de refrigeración requiere cambios costosos para poder usar HFC. La refrigeración mecánica con HFC ópera en el mismo ciclo que los sistemas de CFC lo hacen, pero debe usar diferentes partes elásticas como (mangueras, empaques, etc.). El uso de HFC con las mismas partes elásticas como las usadas con CFC causarían ya sea la degradación, o hacerlas quebradizas, o disolución del elastómero resultando en un goteo subsecuente.

Al buscar por un ciclo de refrigeración que pudiera reemplazar los CFC de refrigeración de

compresión mecánica como refrigerantes en los años 1970 con refrigerantes ambientalmente seguros. Se encontró que la compresión mecánica en la refrigeración con los HCF; las máquinas de Ciclos Inversos Brayton y la Criogenia (nitrógeno líquido), eran, alternativas ambientales factibles y deseables.

¿QUÉ HACE FUNCIONAR EL CONDENSADOR REFRIGERADO?

Cada tipo de sistema de refrigeración enfría una superficie del permutador térmico de calor en un condensador, y el vapor orgánico se condensa en la superficie fría del permutador térmico de calor (i.e. transferencia de calor). La condensación de vapor orgánico causa la pérdida de volumen. Esta pérdida de volumen produce una concentración más baja de vapor cerca de la superficie del permutador térmico (i.e., condensación). Esto produce una concentración gradiente causante de el flujo de la corriente de la emisión hacia la superficie de el permutador térmico. La condensación es ayudada por la turbulencia en la corriente de emisión la cual también trae bastante cerca la emisión a la transferencia de calor y la condensación subsecuente de los vapores orgánicos. Generalmente, sólo un fragmento despreciable de un porcentaje escapa esta acción combinada cuando el condensador es lo suficientemente grande para transferencia de calor y la temperatura del refrigerante es bastante baja. Una presión de vapor finita está siempre presente lo cual permite que un poco de vapor permanezca a todo momento en el caudal de la descarga.

Sistemas de Refrigeración por Compresión Mecánica

La refrigeración por compresión mecánica tiene compresores que son manejados por motores eléctricos. Ellos usan la circulación de un refrigerante para enfriar el vapor orgánico a través de una superficie de transferencia de calor. Sin embargo, algunas unidades todavía usan la salmuera (discutido abajo) para transferir calor de la corriente de emisión al refrigerante. Pueden usarse ventiladores en el lado caliente para ayudar en la transferencia de calor. La bombas de salmuera y los ventiladores también son energizados normalmente por motores eléctricos.

La refrigeración por compresión mecánica usa un compresor para forzar una presión baja en los "serpentines de enfriamiento" para reducir el punto de ebullición del refrigerante y entonces subir la presión de salida del compresor para condensar (licuar) el refrigerante sobre la temperatura del cuarto. Como es ilustrado en la Figura 1, el refrigerante en un sistema de refrigeración por compresión mecánica pasa por un "permutador térmico de calor lateral" caliente (llamado un condensador de refrigerante) para enfriar y condensar el refrigerante antes de ser pasado por un ciclo a través de una válvula de admisión y el ser expuesto a la presión baja en los "serpentines de enfriamiento". El "lado frío" tiene "serpentines de enfriamiento" que pueden ser ambas cosas, un evaporador del refrigerante o un condensador de vapor orgánico. Los "serpentines de enfriamiento" pueden ser un serpentín de tubería de cobre, un condensador de superficie, o un condensador de envoltura-y-tubo.

La válvula que permite la entrada de refrigerante en el "lado frío" es termostáticamente controlada para mantener la corriente de refrigerante para manteniendo la temperatura tan

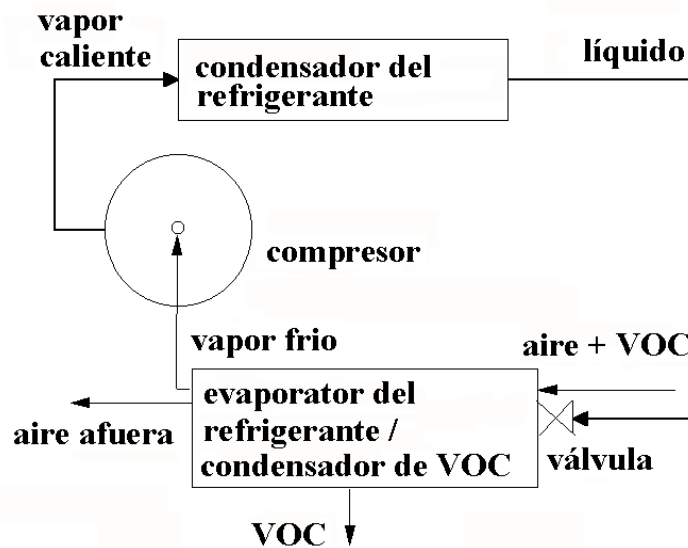


Figura 1: Sistema de Refrigeración por Compresión Mecánica

constante como sea posible y tan cercana a la óptima como sea posible para la condensación deseada de vapor orgánico. El refrigerante apropiado, CFC o HFC es seleccionado para satisfacer las necesidades de condensado.

Todos los vapores orgánicos se condensan y coleccionan en el "lado frío" de la superficie del permutador térmico y entonces drenados ya sea para el re-proceso inmediato, la posterior separación, la purificación, la disposición, o venta.

Pre-enfriamiento de emisión es algunas veces usado para quitar la humedad. Pre-enfriamiento puede usar un refrigerante diferente, el refrigerante saliendo de los serpentines de enfriamiento, o fría de descarga del condensador. Para pre-enfriamiento, la válvula de expansión termostática es puesta a una temperatura mucho más alta (~1 0°C o ~34°F) las cuales no serán eficaces para el mismo tipo de refrigerante que se usa para la condensación de un vapor orgánico.

Algunos tipos de CFC y HFC tienen puntos de ebullición más bajos que otros. Aquéllos con los puntos de ebullición más bajos son capaces del condensar el vapor orgánico de -30°F to -100°F. El CFC o HFC deben tener un punto de ebullición más bajo que el punto de rocío del vapor orgánico. La temperatura a la cual algunos vapores orgánicos se condensan puede ser tan baja como -100°F.

Cuando la salmuera de agua sal es usada, el condensador es conocido como un enfriador de salmuera. Los enfriadores de salmuera son de dos tipos: condensadores de contacto, en que la salmuera se rocía directamente en la corriente de gas; y condensadores de superficie, en que la

salmuera está separada de la corriente de gas por una superficie de intercambio de calor metálica. Los condensadores de contacto, como están ilustrados en la Figura 2, no son usados para la condensación de vapor orgánica porque el vapor orgánico se contaminaría por la sal en la salmuera.

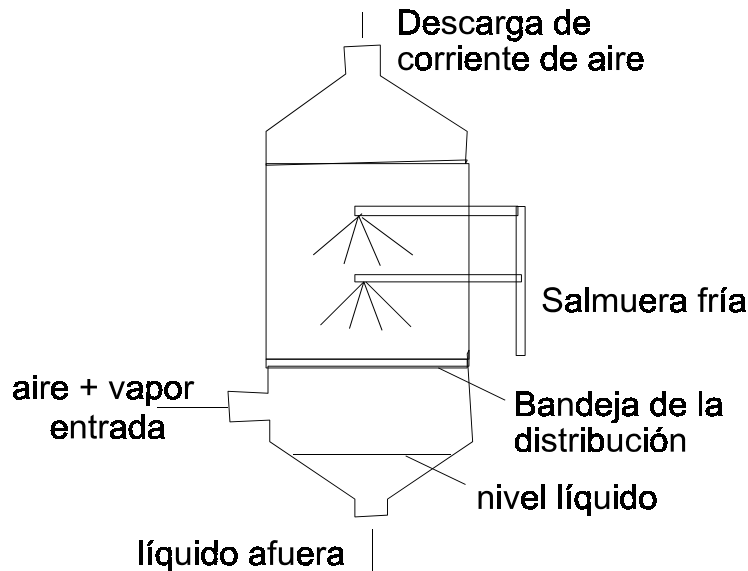


Figura 2: Condensador por Contacto

Se usan los condensadores de superficie para recuperar los vapores orgánicos. En estos condensadores, el refrigerante está separado de los vapores orgánicos y de la atmósfera por una superficie de metal de un intercambiador de calor. Estas superficies del intercambiador se necesitan para mantener la pureza del refrigerante y el compuesto orgánico, y para mantener las diferencias de presión entre el refrigerante y corriente de emisión. En los enfriadores de salmuera, hay una superficie de intercambio de calor para transferir el calor del vapor orgánico a la salmuera, mientras una segunda superficie de intercambio de calor transfiere este calor de la salmuera al refrigerante, y una tercera superficie de intercambio de calor se usa para rechazar el calor del refrigerante a la atmósfera.

Sistemas de Ciclo Inverso Brayton

Las máquinas Ciclo Inverso Brayton deben ser energizadas externamente por un motor eléctrico, una turbina de gas, o una máquina de combustión interna (pistón). Es más fácil de alcanzar la velocidad rotatoria de la turbina con un motor eléctrico o una turbina de gas que con una máquina de pistón.

Las Turbinas de Ciclo Inverso Brayton operan inversamente del ciclo de operación normal para

las turbinas de gas. En lugar de convertir el calor a caballo de fuerza del eje, el sistema de Ciclo Inverso Brayton usa caballos de fuerza del eje para remover el calor y desecharlo en la atmósfera. Como se muestra en la Figura 3, esto se hace primero, comprimiendo el aire refrigerante, entonces desecharlo el calor de compresión a una temperatura elevada, y finalmente expandiendo el aire refrigerante a través de una turbina para lograr el trabajo útil de él. Como resultado de la falta de entrada de calor, la temperatura sube por compresión, seguida por la dispersión de calor, y el trabajo que el flujo de aire refrigerante hace sobre la turbina de expansión, el escape de la turbina de expansión es muy frío, alcanzando aproximadamente -73°C (-100°F). La turbina de expansión ayuda a la fuente de energía externa que hace girar la turbina del compresor.

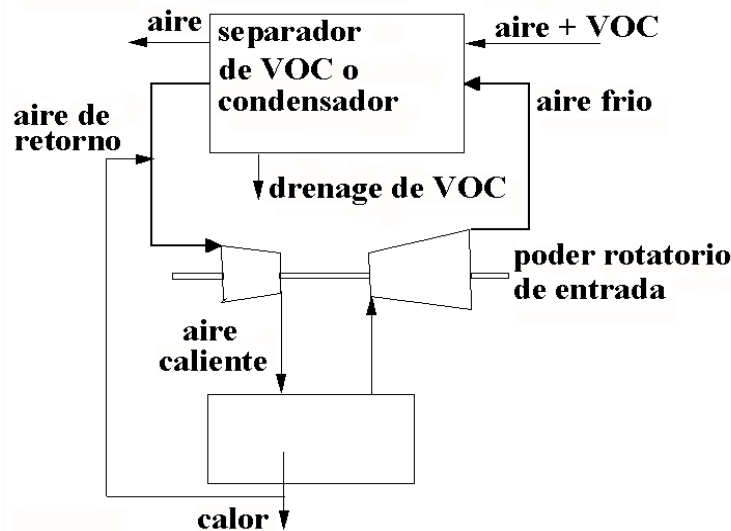


Figura 3: Sistema de Refrigeración de Ciclo Inverso Brayton

El aire refrigerante nunca se licua en este ciclo. Los vapores orgánicos pueden pasar por el Ciclo Inverso Brayton junto con el aire refrigerante y ninguna superficie del permutador térmico de calor entonces sería requerido. Las maquinas de Ciclo Inverso Brayton enfrían el aire refrigerante (y vapores orgánicos si ellos están contenidos en el aire refrigerante) a una temperatura muy baja en lo que parece ser un solo paso, aun cuando realmente pueden ser varios los pasos en la turbina de expansión. Todo los vapores se condensan esencialmente juntos. Si el aire refrigerante frío se usa para enfriar un permutador térmico de calor (condensador de superficie) como en la Figura 3, el vapor orgánico puede ser condensado sin pasar por el ciclo. Cuando el vapor orgánico es expuesto solamente a una superficie del inter cambiador de calor, este puede ser como cualquier otro condensador refrigerado.

El aire refrigerante en un Ciclo Inverso Brayton no contamina el compuesto orgánico, pero pueden mezclarse varios compuestos orgánicos en estado de vapor y por consiguiente pueden ser condensados juntos y mezclados en un líquido condensado o en una pasta aguada.

Las máquinas de Ciclo Inverso Brayton no tienen una peculiaridad de pre-enfriamiento para separar la humedad. Hasta el punto que la humedad está presente en el vapor, ella estará presente en el líquido orgánico condensado. Algunos compuestos orgánicos pueden ser separados desnatando, otros requieren la destilación fraccionada para la purificación.

Después de completar el Ciclo Inverso Brayton, el aire refrigerante puede re-procesarse o puede descargarse a la atmósfera. Porque algunos compuestos orgánicos están actualmente congelados ellos deben separarse como partículas sólidas. Al punto que el aire refrigerante recupera algo de su calor antes de ser de nuevo comprimido, o para algunos componentes con bajo punto de fundición, estos compuestos orgánicos también pueden recuperarse como un líquido. Canales con filtros múltiples pueden permitir que un compuesto sea calentado para recuperarlo, mientras el otro es enfriado al limpiar el flujo de aire de refrigerante frío. Mientras las partículas orgánicas congeladas deben ser capturadas por un filtro, las gotas orgánicas pueden ser capturadas por el impacto inercial o en un separador de ciclón. En ambos casos el límite de partícula / tamaño de la partícula dependen del diseño.

Enfriamiento Criogénico

Los enfriadores criogénicos no usan ninguna energía en la planta dónde se usan para enfriar, pero la planta de la separación de aire que normalmente genera el nitrógeno líquido es energizada eléctricamente. El camión usado para entregar el nitrógeno líquido a la planta del usuario también usará combustible. La distribución del nitrógeno líquido en una planta se auto-impulsa por la presión del nitrógeno gaseoso que es resultado del escape de calor que hace hervir el nitrógeno líquido.

Enfriamiento criogénico empieza en una planta de separación de aire. El aire es comprimido, enfriado y entonces expandido a la presión atmosférica. Esta expansión enfría algún fragmento del aire comprimido para hacerlo líquido. El aire que ha llegado a ser líquido entonces se le permite hervir para emitir el Argón, Nitrógeno, Oxígeno, etc. a sus respectivas temperaturas del punto de ebullición. Cada gas es entonces re-colectado y condensado de nuevo por compresión y expansión tal como el aire lo era originalmente. Esto produce nitrógeno líquido relativamente puro que es usado por el enfriador criogénico. Un sistema de enfriamiento criogénico se muestra en la Figura 4.

En un sentido muy real, el sistema de refrigeración está en la planta de separación de aire que puede estar en una planta totalmente diferente a la que condensa el vapor orgánico. Se entrega el nitrógeno líquido a la planta condensadora como un líquido muy frío guardado en un frasco de Dewar (un botella grande de acero inoxidable, doble-pared al vacío, similar a una botella Termo). El nitrógeno líquido tiene mucho en común con la fabricación comercial de hielo. Los dos ocurren en una planta central con un sistema de refrigeración que es demasiado grande para ser portátil y es demasiado costosa para los usuarios más pequeños.

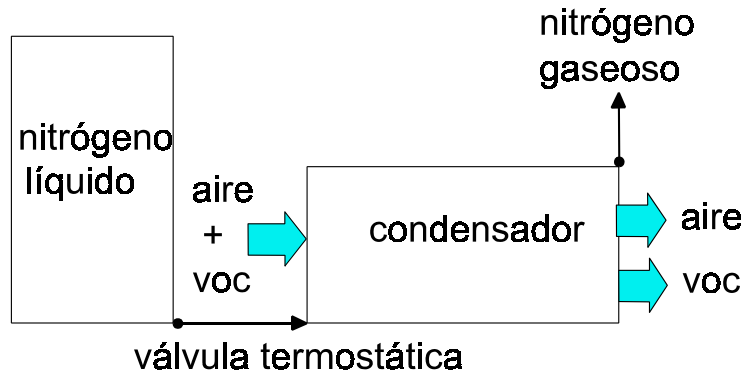


Figure 4: Enfriamiento Criogénico

El enfriamiento criogénico simplemente hierve fuera de el sitio el nitrógeno líquido. La corriente de nitrógeno líquido está en respuesta a una válvula termostática que controla su flujo. El nitrógeno líquido fluye y hierve para enfriar una envoltura y tubo u otro tipo de condensador de superficie. Una válvula de descarga de presión para el nitrógeno puede ser necesaria en varios puntos para permitirle al nitrógeno gaseoso escapar, a una presión segura, en caso de que el paso de salida principal llegue a ser bloqueado. El vapor orgánico se condensará como una película en la parte interior de los tubos en un condensador de envoltura-y-tubo típico.

Los sistemas de condensación criogénicamente enfriados tienen a menudo un pre-refrigerador antes del condensador. Ellos pueden ser enfriados por un sistema de refrigeración separado, una corriente de nitrógeno gaseoso frío saliendo del condensador, o el aire descargado de el condensador principal. Al establecer etapas de las temperaturas del condensador, más vapor de agua puede colectarse separadamente.

¿QUÉ NIVEL DE CONTROL SE PUEDE LOGRAR?

La *Destruction/Removal Efficiency* (*DRE*; también conocido como, destrucción, o eficacia de control) es una medida de la efectividad de un dispositivo de control. La *DRE* refleja el porcentaje de compuesto orgánico recuperado por un condensador refrigerado. Cuando las emisiones de vapores orgánicos se controlan por refrigeración con compresión mecánica con el condensador enfriado por medio de un permutador térmico de calor con salmuera, un *DRE* en la escala de 50 a 90% puede esperarse. Esta amplia escala ocurre porque la salmuera no puede

circularse por debajo de -14°C (0°F). CFC o HFC en sistemas de refrigeración de compresión mecánicos que enfrían un condensador directamente pueden lograr una temperatura de -53°C (-65°F) los cuales pueden dar un *DRE* de 90% al condensador o bien para compuestos orgánicos que condensan sobre esta temperatura. Los sistemas especiales refrigeración CFC pueden lograr -73°C (-100°F), pero no son muy eficaces a esta temperatura. El Ciclo Inverso Brayton puede aumentar el *DRE* de un condensador a 98% teniendo una temperatura lateral fría de -73°C (-100°F). La refrigeración criogénica puede levantar el límite superior del *DRE* de un condensador a 99+% teniendo una temperatura del lado frío tan baja como -195°C (-352°F). El *DRE* de condensadores refrigerados puede ser o más alto o más bajo que muchas otras tecnologías del control en competencia (ej., Adsorbedores, incineradores, etc.), dependiendo de la temperatura más baja en el condensador, y por consiguiente la presión de vapor más baja lograda por el compuesto orgánico.

¿QUÉ FACTORES AFECTAN LA OPERACIÓN DE CONDENSADORES REFRIGERADOS?

Cualquier refrigerante puede ser usado para enfriar la superficie de un Permutador térmico de calor. Los únicos requisitos son; que la temperatura sea bastante baja y que la capacidad de enfriamiento sea suficiente. Cuando los compuestos orgánicos se recuperan junto con la humedad y otros contaminantes, un compuesto orgánico impuro puede exigir demasiado esfuerzo para purificar y podría ser destruido por combustión. Sin embargo, la recuperación y el re-proceso del compuesto orgánico es el resultado preferido.

Cada compuesto orgánico llega a ser líquido por debajo de su punto de rocío, y se vuelve una escarcha "sólida" por debajo de su punto de congelación. Esta "escarcha" debe quitarse periódicamente de un condensador para permitir el flujo libre de la corriente de emisión que contiene vapor, sobre todo en los condensadores criogénicos porque ellos están tan fríos, para permitir un flujo libre de emisiones conteniendo vapor orgánico y para permitir que transferencia de calor ocurra como diseñada. La "escarcha" puede ser removida por un flujo repentino del condensador con el compuesto orgánico condensado en su fase líquida. Sin embargo, los compuestos orgánicos líquidos están siempre mezclados con la escarcha y la pasta aguada, a medida que los vapores orgánicos fueron mezclados.

Los condensadores criogénicos pueden ser los más fríos y por consiguiente pueden ser capaces de un *DRE* más alto. Las fluctuaciones en la carga de calor causada por las fluctuaciones en el flujo de la corriente de emisión y la concentración de vapor orgánica son compensadas por una válvula controlada termostáticamente que modula el flujo de nitrógeno. Sin embargo, si el enfriamiento criogénico opera bien a una temperatura mas arriba del punto de ebullición del nitrógeno líquido, habrá sitios dentro del condensador que estarán algo más calientes que el ajuste del termostato, porque el nitrógeno gaseoso tiene un calor específico bajo y se esta calentando a medida que pasa a través de la envoltura del condensador.

El *DRE* está limitado por la cantidad de vapor orgánico que escapa con la descarga del condensador. La cantidad de vapor orgánico que escapa es determinada por ambas; la presión de

vapor del líquido condensado (es decir, la presión parcial de los vapores orgánicos en la corriente de emisión) y la cantidad de aire presente en la corriente de emisión. Nosotros no siempre podemos eliminar el aire de la corriente de emisión, pero podemos reducir ambos; la cantidad de aire en la corriente de emisión y la presión del vapor de compuestos orgánicos. Por lo cual, la tecnología de la condensación necesita:

1. Aumentar al máximo la porción del vapor orgánico que es afectado por la superficie fría en el condensador (i.e., hacer el tiempo de residencia lo suficientemente largo y el flujo lo suficientemente turbulento).
2. Reduzca la presión parcial del vapor orgánico después de que entra en contacto con el permutador térmico de calor (i.e., hacer el condensador lo suficientemente frío y la capacidad de refrigeración suficientemente grande).
3. Reduzca la temperatura de los compuestos orgánicos por debajo del punto de congelación, si es posible, porque la presión de vapor llega a ser un mínimo cuando los compuestos orgánicos están congelados. (Esto deberá hacerse aun cuando los compuestos orgánicos congelados deban ser removidos periódicamente.)
4. Reduzca la cantidad de aire en de emisión que contiene los vapores orgánicos. La carga de calor es mayor cuando usted debe enfriar mucho aire. Reduciendo la cantidad de aire mezclada con los vapores orgánicos reducirán la carga de calor y aumentarán el enfriamiento útil (i.e., el enfriamiento disponible para la condensación). Reduciendo la carga de calor reducirá el costo de refrigeración. Aumentando la cantidad de enfriamiento eficaz mejorara el *DRE*.

Temperatura Versus Razón de Corriente

Paralelamente con el tamaño del condensador, debe mantenerse la capacidad de enfriamiento adecuada para el máximo volumen de emisión a ser enfriada. Si el aire es mezclado con de vapor orgánico, mucha de la capacidad de enfriamiento se usará para enfriar el aire que no se condensa (excepto a las temperaturas de nitrógeno líquidas). Poniendo un adsorbedor antes de el condensador puede separar las corrientes de aire y el vapor orgánico y permitir el volumen de la corriente de emisión a través del condensador sea reducida. Esto disminuye la carga de calor y aumenta el enfriamiento útil lo cual aumenta el *DRE*.

Como es mostrado en la Figura 5, un permutador térmico pre-enfriado puesto antes del condensador principal en la corriente de emisión puede enfriarla y puede remover la humedad antes de que esta llegue al condensador principal. El hecho que el condensador principal tiene que enfriar menos de emisión y no tiene que condensar la humedad, hace que de emisión fluya menos a un factor menos dominante al determinar el tamaño de el condensador principal. En efecto, el pre-enfriamiento aísla el condensador principal de las fluctuaciones de humedad. Es por eso que la mayoría del agua se condensa en el permutador térmico pre-enfriado. El interés principal es de que el permutador térmico pre-enfriado tenga la suficiente eficiencia y capacidad de flujo para manejar los flujos requeridos.

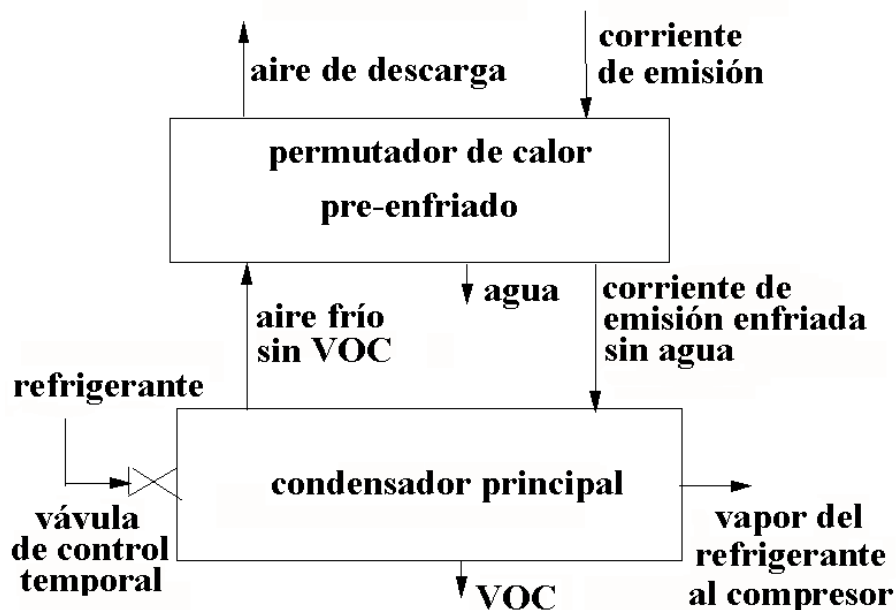


Figura 5: Corriente a Través de Permutador Térmico Pre-enfriado

Los condensadores refrigerados vienen en varias escalas de temperatura, áreas de transferencia de calor, y capacidades de traslado de calor, como es requerido por varios sistemas de refrigeración o enfriamiento. La temperatura lograda deberá ser lo suficiente baja para que el vapor orgánico sea condensado, y la refrigeración y capacidad de traslado de calor deben ser suficientes para ambos; la condensación de compuestos orgánicos volátiles y para enfriar la corriente total de emisión. A veces se pasa por alto que la refrigeración o la capacidad de enfriamiento deben ser capaces de manejar la carga de calor del aire presente en la corriente de emisión así como también en la carga de calor de los vapores orgánicos en la corriente de emisión.

Algunas veces las proporciones de flujo son hechas artificialmente mayores de lo necesario tan sólo para diluir los vapores orgánicos. Esto puede ser hecho para cumplir con los requisitos de la *Occupational Safety and Health Administration (OSHA, seguridad ocupacional y administración de salud)* con respecto al *Permissible Exposure Limit (PEL, límite de la exposición permisible; i.e., la concentración que los obreros pueden respirar sin peligro)* para un compuesto orgánico. Donde tales flujos de aire tan grandes no son completamente necesarios, el vapor orgánico

deberá ser capturado antes de que se diluya en el aire. Esto puede hacerse por conductos que traen el vapor orgánico directamente de los puntos de emisión. Esto permitiría la condensación de vapores orgánicos sin enfriar cantidades excesivas de aire. La consecuencia de eliminar una gran porción de la carga de calor sería reducir el costo de energía consumido como tan bien el costo de más capacidad de refrigeración.

Compatibilidad de Material

La compatibilidad material a veces puede ser un problema. Los serpentines de enfriamiento son a menudo hechos de aluminio o aleaciones de cobre. Todo lo que reaccione con cualquiera de estos metales, le da una indicación que usted no deberá usar ese tipo de condensador. Algunos condensadores son hechos de acero inoxidable que normalmente no presenta ningún problema de material. Algunos condensadores son hecho de acero del carbono que pueden estar sujetos al óxido y reaccionan con los compuestos orgánicos o carácter quebradizo por debajo de la temperatura de la transición quebradiza. Los enfriadores de salmuera normalmente requieren un metal que no reaccione con la salmuera (el cloruro normalmente de sodio, cloruro de potasio, cloruro del calcio, o una mezcla de éstos en el agua). Si un enfriador de salmuera se usa, los compuestos orgánicos deben ser compatibles con el monel o metales similares.

Las máquinas de Ciclo Inverso Brayton tienen paletas de turbina que son hechas de aleaciones de alta resistencia. Parte del "ciclo de aire" debe experimentar temperaturas ligeramente altas en el "lado caliente" del permutador térmico. Estas aleaciones, el permutador térmico de calor, las temperaturas, y los compuestos orgánicos todos deben ser mutuamente compatibles. La separación o filtración de cristales y gotas de compuestos orgánicos deben ocurrir adecuadamente si el aire del refrigerante será re-procesado. Ambas, turbinas de compresión o expansión llegan a corroerse cuando el vapor orgánico se condensa y las gotas o partículas del sólido chocan con las paletas del rotor.

El acero inoxidable es rutinariamente usado para la tubería y envoltura del condensador en el servicio criogénico. Los aceros de carbono no se adaptan a las temperaturas criogénicas porque todos los aceros del carbono tienen una temperatura de falla quebradiza de temperatura mas arriba del margen de temperatura del nitrógeno líquido. Porque la mayoría de los aceros inoxidables evitan esta transición quebradiza, y los compuestos orgánicos son compatibles con casi todos los aceros inoxidables, no hay virtualmente ningún asunto de compatibilidad de material con el enfriamiento criogénico usando un condensador de acero inoxidable.

Contaminantes

Cualquier compuesto orgánico individual no puede recuperarse con alta pureza de una mezcla de vapores orgánicos al condensarlos, porque todos los compuestos orgánicos se condensan y se recolectan juntos. Ésta es una limitación de todos los condensadores. Subsecuente la purificación por otro proceso como la destilación fraccionaria, desnatado, o la separación de membrana deben realizarse antes de re-procesar o vender los compuestos orgánicos recuperados.

Si hay muchas partículas sólidas o fibras en la corriente de emisión que formaría el lodo cuando es recuperado, junto con el vapor orgánico condensado, las partículas deberán ser filtradas antes de que ellas lleguen al condensador. Cuando se han filtrado suficientes partículas, cualquiera de las dos, la mezcla no formará un lodo en los "serpentines de enfriamiento" o el compuesto orgánico condensado lavará las partículas (fuera de los tubos del condensador). La corriente de emisión está bastante limpia para la condensación cuando las partículas y fibras en la corriente de emisión no formarán un lodo en los serpentines de enfriamiento.

Funcionamiento Seguro

Los sistemas de refrigeración de compresión mecánica que usan CFC o HFC tienen una vida bastante larga entre reparaciones generales. ¿Cuánto tiempo?, depende en el tipo de compresor usado. Los compresores de paleta rotatorios exceden a menudo diez-mil horas *mean-time-between-failure* (*MTBF*, tiempo promedio entre fallas). Los compresores de pistón, sólo pueden tener aproximadamente mil horas *MTBF*.

Las máquinas de Ciclo Inverso Brayton, son competitivas aproximadamente hasta 2,000 *cubic feet per minute* (*cfm*, pies cúbicos por minuto). Los cristales o gotas que no son capturados antes de la entrada del compresor re-procesando el aire refrigerante, o son creadas antes de salida de la turbina, corroerán las paletas de la turbina. Esto limitará la vida de servicio de las máquinas de Ciclo Inverso Brayton entre reparaciones generales. A pesar de esto, el *MTBF* de Las máquinas de Ciclo Inverso Brayton, de una turbina de Ciclo Inverso Brayton esta bien por encima de las mil horas, y dependiendo en la cantidad de partículas en la corriente de emisión, los *MTBF* podrían extenderse de diez mil horas a cien mil horas.

El enfriador criogénico es principalmente aplicable a las corrientes de emisión más pequeñas de 10,000 *cfm*, sin embargo el se ha aplicado a flujos más grandes. Plantas que ya usan el nitrógeno líquido para otros propósitos encontrarán que usándolo como un refrigerante es barato. Porque el nitrógeno es inerte y constituye aproximadamente 80% de aire, liberando el nitrógeno a la atmósfera no es considerado contaminación. La preocupación mayor es que el nitrógeno sea devuelto a la atmósfera mezclado en una corriente con aire. Si el nitrógeno es devuelto sin mesclar, podría ocurrir asfixia, sin ninguna alerta para la gente que pueda ser expuesta a ese corriente. El funcionamiento seguro se extiende a un tiempo muy largo e indeterminado porque los fracasos han sido tan raros. Sin embargo, obstrucción de la ventilación ha ocurrido donde fueron ignoradas las normas de seguridad.

¿QUÉ PRECAUCIONES DE SEGURIDAD DEBEN OBSERVARSE?

Consulte con un higienista industrial y un funcionario de seguridad, y repase el *Material Safety Data Sheets* (*MSDS*, el material de las hojas de datos de seguridad) para el compuesto orgánico y el refrigerante antes de seleccionar cualquiera de las tecnologías de condensación refrigerada.

Sistemas de Refrigeración por Compresión Mecánica

El uso extendido de CFC en la refrigeración fue basado principalmente en ser no-tóxico o inerte. Los CFCs y sus sustitutos, los HFCs, han llegado a ser la norma para la refrigeración en las casas por mas de sesenta años. Como resultado, estas normas de seguridad han llegado a ser conocidas por casi todo mundo. Las precauciones de seguridad son:

1. No respire el vapor, o la nube de aerosol si usted puede verla.
2. No permita que un CFC/HCF líquido entre en sus ojos, boca, nariz, o toque su piel.
3. No toque las superficies muy frías con su piel. No toque nada en la cual la escarcha se forma.
4. Asegúrese que la ropa no sea atrapada por la maquinaria rotatoria.

El permitir en cualquier forma contacto de los refrigerantes líquidos con el cuerpo puede conducir a la pérdida de la piel por congelamiento. El tocar las superficies frías puede resultar en una pérdida inmediata de el tejido de piel. El dejar atrapar su ropa por una maquinaria en rotación podría causarle muy pronto heridas o la muerte.

Si usted es rociado por un liquido con CFC o HFC, una persona expuesta también está sujeta a respirar el aerosol del aceite del compresor (aceite de silicona) el cual estaba disuelto en el refrigerante escapado. Este aceite del compresor formará un aerosol de gotas diminutas en el CFC o el HFC, o el aire. El respirar la nube de aerosol significa, poner el aceite del compresor (un aceite del silicona que esta mezclado con el refrigerante), como un aerosol en sus pulmones. También, el respirar el CFC, o vapor de HFC pueden producir efectos que van desde la euforia, a la inconsciencia, o aun la asfixia.

Este aerosol indica donde se localiza un escape, porque el CFC y el HFC son incoloros. Evite respirar el aerosol y apague los motores de los compresores, porque sin refrigerante para llevar el aceite a los compresores operaran sin aceite – conduciendo a un daño y posiblemente fuego. Rápidamente evacue el área después de apagar los compresores. Permanezca en una área bien ventilada fuera del edificio hasta que el vapor del refrigerante se haya dispersado.

Sistemas de Ciclo Inverso Brayton

La seguridad con esta turbina de gas energizada externamente requiere a lo siguiente:

1. No respire el aire frío, toque el trabajo del conducto frío, o permítalo el toque aéreo frío su piel.
2. No toque el "permutador térmico de calor lateral" caliente o trabajo del conducto.
3. Mantenga alejada la ropa de ser atrapada por maquinaria rotante.

4. No permita las turbinas operar en seco (sin aceite).

Contacto con el aire frío o el conducto de metal que dirige el flujo pueda llevar quemadura por frío y/o pérdida de tejido. Contacto con el lado caliente del Permutador térmico o el conducto de metal pueda causar quemaduras o ampollas. Permitiendo que la ropa sea atrapada por maquinaria rotatoria podrían causar una lesión inmediata o la muerte. Permitiendo que las turbinas operen en seco (i.e., sin aceite) podría llevar ya sea a un daño de las turbinas o un fuego.

Enfriamiento Criogénico

El enfriamiento por nitrógeno líquido tiene unas normas de precaución algo más detalladas. Esto es solamente porque el enfriamiento criogénico es la tecnología más reciente, y las precauciones de seguridad son desconocidas por muchas personas. Normalmente el nitrógeno es licuado en la planta de un proveedor y entregada en un frasco de Dewar para almacenamiento en el sitio. Es muy frío, y congelará las cosas instantáneamente. Sin embargo, si el nitrógeno líquido es usado actualmente en una planta, los obreros deben encontrar estas reglas de seguridad fáciles de seguir:

1. En las condiciones de tiempo húmedo, el tope del frasco de Dewar debe ser chequeado para asegurarse que está libre del hielo, y que las rutas de ventilación no están obstruidas. El hielo podría bloquear las válvulas de seguridad, las cuales operan a una presión dentro del frasco de Dewar de 1 *pounds per square inch* (psi, Jaime needs to describe this) y 10 psi o el disco de la ruptura el cual está ajustado para actuar a 80 psi.
2. Rápidamente evacúe todo el personal cuando un disco de ruptura actúe. Esto se indica claramente por el ruido y la escape de aerosol (actualmente esta es la humedad en el aire siendo condensada) que parece estar viniendo del frasco Dewar. Cuando un disco de ruptura actúa, el ruido ahogará las órdenes verbales, por lo tanto, haga todos los arreglos para la evacuación antes de que esta ocurra. Evacúe para evitar inhalación excesiva de nitrógeno. Usted no puede ver o puede oler el nitrógeno. Los efectos de inhalación de nitrógeno pueden ir de inofensivo, al adormecimiento, dolor de cabeza, vértigo, la excitación, vomito, incomodidad respiratoria moderada, o incluso a la muerte por asfixia. El nitrógeno no da ninguna señal de alarma.

Establezca una zona de seguridad alrededor de la ventilación y mantenga todo el personal fuera de ella. Permita entrar a las personas en la zona de seguridad solamente si ellos están equipados con una máscara suministrada ya sea con oxígeno respirable o aire respiratorio. Solamente admita a las personas sin el aparato respiratorio después de que el escape se ha detenido y el ventilación adecuada se ha reanudado.

3. Asegure la ventilación adecuada fuera de la zona de seguridad. Aun cuando, el nitrógeno no es tóxico, el puede producir la muerte por asfixia si no es mezclado con bastante aire. El nitrógeno líquido se extiende a 3700 veces su volumen líquido cuando se vuelve un gas y debe diluirse por lo menos en diez veces el volumen de aire, para alcanzar una concentración y una temperatura que causen los efectos de salud mínimos. Un pie cúbico de nitrógeno líquido exige

el espacio de una casa grande para diluirse lo suficiente para que este pueda tener efectos de salud menos severos. Aun así los efectos de salud todavía serían notorios.

4. Un riesgo de fuego puede estar presente en el aire congelado en las tuberías en la presencia de combustibles (tales como la pintura). El fuego puede ocurrir cuando el nitrógeno hierva primero (este tiene un punto de ebullición más bajo que el oxígeno), dejando atrás el oxígeno congelado el cual se evapora y reacciona con el material combustible. Esto requiere que el personal de planta y los bomberos planifiquen de antemano, cómo ellos van a responder, cuando una ruptura de disco pone en acción el escape del frasco de Dewar.

5. Todos los intentos de salvar el inventario restante de nitrógeno líquido deberá abandonarse, porque hay posibilidad de asfixia, congelación, quemadura por hielo, o pérdida de tejido a superficies que no están normalmente frías. La razón para la actuación de disco de ruptura probablemente es una bloqueo, ya que el flujo continuó habría relevado la presión. Este obstáculo puede ser removido una vez descongelado.

6. Equipo adecuado de seguridad adecuado (caretas, gafas protectoras, delantales, y guantes, etc.) debe llevarse por cada uno lo suficientemente cerca del alcance de salpicaduras o derramamientos al manejar nitrógeno líquido (como al transferirlo entre recipientes). Cada persona que esta suficientemente cerca del Dewar puede ser salpicada o experimentar helarse o "quemaduras" frías de la piel, tejidos delicados, y ojos si el equipo de seguridad no es usado adecuadamente. Las gotas de nitrógeno líquido pueden volar distancias inesperadamente largas como si fueran disparadas por una arma, por lo cual la distancia de seguridad puede ser mucho más allá de lo esperado.

7. No permita que el oxígeno en el flujo de emisión se congele en el condensador. El oxígeno y los compuestos orgánicos congelados juntos podrían reaccionar violentamente al descongelarse. La otra restricción única en los compuestos orgánicos apropiados para la condensación enfriadora criogénica es que el punto de congelación del compuesto debe estar por debajo de -30°C , para evitar el aumento excesivo de "escarcha" en el condensador. Esta "escarcha" consiste en cualquier vapor de agua que pasó por la etapa del pre-refrigerador, más cualquier compuesto orgánico con un punto de congelación más alto que la temperatura a ese punto en el condensador. Si no es reunida (o removida) esta escarcha podría bloquear el traslado de calor y podría bloquear el flujo de la corriente de emisión que contiene vapores orgánicos. El diámetro de los tubos es importante al definir el plan de limpieza. Esta limpieza puede hacerse vaciando los tubos con el compuesto orgánico líquido.

8. Cualquiera que recibe una quemadura por frío o se hiela debe buscar rápida mente la asistencia médica apropiada. El Manejar gases a alta presión o materiales a las temperaturas criogénicas requieren entrenamiento especial. También tan importante, el manejo seguro el requiere ambos; que el entrenamiento se mantenga al día y que el entrenamiento sea usado.

¿CUÁNTO CUESTAN ESTOS SISTEMAS?

El *U.S. EPA Air Pollution Control Cost Manual (Sixth Edition, EPA 452/B-02-001*; el manual de costo de control de aire) y las hojas *CO\$T-AIR* (disponibles en la CICA sitio pagina Web <<http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/cicaspa.html#Cccinfo>>) ambos usan el modelo de la *U.S. EPA* para calcular el costo de CFC la compresión mecánica refrigerada las historias de la salmuera para el control de compuestos orgánicos. Un nuevo HFC sistema refrigeración debe costar una cantidad similar, dentro del 30% de error probable de la estimación del costo. Sin embargo el intalar partes nuevas o equipos no disponibles an la época de manufactura podría costar más de la mitad el costo de un nuevo sistema. El ajuste para la inflación debe hacerse de acuerdo con los factores de inflación encontrados en el sitio Web de *CATC*.

El costo maquinas de Ciclo Inverso Brayton también varía ampliamente. La *National Aeronautics and Space Administration (NASA, administración espacial y aeronáutica los EE.UU)* ha usado algunas maquinas de Ciclo Inverso Brayton en los vuelos espaciales, y la EPA las ha usado para recuperar los solventes de los proyectos de remedición de suelos. El costo de equipo para el espacio no refleja el precio con precisión cuando estos sistemas se usan para controlar los vapores orgánicos en una fábrica. Similarmente, los costos de remediar suelos no son limitados a menudo por la competencia. Sin embargo, NUCON ha instalado una máquina de Ciclo Inverso Brayton en una planta de la Corporación de 3M para revestimiento de cinta. Si el costo de esta máquina de Ciclo Inverso Brayton es amortizada mas alla de 10 años, la suma de operar y el costo importante para recuperar los vapores solventes debe estar sobre \$300/ton más la labor y costo de mantenimiento. La labor y costos de mantenimiento deben estar cerca de cero hasta que una avería ocurra.

El costo de capital de un condensador de nitrógeno líquido para una corriente de emisión de 500 *cfm* es aproximadamente \$500,000. El costo de operación es aproximadamente 10 *Kilowattios (KW- hr)* de electricidad y 300 *standard cubic feet per minute (scfm, estandar pies cubicos por minuto)* de nitrógeno. Usando el promedio nacional (en 1998) de \$0.084/*Kilowatio-Hora (KW-hr)* y \$0.50/galón para nitrógeno líquido entregado a granel, nosotros podemos calcular el gasto de operación. Basado en una vida de 10 años para el equipo, y operando dos turnos de 8 horas por día, el costo total estaría en el rango de \$200 a \$1000 por la tonelada de compuesto orgánico recuperada. Sin embargo, varios factores tuvieron que ser asumidos computando esto costado. Cada facilidad debe determinar costos basados las propias circunstancias específicas del sitio.

Busque el uso de nitrógeno líquido en una planta: donde hay purificación de vapor en un recipiente, dónde hay cubiertas en lugares dónde la oxidación debe evitarse, dónde el gas a presión baja debe ser usado para transferir las substancias entre recipientes, dónde el secado debe lograrse sin oxidación, dónde hay congelación profunda de comestibles, dónde el molimiento se hace en una atmósfera inerte, dónde se remueven las rebabas o se muele el caucho o el plástico, dónde hay un ajuste por contracción de partes, o donde hay enfriamiento de vidrio soplado o moldeado. Si se usa el nitrógeno líquido en una planta, el gasto adicional de usar el nitrógeno líquido para el control de vapor orgánico es reducido considerablemente.

¿QUÉ NOS TRAE EL FUTURO?

¿Qué surgirá próximamente? Hay gases distintos al nitrógeno, como el anhídrido carbónico que podría ser más económico de licuar, e incluso podría usarse como un sólido. Anhídrido carbónico líquido o "hielo seco" podría ser una opción que cuesta menos que el nitrógeno líquido.

Un uso más importante para los condensadores refrigerados hoy en día, está en los limpiadores en seco para capturar los vapores fluidos del petróleo o el per-chloro-etileno. Un uso normalmente menos conocido está en el remediar o proteger suelos.

En situaciones como las plantas de imprimir u operaciones de pintura, grandes cantidades de aire mezcladas con los vapores orgánicos han hecho el uso de los condensadores refrigerados prohibitivamente costoso. El uso de adsorbentes para concentrar los vapores orgánicos puede permitir que los condensadores refrigerados sean más baratos donde la corriente de emisión esta diluida. El lado caliente de un condensador refrigerado podría usarse para bombear el calor en la cama de un adsorber para ayudar a remover sustancias adsorbidas de el compuesto orgánico para la recuperación en el lado frío del condensador.

En otras situaciones, usando un condensador refrigerado en un corriente de emisión que contiene una mezcla de resultados de vapores orgánicos de una mezcla de líquidos orgánicos que requiere un proceso posterior de separación. Podrían usarse ad-sorbedores para separar cada compuesto orgánico selectivamente en su propia corriente de recuperación. El lado caliente de un condensador refrigerado podría usarse para bombear el calor dentro de la cama de un adsorber para ayudar a remover sustancias ad-sorbidas de el compuesto orgánico para la recuperación en el lado frío del condensador. Alternativamente, tales mezclas podrían ser reducidas en su mayoría al usar condensadores separados a progresivamente más bajas temperaturas para compuestos orgánicos diferentes que se condensan más ampliamente a temperaturas separadas que las variaciones de temperatura en cualquier condensador único. Esta separación podría proporcionar los compuestos orgánicos de pureza adecuada para re-proceso inmediato.

Los Compuestos Orgánicos Semi-volátiles (*SVOC*) son líquidos o sólidos a la temperatura del cuarto. El uso de condensadores refrigerados en *SVOC* ha probado ser difícil porque los "*SVOC* congelado" se adhieren al condensador. Quizás el próximo paso será el usar temperaturas intermedias más altas que condensarán *SVOC* sin congelarlos y/o se remover lavando el *SVOC* congelado con *SVOC* líquido.

Cualquier que sea el paso próximo, nosotros podemos esperar que se dirigirá y quizás resuelva - al menos uno de las áreas problema de hoy.

CONCLUSIONES

La refrigeración ha ido desde ninguna parte mecánica móvil excepto los ventiladores y las bombas de salmuera, a pistón recíproco, a compresores de paletas rotatorias, a turbinas rotantes

de gas, y entonces volver a ninguna parte mecánica movable (en el sitio) excepto las válvulas de estrangulación. El funcionamiento seguro, la toxicología, las regulaciones, y el costo eran los factores principales impulsando cada uno de estos cambios. Cada uno de estas opciones tienen ventajas y desventajas, y todas ellas deben ser consideradas al seleccionar una de estas opciones.

Usted debe estar alerta de materiales que son incompatible con los compuestos orgánicos en las temperaturas involucradas, y usted deberá evitarlos. Usted también debe estar alerta de las propiedades de los materiales.

Mientras hay riesgos asociados con el uso de este tipo de equipo, el manejo de CFCs, HFCs, maquinaria rotatoria, aerosoles de aceite, y el nitrógeno líquido son muy bajos en riesgo, con tal de que el entrenamiento apropiado sea dado y usado, el empleado está adecuadamente equipado, y las precauciones de seguridad apropiadas sean tomadas. Ninguna de estas tecnologías de control habrían sido puestas alguna vez en uso si el riesgo al usar cualquiera de ellas fuera demasiado grande.

Con personal especializado, vigilancia apropiada, y precauciones adecuadas, cada una de las tecnologías de la condensación refrigerada puede ser muy segura. La condensación refrigerada puede ser entonces una tecnología del control eficaz y barata.

REFERENCIAS (Ingles Solamente)

Note: The references provided below differ from those found in the original English version of this document (EPA-456/R-01-004) because some of the referenced Web pages have been changed or removed. As a result, additional information was added and minor changes were made to the references in the original English version to facilitate the search for reference material in this Spanish version.

1. Optimization and Operating Experience of an Inert Gas Solvent Recovery System, Nirmal Jain and Joesph Enneking, 95-WA-78A.05, Air & Waste Management Association Paper presented at the 88th Annual Meeting in San Antonio, Texas 1995. For more information, please contact Air & Waste Management Publications Coordinator: Telephone: 412-232-3444 Ext.3119 or Fax 412-232-3450. <<http://www.awma.org/abstracts95/wa78a05.html>>
2. EPA Air Pollution Control Cost Manual, 6th Edition, (EPA 452/B-02-001, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency. English version: <<http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/cicaeng.html#cccinfo>>
Spanish version: <<http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/cicaspa.html#Cccinfo>>
3. Cryogenic Condensation Puts a Chill on VOCs, Robert F. Zeiz and Craig Ibbetson, Pollution Engineering Sept 01,1997. The use of liquid nitrogen for VOC abatement offers flexibility and reduced cost <<http://www.pollutionengineering.com/archives/1997/pol0901.97/09adw1f0.htm>>.
4. Cryogenic Condensation and Recovery of VOCs Using Liquid Nitrogen, Joint Services Pollution Prevention Opportunity Handbook.
<http://p2library.nfesc.navy.mil/P2_Opportunity_Handbook/11_1.html>
5. Kryoclean VOC Control System, BOC GROUP: MARKET, PRODUCT,
<http://www.boc.com/markets/pssdetail.cfm?pssdetailid=108&market_bs_id=40>
6. Cryogenic Condensation: Cost-Effective Technology For Controlling VOC Emissions, Robert J Davis and Robert F. Zeiss.
<http://www.rizzo.com/pdf/library_cryogenic_condensation_1.pdf>
7. A Cost effective Method for Controlling VOCs Emissions From Batch Pharmaceutical and Specialty Chemical Processes, Amy Kulas, 95-WP-78B.05, Air & Waste Management Association. Paper was presented at the 88th Annual Meeting in San Antonio TX. 1995. For more information, please contact Air & Waste Management Publications Coordinator: Telephone: 412-232-3444 Ext.3119 or Fax 412-232-3450.
8. Vapor Emission Control at a Pharmaceutical Semi-Works, Joseph C. Enneking, Paul A. Samtak, 96-TA4B.04, Air & Waste Management Association. Paper was presented at the 89th Annual Meeting at Nashville Tennessee, 1996. For more information, please contact Air & Waste Management Publications Coordinator: Telephone: 412-232-3444 Ext.3119 or Fax

412-232-3450.

9. Controlling VOC and HAP Emissions with Scrubbing and Condensation Recycles Solvents Directly into Plant Chemical Feedstocks, Peter R. Lundquist, 96-TP4C.05, Air & Waste Management Association. Paper was presented at the 89th Annual Meeting at Nashville Tennessee, 1996. For more information, please contact Air & Waste Management Publications Coordinator: Telephone: 412-232-3444 Ext.3119 or Fax 412-232-3450.

10. The Clean Air Act Amendments of 1990: A guide for Small Business,
<<http://www.epa.gov/ttn/atw/smbus.pdf>>

11. AQMD Best Available Control Technology (BACT) Guideline.
<<http://www.aqmd.gov/bact/138.html>>

12. Organic Vapor Control, GCI TECH NOTES©, Volume 1, Number 08. A Gossman Consulting, Inc. Publication, August, 1995

13. Organic Vapor Control - EPA's Subpart CC Regulation.
<<http://www.gcisolutions.com/895tn.htm>>

14. NICMOS Cryocooler, Independent Science Review.
<http://www.stsci.edu/observing/nicmos_cryocooler_isr.html>

TECHNICAL REPORT DATA

(Please read Instructions on reverse before completing)

| | | |
|---|---|-------------------------------|
| 1. REPORT NO. EPA-456/R-03-004 | 2. | 3. RECIPIENT'S ACCESSION NO. |
| 4. TITLE AND SUBTITLE Condensadores Refrigerados para el Control de Emisiones Orgánicas de Aire | 5. REPORT DATE October 2003 | |
| | 6. PERFORMING ORGANIZATION CODE | |
| 7. AUTHOR(S) | 8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. | |
| 9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS Clean Air Technology Center (E 143-03) Information Transfer and Program Integration Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711 | 10. PROGRAM ELEMENT NO. | |
| | 11. CONTRACT/GRANT NO. | |
| 12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711 | 13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED Final | |
| | 14. SPONSORING AGENCY CODE EPA/200/04 | |
| 15. SUPPLEMENTARY NOTES For more information, call the Clean Air Technology Center (CATC) Information Line at (919) 541-0800 or access the CATC Web page at < http://www.epa.gov/ttn/catc >. | | |
| 16. ABSTRACT This is the Spanish version of EPA-456/R-01-004. The purpose of this document is to provide information on refrigerated condensers as a control technology to reduce organic air pollution emissions. Several types of refrigerated condensation systems are discussed, including mechanical compression, Reverse Brayton Cycle, and cryogenic cooling. This document describes the different systems, how they work, where they can be used, how effective they are, safety precautions, and how much they cost. | | |
| 17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS | | |
| a. DESCRIPTORS | b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS | c. COSATI Field/Group |
| refrigeration condensers mechanical compression Reverse Brayton Cycle cryogenic cooling | air pollution control volatile organic compounds VOC refrigerated condensers | |
| 18. DISTRIBUTION STATEMENT Release Unlimited | 19. SECURITY CLASS (<i>Report</i>) Unclassified | 21. NO. OF PAGES 23 |
| | 20. SECURITY CLASS (<i>Page</i>) Unclassified | 22. PRICE |

United States
Environmental Protection
Agency

Office of Air Quality Planning and Standards
Information Transfer and Program Integration Division
Research Triangle Park, NC

Publication No. EPA-456/R-03-004
October 2003
