

# 1er Seminario de **REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL CON BAJA CARGA DE AMONIACO**

---

Centro Tecnológico de Lucena

2 DICIEMBRE 2022



**8.30** Recepción de participantes

**8.45 Apertura del seminario**

Manel Servián, Gerente de AEFYT, Manuel Lamúa, Gerente de AEFYT

**9.00 La evolución de la refrigeración industrial con amoníaco en el siglo XXI.** Maurizio Giuliani, consultor experto en refrigeración.

**9.45 Tecnologías de baja carga de amoníaco.**

Felix Sanz, Director Técnico de AEFYT

**10.30** Pausa café

**11.00 Soluciones de expansión seca de amoníaco.**

Juliusz Federowicz, Ingeniero de Ventas de Dicostock.

**11.40 Sistemas compactos de amoníaco de baja carga. Aplicación a túneles de ultracongelación.**

Fernando García, Director proyecto Ammolite, Intarcon.

**12.20 Baja carga en grandes instalaciones de amoníaco.**

Juan Carlos Rodríguez, Director Técnico de Clauger x GRESCO.

**13.00** Clausura

# La evolución de la refrigeración industrial con amoníaco en el siglo XXI.



Maurizio Giuliani,  
consultor experto en refrigeración.

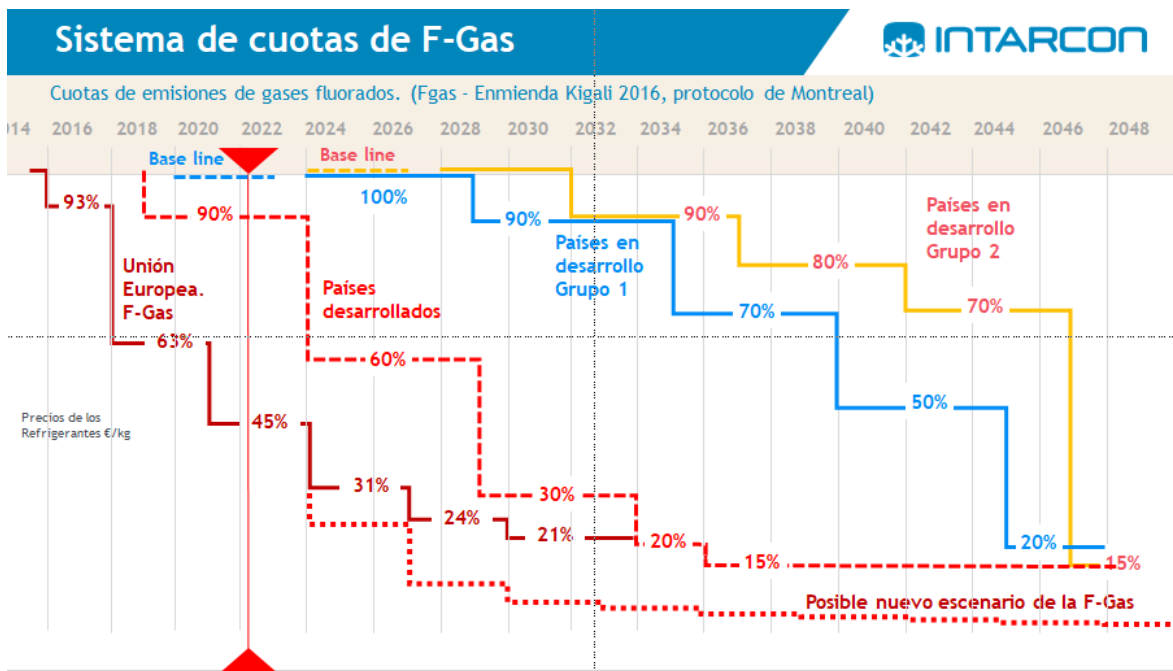
## Agenda

- Eventos apremiantes - Porqué amoniaco. Los sistemas DX R717 como factor disruptivo en el sector de la refrigeración;
- Porqué baja carga la legislación como driver al cambio;
- Comparativas-Referencias- Case success story;
- R717 DX de baja carga - ¿Solución disruptiva?
- Que entendemos por baja carga;
- Abriendo el melón tecnológicos de los sistemas:
  - DX 717 y ADX R717;
- Conclusiones

# R717 DX de baja carga

## Eventos apremiantes

La industria de la refrigeración está aproximándose cada vez más, y de forma acelerada a los denominados refrigerantes naturales conforme se acercan las líneas rojas definidas por los varios protocolos medioambientales, último lo definido como de Kigali y la correspondiente F-Gas con su probable revisión más restrictiva.



El Amoníaco es reconocido como un excelente refrigerante

- Ambientalmente benigno (0.0 ODP – daño a capa ozono) y 0 PCA;
- Energéticamente Eficiente;
- Bajo Costo;
- Gas refrigerante y componentes ampliamente disponible;

Sin embargo, es tóxico y ligeramente explosivo, clasificado como B2L y, a pesar de la escasa incidencia de accidentes de relevancia en este tipo de sistema, hay mucho reparo en la utilización de este fluido refrigerante en instalaciones que se pueden definir de refrigeración ligera de capacidades pequeñas o mediana preferiendo este sector sistemas con refrigerantes halógenados.

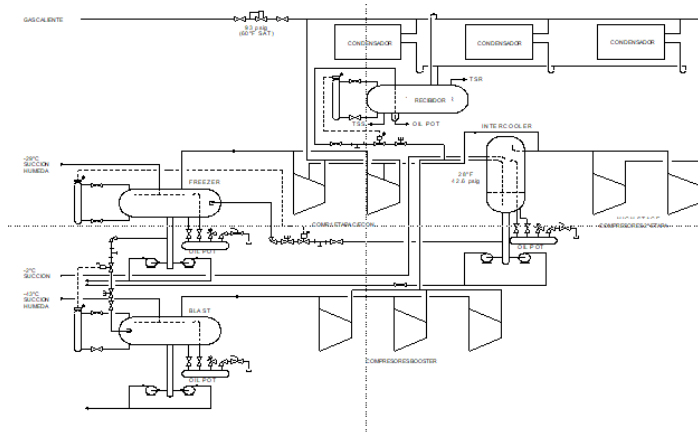
# R717 DX de baja carga

## La situación del R717

Tradicionalmente los Sistemas de Refrigeración Industrial han usado diseños con alimentación por líquido recirculado o inundado

- Buen desempeño del evaporador en relación a la temperatura
- Buen desempeño del evaporador en un rango de cargas amplio
- Relativamente insensible a pequeñas cantidades de agua
- Simple de operar

Desafortunadamente, este tipo de diseños maximiza la cantidad de amoníaco cercano a las personas y productos debido a la gran cantidad de amoníaco en los evaporadores y también en las tuberías.



# R717 DX de baja carga ¿Solución disruptiva?

Veo en la aplicaciones de sistemas de refrigeración con R717 en expansión directa (DX y ADX) la misma carga disruptivas en el sector de la refrigeración que en su día representó la “reintroducción” del R744 como gas refrigerante para bajas temperatura.

En el caso del CO<sub>2</sub> primero estos sistemas se desarrollaron en países como Dinamarca y Suecia reaccionaron de inmediato la incipiente eliminación y regulación de los gases CFC y HCFC y de forma draconiana impulsaron la utilización de gases “naturales” R717-R290-R744 inclusive en aplicaciones civiles hospitales. Incluidos.

España ha sido un mercado reticente a la aplicación de nuevas tecnología ligada a los gases naturales. Con York realizamos al principios del siglo XXI, la primera cámara de congelado robotizada de gran capacidad con sistema en cascada R717/R744. Esta cámara sigue en funcionamiento.

20 años después, el R744 es un gas refrigerante de uso común en múltiples instalaciones de refrigeración industrial y ligera (Comercial).

¿Pasará lo mismo con los sistemas R717 DX de baja carga?



# R717 DX de baja carga ¿Solución disruptiva?

Las instalaciones con R717 DX de baja carga tienen el mismo potencial disruptivo que en su día tubo la implantación de sistemas de CO<sub>2</sub>.  
Como demostración la rápida implantación de instalaciones de R717 DX en países inicialmente reacios a la utilización de amoníaco como refrigerante



*“Yo amo al amoníaco, solo no lo coloquen muy cerca de mi gente o mi producto”*

kg lbs



## EN 378: Safety requirements



EN 378: Max load for access cat. A, system location 1 or 2

RSIF: Interruptor de corte en sala maq.

EN 378: Max load for access cat. C >1 pers/10m2, location 2



Pas d'obligation de contrôle réglementaire. Dans les E.R.P. vérification technique annuelle (art. CH 58 de l'arrêté du 25 juin 1980). Installation à 50 mètres « des limites du site » (Arrêté du 29 mai 2015)

Transport by road cat.1 (ADR)

EN 378: Max. Load for access cat. C and system location 1.  
EN 378: Service valves

Sécurité de personnes (Rubrique 1136B, l'arrêté du 19 novembre 2009) → Déclaration et contrôle périodique tous les 5ans Rubrique 4735 1-b

RSIF: EPI

EN 378: Ammonia detector in secondary circuits.

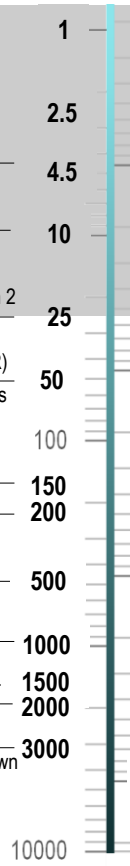
RSIF: Ducha de emergencia

Autorisation (Rubrique 1136B) Rubrique 4735 1-a

RSIF: Foso en sala de máquinas

EN 378: Emergency shut-down

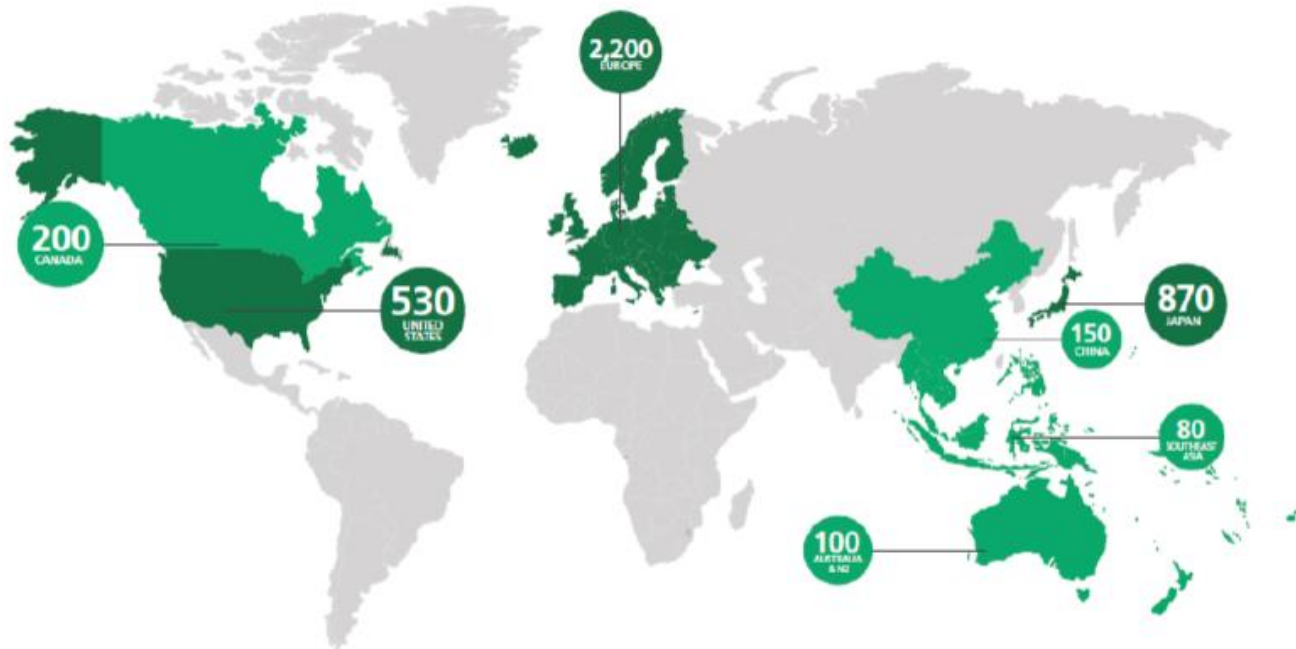
Seveso III (2012/18/UE)



100 EPA EPCRA 304 Emergency Notification Release Reporting (40 CFR 355.30)  
EPA CERCLA 103 Emergency Notification Release Reporting (40 CFR 302.6)  
EPA General Duty Clause [CAA 112(r)(1)]

500 California Accidental Release Prevention (CALARP)  
EPA EPCRA 302 & 312, Hazardous Chemical Notification and Inventory Reporting (40 CFR 355.10 & 40 CFR 370)  
EPA General Duty Clause [CAA 112(r)(1)]

10000 EPCRA Section 313 (Toxic Release Inventory)  
DHS CFATS (6 CFR 27.210(1)(i & d))  
EPA Risk Management Program (40 CFR Part 68)  
OSHA Process Safety Management (29 CFR 1910.119)



Fuente: World Guide to low ammonia charge - Shecco 2019



## JOLIET COLD STORAGE Joliet IL

Tipo de instalación: Frigorífico Nuevo Arrendamiento Publico

Propietario: Joliet Cold Storage	Resultados/Beneficios Generados
Ubicación: Joliet IL USA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga total de amoníaco: 8500 lbs.</li> <li>• Reducción de carga de amoníaco vs bombeado: Reducción de un 72% en costo instalado vs bombeado: 2.4%</li> <li>• Reducción del costo de operación: 1.3%</li> <li>• Otros:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Un Sistema más fácil para trabajar</li> <li>-Reinicios rápidos en caso de falla de energía</li> <li>-"Evaporadores con EEV están trabajando correctamente!"</li> </ul> </li> </ul>
Instalador: AMS Mechanical	
Área: 402,000 pies <sup>2</sup>	
Carga total de refrigeración: 1,007 TR -10 grados F congelación y cámaras convertibles @ 801 TR +40 grados F USDA cámaras y andenes @ 206TR	
Compresores de tornillo y economizador con enfriamiento de aceite por termosifón	

"The Heat Transfer Experts"

509.684.2595 | [www.colmaccoil.com](http://www.colmaccoil.com) | PO Box 571 | Colville, WA 99114 | USA

# Case Success Stories R717 DX

## BIDVEST BIBRA LAKE



Tipo de instalación: Centro de Distribución de Alimentos

Dueño: Bidvest Australia Limited	Resultados/Beneficios Generados
Ubicación: Perth WA, Australia	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Carga total de amoníaco: 485kg (1067 lbs)</li> <li>-Carga de amoníaco en todos los evaporadores: 15kg (33 lbs)</li> <li>-Carga estimada de amoníaco bombeado: 2000kg (4400 lbs)</li> <li>-Reducción del costo de operación*: 60%</li> <li>-Otros:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción de impuestos por emisión de carbono</li> <li>-300kW PV panel solar instalado en la azotea</li> </ul> </li> </ul>
Instalador: Scantec Refrigeration Technologies pty.ltd.	
Área: 4500 m2 (46,300 pies2)	
Carga total de refrigeración: 496 kW (141 TR) Etapa de Alta (+4 grados C) Capacidad: 300kW Etapa de Baja (-25grados C) Capacidad: 196kW	
Compresores recíprocos de dos etapas con VFD y condensador evaporativo.	*Comparado con soluciones HFC enfriados por aire.



*“The Heat Transfer Experts”*

509.684.2595 | [www.colmaccoil.com](http://www.colmaccoil.com) | PO Box 571 | Colville, WA 99114 |

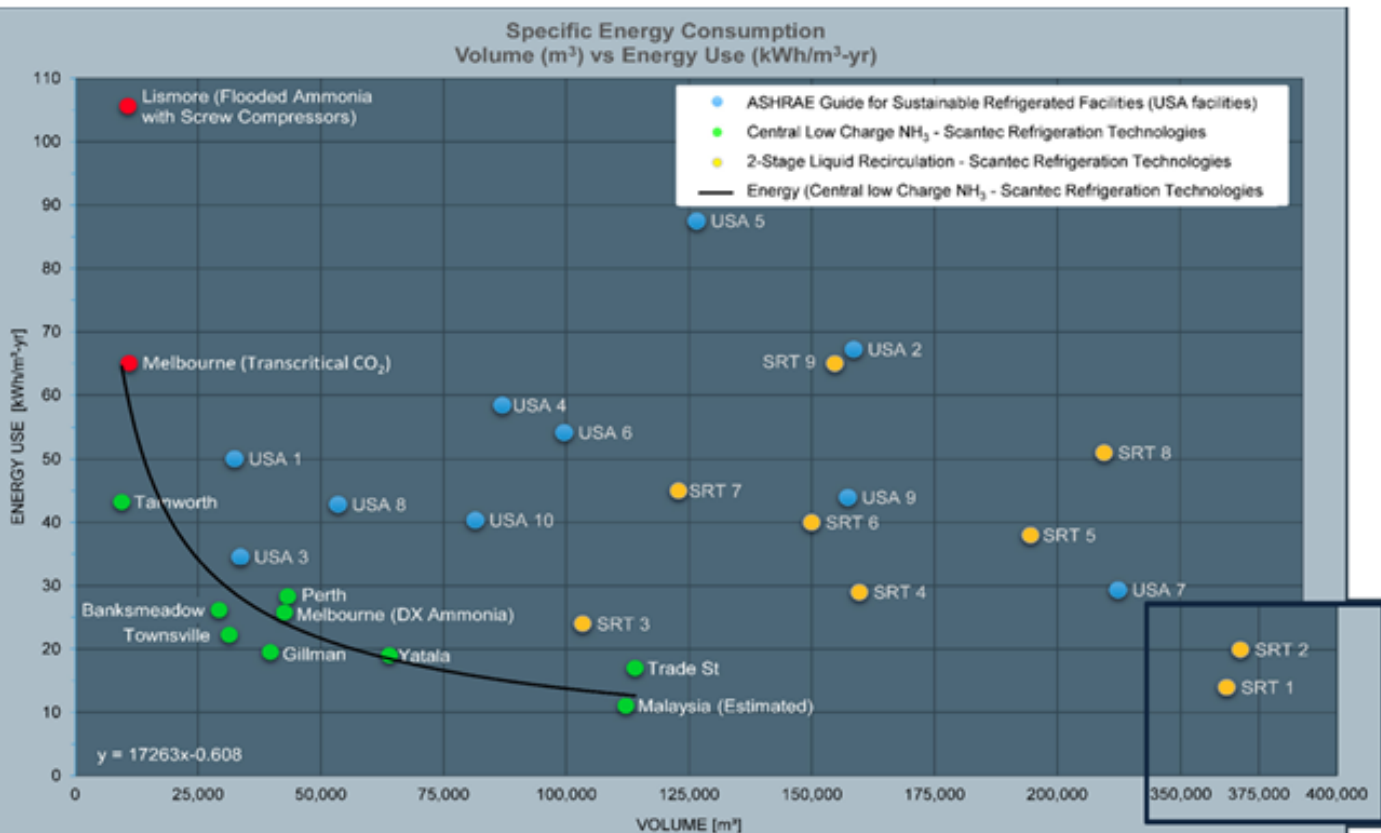
USA

Sistemas prefabricados Intarcón en kit para túneles de congelación;

Instalador : Bernad Refrigeración



# Análisis SEC comparativa de una serie de diferentes sistemas de refrigeración



# R717 DX de baja carga

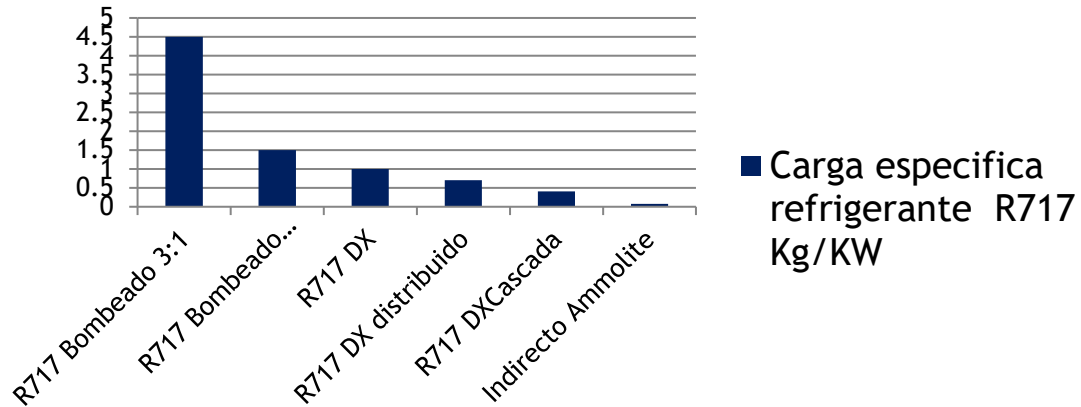
## ¿Solución disruptiva?

Las razones de la posible potencial implantación a gran escala de estos sistemas son:

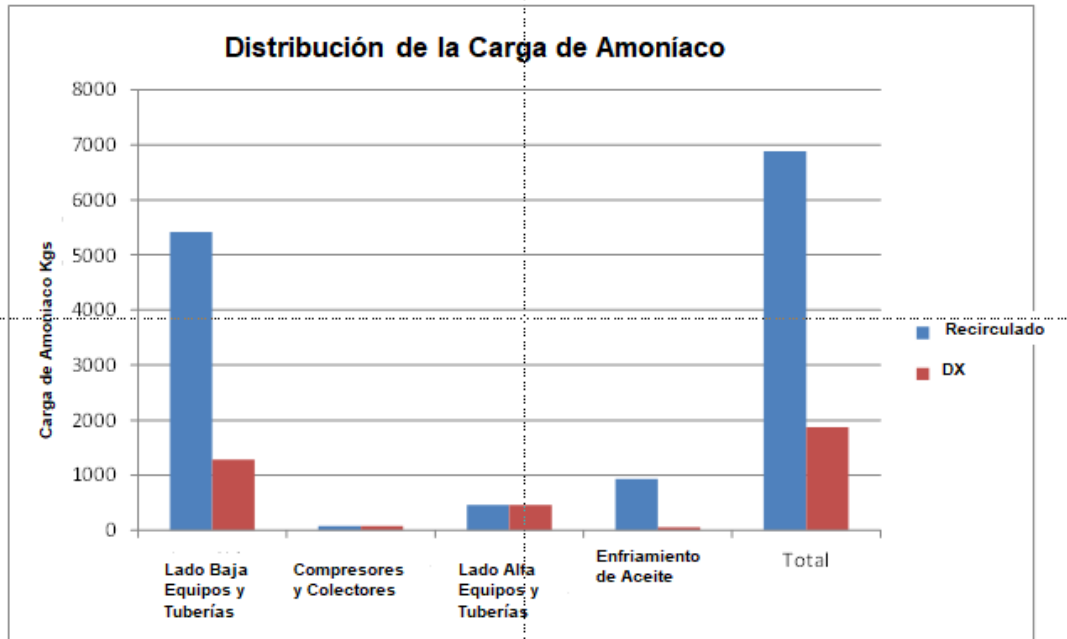
- Va en el sentido de los “drivers” sociales y de mercado;
  - Seguridad por reducir la carga de gas en la proximidad de las personas;
    - ❖ La carga de refrigerante en los evaporadores es 1/30;1:50 vs bombeo
  - Coste de primera inversión y gestión;
  - Respecto al medio ambiente.
- Normativa que penaliza altas cargas de refrigerante
- Aporta propuestas de valor en el sentido de la reducción de consumos y gastos eléctricos utilizando un gas que asegura los mejores rendimientos termodinámicos con un bajo precio de adquisición reduciendo los costes de gestión de la instalación a cargo del usuario final en relación de sistemas con bombeo “overfeed”.
- Utiliza el R717, un gas refrigerante con nulo efecto hibernadero y “aparentemente” de largo recorrido.
- En comparación con sistemas R717 con bombeo reduce la carga de refrigerante (B2L) mejorando la seguridad y disminuyendo los requisitos impuestos por la legislación.
- Acorta las distancias entre el ecosistema de la refrigeración “ligera” y la refrigeración industrial sobretodo con sistemas de refrigeración distribuida siendo una alternativa real a instalaciones de mediana potencia en HFC y HFO;
- Demuestra su potencial imponiéndose rápidamente en importantes mercados como EEUU y Australia históricamente reacios a las instalaciones con amoniaco



## Carga especifica refrigerante R717 Kg/KW



## Caso de estudio; 10370 m<sup>2</sup>/2,7 MW Frigorífico de alquiler



*Punto clave:*

*Reducción en la cantidad de amoníaco en los espacios ocupados: 30X a 50X reducción de carga en evaporadores*

En el diseño de los sistemas DX con R717 de baja carga hay puntos claves donde el proyectista tiene que poner el foco para obtener los resultados comprometidos y asegurar las prestaciones y la máxima fiabilidad del sistema.

- Prestar particular atención al diseño de los evaporadores. La mayoría de las causas de las deficiencias de rendimiento en la planta de NH3 de baja carga están en el diseño del evaporador, y del sistema de inyección de refrigerante;
- Elegir con precisión el sistema de expansión y distribución;
- Eliminar la posibilidad de retornos de refrigerante líquido al compresor y formación de vapor en las líneas de líquido;
- Debido a la baja carga eliminar las posibles fuentes de fugas de amoníaco, así como las entradas de aire al sistema que podrían perjudicar el correcto funcionamiento de la instalación, no disponiendo esta de grandes recipientes en presión con cargas supletoria de gas refrigerante y para evitar poner sistemas de destilación de agua o purgadores de incondensables en sistema de baja temperatura;
- La gestión del desescarche;
- El diseño del sistema de piping en general;
- Tipo de aceite empleado, asegurar el correcto retorno de aceite al compresor, su refrigeración y su capacidad higroscópica;

La relación muy alta de volumen específico de vapor a líquido de amoníaco a bajas temperaturas, combinada con su calor latente de vaporización muy alto, provoca una separación de las fases de vapor y líquido dentro de los tubos del evaporador. Esta separación de fases hace que el amoníaco líquido presente tenga tendencia a distribuirse por el fondo de los tubos dejando la parte superior de los tubos completamente “seca”. El resultado es un rendimiento del evaporador extremadamente bajo y temperaturas de succión inferiores a las esperadas durante el funcionamiento si no se toman las correctas medidas para mitigar este fenómeno.



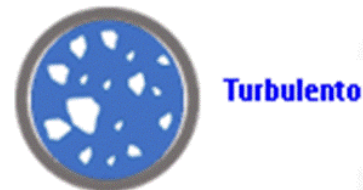
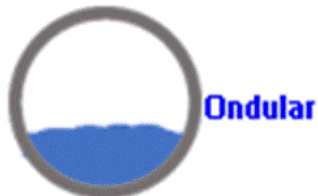
Una buena transferencia de calor dentro de los tubos depende del adecuado diseño del circuito para mantener velocidades lo suficientemente altas para que el refrigerante líquido cubra o “humedezca” toda la pared del tubo (patrones de flujo turbulento o anular).

### Patrones de flujo

En operación, en el evaporador, existe una mezcla de refrigerante líquido y vapor en los tubos. En la entrada de cada circuito la mayor parte del refrigerante es líquido. Conforme el refrigerante se calienta y hierve, la fracción de refrigerante en fase vapor se incrementa.

A medida que el refrigerante avanza desde la entrada a la salida del circuito del evaporador, el patrón de flujo cambia dependiendo de la calidad del vapor y el flujo másico. Se han realizado muchas investigaciones para identificar y caracterizar los patrones de flujo de ebullición.

Estos son los patrones de flujo que comúnmente se encuentran en evaporadores de tubos horizontales.



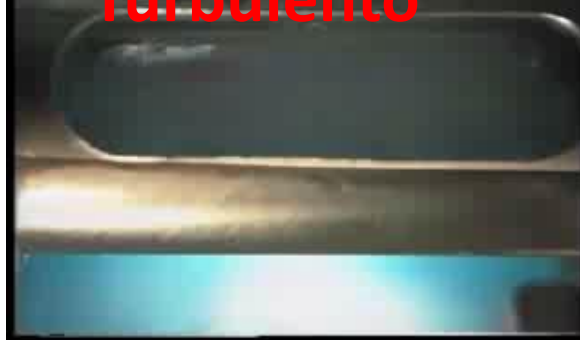
# Elemento clave en los sistemas DX R717

## El evaporador – Patrones de flujo

### Flujo Laminar



### Flujo Turbulento



### Flujo Ondulado



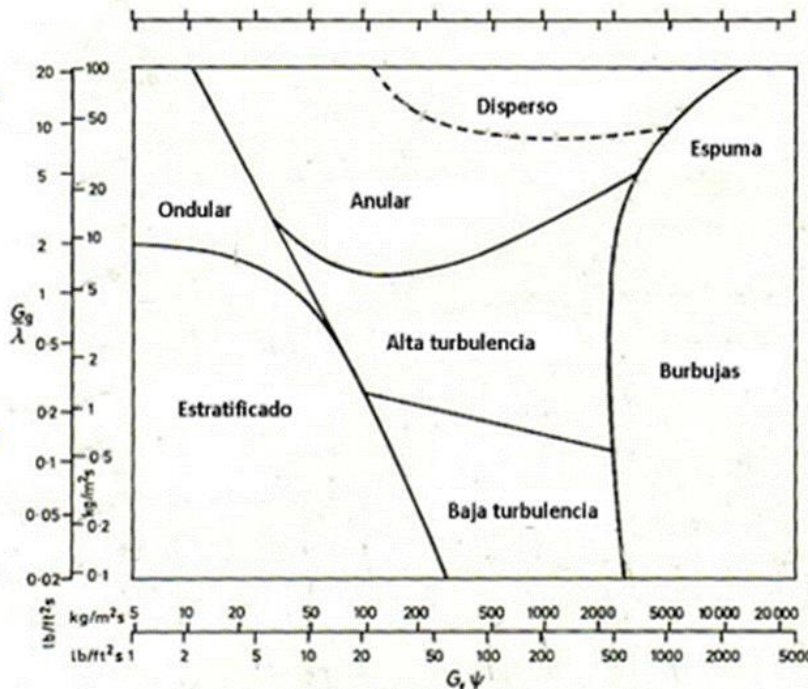
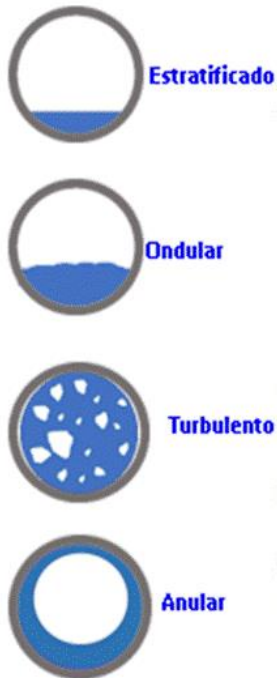
### Flujo Anular



# Elemento clave en los sistemas DX R717

## El evaporador

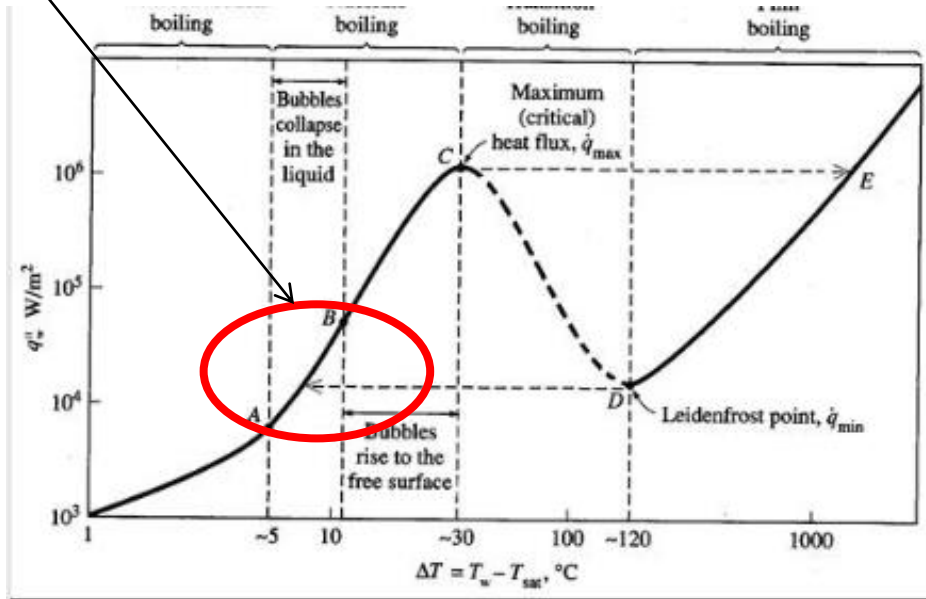
Collier y Thome (1994) discutieron en detalle varios mapas de patrones de flujo de dos fases. La **Figura** muestra un mapa de patrón de flujo para tubos horizontales, por Baker (1954), que es ampliamente usado en la industria petroquímica y se aplica aquí con algunas modificaciones.



$$\lambda = \frac{\rho_L \cdot \rho_G}{\rho_{\text{agua}} \cdot \rho_{\text{aire}}}$$

$$\psi = \frac{\sigma_{\text{agua}}}{\sigma_{\text{liquido}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu_{\text{liquido}}}{\mu_{\text{agua}}}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{\text{agua}}}{\rho_{\text{liquido}}}\right)^2}$$

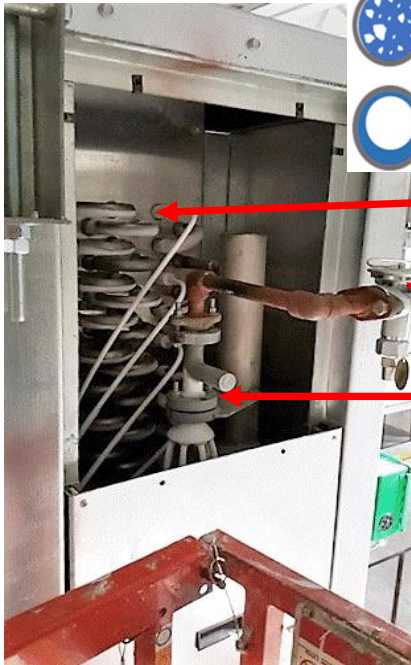
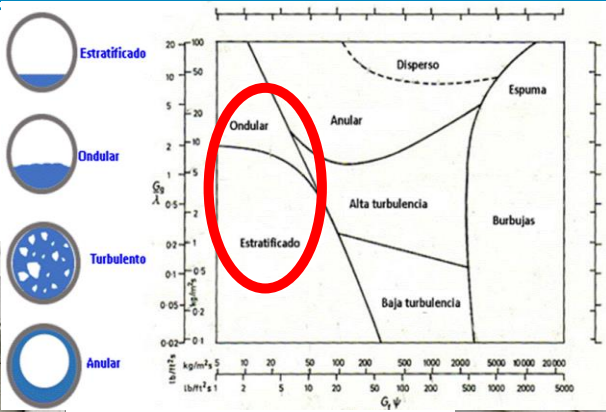
$\Delta T$  ideal de trabajo



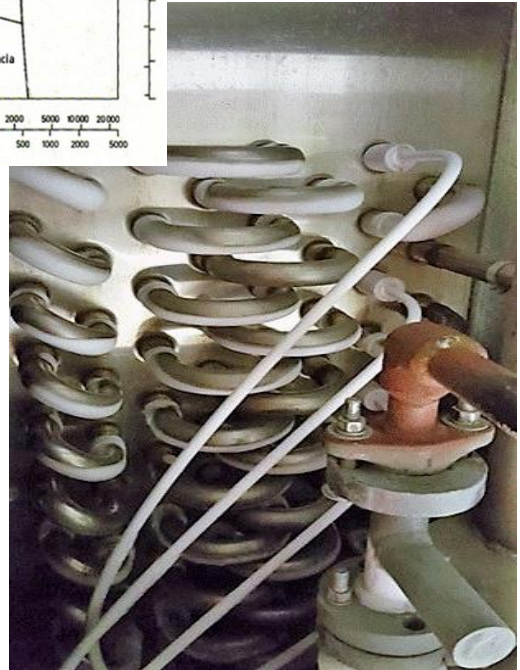


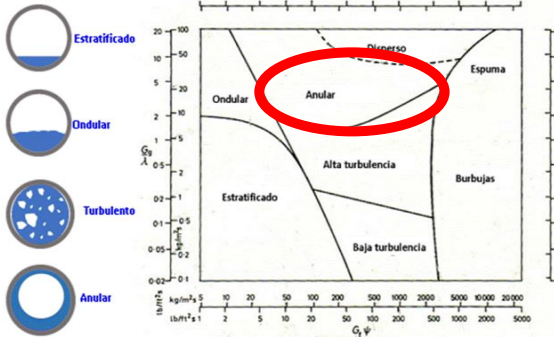
# Elemento clave en los sistemas DX R717

## El evaporador



Serpentín  
 Válvula Expansión  
 Termostática  
 Distribuidor



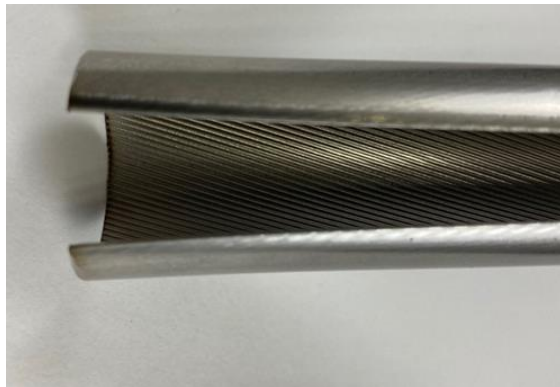


Tubo en aluminio estriado helicoidal interno – Colmac Coil



$$K = 209,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

Tubo en acero inox estriado helicoidal interno – Thermofin



$$K = 16,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

En la práctica la solución con acero inoxidable es de momento la más utilizada por su buena relación coste/calidad.

Aún que el coste de tubo en aluminio pueda resultar más económico los procesos de soldadura y curvatura lo hacen más costoso.

# Elemento clave en los sistemas DX R717

## El sistema de expansión

En los sistemas de R717 DX el control de la inyección de refrigerante habría que prescindir de la utilización de válvulas de inyección termostáticas de tipo mecánico a pesar del bajo coste de este dispositivos. Esto se debe al alto calor latente de vaporización del amoníaco que requiere establecer un alto recalentamiento requerido para asegurar un funcionamiento seguro y evitar los retornos de liquido estimado en unos 3 °C superior a lo obtenible con una válvula termostática electrónica.



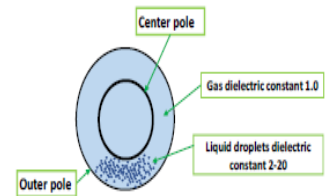
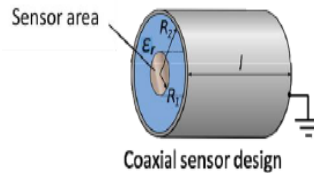
TABLE 2  
MINIMUM RECOMMENDED DX AMMONIA TD AND SUPERHEAT SETTING

Expansion Valve Type	Minimum Recommended TD, deg F	Recommended Superheat Setting, deg F
Thermostatic	15	10
Electronic	12	8

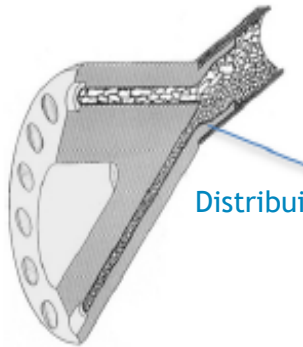
Control de expansión por medio de dispositivos de control de la calidad del vapor

El sensor se basa en el principio de medición capacitivo en el que dos o más sensores electrodos/conductores miden la calidad del vapor como cambio en el campo eléctrico/resistencia dependiendo de diferencia en las propiedades dieléctricas denominadas “constante dieléctrica” según la relación entre vapor y líquido. La medición es instantánea, es decir, sin demora.

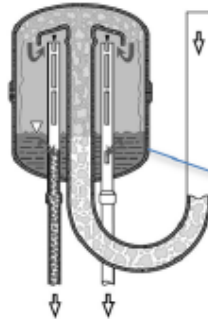
Sin embargo en el estado actual del arte me lleva a considerar que el alto precio de estos dispositivos electrónicos probadas no aporta ventajas respecto a las válvulas termostáticas



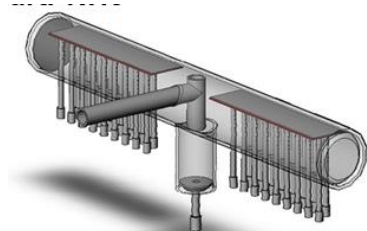
La distribución de refrigerante también resultar crítica por la presencia de flash gas, distintos fabricantes proponen sustituir el distribuido convencional tipo Venturi por distribuidores de gravedad. De momento las instalaciones realizadas con distribuidor convencional, en alta y baja presión están respondiendo satisfactoriamente. No excluimos que el sistema sea susceptible de mejoras utilizando distribuidores de gravedad. Siempre es una cuestión de relación costo/calidad.



Distribuidor Venturi



Distribuidor Küba-Cal



Distribuidor Colmacoil

- Baja caída de presión;
- 100% de capacidad independiente de:
  - Diferencia de temperatura
  - Condiciones de trabajo
- Buen control del recalentamiento;
- Mantiene la capacidad del evaporador independiente de las condiciones operativas
- Uniforme formación de escarcha



Los sistemas DX están diseñados para operar con una línea de succión seca y, por definición, son más sensibles a la inundación de líquido. Los sistemas industriales DX de considerable dimensiones deben incorporar un recipiente acumulador de succión para evitar el golpe de líquido del compresor en el caso haya retorno de líquido. El sistema tiene que prever la manera de re gasificar este líquido para evitar provocar alarmas de nivel alto y el apagado del sistema hasta que el exceso de líquido en el acumulador de succión pueda transferirse a la parte de alta presión

Lado baja presión

El funcionamiento estable del sistema y de la válvula de expansión del evaporador es fundamental para evitar los retornos de líquido.

Este tipo de problema podrá ser mitigado con:

Control de ciclo de desescarche con sistemas con evaporadores múltiples

Control de capacidad de los compresores de tipo lineal

Recomendable el uso de ventiladores EC en los evaporadores

**El sistema deberá ser diseñado para limitar la tasa de cambio en la temperatura de condensación a no más de 2,5°C/minuto.**

Lado alta presión

Control estable de la presión de condensación:

Control de ciclo de desescarche con evaporadores múltiples

Control de capacidad de los compresores de tipo lineal

Los cambios rápidos en la presión de descarga normalmente son causados por uno o más de los siguientes eventos:

Los ventiladores del condensador y/o las bombas de los condensadores evaporativas funcionan en ON-OFF

La utilización de ventiladores EC con control de velocidad en el condensador de aire o evaporativo pueden garantizar un control más estable de la presión de condensación.

El sistema deberá ser diseñado para limitar la tasa de cambio en la temperatura de condensación a no más de 2,5°C/minuto.



El líquido refrigerante que sale del condensador está típicamente a temperatura y presión de saturación o cerca de ella. Si el líquido no se ha subenfriado antes de que ingrese a la línea de líquido, cualquier caída en la presión y/o cualquier aporte de calor hará que el líquido hierva y se forme un “vapor instantáneo”. Debido al volumen muy grande que ocupa el vapor en comparación con el líquido, el flash gas aumenta la velocidad del refrigerante y provoca una caída de presión excesiva en la línea de líquido. Esto reduce la capacidad e interfiere con el funcionamiento de la válvula de expansión y, en consecuencia, reducirá la capacidad del sistema. Un subenfriamiento adecuado del líquido evitará la formación de gas instantáneo en las líneas de líquido.

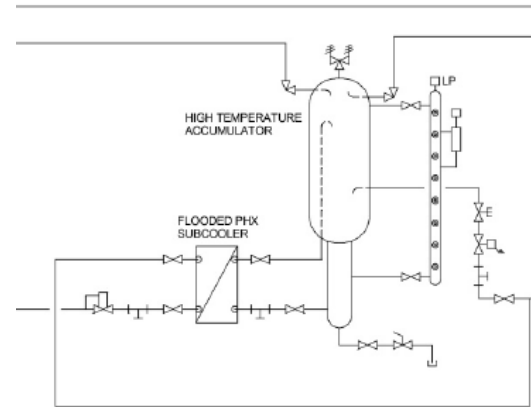
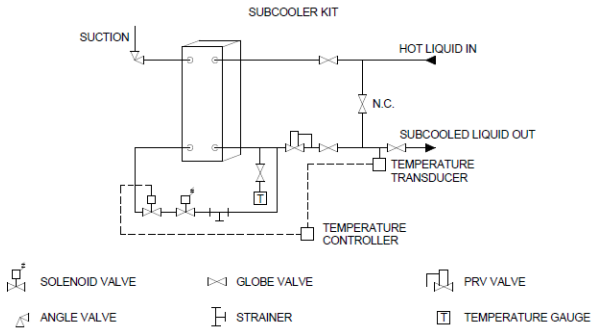
Table 5 shows the pressure drop in liquid lines produced by elevation gain between the receiver and evaporators with ammonia.

TABLE 5

Pressure Drop in Ammonia Liquid Lines Due to Elevation Gain			
Elevation Gain		Pressure Drop	
ft	m	psi	kPa
1	0.3	0.3	1.9
5	1.5	1.4	9.3
10	3.0	2.7	18.7
15	4.6	4.1	28.0
20	6.1	5.4	37.3
25	7.6	6.8	46.7
30	9.1	8.1	56.0
35	10.7	9.5	65.4
40	12.2	10.8	74.7
45	13.7	12.2	84.0
50	15.2	13.5	93.4

# Elemento clave en los sistemas DX R/17

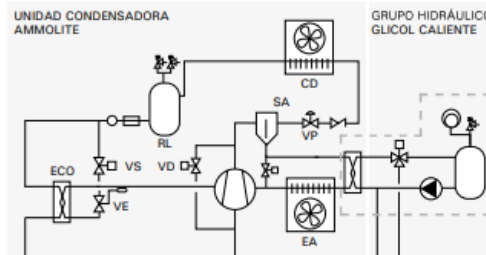
## Sistema de subenfriamiento líquido y separación aspiración



*Colmac DX Ammonia Piping Handbook 4th Ed.; Bruce Nelson;*

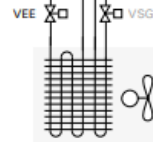
## Sistema subenfriamiento con ECO

Esquema frigorífico

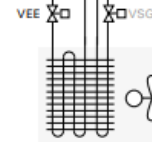


- BCG: BOMBA CIRCULADORA DE GLICOL CALIENTE
- VEE: VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA
- VS: VÁLVULA SOLENOIDE
- EA: ENFRIADOR DE ACEITE
- CD: CONDENSADOR
- VP: VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN
- VD: VÁLVULA DE DESCARGA
- SA: SEPARADOR DE ACEITE
- RL: RECIPIENTE DE LÍQUIDO
- ECO: ECONOMIZADOR

- OPCIONAL
- VSG: VÁLVULA SOLENOIDE DE GLICOL



EVAPORADOR DE EXPANSIÓN DIRECTA



EVAPORADOR DE EXPANSIÓN DIRECTA

Uno de los puntos clave a resolver en los sistemas R717 DX de baja carga es el tema del desescarche:

Como es conveniente el primer punto a tomar en consideración sobre desescarche es el tema de seguridad para las personas y la producción;  
Accidentes en las instalaciones que utilizan R717 son afortunadamente muy escasos en comparación con el elevadísimo número de instalaciones en funcionamiento debido a la calidad de los componentes, la buena práctica de montaje y las leyes y reglamentos de seguridad a respetar.



Una de las causas de accidentes, muy pocas afortunadamente, es la ruptura o formación de grietas en las curvas de los evaporadores en fase de desescarche por gas caliente sobre todo en baja temperatura causada por;

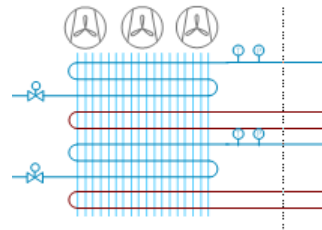
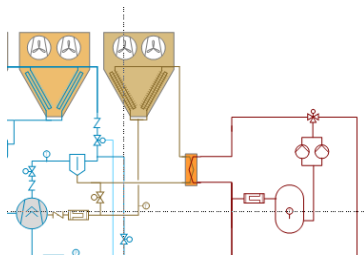
Deformación en la estructura del metal en fase de curvatura;

Stress térmico y de presión. De baja presión y temperatura a alta temperatura y presión;

A parte los relativos problemas de seguridad, en los sistemas R717 DX de baja carga el desescarche por gas caliente genera también problemas de funcionalidad: En el caso de numero limitado de evaporadores , o uno solo, no es posible generar gas caliente por el desescarche, en segundo lugar los desescarche por gas caliente provocan o pueden provocar inestabilidad en el sistema y propiciar **retornos de liquido**;

Existen dos soluciones para eliminar el desescarche por gas caliente:

1. Desescarche por agua en circuito cerrado con la utilización de evaporadores de diseño especial y calentando el agua con el calor de condensación y inclusive recuperando el agua del desescarche para el uso en el condensador .Este sistema es poco usado en España sobretodo en baja temperatura;
2. **La solución propuesta** es la de utilizar baterías con doble circuito, uno para el amoniaco y el otro para glicol caliente, recuperando en la central el calor generado por la condensación y/o por el enfriamiento de aceite;

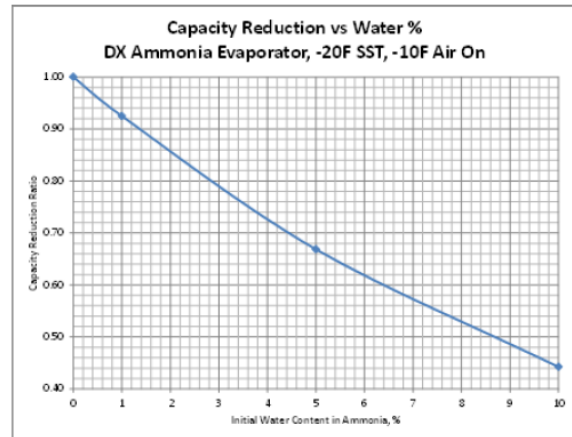
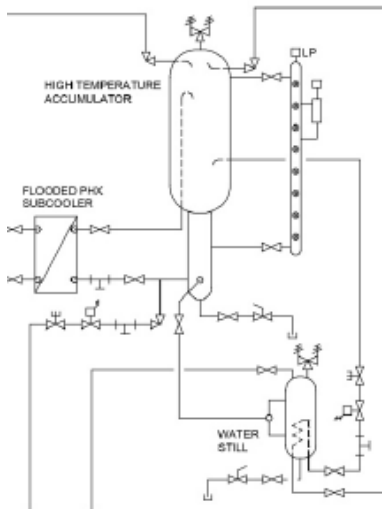


# Elemento clave en los sistemas DX R717

## Control de la presencia de agua en el circuito

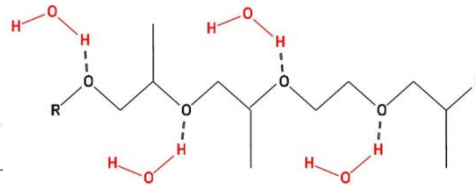
En sistemas de R717 DX de considerables dimensiones es necesario un sistema de destilación de amoniaco así como un purgador de gases incondensables.

Reporto como ejemplos unos valores indicados por Bruce Nelson que para una instalación con 2500 Kg de amoniaco con un contenido másico de agua equivalente al 3% respecto al amoniaco con destilador instalado en la línea de aspiración de  $-28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  estima una extracción de 104 Litros de hidróxido de amonio.



La otra estrategia para el control de humedad en el circuito de R717 es la utilización de aceite PAG (Poly-Alkylene-Glycol) con gran poder higroscópico. Este tipo de aceite, según el proveedor, se suministra con una cantidad de agua entre inferiores a 1000ppm y tiene capacidad de absorber agua hasta 10 veces el contenido inicial sin degradar sus prestaciones como lubricante. Esto se debe a sus moléculas en forma de “clips” que permiten retener importantes cantidades de agua agregándolas a su cadena molecular

Agua adherida a una cadena de PAG.  
Sin reacción química.



→ Hoja de producto



Amoniaco

Denominación:	Amoniaco R717 (NH <sub>3</sub> )	Amoniaco TT (NH <sub>3</sub> )	Amoniaco (NH <sub>3</sub> ) 3.8
Pureza. % vol.:		≥ 99,98	≥ 99,98
Impurezas ppm/v:			
H <sub>2</sub> O	≤ 500	≤ 200	≤ 200
Aceite	≤ 10	≤ 10	≤ 10

99,98%

Según especificación Zerol PAG R-717 52 tiene un contenido de agua inferior a 1000 ppm. Según la experiencia del fabricante este lubricante soporta sin alterar sus propiedades más de 10 veces el contenido de agua máximo de las especificaciones.

**Usemos pues 10.000ppm, es decir 10.000 mg/Kg**

El cálculo quedaría como sigue:

Humedad que ingresa con el refrigerante: **50 kg NH<sub>3</sub> x 0.001 g agua/ kg NH<sub>3</sub> = 50 gramos.**

Humedad que ingresa con el lubricante: 100 kg aceite x 1 g agua/kg aceite = 100 gramos.

**Tenemos entonces un total de 100+50 = 150 g.**

Tomemos 10 veces las especificaciones del lubricante: 10000 ppm = 10 g/kg. Si tenemos 100 kg, sale un umbral máximo de al menos **1000 g de agua. Esto nos deja 850 g** como mínimo que pueden ser absorbidos por el lubricante sin alterar sus propiedades. Estos datos solo dan idea de la magnitud. Los periódicos drenajes de aceite sacaran la humedad del sistema junto con el lubricante garantizando así el correcto

40 funcionamiento del sistema



En los sistemas de R717 DX de baja carga la elección del compresor representa un elemento crítico más allá de su eficiencia, rendimiento, fiabilidad y costes de mantenimiento es deseable que tenga las siguientes particularidades:

Ser hermético a las fugas de refrigerante y a la entrada de aire en condiciones de funcionamiento a baja presión, sobre todo en paradas;

En este apartado los compresores semihermético (Alternativos o de Tornillo) representan la mejor solución para la inexistencia de los problemas de estanqueidad del prensa mecánico.



Para sistema de alta potencia de refrigeración una alternativa pueden ser compresores de tornillo abierto con túnel de conexión entre compresor y motor eléctrico. Este sistema permite reducir los esfuerzos axiales en el prensa mecánico en funcionamiento provocados por dilataciones, vibraciones o errores de alineación del eje motor-compresor y reducir así las fugas de refrigerante y entrada de aire en el sistema.



Hay otros dos aspectos a considerar en la elección del compresor frigorífico:

Posibilidad de funcionar con aceites miscibles PAG (polialquilenglico). Este tipo de aceites permiten:

- Facilitar el retorno de aceite en el sistema
- Capacidad higroscópica;
- Solucionar en gran parte el problema de la separación del aceite. El lubricante circulante se recuperará a través del puerto de aspiración del compresor . Esto ayudará en la operación de los evaporadores de Expansión Directa (DX) simplificando el diseño del circuito de separación de aceite reduciendo a su vez la carga de amoniaco;

Disponer de control de capacidad “analógico”, VSD o similar que permita adecuar su capacidad a las condiciones de funcionamiento sin bruscos saltos en sus sistema de control de capacidad evitando una de las causas de retorno de liquido al compresor.

## Aspectos a considerar

El aumento de los costes del agua (captación y tratamientos) y la reducción de la disponibilidad de agua en muchas áreas hacen que la conservación del agua sea un componente importante de los esfuerzos de sustentabilidad de muchas empresas;

El espada de Damocles del problema de legionelosis sobre salud de las personas y seguridad de producción;

Un análisis de costes de energía y agua realizado en profundidad revela que el resultado a favor de la solución con condensador evaporativo no es descontado y depende de las condiciones termo higrométricas estadísticas del emplazamiento.

El primer punto a tomar en consideración es una seria análisis sobre el coste de ciclo de vida del sistema Condensador Evaporativo vs Condensador por Aire.

La hipótesis parte de la utilización de condensadores por aire con ventiladores EC;

El condensador evaporativo también está dotado de ventiladores EC;

Cuando he tenido que enfrentarme a esto análisis siempre me he encontrado con trabajos a veces de parte y casi siempre superficiales.

Lo que presento son los resultados de un solido trabajo presentado por Doug Scott para el congreso “IIAR Industrial Refrigeration Conference & Exhibition, Orlando, FL “ titulado “Comparing Evaporative and Air-Cooled Condensing in Ammonia and HFC-507 Refrigeration Systems “ En las 40 paginas del trabajo se toma en consideración el siguiente “lay-out”

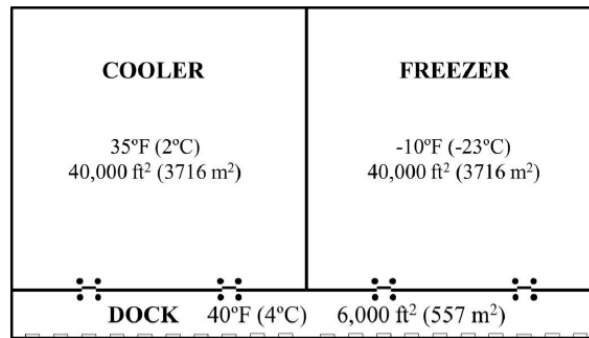


Figure 1. Refrigerated warehouse space layout.

El cálculo de las necesidades térmicas se ha realizado con un programa de cálculo dinámico (*DOE 2.2R Hirsh 2016*) con condiciones termo higrométricas estadísticas anuales que también han servido para definir los varios valores de BS y BH para 11 ciudades de EEUU

City	ASHRAE 0.4% DBT °F (°C)	ASHRAE 0.4% WBT °F (°C)
Dallas, Texas	100 (38)	79 (26)
Chicago, Illinois	92 (33)	78 (26)
Denver, Colorado	94 (34)	65 (18)
Miami, Florida	92 (33)	80 (27)
Salinas, California	83 (28)	65 (18)
Portland, Oregon	92 (33)	71 (22)
Atlanta, Georgia	94 (34)	77 (25)
Charlotte, North Carolina	94 (34)	77 (25)
Fresno, California	104 (40)	74 (23)
Phoenix, Arizona	110 (43)	76 (24)
Minneapolis, Minnesota	91 (33)	77 (25)

Table 1. Study cities and design weather conditions. Source: Data from ASHRAE (2013b).

Tabla consumo de energía eléctrica

	Dallas	Chicago	Denver	Miami	Salinas	Portland	Atlanta	Charlotte	Fresno	Phoenix	Mneapolis
Supply Water, \$/CCF	\$ 2.60	\$ 2.90	\$ 2.70	\$ 1.60	\$ 2.60	\$ 3.90	\$ 3.70	\$ 2.70	\$ 1.10	\$ 4.10	\$ 3.50
Sewer Cost, \$/CCF	\$ 2.80	\$ 2.90	\$ 2.80	\$ 5.30	\$ 1.60	\$10.30	\$15.80	\$ 4.50	\$ 1.20	\$ 2.50	\$ 3.40
Sewer Fraction of Supply	40%	100%	40%	40%	40%	40%	100%	100%	100%	80%	100%
Effective Rate, \$/CCF Supply	\$ 3.70	\$ 5.80	\$ 3.80	\$ 3.70	\$ 3.20	\$ 8.00	\$19.50	\$ 7.20	\$ 2.30	\$ 6.10	\$ 6.90

Table 7. Water and sewer costs.

Tabla consumo de energía eléctrica

NH3 Results	Evaporative Cooled					Air Cooled				Air Cooled Increase (Decrease)	
	Compr (kWh)	Cond Fan (kWh)	Cond Pump (kWh)	Other (kWh)	Total (kWh)	Compr (kWh)	Cond Fan (kWh)	Other (kWh)	Total (kWh)		
Chicago	1,096,160	39,511	36,517	727,782	1,899,970	1,138,850	40,620	727,782	1,907,252	7,282	0.4%
Denver	963,021	32,790	36,513	724,965	1,757,289	1,079,794	38,994	724,965	1,843,753	86,464	4.9%
Portland	1,053,316	49,047	36,518	727,170	1,866,051	1,086,327	42,458	727,170	1,855,955	(10,096)	-0.5%
Dallas	1,364,121	51,412	36,521	736,435	2,188,489	1,460,078	67,651	736,435	2,264,164	75,675	3.5%
Miami	1,653,376	75,158	36,551	744,655	2,509,740	1,782,242	76,781	744,655	2,603,678	93,938	3.7%
Salinas	1,074,840	39,372	36,531	726,428	1,877,171	1,101,877	44,497	726,428	1,872,802	(4,369)	-0.2%
Atlanta	1,252,810	59,983	36,527	732,894	2,082,214	1,320,314	58,969	732,894	2,112,177	29,963	1.4%
Charlotte	1,219,920	56,428	36,524	732,095	2,044,967	1,277,854	54,370	732,095	2,064,319	19,352	0.9%
Fresno	1,185,728	41,541	36,528	735,220	1,999,017	1,342,724	54,950	735,220	2,132,894	133,877	6.7%
Phoenix	1,270,333	63,045	36,525	742,382	2,112,285	1,628,862	68,838	742,382	2,440,082	327,797	15.5%
Mneapolis	1,051,725	35,104	36,519	726,970	1,850,318	1,044,638	35,127	726,970	1,806,735	(43,583)	-2.4%
									Average:	65,118	3.1%

# Elemento clave en los sistemas DX R717 d baja carga

## Condensación por aire con condensadores con Microchannel en aluminio y ventiladores EC

### Evap- and air-cooled operating costs for ammonia systems.

NH3 Results	Evaporative Cooled					Air Cooled		
	Energy Cost (\$)	Demand Cost(\$)	Total Energy Cost (\$)	Water Costs	Total Energy and Water Costs	Energy Cost (\$)	Demand Cost(\$)	Total Energy Cost (\$)
Chicago	\$ 139,458	\$ 55,474	\$ 194,932	\$ 26,410	\$ 221,342	\$ 139,992	\$ 59,554	\$ 199,546
Denver	\$ 95,610	\$ 52,612	\$ 148,222	\$ 19,270	\$ 167,492	\$ 101,985	\$ 62,456	\$ 164,441
Portland	\$ 113,738	\$ 30,821	\$ 144,559	\$ 34,354	\$ 178,913	\$ 113,284	\$ 33,169	\$ 146,453
Dallas	\$ 166,763	\$ 15,116	\$ 181,879	\$ 21,625	\$ 203,504	\$ 172,529	\$ 17,116	\$ 189,645
Miami	\$ 143,800	\$ 86,266	\$ 230,066	\$ 23,327	\$ 253,393	\$ 149,091	\$ 92,566	\$ 241,657
Salinas	\$ 172,560	\$ 118,986	\$ 291,546	\$ 18,223	\$ 309,769	\$ 172,679	\$ 132,766	\$ 305,445
Atlanta	\$ 212,969	\$ 49,232	\$ 262,201	\$ 79,245	\$ 341,446	\$ 215,292	\$ 53,870	\$ 269,162
Charlotte	\$ 84,574	\$ 66,796	\$ 151,370	\$ 33,384	\$ 184,754	\$ 85,728	\$ 72,860	\$ 158,588
Fresno	\$ 184,396	\$ 126,041	\$ 310,437	\$ 12,836	\$ 323,273	\$ 199,430	\$ 155,786	\$ 355,216
Phoenix	\$ 146,889	\$ 26,199	\$ 173,088	\$ 30,922	\$ 204,010	\$ 174,873	\$ 33,988	\$ 208,861
Minneapolis	\$ 79,456	\$ 58,832	\$ 138,288	\$ 29,471	\$ 167,759	\$ 77,761	\$ 61,770	\$ 139,531

	Total KW	US\$
Chicago	1.138.850	194.932
Denver	1.079.794	148.222
Portland	1.086.327	144.559
Dallas	1.460.078	181.879
Miami	1.782.242	230.066
Salinas	1.101.877	291.546
Atlanta	1.320.314	262.201
Charlotte	1.277.854	151.370
Fresno	1.342.724	310.437
Phoenix	1.628.862	173.088
Minneapolis	1.044.638	138.288
	14.263.560	2.226.588
Coste US\$/KW		0,16

NH3 Results	Air Cooled Increase (Decrease)			
	Electric Only (\$)	Electric Only (%)	with Water Cost (\$)	with Water Cost (%)
Chicago	\$ 4,614	2.4%	\$ (21,796)	-9.8%
Denver	\$ 16,219	10.9%	\$ (3,051)	-1.8%
Portland	\$ 1,894	1.3%	\$ (32,460)	-18.1%
Dallas	\$ 7,766	4.3%	\$ (13,859)	-6.8%
Miami	\$ 11,591	5.0%	\$ (11,736)	-4.6%
Salinas	\$ 13,899	4.8%	\$ (4,324)	-1.4%
Atlanta	\$ 6,961	2.7%	\$ (72,284)	-21.2%
Charlotte	\$ 7,218	4.8%	\$ (26,166)	-14.2%
Fresno	\$ 44,779	14.4%	\$ 31,943	9.9%
Phoenix	\$ 35,773	20.7%	\$ 4,851	2.4%
Minneapolis	\$ 1,243	0.9%	\$ (28,228)	-16.8%
Average:	13,814	6.6%	(16,101)	-7.5%

Los datos presentados son una indicación bastante fehaciente de que no siempre es cierto que la solución con condensador evaporativo presente las mejores prestaciones en términos de LCC versus condensación con aire;

Considerar además que en las zonas donde las diferencias entre BS y BH es importante normalmente hay una acuciante falta de disponibilidad de agua normalmente asociada a altos precios de la misma;

La utilización de compresores de tornillos además permite al sistema funcionar con temperatura exteriores extremadamente altas (45-47°C);

La adopción de condensador por aire ofrece la posibilidad de realizar sistemas moto-condensantes monoblock prefabricados y probados en fabrica con un concepto de "plug&play";



Reducción de la carga de refrigerante con condensadores por aire Si consideramos la diferencia de volumen específico entre condensador evaporativo y microchennel 1,43l/KW-0,3l/KW y una potencia de 500 KW la diferencia de volúmenes será de  $1,13 * 500 = 595$  l. Con un coeficiente vapor/liquido de 0,8 y una densidad de R717 de  $600 \text{ kg/m}^3$  la diferencia de carga será de 71 kg, aproximadamente equivalente a una mayor carga de refrigerante de 0,14Kgh/kW.

Otra ventaja de disponer de un sistema motocondensante premontado es el ahorro por parte del cliente final del costo de la estructura muchas veces necesaria para posicionar el condensador evaporativo.

Como se puede apreciar la solución DX permite una reducción considerable de la pérdida de carga en la tubería de líquido y aspiración, sobre todo en los montantes verticales que redundan en un mejor C.O.P. en la instalación

Aplicación de baja temperatura  
 Potencia frigorífica: 100kW  
 Temperatura de evaporación: -35°C

	Amoniaco Bombeado (Tasa de recirculación = 3)			Amoniaco Low-overfeed (Tasa de recirculación = 1)			Amoniaco DX (Líquido subenfriado a 0°C, sh=5K)		
	65	80	100	65	80	100	65	80	100
<b>ASPIRACION DN</b>	65	80	100	65	80	100	65	80	100
Velocidad del fluido [m/s]	22.9	16.6	9.9	22.8	16.6	9.8	26.1	19.0	11.3
Pérdida de carga [K/m]									
- Montante Vertical	0.11	0.09	0.10	0.037	0.028	0.030	0.018	0.009	0.004
- Tramo horizontal	0.045	0.021	0.006	0.023	0.011	0.003	0.016	0.007	0.002
<b>LIQUIDO DN</b>	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Velocidad del fluido	2.56	1.46	0.82	1.02	0.58	0.33	1.02	0.58	0.33
Pérdida de carga	0.47	0.10	0.023	0.074	0.018	0.004	0.023	0.005	0.001

Existe un amplio potencial mercado para este sistema de refrigeración, la literatura y la experiencia han demostrado la viabilidad de los sistemas de R717 con DX de baja carga.

Los “case studies” aportados demuestran la eficacia y la economía del sistema en un amplio espectro de potencias frigoríficas.

Yo prefiero centrarme en instalaciones de tamaño unitario más limitados, con circuitos relativamente cortos y donde no haya que recurrir a grandes separadores de aspiración y se pueda aprovechar al máximo la posibilidad de prefabricación y gracias al potencial higroscópico del aceite PAG evitar la instalación de sistemas de destilación de agua.



En este espectro de capacidades, por la simplicidad de instalación, los sistemas R717 DX constituyen un punto de unión entre la refrigeración industrial y ligera (Comercial) y una alternativa real a sistemas con refrigerantes HFC y HFO ofreciendo a instaladores y a los cliente finales un sistema de altas prestaciones que deje atrás el incierto futuro de la mayor parte de los gases halogenados y los impuestos correspondientes.

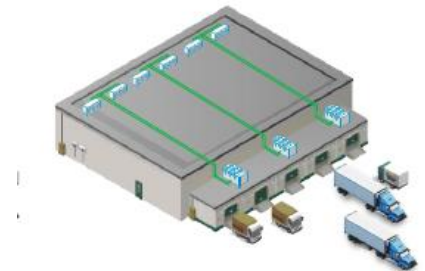
Esta solución permite una configuración tipo kit con una unidad motocondensante pre-montada y probada en fabrica con:

- ✓ Condensación por aire con microchannel;
- ✓ 1 o 2 compresores preferiblemente de tipo tornillo semiherméticos para soportar altas relación de compresión a y altas presiones de condensación y con eco para aumentar la eficiencia y subenfriar el liquido
- ✓ Recuperador de calor y grupo hidráulico para permitir el desescarche por gas caliente de los evaporadores

En caso de complejos frigoríficos de gran porte la solución con R717 DX de baja carga y módulos distribuidos es un excelente alternativa a instalaciones de amoniaco convencional con contenidos de amoniaco que puede supera las 20 toneladas. distribuidas

Considero que se consiguen las siguientes ventajas ;

- ✓ Rapidez de instalación y puesta en marcha (Centrales prefabricadas)
- ✓ Circuitos mas cortos y sencillos;
- ✓ Limita las fugas en caso de accidente;
- ✓ El fallo de un sistema permite una rápida reacción y mitiga las consecuencia;
- ✓ Ahorra el coste de una costosa de sala de maquina;
- ✓ Estas centrales prefabricada podrán ser instaladas en patios, marquesinas y tejados al exterior ahorrando los costes relativos a la construcción de salas de maquina



Especial mención a mi amigo mexicano Gabriel Gutierrez, gerente de venta de Colmac Coil Manufacturing inc. por su ayuda y material suministrado y la su autorización a utilizarlo y a Manuel Muñoz (Shrieve) por su lección magistral sobre aceites PAG

## Bibliografía:

- Frank Kreith – Principi di trasmissione del calore – Liguori Editore
- Reduciendo la Carga de Amoniacó IIAR 2014; Nelson Bruce-Gabriel Gutierrez;
- Diseñando Evaporadores Amoniacó DX Baja Temperatura; Nelson Bruce-Gabriel Gutierrez;
- Colmac DX Ammonia Piping Handbook 4th Ed.; Bruce Nelson;
- ADX Casos de Estudio Versión Español; Case Studies;
- Ammonia-guide-smars-2016\_copy-0023\_Stephen-Crocker;
- Proceedings Ohrid-2021:
  - The future of low charge NH3 refrigerant plants, Stefan Jensen.
  - Low charge ammonia systems design as direct expansion, Michael Elstrom.
- Blog de WordPress.com Unidad 6 flujo de dos fases
- Doug Scott congreso “IIAR Industrial Refrigeration Conference & Exhibition, Orlando, FL “Comparing Evaporative and Air-Cooled Condensing in Ammonia and HFC-507 Refrigeration Systems “