



# Tendencias de la Refrigeración con Amoníaco.

## Sistemas de baja carga de amoníaco.

Uso efectivo del amoníaco como refrigerante

Consideraciones para el diseño.

Presentado por:

**José Luis Moreno San Juan**

Santo Domingo de Guzmán

Sede Central INFOTEP

14 de agosto 2024



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

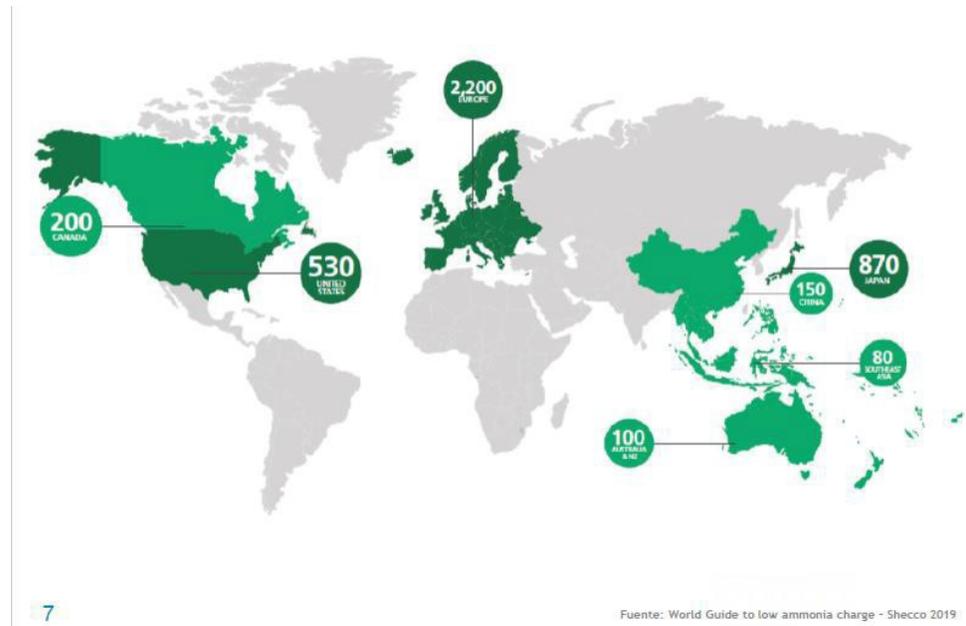


Tabla 1



## 1. FICHA TÉCNICA DEL AMONIACO

Nombre químico : **Amoníaco**  
 Nombre común : **Amoníaco anhidro**  
 Fórmula : **NH<sub>3</sub>**  
 Peso Molecular : **17,03**  
 Calidad Comercial : **99,5 % de NH<sub>3</sub>**  
 Calidad para refrigeración: **99,95 % de NH<sub>3</sub>**

Estado Físico	Líquido	Gaseoso
Límites de explosividad (% en volumen de aire) LEL/HEL	-	16/25
Temperatura de autoignición	-	651°C
Punto de Fusión	-77,75 °C	-
Punto de ebullición	-33,35 °C	-
Densidad (kg/l a 15,6°C)	0,6107	-
Densidad (kg/l a -33,35°C y 1 Atm)	0,6819	-
Densidad de vapor (aire = 1)(0°C y 1 Atm)	-	0,697
Presión de vapor absoluta	4,4 bar a 0°C 8,7 bar a 20°C 20,7 bar a 50°C	-
Calor de vaporización	357 Kcal/kg	-
Olor	Pungente	Pungente
Color	Incoloro	Incoloro
Sensibilidad a la luz	No	No
Afinidad por el agua	Sí	Sí
Corrosividad	Corrosivo para el cobre y sus aleaciones y superficies galvanizadas	

# Tabla termodinámica del amoníaco saturado.



SI-1: Amoníaco saturado, tabla de temperatura

Saturation temperature table (PC model) of ammonia (NH<sub>3</sub>)

Temp. °C	Sat. Press. kPa	Spec. Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/kg-K	
		Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor
<i>T</i>	<i>P<sub>sat@T</sub></i>	<i>v<sub>f</sub></i>	<i>v<sub>g</sub></i>	<i>u<sub>f</sub></i>	<i>u<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>f</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>s<sub>f</sub></i>	<i>s<sub>g</sub></i>
-50	40.9	0.001424	2.627	-43.82	1265.2	-43.76	1372.6	-0.1916	6.1554
-45	54.5	0.001437	2.00632	-22.01	1271.4	-21.94	1380.8	-0.095	6.0534
-40	71.7	0.00145	1.55256	-0.1	1277.4	0	1388.8	0	5.9567
-35	93.2	0.001463	1.21613	21.93	1283.3	22.06	1396.5	0.0935	5.865
-30	119.5	0.001476	0.96339	44.08	1288.9	44.26	1404	0.1856	5.7778
-25	151.6	0.00149	0.77119	66.36	1294.3	66.58	1411.2	0.2763	5.6947
-20	190.2	0.001504	0.62334	88.76	1299.5	89.05	1418	0.3657	5.6155
-15	236.3	0.001519	0.50838	111.3	1304.5	111.66	1424.6	0.4538	5.5397
-10	290.9	0.001534	0.41808	133.96	1309.2	134.41	1430.8	0.5408	5.4673
-5	354.9	0.00155	0.34648	156.76	1313.7	157.31	1436.7	0.6266	5.3977
0	429.6	0.001566	0.2892	179.69	1318	180.36	1442.2	0.7114	5.3309
5	515.9	0.001583	0.24299	202.77	1322	203.58	1447.3	0.7951	5.2666
10	615.2	0.0016	0.20541	225.99	1325.7	226.97	1452	0.8779	5.2045
15	728.6	0.001619	0.17462	249.36	1329.1	250.54	1456.3	0.9598	5.1444
20	857.5	0.001638	0.14922	272.89	1332.2	274.3	1460.2	1.0408	5.086
25	1003.2	0.001658	0.12813	296.59	1335	298.25	1463.5	1.121	5.0293
30	1167	0.00168	0.11049	320.46	1337.4	322.42	1466.3	1.2005	4.9738
35	1350.4	0.001702	0.09567	344.5	1339.4	346.8	1468.6	1.2792	4.9196
40	1554.9	0.001725	0.08313	368.74	1341	371.43	1470.2	1.3574	4.8662
45	1782	0.00175	0.07248	393.19	1342.1	396.31	1471.2	1.435	4.8136
50	2033.1	0.001777	0.06337	417.87	1342.7	421.48	1471.5	1.5121	4.7614
55	2310.1	0.001804	0.05555	442.79	1342.7	446.96	1471	1.5888	4.7095
60	2614.4	0.001834	0.0488	467.99	1342.1	472.79	1469.7	1.6652	4.6577
65	2947.8	0.001866	0.04296	493.51	1340.9	499.01	1467.5	1.7415	4.6057
70	3312	0.0019	0.03787	519.39	1338.9	525.69	1464.4	1.8178	4.5533
75	3709	0.001937	0.03341	545.7	1336.1	552.88	1460.1	1.8943	4.5001
80	4140.5	0.001978	0.02951	572.5	1332.4	580.69	1454.6	1.9712	4.4458
85	4608.6	0.002022	0.02606	599.9	1327.7	609.21	1447.8	2.0488	4.3901
90	5115.3	0.002071	0.023	627.99	1321.7	638.59	1439.4	2.1273	4.3325
95	5662.9	0.002126	0.02028	656.95	1314.4	668.99	1429.2	2.2073	4.2723
100	6253.7	0.002188	0.01784	686.96	1305.3	700.64	1416.9	2.2893	4.2088
105	6890.4	0.002261	0.01564	718.3	1294.2	733.87	1402	2.374	4.1407
110	7575.7	0.002347	0.01363	751.37	1280.5	769.15	1383.7	2.4625	4.0665
115	8313.3	0.002452	0.01178	786.82	1263.1	807.21	1361	2.5566	3.9833
120	9107.2	0.002589	0.01003	825.77	1240.3	849.36	1331.7	2.6593	3.8861
125	9963.5	0.002783	0.00833	870.69	1208.4	898.42	1291.4	2.7775	3.7645
130	10891.6	0.003122	0.00649	929.29	1156.2	963.29	1227	2.9326	3.5866
132.3	11333.2	0.004255	0.00426	1037.62	1037.6	1085.85	1085.9	3.2316	3.2316

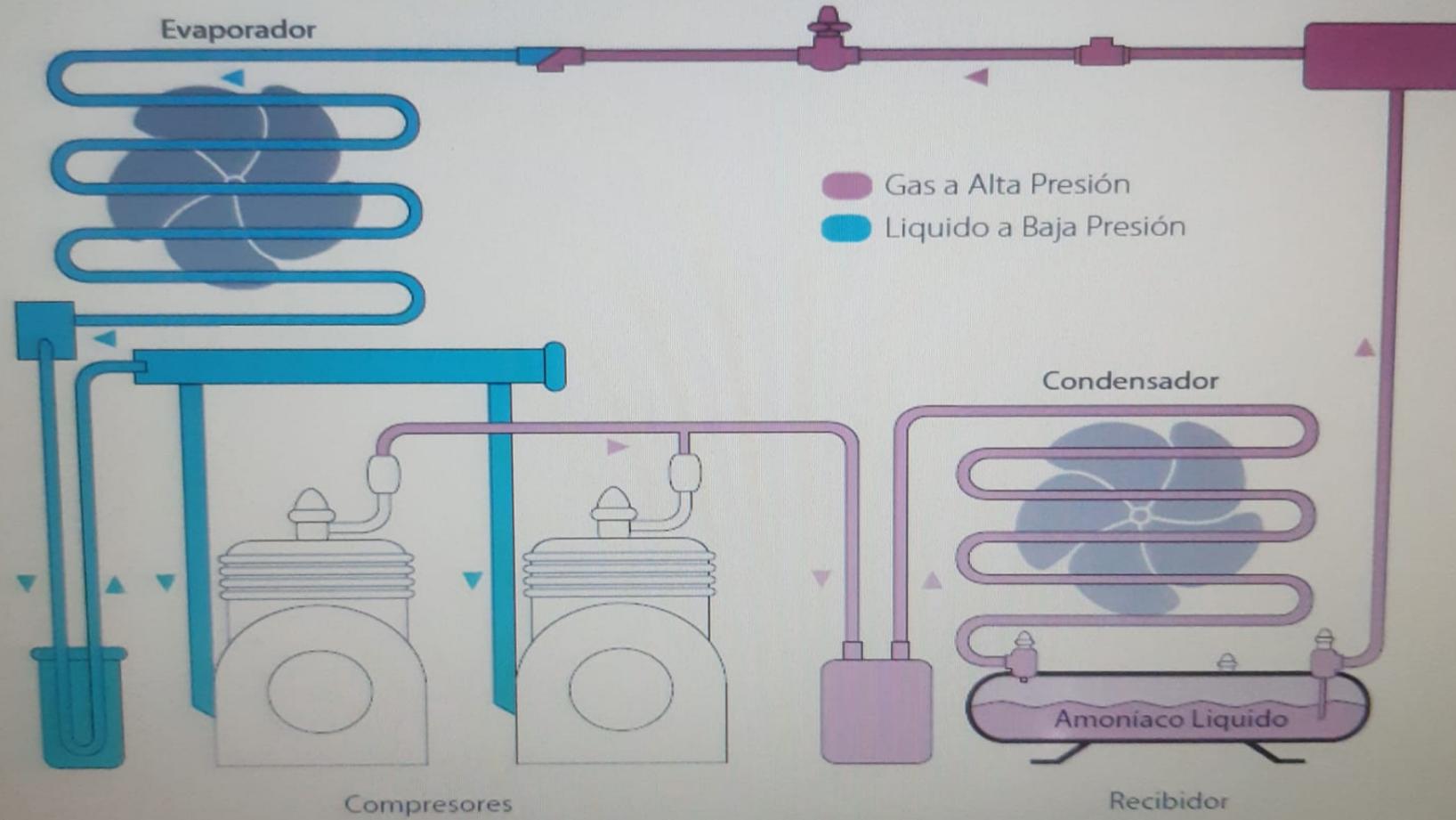
## Peligro del amoníaco en caso de fugas.



Respuesta del Organismo	Concentración de amoníaco (ppm)
Olor mínimo perceptible	5 ppm
Olor fácilmente detectable	20 - 50 ppm
No molesta o daña la salud por exposición prolongada	50 - 100 ppm
Molestia General y lagrimeo de ojos. Efectos no perdurables en exposiciones cortas.	150 - 200 ppm
Severa irritación de ojos, nariz y garganta. Efectos perdurables en cortas exposiciones.	400 - 700 ppm
Fuerte tos y espasmos bronquiales. Peligro, menos de media hora de exposición.	1700 ppm
Puede ser fatal.	2000 - 3000 ppm
Serios edemas, estrangulamiento, asfixia y muerte rápida.	5000 - 10000 ppm
Muerte inmediata	Sobre 10000 ppm



## Esquema simplificado de un Sistema de Refrigeración con Amoníaco

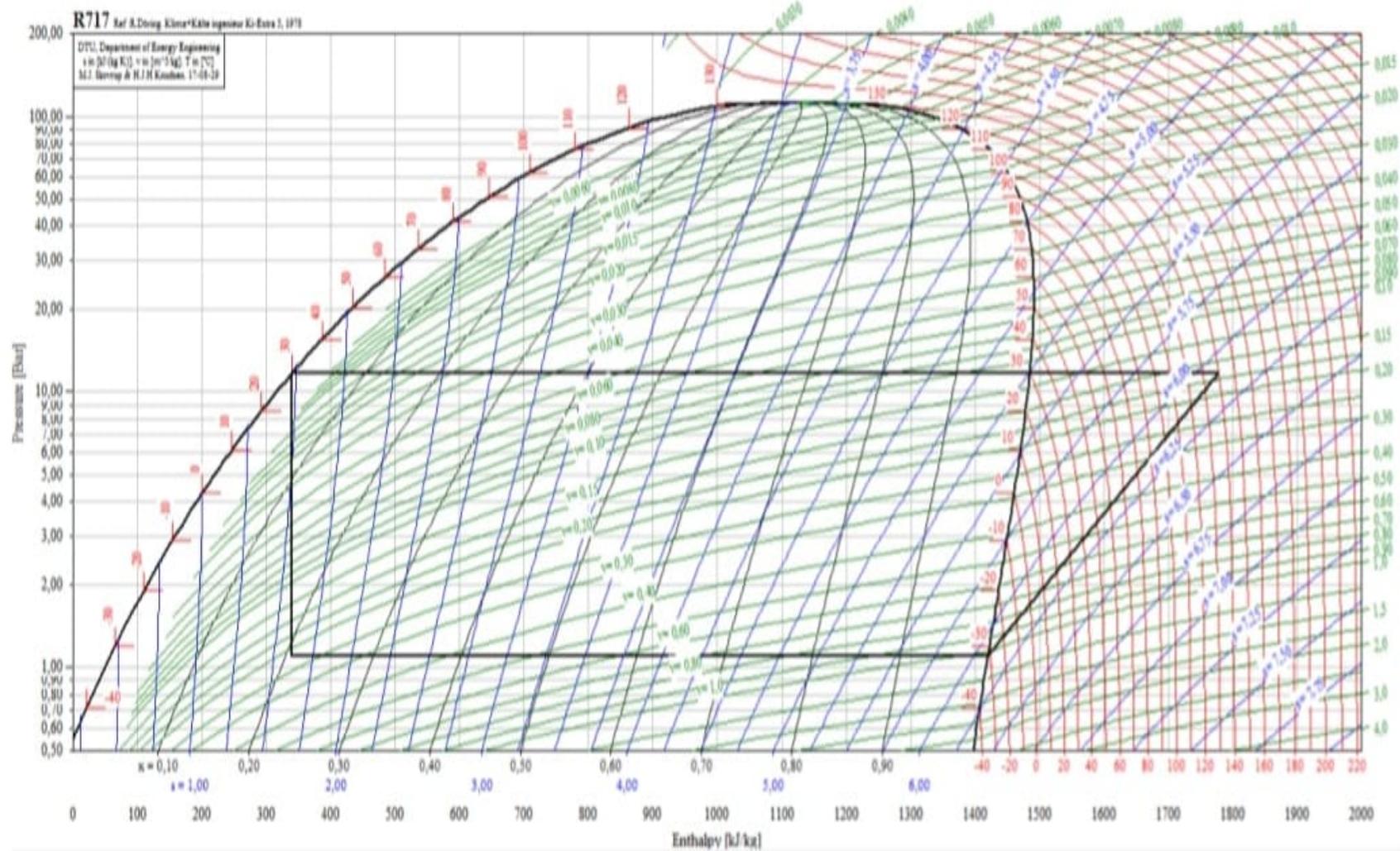


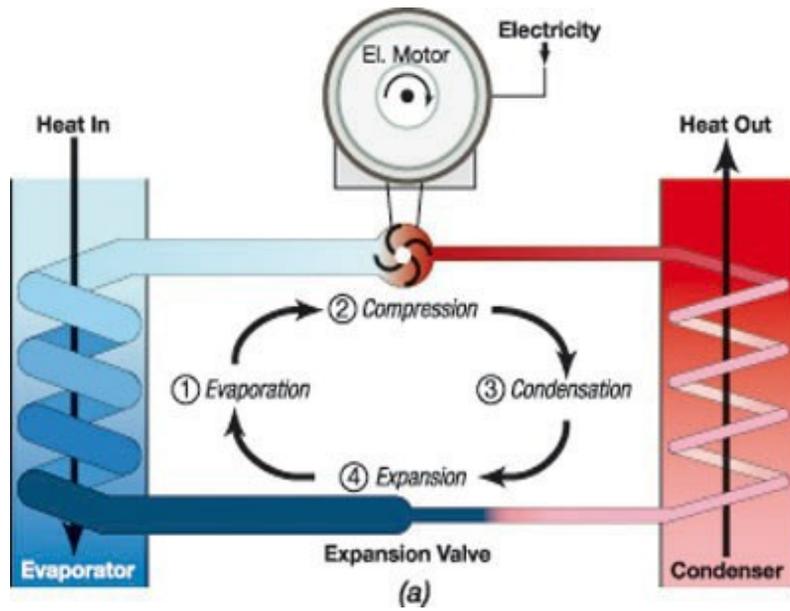


## DIAGRAMA DE MOLLIER: PRÁCTICO

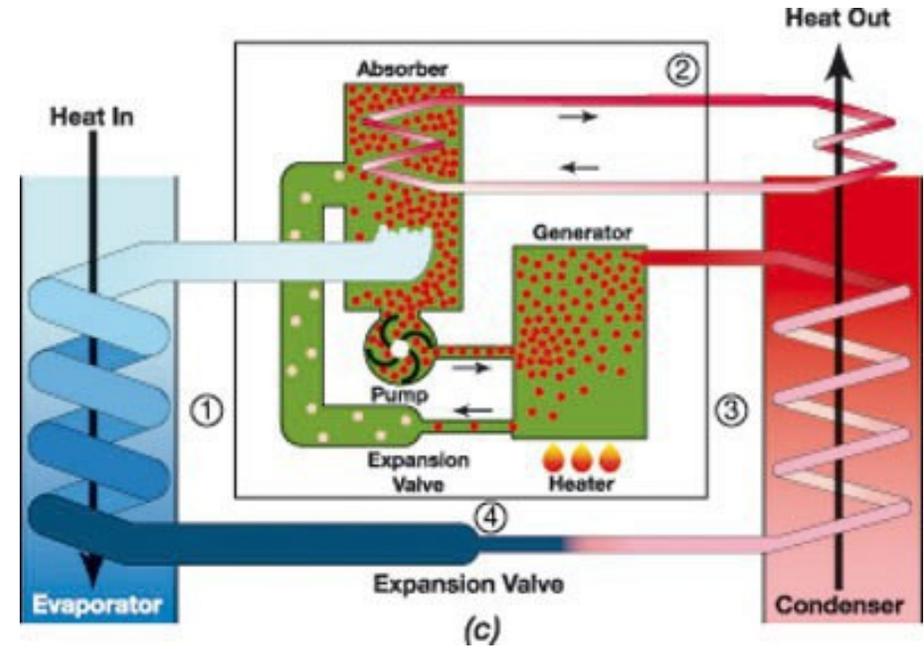


# Diagrama de Mollier Amoniaco con proceso típico del ciclo termodinámico:



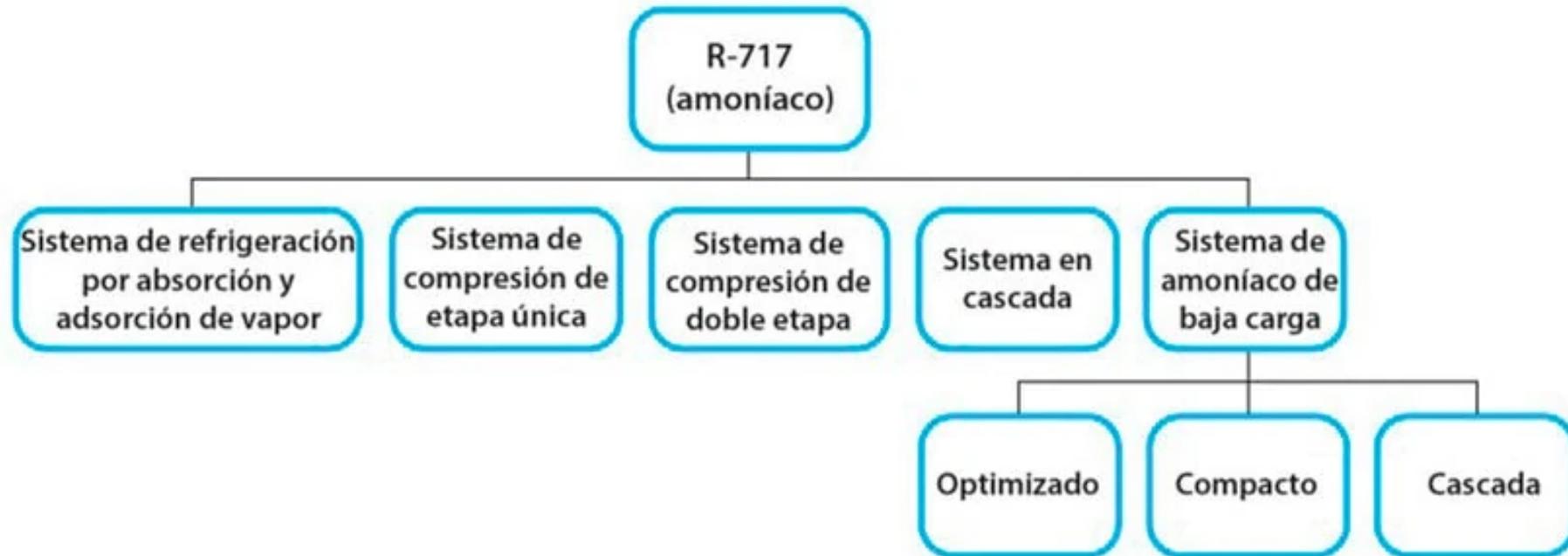


Sistema de refrigeración por compresión

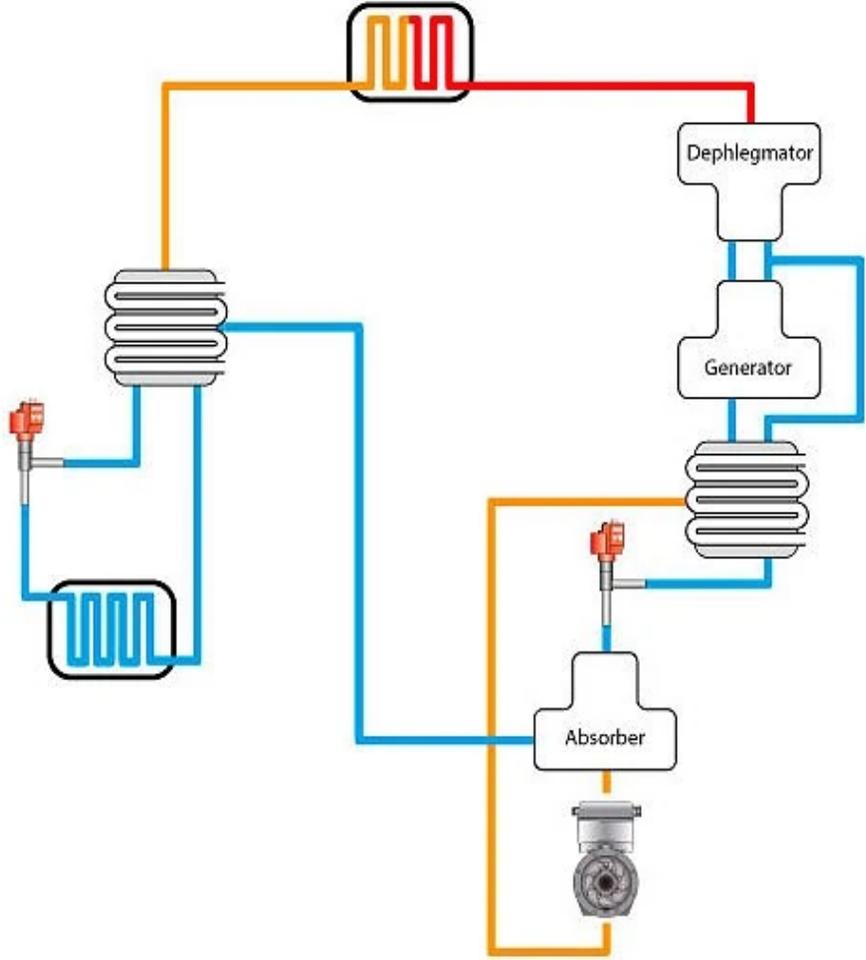


Sistema de refrigeración por absorción.

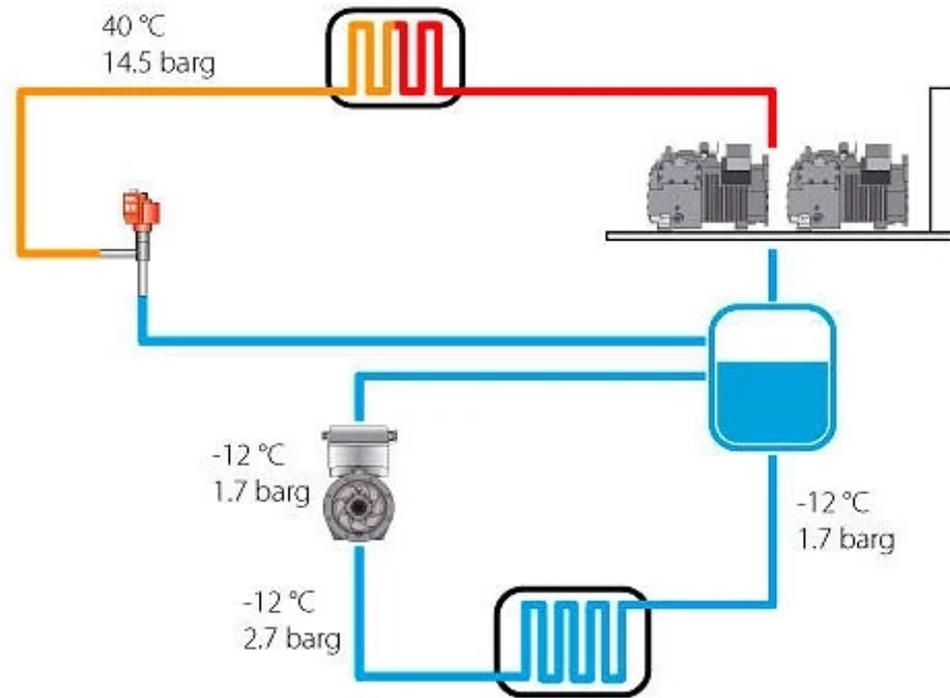
# Evolución de las tecnologías de refrigeración con amoníaco:



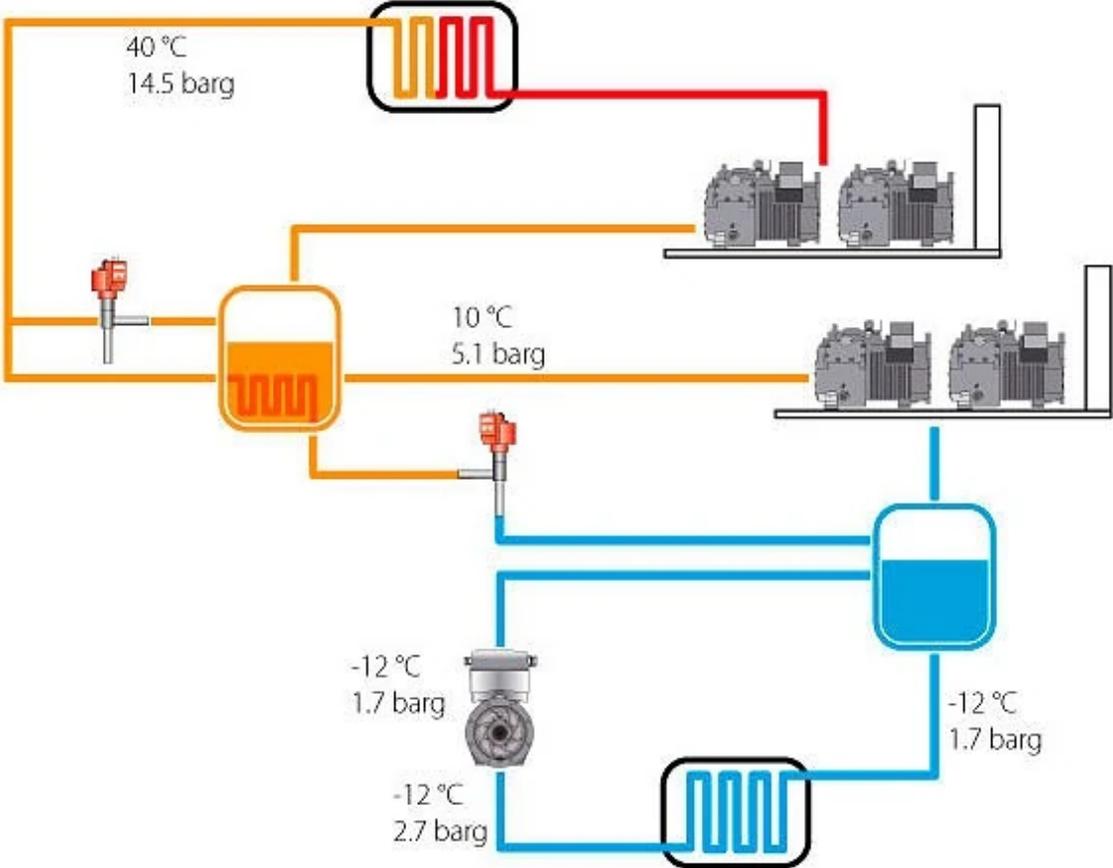
Sistema refrigeración por absorción y adsorción de vapor.



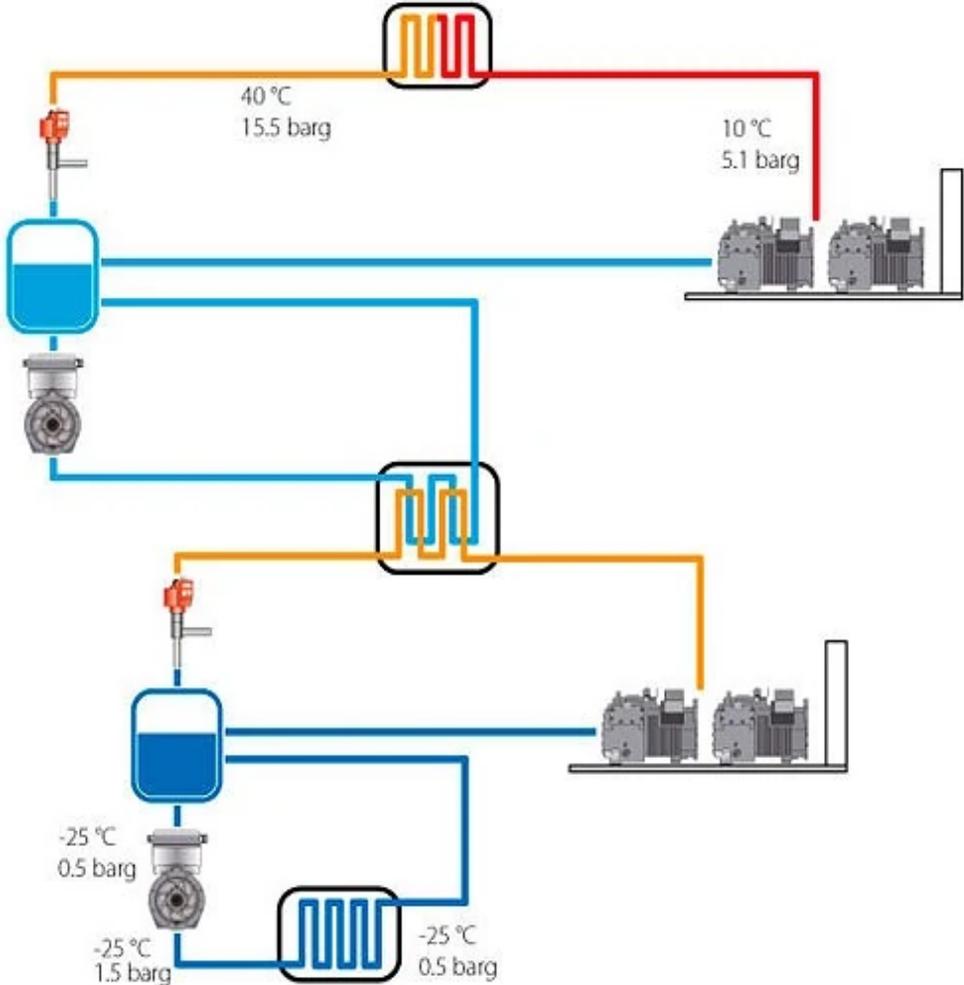
## Sistema de compresión de etapa única.



# Sistema de compresión de doble etapa.



# Sistema en cascada.





## **Sistemas de amoniaco de baja carga:**

### **Sistema optimizado**

Este sistema consta de un sistema de refrigeración industrial tradicional, optimizado con componentes de baja carga, tales como evaporadores, controles, intercambiadores de calor, compresores y condensadores que han sido diseñados específicamente. Un sistema optimizado de baja carga diseñado correctamente utiliza menos de 2.7 kg. de amoníaco (de 0.06 kg/kW a 1.3 kg/kW) y, por lo tanto, utiliza menos recipientes, acepta diámetros de tuberías inferiores y no utiliza bombas. Sin embargo, sigue necesitando un cuarto técnico.

### **Sistema compacto**

El sistema compacto de amoníaco elimina las enormes cantidades de existencias de amoníaco y tuberías al mudarse a sistemas autónomos más pequeños, que se colocan frecuentemente en el exterior de la cubierta/suelo, evitando cualquier peligro derivado de las fugas. Estos sistemas autónomos tienen una carga de amoníaco de alrededor de 0.6 kg/kW, y combinan frecuentemente el compresor, el sistema de válvulas del evaporador y los sistemas de control en un sistema compacto portátil de fácil instalación.

### **Sistema en cascada**

La idea principal es aislar la carga de amoníaco, que por lo general es de entre 0.5 y 0.8 kg/kW, en el cuarto técnico, y utilizar CO<sub>2</sub> como refrigerante secundario que se puede bombear a las cámaras frigoríficas del edificio. El sistema puede requerir equipos adicionales para bombear el CO<sub>2</sub>, junto con compresores extra y otros componentes para el lado de CO<sub>2</sub>.

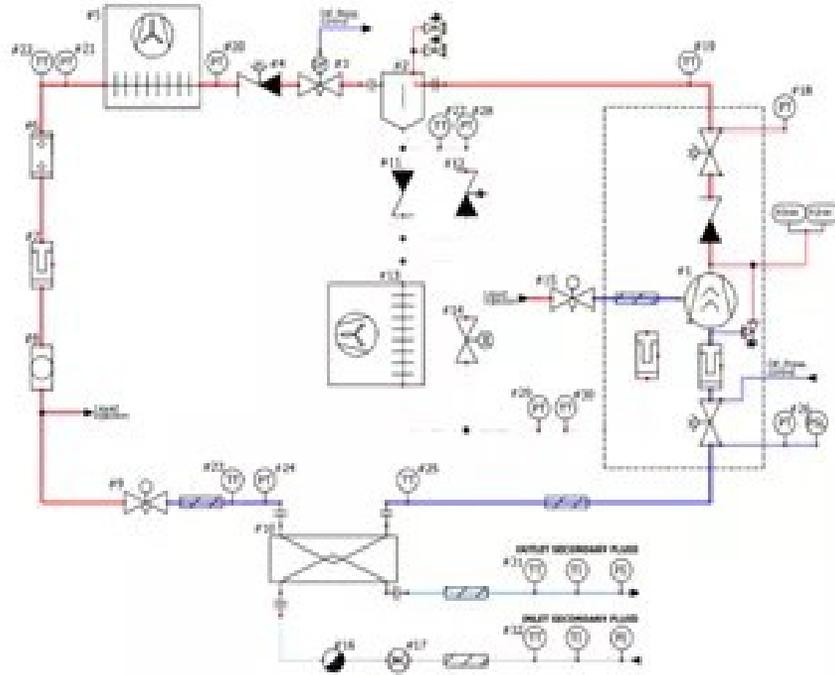


Tipos de sistemas con R717	Carga específica R717
Sistemas convencionales de bombeo.	~ 2.5 - 4 kg/kW
Sistemas de bombeo de baja sobrealimentación.	~ 1.5 kg/kW
Sistemas R717 DX centralizados.	~ 1 kg/kW
Sistemas Cascade R717.	~ 0.6 kg/kW
Sistemas DX distribuidos.	~ 0.3 kg/kW
Sistemas secundarios	~ 0.07 kg/kW

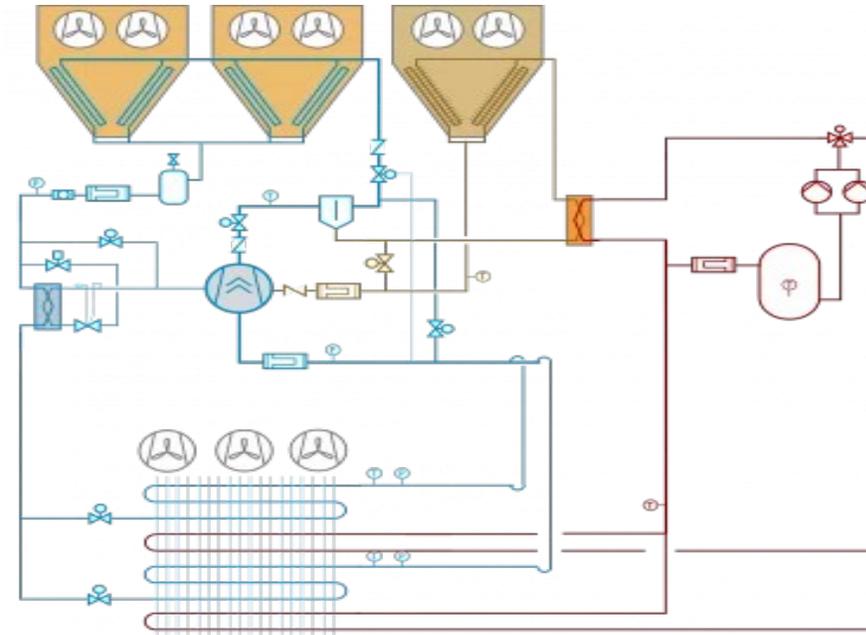
*Carga específica de amoníaco en diferentes sistemas*



Esquema para un chiller



Esquema para DX





## Coeficiente de Rendimiento Equipos de Refrigeración COP ó EER:

Este coeficiente, conocido también como de operación, mide el rendimiento energético de los equipos de refrigeración. Sus unidades son kWt/kWe ó BTU/Wh, para convertir de la primera a la segunda se multiplica por 3.412. Se suele medir el rendimiento a máxima capacidad y a cargas parciales. El comportamiento real del equipo en operación lo define mejor el rendimiento a cargas parciales, a ese este último se denomina estacional, en ese caso se especifica SCOP ó SEER. Aunque la norma puede variar por lo general se determina el rendimiento del equipo al 100%, 75%, 50% y 25% de su capacidad, asumiendo un % tiempo de uso a cada una de esas capacidades y las temperaturas ambientales para cada condición. (COP=Calor removido en el evaporador/ Consumo de energía en el compresor)

El problema de este indicador de rendimiento radica en estas últimas asunciones al determinar el rendimiento estacional. Esto va a variar con las condiciones climáticas del lugar de uso del equipo por la manera en que se estima el valor del rendimiento estacional.

El SCOP ó SEER se determina así:  $SEER = EER_{100}(\%a100) + EER_{75}(\%a75) + EER_{50}(\%a50) + EER_{25}(\%a25)$

En Estados Unidos el SEER se determina asumiendo que el equipo opera al 100% el 1% del tiempo; al 75% el 42% del tiempo; al 50% el 45% del tiempo y a un 25% el 12% del tiempo. Sin embargo en República Dominicana la situación es diferente. De acuerdo a estudios realizados por el IEUASD para las condiciones del país el equipo opera al 100% el 16% del tiempo; al 75% el 45% del tiempo; al 50% el 32% del tiempo y al 25% el 7% del tiempo.



## Coeficiente de Rendimiento Equipos de Refrigeración COP ó EER:

Para los mismos rendimientos a cargas parciales, supongamos que un equipo a plena capacidad (100%) tiene un EER de 16BTU/Wh; al 75% tiene un EER de 19.81BTU/Wh; al 50% tiene un EER de 22.54 BTU/Wh y a 25% un EER de 24.30BTU/Wh.

El Redimiento Estacional se estimaría así en Estados Unidos:

$$\text{SEER}=16(0.01)+19.81(0.42)+22.54(0.45)+24.30(0.12)= 21.54 \text{ BTU/Wh}$$

$$\text{SCOP}=\text{SEER}/3.412= 6.313 \text{ Wt/We}$$

Sin tomar en cuenta cambios del rendimiento por temperatura ambiente de ese equipo, es decir que los rendimientos a cargas parciales se mantengan iguales, estaría teniendo un rendimiento estacional para la RD de:

$$\text{SEERdo}= 16(0.16)+19.81(0.45)+22.54(0.32)+24.30(0.07)= 20.38 \text{ BTU/Wh}$$

$$\text{SCOPdo}=\text{SEERdo}/3.412=5.973 \text{ Wt/We}$$

Esto quiere decir que el SEERdo de ese equipo es un 5.39% menor que al esperado en Estados Unidos. Si se considera la curva de operación en función de la temperatura del equipo suministrada por el fabricante, la diferencia es mayor. Este siempre es un tema en discusión a la hora de evaluar el rendimiento energético de los equipos de refrigeración en la República Dominicana, pues la variación del redimiento suele ser del orden del 8 al 10% al considerar también variación del rendimiento por las temperaturas.

## Coeficiente de Rendimiento Equipos de Refrigeración COP ó EER:



Estos son los rendimientos usuales y clasificación de los equipos de refrigeración y bombas de calor:

Etiqueta	Rendimiento en Refrigeración	Rendimiento en Calefacción
A+++	$SEER \geq 8,50$	$SCOP \geq 5,10$
A++	$6,10 \leq SEER < 8,50$	$4,60 \leq SCOP < 5,10$
A+	$5,60 \leq SEER < 6,10$	$4,00 \leq SCOP < 4,60$
A	$5,10 \leq SEER < 5,60$	$3,40 \leq SCOP < 4,00$
B	$4,60 \leq SEER < 5,10$	$3,10 \leq SCOP < 3,40$
C	$4,10 \leq SEER < 4,60$	$2,80 \leq SCOP < 3,10$
D	$3,60 \leq SEER < 4,10$	$2,50 \leq SCOP < 2,80$
E	$3,10 \leq SEER < 3,60$	$2,20 \leq SCOP < 2,50$
F	$2,60 \leq SEER < 3,10$	$1,90 \leq SCOP < 2,20$
G	$SEER < 2,60$	$SCOP < 1,90$



El Amoníaco es reconocido como un excelente refrigerante:

1. Ambientalmente benigno (0.0 ODP –daño a capa ozono) y 0 PCA;
2. Energéticamente Eficiente;
3. Bajo Costo;
4. Gas refrigerante y componentes ampliamente disponibles.

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.



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

1. Buen desempeño del evaporador en relación a la temperatura;
2. Buen desempeño del evaporador en un rango de cargas amplio;
3. Relativamente insensible a pequeñas cantidades de agua;
4. Simple de operar;
5. Mejor rendimiento por su mayor calor específico y conductividad térmica.

**Inconveniente:** 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.



**De ahí la importancia del diseño de los sistemas DX con R717 de baja carga de amoníaco.** El diseñador tiene hacer énfasis para obtener los resultados previstos, asegurar las prestaciones y la máxima fiabilidad del sistema lo siguiente:

1. Prestar particular atención al diseño de los evaporadores. La mayoría de las causas de las deficiencias de rendimiento en la planta de NH<sub>3</sub> de baja carga están en el diseño del evaporador, y del sistema de inyección de refrigerante;
2. Elegir con precisión el sistema de expansión y distribución;
3. Eliminar la posibilidad de retornos de refrigerante líquido al compresor y formación de vapor en las líneas de líquido;
4. Debido a la baja carga eliminar las posibles fuentes de fugas de amoníaco;
5. La gestión del desescarche;
6. El diseño del sistema de tuberías en general;
7. Tipo de aceite empleado, asegurar el correcto retorno de aceite al compresor, su refrigeración y su capacidad higroscópica.



## A. Lado alta presión en el condensador considerar:

1. Control estable de la presión de condensación;
2. Control de ciclo de desescarche con evaporadores múltiples;
3. 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:

1. Los ventiladores del condensador y/o las bombas de los condensadores evaporativas funcionan en ON-OFF
2. 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.



## B. En el lado del evaporador:

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).

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. Los patrones de flujo que comúnmente se encuentran en evaporadores de tubos horizontales son:



**Estratificado**



**Ondular**



**Anular**



**Turbulento**



## Lado baja presión

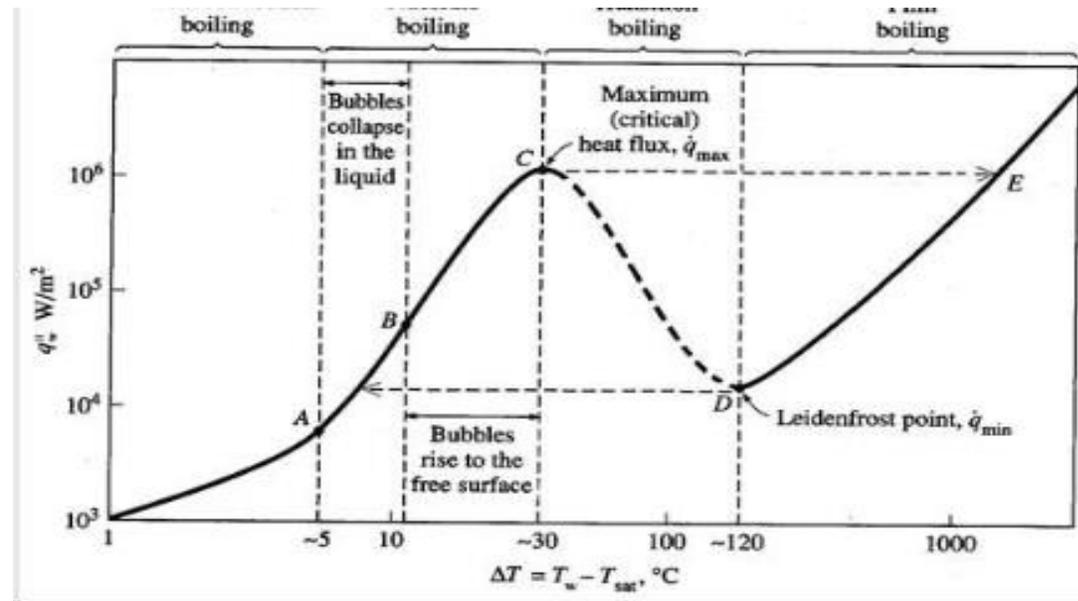
El funcionamiento estable del sistema y de la válvula de expansión del evaporador es fundamental para evitar los retornos de líquido.

Este tipo de problema podrá ser mitigado con:

1. Control de ciclo de desescarche con sistemas con evaporadores múltiples
2. Control de capacidad de los compresores de tipo lineal

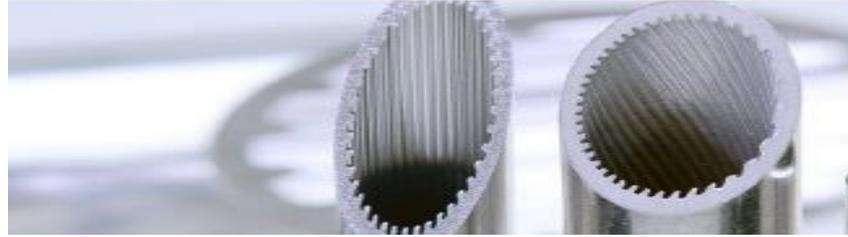
Recomendable el uso de ventiladores transmisión directa (EC) en los evaporadores

El sistema deberá ser diseñado para limitar la tasa de cambio en la temperatura de condensación a no más de  $2.5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$ . El delta T ideal entre los puntos A y B.





Tubo en aluminio estriado helicoidal interno:  $K= 209,3\text{W/m}^\circ\text{K}$



Tubo en acero inox estriado helicoidal interno:  $K= 16,3\text{W/m}^\circ\text{K}$



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 proceso de soldadura y curvatura lo hacen más costoso.



## C. Control de flujo:

Los sistemas DX están diseñados para operar con una línea de succión seca y, por tal razón, son más sensibles a la inundación de líquido.

Los sistemas industriales DX grandes deben incorporar un recipiente acumulador de succión para evitar el golpe de líquido en el 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.

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 estos dispositivos.



Esto se debe al alto calor latente de vaporización del amoníaco que requiere establecer un alto recalentamiento para asegurar un funcionamiento seguro y evitar los retornos de líquido estimado en unos 3 °C superior a lo obtenible con una válvula termostática electrónica.



válvulas termostáticas electrónicas



válvula termostática mecánica



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



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”.

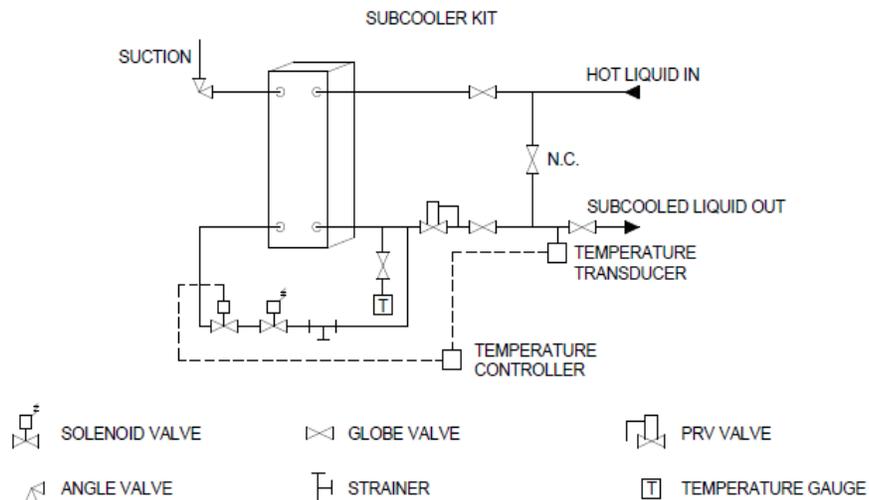
El volumen que ocupa el vapor en comparación con el líquido es muy grande, el flash gas aumenta la velocidad del refrigerante y provoca una caída de presión excesiva en la línea de líquido.

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

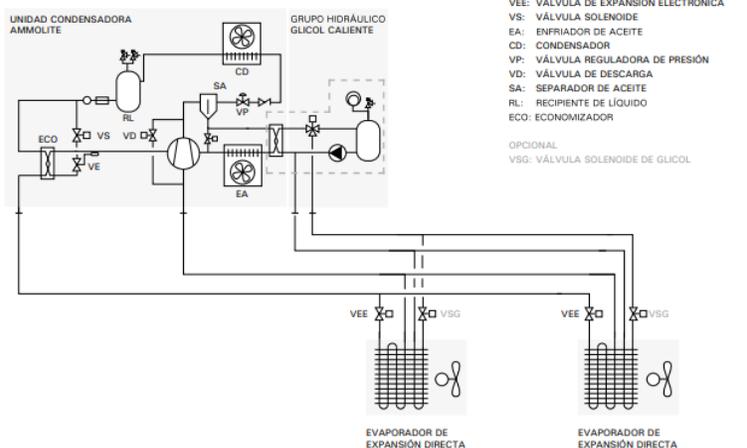
Pressure Drop in Ammonia Liquid Lines Due to Elevation Gain			
Elevation Gain		Pressure Drop	
ft	m	psi	kPa
1	0.3	0.3	1.9
5	1.5	1.4	9.3
10	3.0	2.7	18.7
15	4.6	4.1	28.0
20	6.1	5.4	37.3
25	7.6	6.8	46.7
30	9.1	8.1	56.0
35	10.7	9.5	65.4
40	12.2	10.8	74.7
45	13.7	12.2	84.0
50	15.2	13.5	93.4



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

## Sistema subenfriamiento con ECO

Esquema frigorífico



→ Hoja de producto



Amoníaco

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

Tabla : Propiedades Termodinámicas (-8°C)

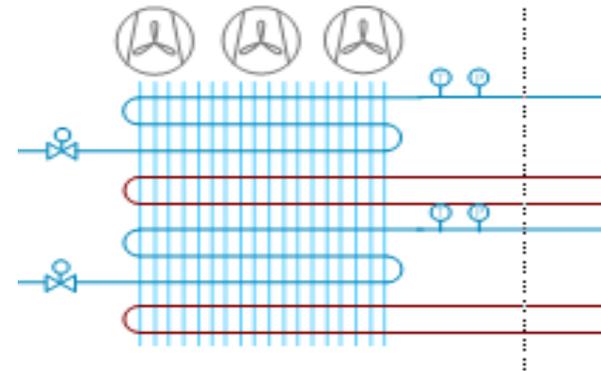
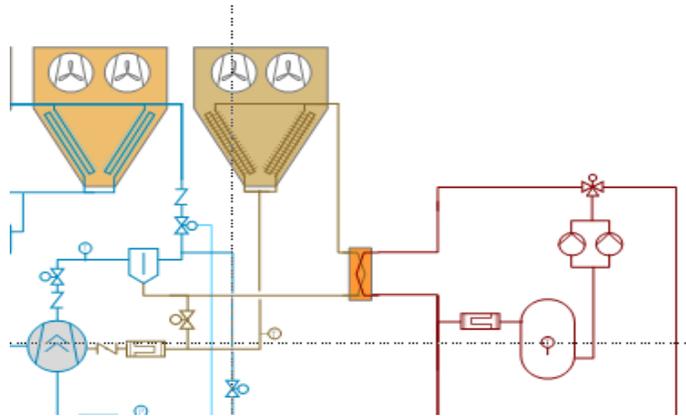
PROPIEDAD	AMONÍACO	R-22
Calor específico (KJ/Kg °C)	4.65	1.15
Conductividad térmica (W/m °C)	0.55	0.10
Viscosidad (cP)	0.20	0.25



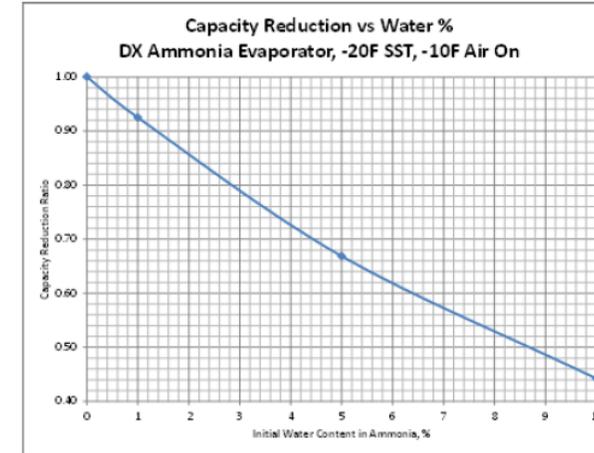
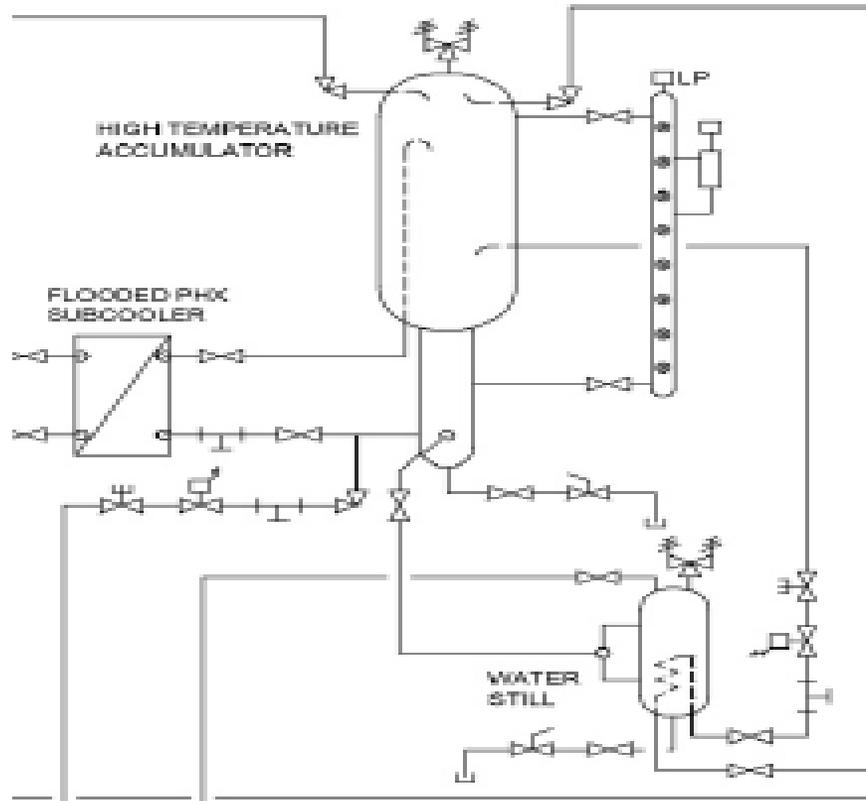
A parte los relativos problemas de seguridad, en los sistemas R717 DX de baja carga el desescarche por gas caliente genera también problemas de funcionalidad: En el caso de número limitado de evaporadores , o uno solo, no es posible generar gas caliente por el desescarche, en segundo lugar los desescarche 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 .
2. 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;



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



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

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



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.

Los compresores semiherméticos (Alternativos o de Tornillo) representan la mejor solución para eliminar los problemas de estanqueidad del sello 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.





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

Otros aspectos a considerar es el tipo de condesador a seleccionar:

La solución con condensador evaporativo presenta las mejores prestaciones en términos del análisis de todos los costos (LCC) versus condensación con aire; pero en las zonas donde las diferencias entre BS y BH es importante normalmente por lo general falta de disponibilidad de agua. Luego por lo general es mejor usar el condesador convencional.



Por la simplicidad de instalación, los sistemas R717 DX constituyen un punto de unión entre la refrigeración industrial y ligera. o comercial.

Es 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.

Se pueden conseguir soluciones premontadas de fabrica con muy buenas caracteriscas, como las siguientes:

- a. Condensación por aire con microchannel;
- b. 1 ó 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;
- c. y Recuperador de calor y grupo hidráulico para permitir el desescarche por gas caliente de los evaporadores.

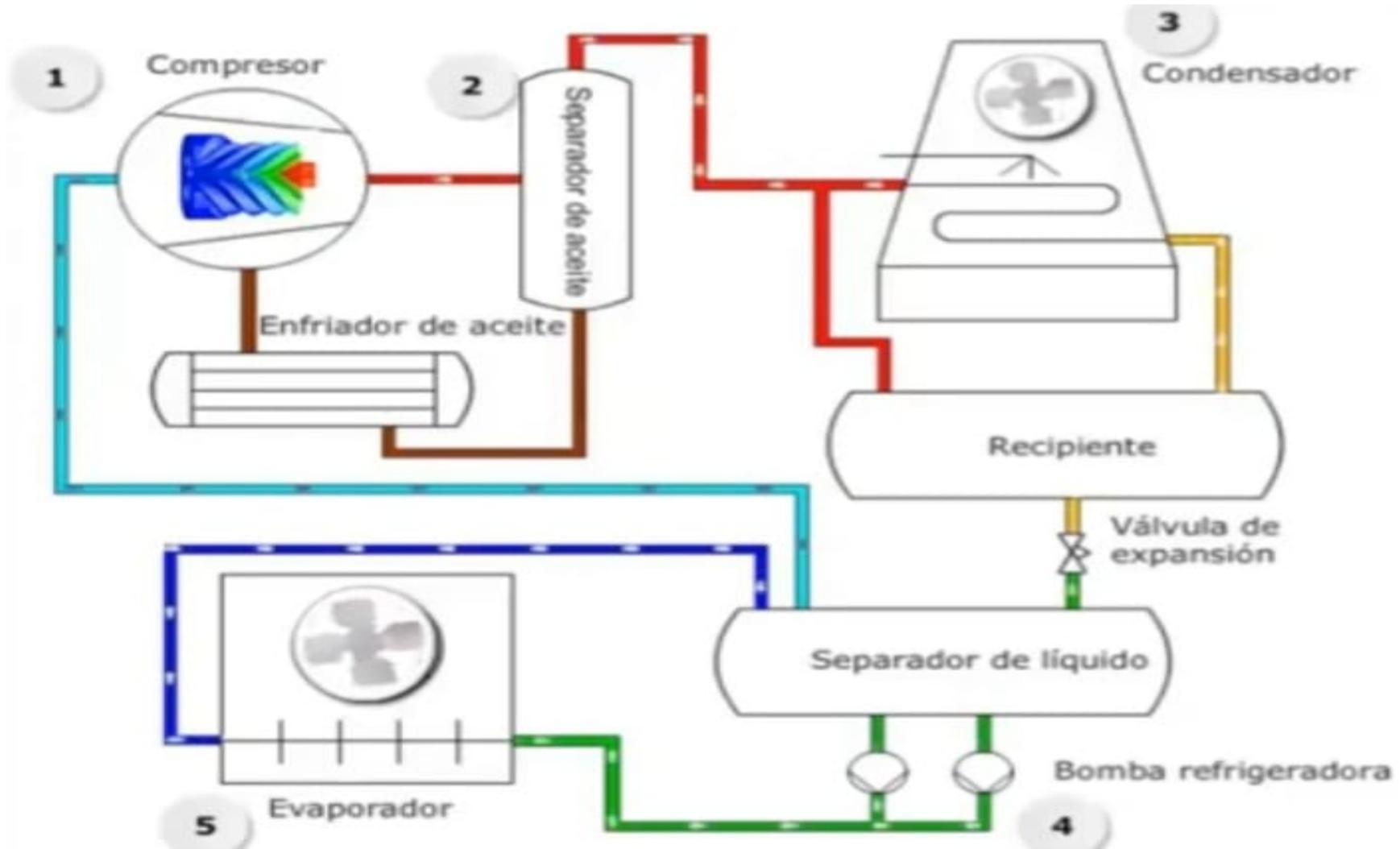
## Chiller usando como refrigerante amoniacaco.



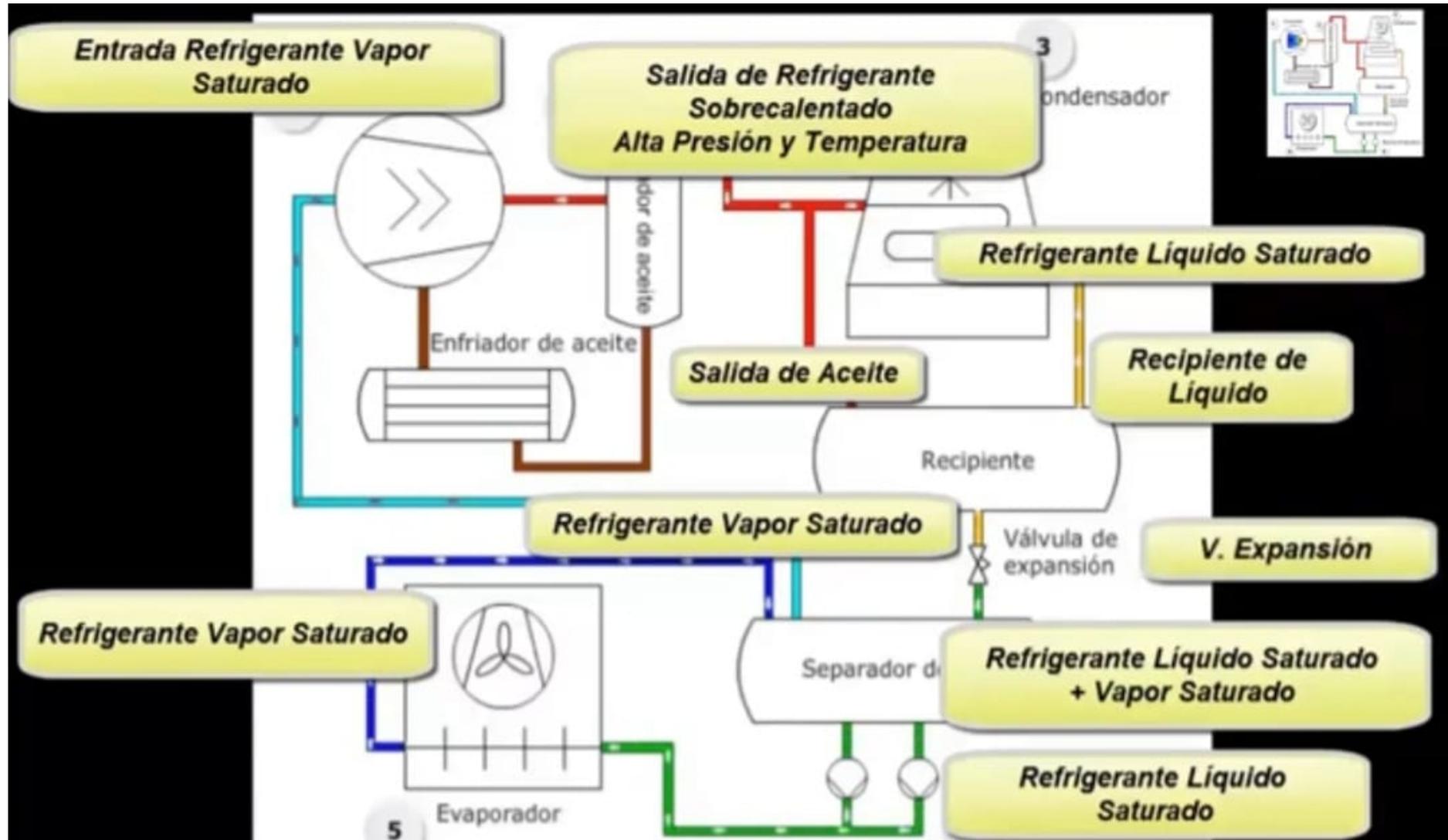
# Chiller usando como refrigerante amoniacaco.



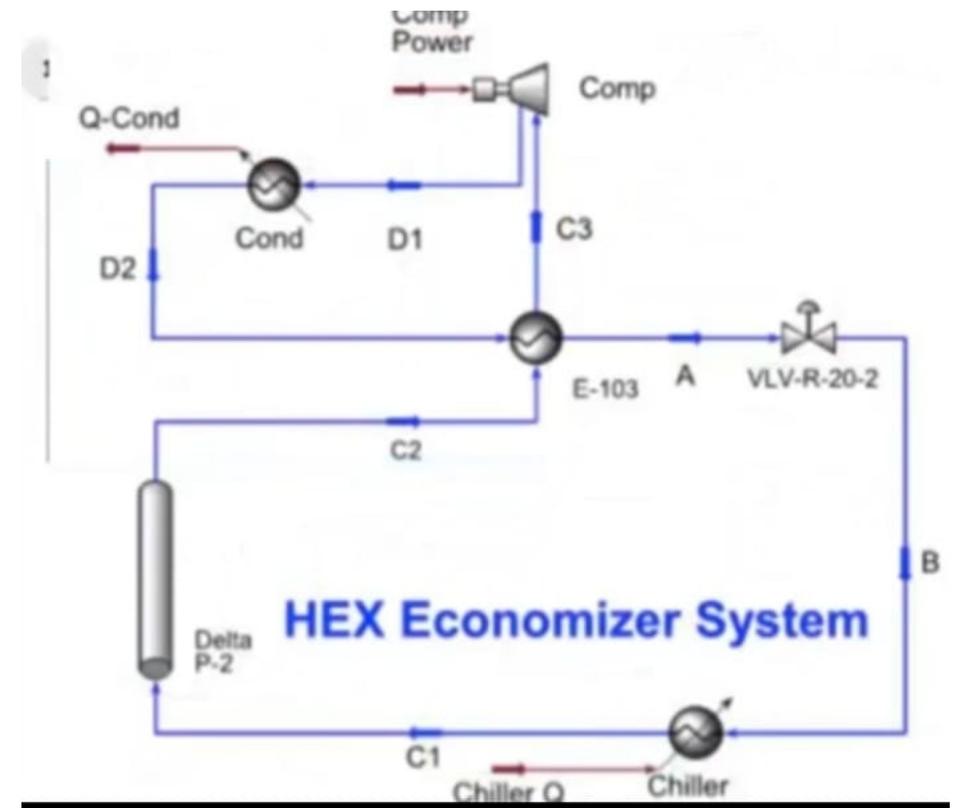
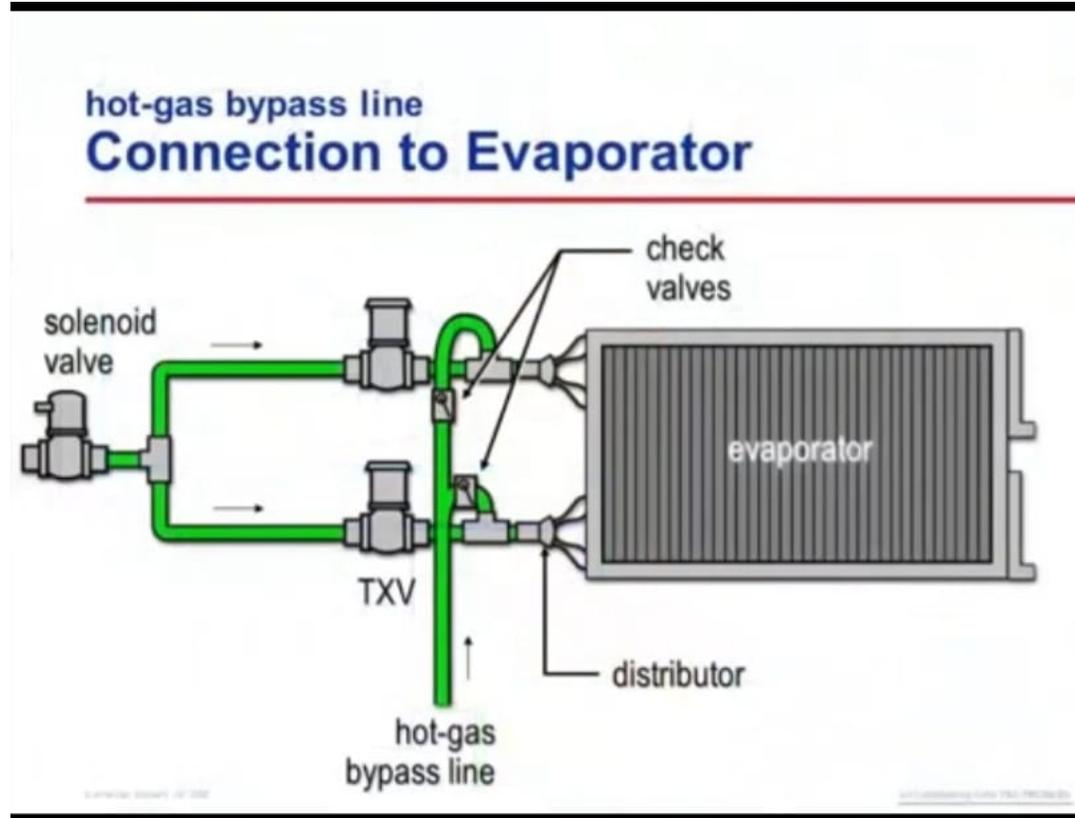
# Chiller usando como refrigerante amoniacaco.



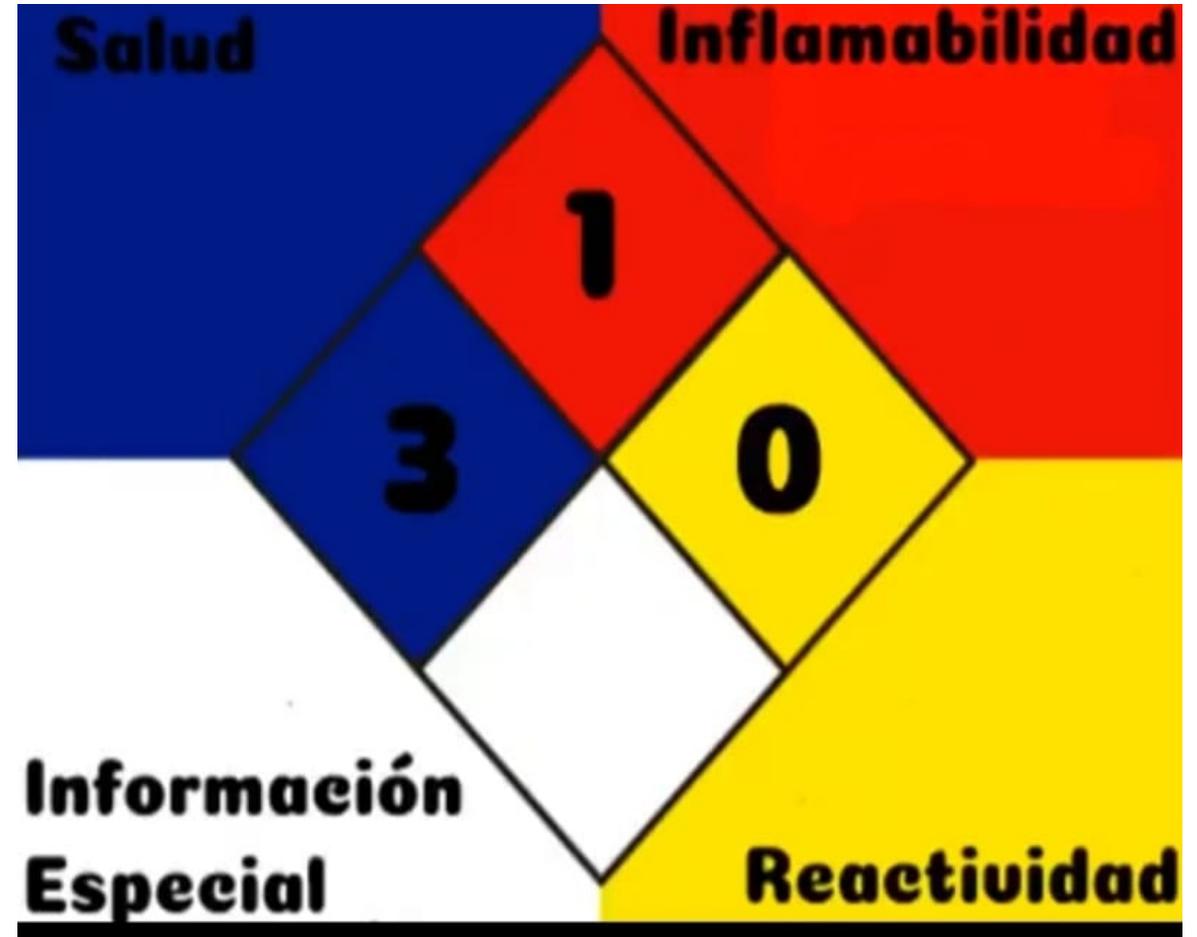
# Chiller usando como refrigerante amoniaco.



# Chiller usando como refrigerante amoniac.



# Chiller usando como refrigerante amoniaco.





### **Algunas referencias bibliográficas:**

- 1.- ASHRAE HANDBOOK, Fundamentos,.2010.
- 2.- Manual Técnico de Aire Acondicionado y Refrigeración, José Luis Moreno, Editora de la UASD,1993.
- 3.- Publicaciones del departamento de ingeniería energética y mecánica de fluidos. Universidad de Sevilla, España, 2014.
- 4.- Tablas Termodinámicas: Método y procedimientos, José Luis Moreno, editora Taller, Santo Domingo, 1997.
- 5.- Varias conferencias sobre estos temas impartidas por José Luis Moreno entre 1996 y 2019.
- 6.- Tópicos Especializados sobre Refrigeración y Climatización Artificial, José Luis Moreno, Editora de Colores,1999.
- 7.- Nociones de Refrigeración y Temas Afines, José Luis Moreno, editora Taller,1996.
- 8.- Cap.8 Diseño de redes hidráulicas en climatización. Pdf. España. Google,2018.
- 9.- Manual de operaciones de refrigeración industrial Danffos,2014.
- 10.- Primer seminario de refrigeración industrial de baja cargade amoniaco. Centro Tecnológico de Lucena, 2022.
- 11.- Los refrigerantes y el medio ambiente.Juan Pablo Plazas. Universidad Politécnica de Cataluña, 2012.



**Gracias por su atención.**

**Preguntas?**