



Diseño Evaporador con Refrigerante CO₂

Bruce Nelson, Presidente Colmac Coil

Selección de Evaporadores para CO2



- El proceso de selección de los evaporadores que operaran en un sistema de refrigeración con CO2, es muy similar a la selección de evaporadores para amoníaco. Los fabricantes de evaporadores comúnmente requieren los mismos datos para ambos refrigerantes y así mismo, se mostraran los datos de desempeño y selección de la misma manera.
- Típicamente, los datos a alimentar para una adecuada selección de evaporadores ya sea para CO2 o amoníaco, son:
 - a. Elevación sobre nivel del mar
 - b. Temperatura de entrada del aire
 - c. Humedad relativa en aire de retorno
 - d. Temperatura de evaporación
 - e. Tipo alimentación refrigerante
 - f. Radio de recirculación (caso recirculado bombas)
 - g. Presión líquido y temperatura en la válvula de expansión (caso Expansión Directa)
 - h. Carga de enfriamiento requerida
 - i. Tipo de deshielo
 - j. Voltaje alimentación
 - k. Materiales de construcción
 - l. Requerida MAWP (Máxima Presión de Trabajo Permitida)



Selección de Evaporadores para CO2



Otros datos importantes para selección, pueden ser:

- a. **Máxima velocidad de aire permitida**
- b. **Mínimo radio de flujo de aire**
- c. **Máxima velocidad de ventilador permitida**
- d. **Máxima presión de sonido permitida (comúnmente en dB(A))**
- e. **Mínima distancia de tiro de aire**
- f. **Mínimo numero de ventiladores**
- g. **Restricciones dimensionales (máxima altura o limitación en longitud)**

Hojas de selección, típicamente incluye:

- a. **Capacidad actual de enfriamiento**
 - b. **Radio de flujo y velocidad de aire.**
 - c. **Temperatura salida**
 - d. **Humedad relativa a la salida**
 - e. **Nivel de presión de ruido**
 - f. **Distancia del tiro de aire**
- a. **Dimensiones características**
 - b. **Gabinete L x H x A**
 - c. **Peso**
 - d. **Volumen interno**
 - g. **Características Eléctricas**
 - a. **Numero de ventiladores/motores**
 - b. **Velocidad ventilador**
 - c. **Potencia al freno motor del ventilador**
 - d. **Amperaje a plena carga y/o potencia consumida**



Selección de Evaporadores para CO2

Model: A+M33T-32-150-43.2VC-0500L-CRB-EE-SD

Performance Data

Capacity	47.1 kW (DT1)	Refrigerant	CO2
Air Flow	111475 m³/hr	Evaporation Temp	-34.0 °C
Face velocity	5.08 m/s	System Type	Recirc. Bottom
Air On Temp (RH)	-29.0 °C (85%)	Overfeed Ratio	2
Air Off Temp (RH)	-30.0 °C (95.9%)	Refrigerant Massflow	1088 kg/hr
Sensible Heat Ratio	1	Frost Layer	1 mm
Moisture Removal	0 kg/hr	Inside Fouling Factor	0.0 m² K/kW
Elevation	8.0 m	Outside Fouling Factor	0.0 m² K/kW

Construction Data

Coil Material (tubes/fins)	Stainless Steel/Aluminum	Defrost, Coil	Electric
Fin Spacing	16/8.0 mm/fin	Defrost, Pan	Electric
Rows Deep	4	Hot Gas Piping	N/A
Casing Material	Galvanized Steel	Reheat Section	No
Inlet Connection	1 1/2 Stnls 304 Stub	Surface Area	233 m²
Outlet Connection	2/ Stnls 304 Stub	Internal Volume	95 L
Fan Discharge	Standard	Dry/Operating Weight[4]	1362/1641 kg
Drain Connection Size	2 IN		

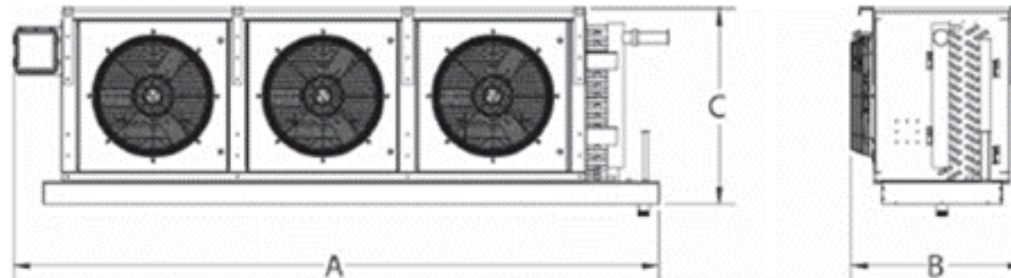
Fan Motor/Electrical Data

Motor(s)	3 @ 3.73 kW ea.	Fan Diameter	914 mm
Power Supply	460/60/3	Fan Material	Aluminum
Full Load Amps (per motor)	7.6 Amps	Sound Pressure[5] @ 3 m	87 dB(A)
Motor Input Power	12.4 (kW)	External Static	0 Pa
Motor Speed	1200 RPM	Air Throw[6] @ 0.5 m/s	87 m
Electric Defrost Amperage	48.22 Amps	Electric Defrost Wattage	38.42 kW

Options

Return Bend End Cover, Header End Cover, Unit Wiring: Individual Terminal Strip in Common Enclosure

Layout Drawing[1],[2],[3]



Unit Dimensions: A = 444.1 cm, B = 101.9 cm, C = 183.0 cm



Selección de Evaporadores para CO2



Tópicos importantes:

- Tipo de Sistema
- Compatibilidad de Materiales
- Presiones
- Transferencia de Calor
- Desescarche



Tipos de Sistemas con CO₂



- **Mas comúnmente usados por su tipo de alimentación, son los siguientes métodos:**
 - Recirculado por Bombas, y...
 - Expansión Directa
- **Inundados por Gravedad no son comunes con CO₂ debido a:**
 - Alta densidad del liquido causa una elevada temperatura de evaporación debido a la altura estática en la pierna de alimentación.
 - Recipiente de muy Alta Presión requerido para el acumulador de succión.
 - Pobre desempeño debido a la poca caída de presión disponible.
 - Rectificación de aceite requerido en el acumulador succión.
- **Radio Recirculación de la Bomba**
 - Menor que amoniaco (1.5:1 para enfriadores, 2:1 para congeladores)



Sistemas CO₂ Tipo Cascada

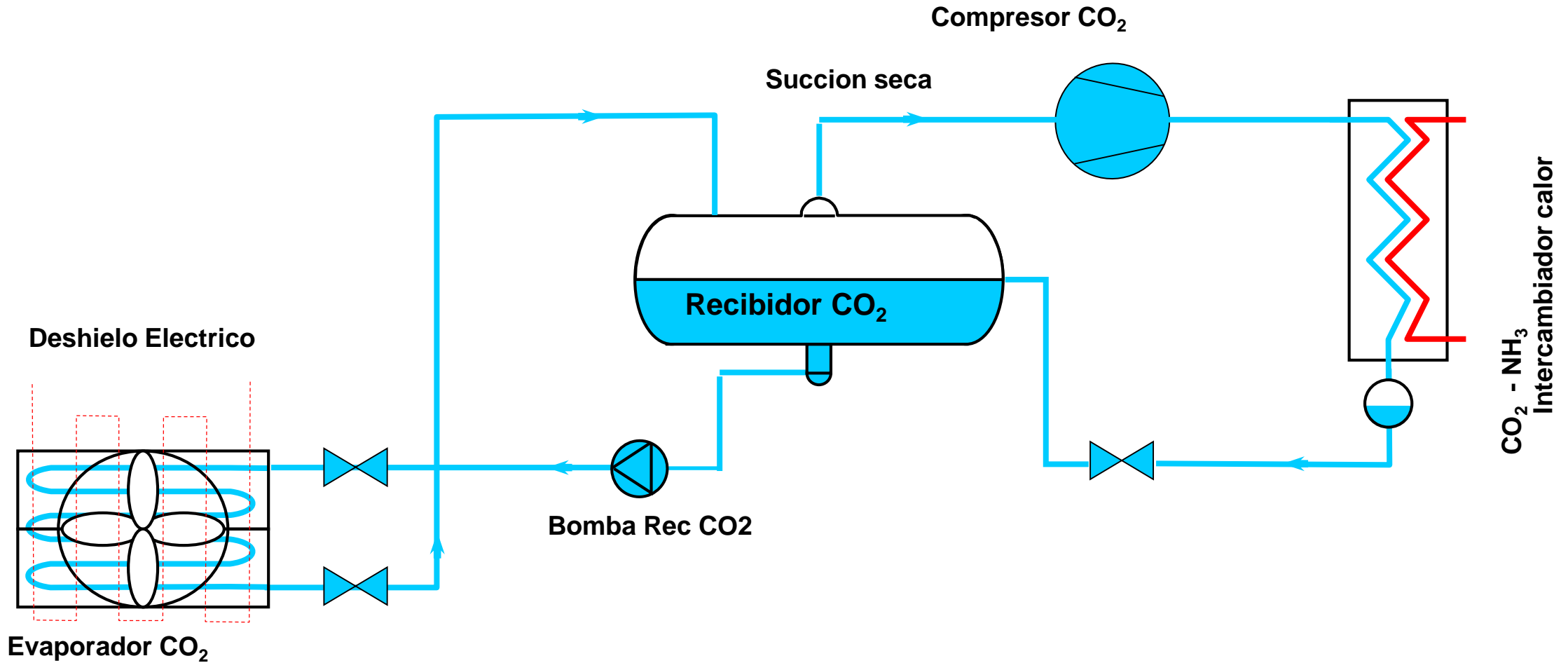


Diagrama Principal CO2 Tipo Cascada



Condensador NH₃ +30 °C [+86 °F]

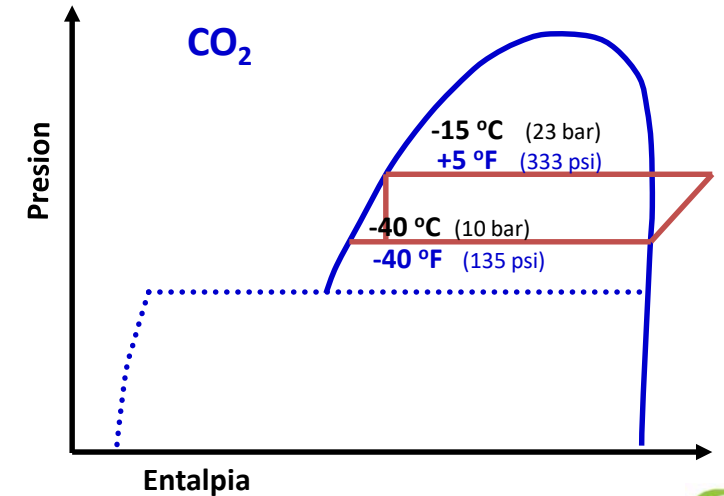
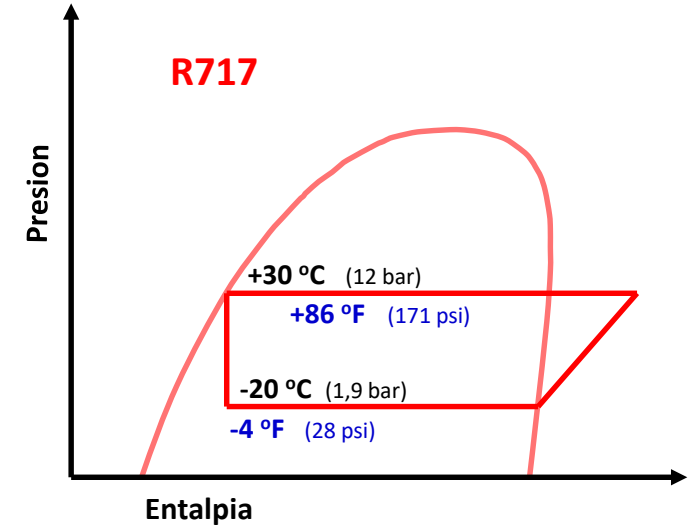
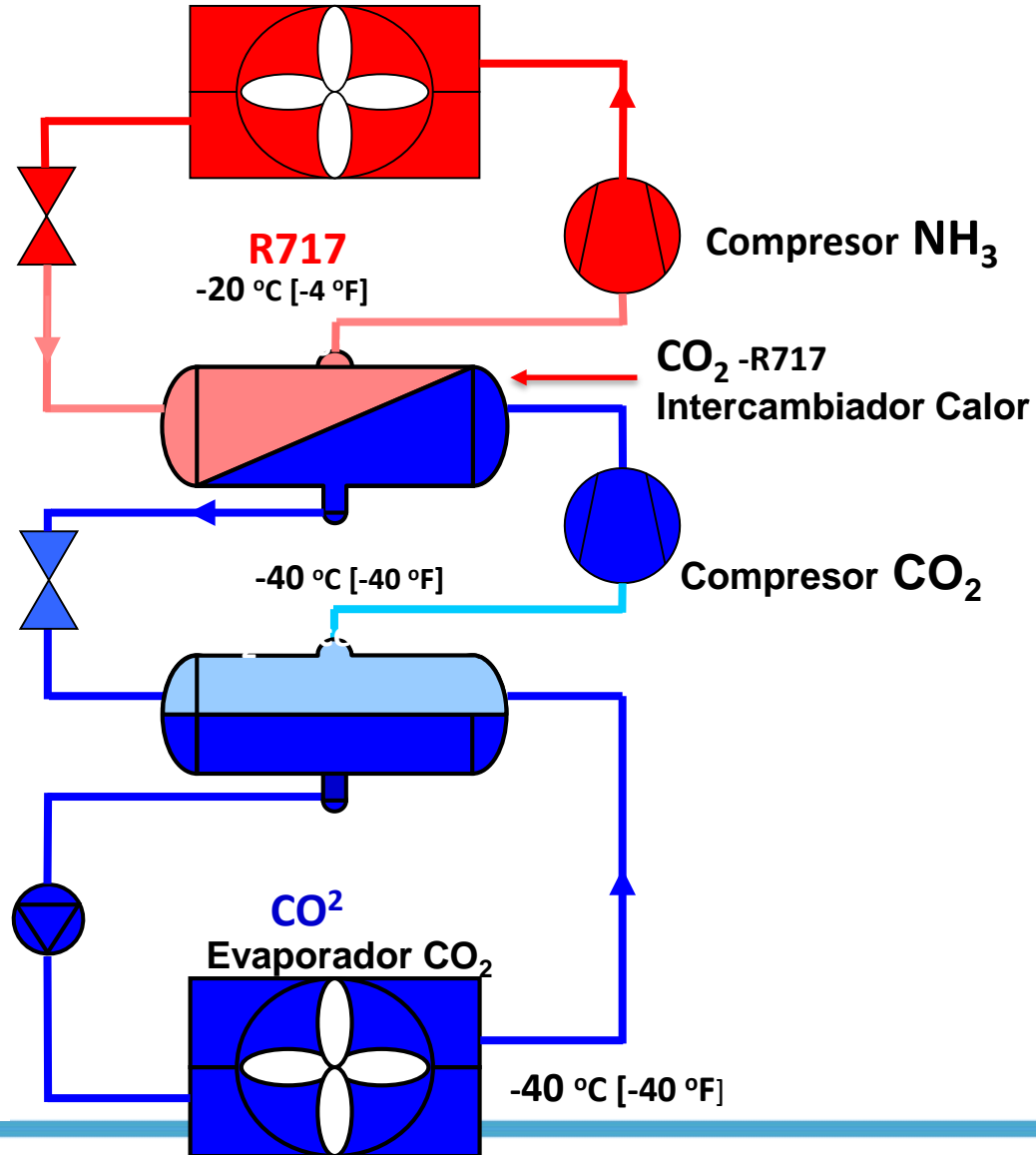
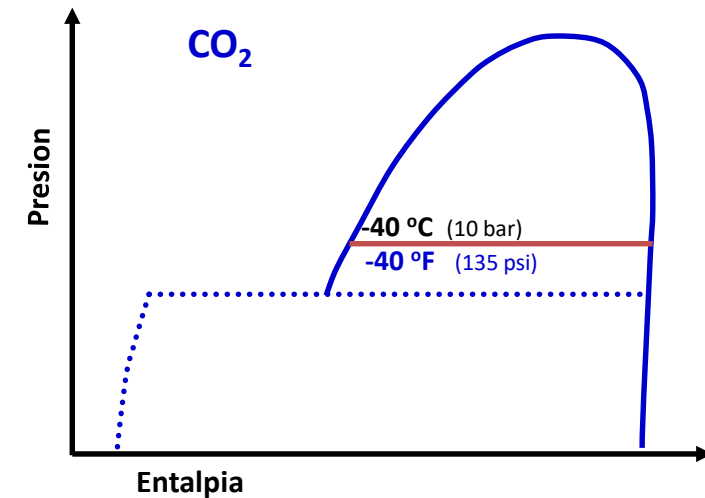
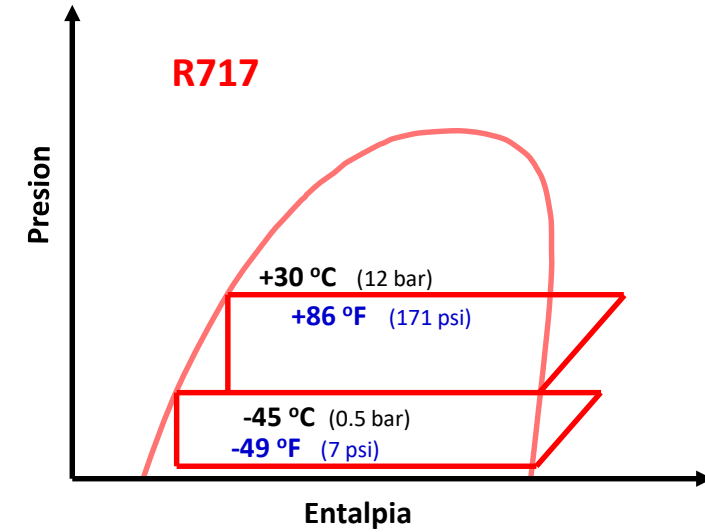
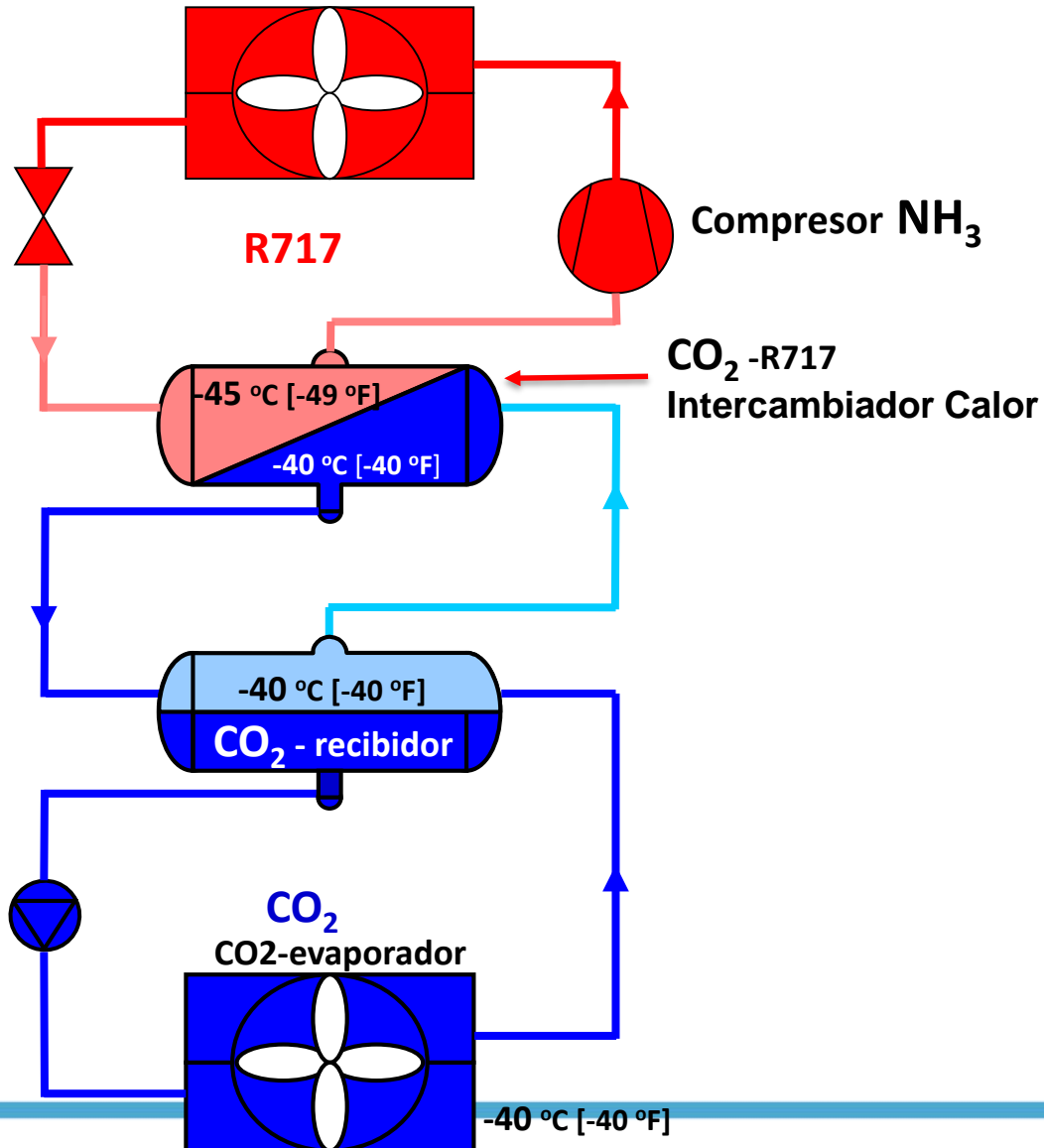


Diagrama Principal CO2 Tipo "Brine"



Condensador NH3 +30 °C [+86 °F]



Compatibilidad de Materiales con CO₂

CO₂ Seco muy inerte y compatible con los materiales siguientes:

- Cobre**
- Acero al Carbón**
- Acero Inoxidable**
- Aluminio**



Compatibilidad de Materiales con CO₂



- **Cobre**

- No sufre fragilización aun a muy bajas temperaturas
- Algunas limitantes de resistencia (suficientes para aplicaciones de 0°F(-17°C) y menores)
- Resistente a la corrosión con ácidos poco agresivos
- Recomendable usar soldadura de aleación no-fosforica.

- **Acero al Carbón**

- Se debe tener en cuenta lo siguiente:
 - Alto potencial de corrosión bajo condiciones de ácidos poco agresivos.
 - Fragilización a bajas temperaturas
- No recomendable



Compatibilidad de Materiales con CO₂



- **Acero Inoxidable**
 - No sufre fragilización aun a muy bajas temperaturas.
 - Resistencia es suficientes para todas las aplicaciones
 - Resistente a la corrosión con todo tipo de ácidos
 - El mas recomendado para evaporadores industriales
- **Aluminio**
 - Resistencia y tensión generalmente limitadas por las dimensiones internas
 - La presión debe ser manejada muy cuidadosamente



Comparativa de Materiales con CO2



MAX. PRESION DE TRABAJO PERMISIBLE PARA TUBOS BAJO PRESION INTERNA (CALCULOS BASADOS EN ASME SECCION VIII, 2002 ADDENDA, UG-27)

Tubo/ Diam (in)	Tubo/Pared (in)	Tubo/Material	Corrosion Permitida, (in)	Max. Presion Trabajo Permitida, BAR (P)	Max. Presion Trabajo Permitida, PSIG (P)	Max. Tension Permitida (PSI) (S)
7/8	0.028	304L Inox	0.002	51	738.2	14200
7/8	0.049	SA-179 Carbon	0.002	88	1284.7	13400
7/8	0.065	3003 Alum	0.002	31	443.7	3400

Conclusión: El tubo de Acero Inoxidable es el mas adecuado para operar con refrigerante CO2



Comparativa de Presión con CO2



Tabla No 1

Presion de Saturacion vs Temperatura						
CO2 vs Amoniaco						
Temperatura		Amoniaco		CO2		
		Presion		Presion		
° F	° C	psia	bar	psia	bar	
-60	-51.1	6	0.4	95	6.5	
-40	-40.0	10	0.7	146	10.0	
-20	-28.9	18	1.3	215	14.8	
0	-17.8	30	2.1	306	21.1	
20	-6.7	48	3.3	422	29.1	
40	4.4	73	5.1	568	39.1	
60	15.6	108	7.4	748	51.6	
80	26.7	153	10.6	970	66.8	



Comparativa de Presión con CO2



ASHRAE Std 15

- La sección 9.2.6 cuando un sistema de refrigeración utiliza refrigerante Bióxido de Carbono(R744) como fluido transmisor de calor, la mínima presión de diseño deberá cumplir con lo siguiente:
 - 9.2.6.1 en un circuito sin compresor, **la presión de diseño deberá ser al menos 20% mayor** a la presión de saturación correspondiente a la parte mas caliente del circuito.
 - 9.2.6.2 En un sistema cascada, en el lado de alta **la presión de diseño debe ser al menos 20% mayor** que la máxima presión entregada por el elemento presurizador, y en el lado de baja la presión deberá ser **al menos 20% mayor** a la presión de saturación correspondiente a la parte mas caliente del circuito.



Comparativa de Presión con CO2

Tabla No 2

Minima Presion Diseno vs Temperatura					
Evaporadores CO2					
			Diseno Minimo		
Temperatura			Presion		
° F	° C		psia	psig	bar
-60	-51.1		113	99	7.8
-40	-40.0		175	160	12.1
-20	-28.9		258	243	17.8
0	-17.8		367	352	25.3
20	-6.7		505	492	34.9
40	4.4		681	666	47
60	15.6		897	883	61.9
80	26.7		1070*	1055*	73.8*

* Excede la presión crítica de CO2, por lo que, presión de diseño elegida es igual a la presión crítica



Comparativa de Presión con CO2



Tabla No 3

Espesor de Pared de Tubo Minima vs Temperatura Camara (ASHRE Std 15)							
Evaporadores CO2							
Temperatura		Minimo espesor pared tubo, pulg					
Camara		Diametro Tubo Cobre SB-75			Diam Tubo Inox SA-249 304 SS		
° F	° C	3/8"	1/2"	5/8"	3/8"	1/2"	5/8"
-60	-51.1	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
-40	-40.0	0.010	0.011	0.013	0.010	0.010	0.010
-20	-28.9	0.012	0.015	0.018	0.010	0.010	0.012
0	-17.8	0.016	0.020	0.025	0.011	0.015	0.017
20	-6.7	0.022	0.028	0.034	0.015	0.021	0.024
40	4.4	0.027	0.035	0.043	0.020	0.027	0.032
60	15.6	0.036	0.046	NR	0.026	0.036	0.041
80	26.7	NR	NR	NR	0.031*	0.042*	0.048*

* Presion critica utilizada para determinar Maxima Prsesion de Trabajo



Comparativa de Presión con CO2 Conclusiones



- Evaporadores con CO2 operaran a una significativa mayor presión que con amoniaco.
- ASHRAE Std 15 establece la presión de diseño requerida para sistemas con CO2.
- ASHRAE Std 15 requiere que la presión de diseño de evaporadores de CO2 “sea al menos 20% mayor que la presión de saturación de la sección mas caliente del circuito”.
- Respetar la pared mínima del tubo mostrada en la Tabla 3. Recordar que la presión de todos los componentes del serpentín, incluyendo colectores, y conexiones de los tubos, deberá ser diseñada correctamente.



Comparativa de Presión con CO2 Conclusiones



- La temperatura usada para establecer la presión de diseño, debe ser cautelosamente seleccionada tomando en cuenta condiciones, las cuales incluyen:
 - Condiciones al arranque
 - Cargas pico durante la operación
 - Cargas anormales (variaciones temperaturas de proceso)
 - Condiciones a frecuentes estados de “Standby”
 - Cortes de suministro de energía eléctrica que pueden presentarse en forma frecuente
 - Fuera de operación durante la limpieza



CO2 Transferencia de Calor



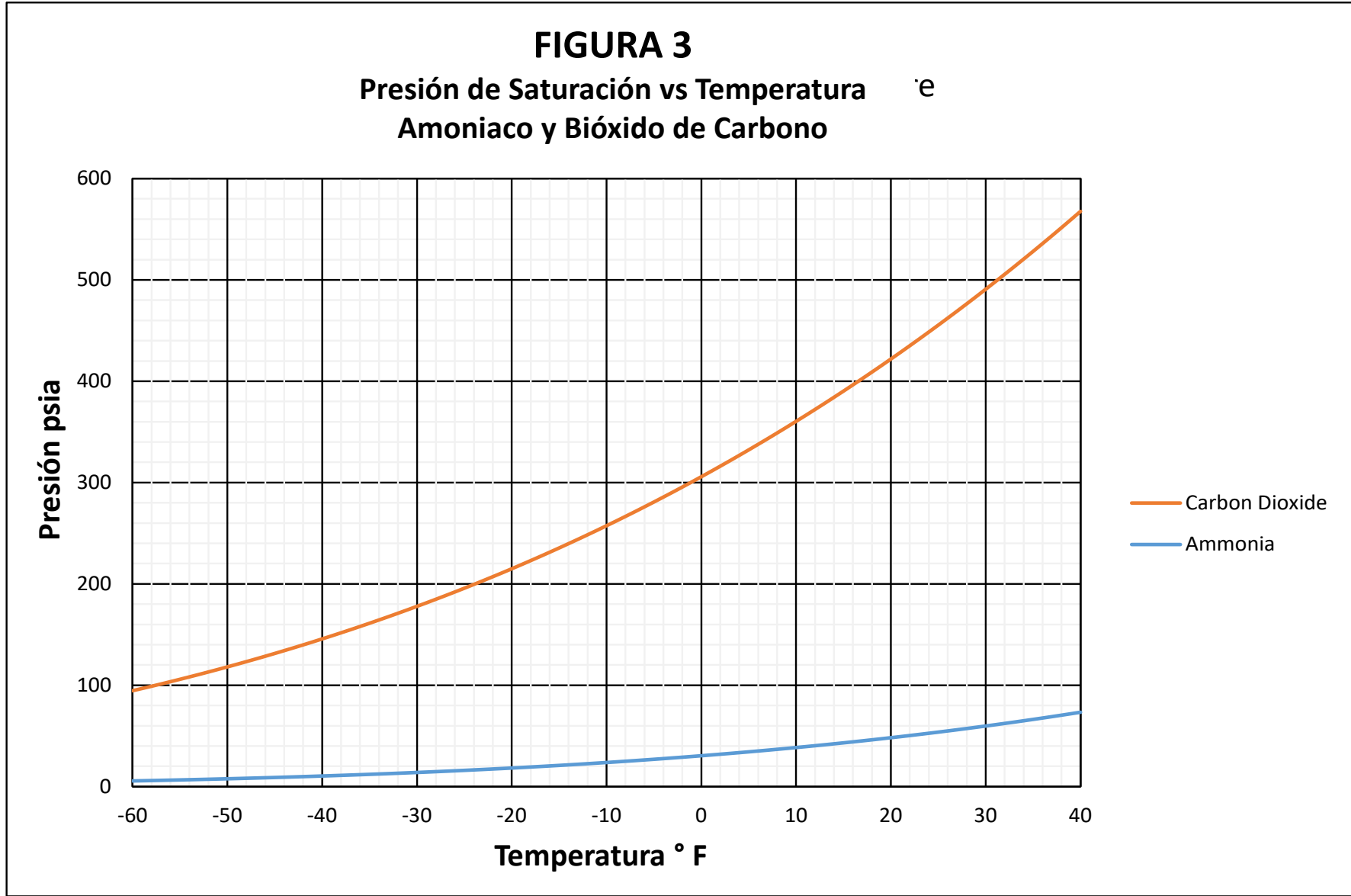
- Para un mismo flujo másico y temperatura de evaporación, amoníaco produce mucho mas alto (200% a 300%) coeficiente de transferencia de calor comparado con el CO2.
- Afortunadamente, la mayor pendiente de la curva de presión de vapor del, CO2 permite circuitos para diseñar con mucho mayor flujo de masa (longitud del circuito más largo).
- Esto hace que el coeficiente de transferencia de calor para el CO2 de vuelta hasta el punto de que el rendimiento es casi equivalente a amoníaco.



CO2 Transferencia de Calor



FIGURA 3
Presión de Saturación vs Temperatura
Amoniaco y Bióxido de Carbono



CO2 Transferencia de Calor



Tabla No 4

Delta P / Delta T vs Temperatura de Saturacion					
		Amoniaco		CO2	
Temperatura		Delta P/Delta T		Delta P/Delta T	
° F	° C	psi/Gr F	kPa/Gr C	psi/Gr F	kPa/Gr C
-60	-51.1	0.184	2.3	2.157	26.8
-40	-40.0	0.309	3.8	2.980	37.0
-20	-28.9	0.489	6.1	3.973	49.3
0	-17.8	0.735	9.1	5.143	63.8
20	-6.7	1.059	13.1	6.510	80.8
40	4.4	1.470	18.2	8.100	100.5



CO2 Transferencia de Calor



- Típicamente los fabricantes suelen diseñar la longitud del circuito para producir una caída de presión correspondiente a aproximadamente $1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$ en la temperatura de evaporación.
- Usando la caída de presión en la curva de la Tabla 4 a $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$:
 - Amoniaco $\Delta P = 1.8\text{ }^{\circ}\text{F} \times 0.489\text{ psi / }^{\circ}\text{F} = 0.88\text{ psi}$
 - CO2 $\Delta P = 1.8\text{ }^{\circ}\text{F} \times 3.973\text{ psi / }^{\circ}\text{F} = 7.15\text{ psi}$



CO2 Transferencia de Calor Conclusiones



- Los evaporadores de CO2 deben ser diseñados para mayor flujo másico y caída de presión comparados con los de amoníaco. Esto se refleja en mayor cantidad de circuitos en el serpentín.
- Si es circuitado apropiadamente, un evaporador que opere con CO2 tendrá la capacidad de enfriamiento equivalente a los de amoníaco, es decir, el CO2 no penaliza el desempeño.



Desescarches Evaporadores de CO₂



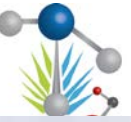
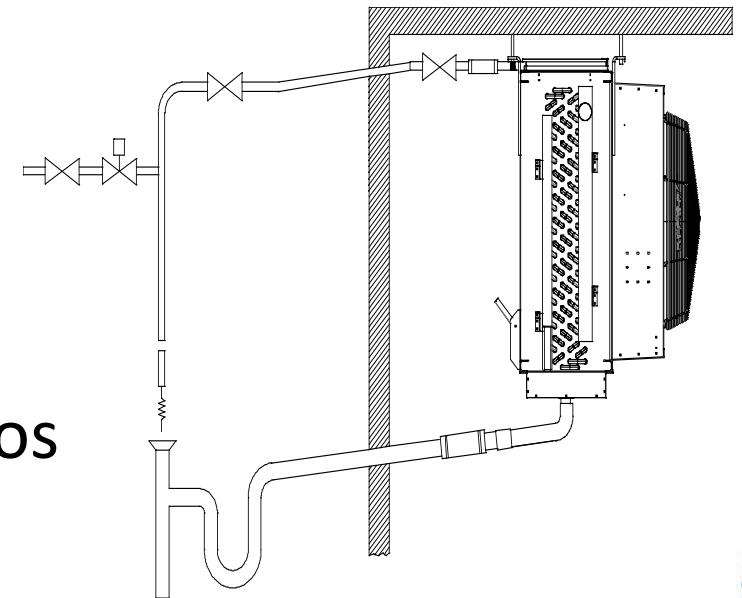
- **Los métodos mas comúnmente utilizados para los desescarches de los evaporadores, son:**
 - **Aire**
 - **Agua**
 - **Eléctrico**
 - **Circuito Glicol Caliente**
- **Gas Caliente no es utilizado debido a las muy elevadas presiones requeridas (50 bar/710 psig)**



Desescarches Evaporadores de CO2

- Agua
- El método mas utilizado
 - Simple
 - Opera a cualquier temperatura
 - Muy rápido
 - Diseño del gabinete y la bandeja del serpentín para mitigar salpiqueo
 - Uso de válvulas bola motorizadas!
 - Común uso del agua de la bandeja de los condensadores.

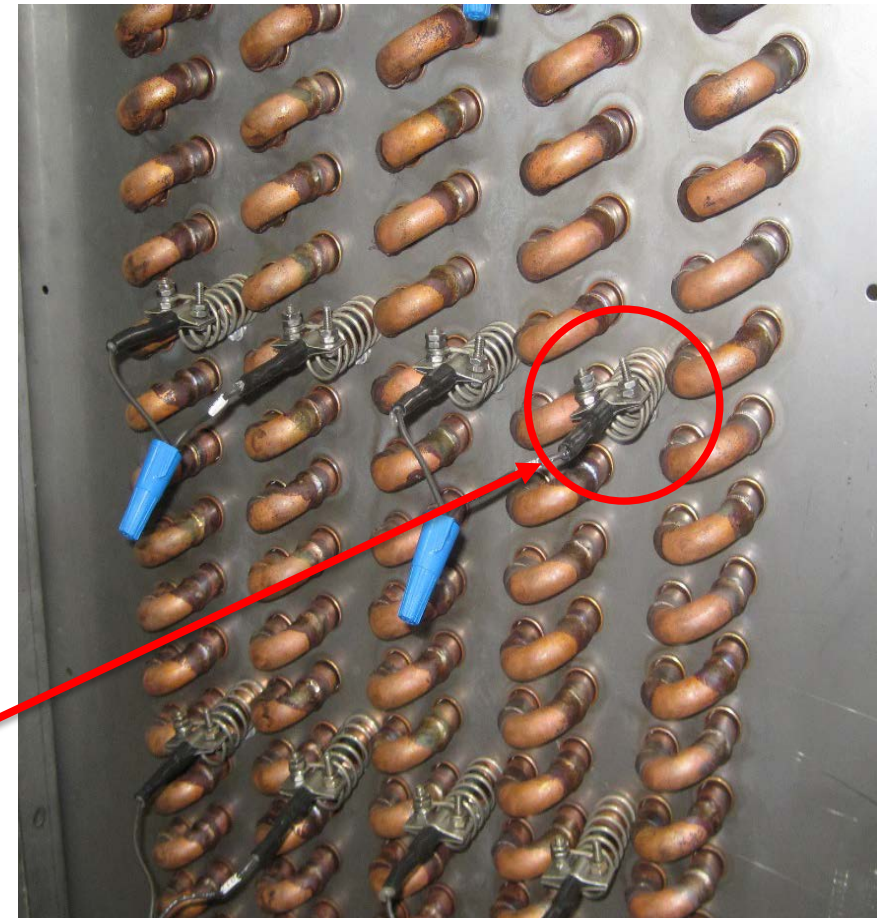
La bandeja de desescarche se puede quitar fácilmente para su limpieza o inspección.



Desescarches Evaporadores de CO2

- **Eléctrico**

- Simple de aplicar e instalar
- Cableado puede ser caro
- Mas elevado costo operación
- Deshielos mas prolongados
- Precaución de evitar sobrecalentamiento en los tubos del serpentín.
- La posición de los calentadores en el serpentín es trascendental
- Alertas con la elongación de las varillas calentadoras



Desescarches Evaporadores de CO2

- **Circuito Glicol Caliente**
 - Costo inicial elevado al incluir un circuito independiente en el serpentín.
 - Implica la instalación de un circuito de glicol a todo el sistema, incluyendo bombas y tanques.
 - Mantenimiento cuidadoso y costo elevado del glicol.
 - Ciclos prolongados de deshielos.





***Muchas
gracias!***

