NORMA VENEZOLANA COVENIN
GASES REFRIGERANTES. USO SEGURO DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2). REQUISITOS
5046:2026

1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos para el uso seguro del dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante en sistemas de compresión de vapor, de circuitos cerrados de refrigeración o de climatización.

2. ALCANCE

Esta norma se aplica a los sistemas de refrigeración o climatización comerciales e industriales, que utilicen el dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante, abarcando las modalidades subcríticas, supercríticas (transcríticas) y los sistemas combinados.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones generales utilizadas para la elaboración de la norma o que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta norma; las ediciones indicadas, estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°38.392 del 07 de marzo de 2006. Decreto N° 4.335	Normas para Regular y Controlar el Consumo, la Producción, Importación, Exportación y el Uso de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.
ISO 14064-1:2018	Gases de efecto invernadero – Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
COVENIN 5006:2018	Requisitos de seguridad y ambientales para instalación, operación, mantenimiento, reparación de sistemas de refrigeración, recuperación, reutilización y eliminación de los fluidos refrigerantes.
COVENIN 5015:2021	Sustancias destinadas a ser usadas como refrigerantes. Requisitos.

4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

A los fines de este documento, se aplican los siguientes términos y definiciones:

4.1. Ciclo subcrítico

Ciclo termodinámico donde la presión y temperatura del refrigerante se mantienen por debajo de su punto crítico, permitiendo que el fluido se condense.

4.2. Ciclo supercrítico o transcrítico

Ciclo termodinámico donde la presión y temperatura del refrigerante se mantienen por encima del punto crítico, impidiendo que el fluido se condense.

PROYECTO DE NORMA

4.3. Condición subcrítica

Cuando la presión y temperatura del fluido a la salida del compresor están por debajo del punto crítico, siendo posible su condensación.

4.4. Condición supercrítica o transcrítica

Cuando la presión y temperatura del refrigerante a la salida del compresor están por encima del punto crítico, siendo imposible su condensación.

4.5. Gas de Efecto Invernadero (GEI)

Ver ISO 14064-1.

4.6. Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO)

Grado de efectividad, con el cual una molécula de una sustancia agotadora de la capa de ozono, descompone el ozono estratosférico, en relación con la efectividad de agotamiento del Triclorofluorometano (CFC11).

[República Bolivariana de Venezuela. Decreto N° 4.335:2006].

4.7. Potencial de calentamiento global (PCG)

Ver ISO 14064-1.

4.8. Punto crítico

Temperatura y presión especifica en las cuales las fases líquida y gaseosa de un refrigerante alcanzan una condición en la que estas no se pueden diferenciar por separado, para el dióxido de carbono (CO_2) los valores son: temperatura crítica 31 °C y presión crítica 7 380 kPa.

4.9. Punto de sublimación

Punto fijo de presión y temperatura al cual una sustancia pasa directamente del estado sólido al gaseoso, sin pasar por el estado líquido, para el dióxido de carbono (CO_2) la temperatura es -78,5 °C y la presión es 101,3 kPa.

4.10. Punto triple

Punto fijo de presión y temperatura de una sustancia en el cual coexisten en equilibrio los tres estados: líquido, sólido y gaseoso, para el dióxido de carbono (CO_2) la temperatura es -56,6 °C y la presión 518 kPa.

4.11. Refrigerante

Ver COVENIN 5015.

PROYECTO DE NORMA

4.12. Sistema de cascada

Sistema de refrigeración con dos ciclos combinados, cada uno con un refrigerante diferente, pueden ser ambos ciclos subcríticos, o uno de ellos en modalidad subcrítica y otro en modalidad supercrítica, siempre con el objeto de incrementar la eficiencia del sistema y reducir la carga de los refrigerantes.

4.13. Sistema reforzado (booster)

Sistema de dos ciclos subcrítico y supercrítico combinado, con un solo refrigerante que es el dióxido de carbono (CO_2) que se intercambia en ambos ciclos; el sistema reforzado aumenta la eficiencia.

4.13.1. Sistema reforzado (booster) con compresor paralelo

Sistemas reforzados booster equipados con dos compresores que operan simultáneamente, uno en el ciclo de alta presión supercrítica donde el refrigerante no se condensa, sino que se enfría mediante un enfriador de gas; y otro en el ciclo subcrítico a baja presión y temperatura, con evaporación y condensación tradicionales. Esta combinación mejora la eficiencia global del sistema.

4.13.2. Sistema reforzado (booster) con eyector

Sistema equipado con un dispositivo para incrementar la velocidad del fluido liquido o gas (Efecto Venturi) o dispositivo similar, ubicado en la fase supercrítica a la salida del enfriador, qué al expulsar el gas refrigerante causa una disminución adicional de la presión, antes de conectar con la fase subcrítica que trabaja a baja presión; con este aditamento se aumenta la eficiencia del sistema.

5. GENERALIDADES

5.1. Especificaciones del dióxido de carbono (CO_2)

5.1.1. Naturaleza

Sustancia natural con propiedades refrigerantes que constituye el 0,035 % de la atmósfera. Aunque es producida y consumida en la naturaleza, también se obtiene mediante procesos químicos industriales. Su vida media en el aire puede alcanzar los 200 años.

5.1.2. Propiedades organolépticas, ambientales y de seguridad

Es un gas inodoro, incoloro e insípido que no es tóxico por debajo de una concentración de 5 000 partes por millón (0,5 %), ni inflamable; no daña la capa de ozono y el potencial de calentamiento atmosférico es uno; no obstante, es el gas de efecto invernadero más relevante por las grandes emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles, aumentando significativamente las concentraciones en la atmósfera.

5.1.3. Propiedades físicas y químicas

5.1.3.1. En condiciones normales con una temperatura de 25 °C y una presión de 101 kPa se presenta en estado gaseoso, dependiendo de la variación de presión y temperatura puede:

a) Estar en estado líquido por debajo de -56,6 °C.
b) Estar en estado sólido como “hielo seco”, por debajo del punto crítico, por debajo del punto de congelación (- 78,5 °C) y por debajo del punto triple, dependiendo de la presión existente.

PROYECTO DE NORMA

5.1.3.2. Peso molecular es de 44,01 g/mol.

5.1.3.3. Temperatura de ebullición es - 56,6 °C.

5.1.3.4. Temperatura de congelación es - 78,5 °C.

5.1.4. Fases del dióxido de carbono (CO_2)

Las fases del dióxido de carbono (CO_2), presentadas en la figura 1 se detallan a continuación.

5.1.4.1. Gaseoso

En condiciones normales con una temperatura de 25 °C y una presión de 101 kPa.

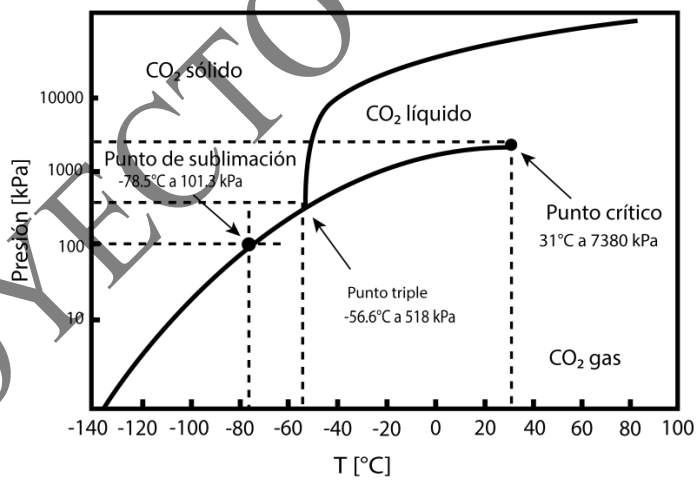
5.1.4.2. Líquido

Solo es posible bajo presión (mínimo 518 kPa) y a temperaturas superiores a (- 56,6 °C).

5.1.4.3. Sólido (hielo seco)

Se presenta por debajo del punto triple (- 56,6 °C) o al alcanzar los (- 78,5 °C) a presión atmosférica.

FIGURA 1. Fases del dióxido de carbono (CO_2) como refrigerante



[FUENTE: Elaboración propia del Comité Técnico de Normalización CT25 Gestión Ambiental].

5.1.5. Propiedades de seguridad

5.1.5.1. Es compatible con la mayoría de los materiales y no tiene efecto corrosivo.

5.1.5.2. Tiene alta solubilidad en agua y en ciertas concentraciones puede reaccionar formando un ácido débil.

5.1.5.3. Produce irritación de mucosas y ojos.

PROYECTO DE NORMA

5.1.5.4. Puede causar corrosión de las tuberías de acero.

5.1.5.5. Es más pesado que el aire y puede desplazar el oxígeno, provocando asfixia.

NOTA. Su clasificación de seguridad es A1 según lo especificado en la COVENIN 5006, no es inflamable ni toxico, mientras que la concentración se mantenga por debajo de 5 000 partes por millón.

5.2. Uso del dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante

5.2.1. Los tipos de sistemas de refrigeración con dióxido de carbono (CO_2) pueden ser:

a) Sistemas directos en cascada e indirectos.
b) Sistemas subcríticos y supercríticos o transcríticos.

5.2.2. La aplicación de estos sistemas es en:

a) Refrigeración comercial.

EJEMPLO:

Supermercados, tiendas por departamento, equipos compactos como máquinas expendedoras y auto contenidas.

b) Refrigeración industrial.

EJEMPLO:

Refrigeración de procesos y maquinarias, climatización de áreas operativas.

c) Transporte refrigerado.

EJEMPLO:

Cavas, contenedores y transportes o vehículos de pasajeros.

6. REQUISITOS

6.1. Requisitos para los sistemas de refrigeración que emplean dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante

6.1.1. Los sistemas de refrigeración que utilicen dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante deben ser diseñadas específicamente para su manejo, considerando sus propiedades termodinámicas, en particular su alto coeficiente de dilatación en fase líquida, a fin de prevenir sobrepresiones y fallas estructurales.

6.1.2. Se debe garantizar una ventilación adecuada en todos los espacios confinados donde se encuentren equipos o tuberías que contengan dióxido de carbono (CO_2).

NOTA. El dióxido de carbono (CO_2) es inodoro y más pesado que el aire; por tanto, puede acumularse a baja altura o en sitios poco ventilados con peligro de asfixia.

PROYECTO DE NORMA

6.1.3. Durante la operación normal y en condiciones de parada, los componentes del sistema deben mantenerse a presiones superiores a la presión atmosférica, con el fin de evitar la entrada de aire y la posible formación de mezclas no deseadas.

6.1.4. Las tuberías y demás elementos del circuito deben fabricarse preferentemente en acero inoxidable o cobre, materiales que garantizan resistencia a bajas temperaturas y a la corrosión, asegurando la integridad y durabilidad de la instalación.

6.1.5. El espesor mínimo para tubos de cobre debe ser mayor que 0,7 mm y es determinado por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{P\ X\ D}{20F + P}$$

dónde:

T es el espesor pared (mm).
D es el diámetro exterior del tubo (mm).
P es la presión máxima admisible en bar (relativa).
F es la resistencia en N/mm^2 para el tubo de cobre recocido.

6.1.6. Se deben instalar detectores de dióxido de carbono (CO_2) a una altura menor a 1 m sobre el nivel del suelo cuando la concentración supere los 0,8 mmol/mol – 1 mmol/mol (equivalente 800 ppm (V/V) a 1 000 ppm (V/V)), dado que es un gas inodoro y más denso que el aire.

6.1.7. Los detectores deben estar conectados a alarmas sonoras calibradas según los siguientes umbrales:

6.1.7.1. Al superar la concentración de dióxido de carbono (CO_2) de 5 mmol/mol (equivalente 5 000 ppm (V/V)), se debe activar de forma inmediata el protocolo de ventilación del recinto.

6.1.7.2. Al alcanzar una concentración de 10 mmol/mol (equivalente 10 000 ppm (V/V)), se debe prohibir estrictamente el acceso sin el uso de equipos de respiración autónoma (ver anexo A).

6.2. Requisitos para el personal que maneja dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante

6.2.1. Las instalaciones que utilicen el dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante deberán ser operadas exclusivamente por personal debidamente capacitado y competente en el manejo de este tipo de sistemas.

6.2.2. El personal deberá conocer los riesgos asociados al uso del dióxido de carbono (CO_2), especialmente aquellos relacionados con sobrepresiones y acumulación del gas en espacios confinados, así como las medidas preventivas y de control correspondientes.

6.2.3. Se deberá garantizar que el personal esté entrenado en procedimientos de operación segura, mantenimiento y respuesta ante emergencias, incluyendo la detección de fugas y la actuación en casos de posible asfixia.

6.2.4. El personal deberá cumplir con las normas de seguridad industrial aplicables y utilizar los equipos de protección personal requeridos para la operación de sistemas con el dióxido de carbono (CO_2).

PROYECTO DE NORMA

6.3. Precauciones durante el uso del dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante

6.3.1. Se debe verificar la hermeticidad.

6.3.2. La ausencia de humedad; vacío ≤ 675 Pa durante 6 h.

6.3.3. Se debe mantener el contenido de agua por debajo del máximo admisible; usar el dióxido de carbono (CO_2) seco y deshidratadores.

6.3.4. Se debe despresurizar antes de manipular cualquier componente.

6.3.5. Se debe vaciar previamente para soldar y llenar con aire o nitrógeno libre de oxígeno.

6.3.6. Se debe proteger las superficies externas de acero contra corrosión (aislar y pintar).

6.3.7. Se deben cumplir las normas para trabajos en espacios confinados en tanques o recintos con riesgo de presencia de concentraciones peligrosas.

6.3.8. Se debe evitar atrapamiento de líquido mediante válvulas de alivio u otros medios.

6.3.9. Las bombas aislables deben tener válvulas de alivio.

6.3.10. La impulsión de bombas debe llevar válvula de alivio independiente.

6.3.11. Se deben diseñar descargas de válvulas de seguridad evitando riesgo de bloqueo por dióxido de carbono (CO_2) sólido.

6.3.12. Se debe evitar condensaciones internas al abrir circuitos bajo 0 °C.

7. ALMACENAMIENTO

Ver COVENIN 5006, apartado 10.3.

8. INSPECCIÓN

Ver COVENIN 5006, anexo E.

PROYECTO DE NORMA

BIBLIOGRAFÍA

NTE INEN 2 377:2005. *Dióxido de carbono. Requisitos.* Instituto Ecuatoriano de Normalización.

AUSTRALIA. Industry Skills Councils. 2013. *Apply safety awareness and legal requirements for carbon dioxide refrigerant* (UEENEE J184A).

BARDIYA, S., POWAR, R. S. y KULKARNI, R. 2013. Safety aspects of CO 2 as refrigerant. *IOSR Journal of Mechanical Engineering*. 35-39.

CAVALLINI, A. y ZILIO, C. 2007. Carbon dioxide as a natural refrigerant. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *2*(3), 225-249. 10.1093/ijlct/2.3.225.

CERCADO, A. 2019, abril. CO_2 Transcrítico y Subcrítico. *Revista Cero Grados Celcius*.

DANFOSS. 2014. *Manual de aplicaciones: Aplicaciones de refrigeración industrial con amoníaco y CO_2*.

EEUU. New Jersey Department Of Health. 2016. Dióxido de Carbono. *Derecho a saber: Hoja informativa sobre sustancias peligrosas* (Número CAS: 124-38-9, número DOT: UN 1013), (0343). Disponible en: https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0343sp.pdf

MAINA, P.y HUAN, Z. 2015. A review of carbon dioxide as a refrigerant in refrigeration technology. *South African Journal of Science*, *111*(9/10), 1-10. Disponible en: https://doi.org/10.17159/sajs.2015/20140258

MÉXICO. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. *Buenas prácticas en el uso de sustancias alternativas a los hidroclorofluorocarbonos*. SEMARNAT.

PEARSON, A. 2005. Carbon dioxide: new uses for an old refrigerant. *International Journal of Refrigeration, 28*(8), 1140-1148. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.09.005.

RADERMACHER, P., BOTH, J., PAPST, I., GSCHRE, B. y ZEIGER, B. 2016. *Recommendations of safety guidelines and standards for the use of natural refrigerants*. German Environment Agency.

PROYECTO DE NORMA

ANEXO A (Informativo)
Concentraciones peligrosas del dióxido de carbono (CO_2) por la inhalación

A.1. Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2) en el aire exterior oscilan entre 350 y 400 mmol/mol (equivalentes 350 ppm (V/V) a 400 ppm (V/V)). En espacios confinados, concentraciones de hasta 1 mmol/mol (equivalente 1000 ppm) pueden considerarse inocuas.

A.2. A partir de 1 mmol/mol (equivalente 1 000 ppm (V/V)), el dióxido de carbono genera un efecto estimulante sobre los centros respiratorios; sin embargo, al acumularse en el torrente sanguíneo, provoca acidosis.

A.3. A partir de 5 mmol/mol (equivalente 5 000 ppm (V/V)), se requiere la instalación de sistemas de detección y la implementación de planes de evacuación en ambientes susceptibles de presentar fugas de dióxido de carbono que generen concentraciones peligrosas (ver tabla A.1.).

TABLA A.1. Concentraciones peligrosas del dióxido de carbono (CO_2) y sus efectos

Concentración	Efecto
5 mmol/mol a 1 mmol/mol (equivalente 5 000 ppm (V/V) a 10 000 ppm (V/V))	Efectos adversos a la salud de humanos, animales y plantas. A partir del 1 % aumenta el ritmo respiratorio.
2 mmol/mol (equivalente 20 000 ppm (V/V))	Incrementa la tasa respiratoria en 50 %.
3 mmol/mol (equivalente 30 000 ppm (V/V))	Incrementa la tasa respiratoria en 100 % y comienza a dificultarse respirar, leve efecto narcótico, dificultad para oír, dolor de cabeza y aumento de presión sanguínea.
4 mmol/mol a 5 mmol/mol (equivalente 40 000 ppm (V/V) a 50 000 ppm (V/V))	Incrementa la tasa respiratoria en 300 %, dolor de cabeza, atontamiento y sudoración al cabo de una hora. Ese valor es peligroso para la vida y la salud.
5 mmol/mol a 10 mmol/mol (equivalente Más de 50 000 ppm (V/V) hasta 100 000 ppm (V/V))	A los 10 minutos la respiración es muy difícil, dolor de cabeza, mareo, problemas visuales, zumbido en los oídos, hipertensión, aceleración del pulso y náuseas, convulsiones, pérdida del conocimiento y shock; la víctima se recupera lentamente al aire fresco.
A partir de 10 mmol/mol (equivalente 100 000 ppm (V/V))	Se considera letal.

[FUENTE: Elaboración propia del Comité Técnico de Normalización CT25 Gestión Ambiental].

PROYECTO DE NORMA

ANEXO B. (Informativo)
Características del dióxido de carbono (CO_2) como gas refrigerante

B.1. El dióxido de carbono (CO_2), designación ASHRAE: R-744; N° CAS: 124-38-9; tiene una alta densidad de vapor que facilita la transferencia de calor en los evaporadores, condensadores y enfriadores de gas, lo cual hace que se logre un enfriamiento muy rápido, resultando un refrigerante muy eficiente, un proceso más efectivo y un control más preciso de la temperatura en comparación con la mayoría de los refrigerantes

B.2. Presenta muy poca pérdida de presión en los circuitos, por lo que se pueden utilizar tuberías de menor diámetro; no es corrosivo, no reacciona con los metales.

B.3. El dióxido de carbono (CO_2), trabaja a presiones elevadas, comparables a las existentes a 750 m de profundidad del mar; con una elevada densidad, esto permite que los equipos como compresores, sean más pequeños, sin embargo, es necesario que sean más robustos con paredes más gruesas, para soportar altas presiones.

NOTA. Ningún equipo de refrigeración como los usados con los refrigerantes fluorados y los hidrocarburos puede utilizarse con dióxido de carbono (CO_2).

PROYECTO DE NORMA

ANEXO C (Informativo)
Valores críticos y punto triple de los gases refrigerantes más comunes

C.1. La presión y temperatura críticas del dióxido de carbono (CO_2) lo diferencian sustancialmente de la mayoría de los refrigerantes ordinarios, como se muestra en la tabla C.1.

TABLA C.1. Valores críticos de temperatura y presión de los gases refrigerantes más comunes

Refrigerante	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
R-22	96,2	4980
R-134a	101,1	4070
R-290	96,8	4250
R-600a	135,0	3650
R-717	132,2	11350
R-744	31,0	7380

[FUENTE: A review of CO_2 as a Refrigerant in refrigeration technology. Paul Main and Zhongjie Huan. South Africa Journal of Science 111(9/10, 2015].

C.2. El punto triple, en el cual las fases de vapor, líquido y sólido están en equilibrio, también se diferencia de los otros refrigerantes, como se observa en la tabla C.2.

TABLA C.2. Punto triple de algunos gases refrigerantes

Refrigerante	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
HFC-134a	-103,3 °C	39 kPa
R-717 (amoniaco)	-77,65 °C	609 kPa
R-744	-56,56 °C	520 kPa

[FUENTE: Tomada de la Buenas Prácticas en el uso de sustancias alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos. SEMARNAT, México. 2014].

C.3. Las características termodinámicas indicadas en el apartado 5.1.3. permiten al dióxido de carbono (CO_2) funcionar en dos configuraciones distintas: la supercrítica o transcrítica y la subcrítica.

C.4. La configuración subcrítica funciona muy bien en las regiones templadas donde la temperatura ambiente suele estar por debajo de los 31 °C, mientras que la supercrítica o transcrítica opera bien en la zona intertropical donde la temperatura ambiente por lo general excede los 31 °C, sin embargo, la configuración supercrítica es menos eficiente.

NOTA. Los sistemas supercríticos o transcríticos no tienen condensador sino un enfriador de gas, ya que la temperatura del refrigerante se encuentra por encima de la temperatura ambiente.

PROYECTO DE NORMA