

E. INSTRUMENTOS Y METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y EQUIPO BÁSICO DE REFRIGERACIÓN (Frutas y hortalizas)

1. Determinación de la temperatura

Las escalas Celsius o Centígrada (°C) y Fahrenheit (°F) son las más utilizadas en la medida y expresión de la temperatura tanto en la ciencia como en el comercio de frutas y hortalizas. La escala Celsius se basa en las transiciones de fase del agua (punto de congelación 0 °C; punto de ebullición 100 °C; a la presión atmosférica normal). Es la escala de temperatura del sistema internacional (SI) y por tanto la utilizada en un número creciente de países. La escala Fahrenheit, que ha sido ampliamente utilizada, fija la temperatura de congelación en 32 °F y la de ebullición en 212 °F.

Las lecturas de una escala pueden convertirse a lecturas sobre otra escala usando las siguientes ecuaciones:

°F = 9/5 °C + 32 y °C = 5/9(°F-32)

Temperatura absoluta

Las lecturas de temperaturas obtenidas de cualquiera de las escalas Fahrenheit o Celsius están basadas en puntos cero seleccionados arbitrariamente. Cuando sólo se desea conocer el cambio de temperatura que ocurre durante un proceso o la temperatura de una sustancia en relación con algún punto de referencia conocido, estas lecturas son adecuadas. Sin embargo, cuando las lecturas de temperatura deben aplicarse a ecuaciones que relacionan ciertas leyes fundamentales, es necesario utilizar lecturas de temperatura cuyo punto de referencia sea el verdadero o la temperatura de cero absoluto. Algunos experimentos han indicado que tal punto, conocido como cero absoluto, existe aproximadamente a -460°F o -273°C .

A las lecturas de temperatura obtenidas a partir del cero absoluto se les designa con el nombre de temperatura absoluta y pueden expresarse en grados Fahrenheit o Celsius. Una lectura de temperatura sobre la escala Fahrenheit puede convertirse a temperatura absoluta sumándole 460° a la lectura Fahrenheit. La temperatura resultante es en grados Rankine ($^{\circ}\text{R}$).

De igual manera las temperaturas Celsius pueden convertirse a temperaturas absolutas agregando 273° a la lectura Celsius. La temperatura resultante es en grados Kelvin (K).

Se usan las siguientes relaciones para convertir de y a temperaturas absolutas:

$$\begin{aligned} ^\circ\text{R} &= ^\circ\text{F} + 460^\circ & ^\circ\text{F} &= ^\circ\text{R} - 460^\circ \\ \text{K} &= ^\circ\text{C} + 273^\circ & ^\circ\text{C} &= \text{K} - 273^\circ \end{aligned}$$

Instrumentos para la medida de la temperatura

Termómetros líquidos

Estos termómetros que son los más frecuentemente utilizados para la medida de la temperatura se basan en el principio de la dilatación de los líquidos al calentarse y su contracción al enfriarse. Los cambios volumétricos se leen en una escala fija. Son instrumentos baratos, simples, de fácil lectura con una razonable velocidad de respuesta a los cambios de temperatura, pero son frágiles y deben tratarse con cuidado; el bulbo sensible, o reservorio de líquido, tiene que ser de pared delgada; la varilla es rígida lo que es frecuente causa de rotura. Los líquidos frecuentemente empleados en los termómetros de este tipo son el mercurio y los alcoholes etílico y metílico, frecuentemente coloreados de rojo para facilitar la lectura. Sus puntos de fusión y ebullición son $-38,9^\circ\text{C}$ y $356,6^\circ\text{C}$, respectivamente, para el mercurio y -115°C y $78,3^\circ\text{C}$ para el alcohol. El mercurio es venenoso y el que se derrame deberá, por tanto, ser manipulado con la consiguiente precaución.

Estos termómetros, si no han sido correctamente contruidos, proporcionan lecturas defectuosas. Si no están provistos del correspondiente certificado de calibrado deben ser calibrados con un instrumento patrón preciso, en ambos extremos de la escala. Los termómetros de este tipo están contruidos para ser, unos total y otros solo parcialmente, introducidos en el producto cuya temperatura quiera medirse y debe operarse de este modo con ellos. Al utilizar los termómetros es preciso tener cuidado de que las lecturas no se vean afectadas por fuentes de calor ajenas (y entre ellas nuestro propio cuerpo) a aquellas cuya temperatura se pretenda medir, y esperar el tiempo suficiente para que el termómetro alcance el equilibrio, ya que el vidrio tiene cierta conductancia y capacidad calórica.

Termómetros de tubo de Bourdon

Los termómetros de tubo de Bourdon permiten efectuar lecturas de temperatura a unos cuantos metros de distancia y son utilizados con frecuencia para la lectura de la temperatura de los almacenes frigoríficos desde el exterior. Constan de un bulbo termosensible, conectado por un capilar en un tubo de Bourdon, estando la totalidad del sistema relleno de un gas, un líquido o vapor saturado. El tubo de Bourdon se desplaza a causa de las modificaciones de la presión, inducidas en respuesta a las diferentes temperaturas, estando el tubo conectado a un indicador de temperatura sobre una escala circular. Los termómetros de tubo de Bourdon se construyen con bulbos pequeños de cobre u otro metal con un calor

específico bajo y una alta conductividad. Su respuesta a los cambios de temperatura es más lenta que la de los termómetros de líquidos encerrados en capilares de vidrio. Deben calibrarse con cierta regularidad.

Termómetros bimetalícos

Los termómetros bimetalícos constan de una lámina de dos metales uno de los cuales ofrece un coeficiente de expansión muy elevado y el otro muy bajo. La lámina cambia de forma con la temperatura y activa un indicador que se mueve sobre una escala circular; la respuesta a los cambios de temperatura es lenta. La lectura está sujeta a pequeños errores, debidos a la fricción de los componentes metálicos, que pueden superarse parcialmente golpeando suavemente la escala. Los termómetros bimetalícos son robustos y muy útiles para medir la temperatura en la masa de los productos que permitan la inserción de la punta termosensible. Para evitar errores debidos a la conducción térmica a través de la varilla metálica los termómetros deben introducirse en el producto cuya temperatura se pretende medir hasta una profundidad no inferior a 20 veces su diámetro.

Termopares

Si se soldan dos láminas de los metales diferentes, cerrando un circuito, y se mantienen las soldaduras a diferente temperatura se genera una fuerza

electromotriz que depende de los metales que forman el circuito y de la diferencia de temperatura entre ambas soldaduras. Los termómetros termoeléctricos se basan en este principio. El sistema más simple es el constituido por los termopares formados por dos alambres soldados en sus extremos y un galvanómetro introducido en el circuito, para medir la diferencia de potencial generada. Una de las soldaduras se mantiene a temperatura constante, generalmente 0 °C; la otra está constituida por el elemento sensible, que se coloca en el lugar cuya temperatura se desea medir. Cobre y constantan (una aleación con un 60 % de cobre y un 40 % de níquel) son los metales ordinariamente usados, que dan una fuerza electromotriz de 39 milivoltios por °C.

Los termopares ofrecen las siguientes ventajas: la longitud de los alambres no influyen en las lecturas, de modo que pueden usarse para efectuarlas en lugares bastante alejados de aquél en el que se forman; son de gran precisión y rapidez en la respuesta. Las lecturas pueden tomarse manualmente o registrarse de modo automático. Son muy útiles para estudiar los cambios de temperatura en el tiempo y en el espacio.

Termómetros de resistencia

Pueden usarse para efectuar lecturas precisas en lugares remotos y no requieren soldadura fría. El sensor está constituido por una resistencia termosensible, generalmente de platino, o un termistor. Son resistentes,

porque permiten proteger al sensor y porque el cable que lo conecta con el instrumento de medida puede ser fuerte y bien aislado. En virtud de su gran resistencia física suelen preferirse para instalaciones permanentes de lectura a distancia.

Termógrafos

Los termógrafos registran la temperatura, a lo largo de muchos días, en una carta que se mueve impulsada por un reloj; se basan en los cambios de forma de una banda o muelle metálico en respuesta a las fluctuaciones de la temperatura. Necesitan un cuidado regular y un ajuste y calibrado periódicos, tanto de temperatura como de tiempo.

Termómetros infrarrojos

Estos termómetros miden la energía emitida por el objeto como radiación infrarroja (invisible). La cantidad de energía emitida como radiación infrarroja es proporcional a la temperatura del objeto. Su mayor ventaja es que mide temperaturas puntuales sin tocar el objeto. Su lectura normalmente es digital.

Donde debe medirse la temperatura

La posición de los instrumentos de medida de la temperatura en las cámaras frías y estructuras similares ofrece considerable importancia, especialmente cuando se pretende seguir la velocidad de enfriamiento (o calentamiento), o cuando se está controlando por medio de termostatos la refrigeración o el calentamiento. Entre el producto colocado en una cámara frigorífica y el serpentín del refrigerador existe un gradiente de temperatura, que se acentúa por las fugas o por una colocación defectuosa de los productos a enfriar. El elemento termosensible del termostato que controla las unidades de refrigeración por corriente forzada debe situarse, de preferencia, en el aire que sale de la unidad de refrigeración; el termostato debe ajustarse de acuerdo con las lecturas de la temperatura en el seno del producto a refrigerar. En los barcos, almacenes frigoríficos y contenedores debe medirse la temperatura en diferentes puntos, ya que es inevitable que se den variaciones espaciales de la misma que pueden ser suficientes como para afectar adversamente a la refrigeración de parte de la carga. Las temperaturas del aire en la parte interna de la puerta de los mismos no es representativa de la de los productos almacenados.

2. Determinación de humedad

El contenido de vapor de agua en el aire, es decir, el estado psicrométrico de la atmósfera, se puede expresar en términos de contenido en agua o de presión de vapor y en valores absolutas o relativas.

La humedad relativa (HR) es el cociente entre la presión de vapor de agua en el aire en que se mide y la presión de vapor de agua del aire saturado, a la misma temperatura, expresado en porcentaje.

$$HR = (P/P_0)T \times 100$$

donde P = presión de vapor de agua del aire a la temperatura T .

P_0 = presión de vapor del aire saturado a la misma temperatura.

Es importante tener en cuenta que la humedad relativa exige que las cifras que intervienen en el establecimiento del cociente se refieran a las mismas temperaturas y presión barométrica.

Humedad absoluta (o específica) es el peso del vapor de agua contenido en un determinado peso de aire seco. Las cartas psicrométricas típicas están provistas de una escala que indica la humedad absoluta en gramos, o kilogramos, de agua, en estado de vapor, por kilogramo de aire seco. La humedad absoluta es proporcional a la presión de vapor.

Presión de saturación es la presión ejercida por la máxima cantidad de agua que puede contener el aire a una determinada temperatura (HR=100%). La presión de vapor de saturación aumenta rápidamente a medida que lo hace la temperatura del aire.

Punto de rocío es la temperatura a la que el aire se satura cuando se enfría sin variación del contenido en agua. Es también un parámetro práctico, ya que indica simultáneamente temperatura y 100 % de humedad relativa. Las modificaciones de la temperatura del aire por encima del punto de rocío no afectan al contenido en agua, pero el enfriamiento por debajo del mismo elimina agua del aire, por condensación sobre superficies más frías. La determinación de los puntos de rocío tiene considerable importancia práctica en el almacenamiento y transporte de productos en los que es preciso evitar la condensación.

Tipos de higrómetros

Del mismo modo que existen varios procedimientos de definir el estado psicrométrico de la atmósfera, también se han ideado numerosos métodos de determinarlo. Ningún higrómetro, o psicrómetro, es idóneo para todos los fines en el rango total de presiones y temperaturas.

Higrómetros de bulbo húmedo y bulbo seco

El higrómetro de bulbo húmedo y bulbo seco constituye el instrumento más simple, al tiempo que el más ampliamente utilizado, para la determinación de la humedad del aire. Consta de dos termómetros, uno de los cuales (bulbo seco) mide la temperatura del aire y el otro, (bulbo húmedo) tiene un pabilo húmedo en torno al éste. Para que el agua del pabilo se evapore se precisa un suministro de energía, que tiene lugar a expensas del resto del agua, que se enfría. Cuando más seco está el aire más rápida será la evaporación y mayor el descenso de la temperatura, descenso que puede traducirse a humedad relativa, presión de vapor de agua o punto de rocío, utilizando tablas psicrométricas (ver tabla No E.2.1.). Los valores que se encuentran en estas tablas son dependientes de la presión atmosférica, pero para la mayoría de los fines pueden ignorarse las variaciones causadas por la presión en el intervalo 82-101 kilopascuales (620-760 milímetros de mercurio, altitudes de 0 a 1.500 metros).

Para efectuar medidas precisas, es necesario tomar ciertas precauciones. El pabilo debe estar limpio, libre de polvo y otros contaminantes. Se recomienda el uso de agua destilada. Los bulbos deben ventilarse estableciendo una corriente de aire de al menos 3 metros por Segundo, para asegurar una evaporación y por tanto un descenso de temperatura idóneos en el bulbo húmedo. La fórmula utilizada para preparar las tablas asume un enfriamiento evaporativo adiabático, de modo que es preciso proteger el

instrumento de fuentes radiantes, como el sol, las bombillas o cualquier superficie más caliente o más fría que el aire que le rodea.

Si se opera cuidadosamente y los termómetros se leen con una aproximación de 0.1°C se puede conocer la humedad relativa con una precisión de $\pm 0.1\%$. El más elemental de los instrumentos de este tipo es el psicrómetro de volteo. El de tipo Assman la aspiración se efectúa con ayuda de un pequeño ventilador impulsado por un motor; este es un instrumento normalizado; protegido con la radiación y con termómetros precisos y de calibrado fino. El de volteo es sin duda el más generalmente usado y en la mayor parte de los casos el más idóneo para los fines perseguidos. Hoy existen instrumentos de bulbo húmedo y bulbo seco que en lugar de termómetros constituidos por capilares y bulbos de vidrio y mercurio utilizan termistores; sus principales ventajas son su pequeño tamaño, la probabilidad de utilizarlos a distancia y el control remoto.

Higrómetros de Cabello

Tienen como elemento sensor varios cabellos, o una fibra de algún otro producto con capacidad sorción y desorción de agua acompañados de cambios de longitud, mecánicamente unidos a un indicador. La respuesta es lenta (10-30 minutos) porque también lo es la sorción de agua por parte de los capilares y presenta fenómenos de histeresis, porque la respuesta también, en alguna medida, de la cantidad de agua que el sistema

contenga. Estos instrumentos no deben exponerse, por tanto, a fluctuaciones amplias de la humedad o la temperatura. Deben calibrarse para rangos de temperatura estrechos. En el rango de humedad relativa de 30-80 % ofrecen una precisión del 2 al 5 %. Son útiles para conseguir variaciones lentas de humedad, a temperaturas prácticamente constantes, como ocurre en los almacenes frigoríficos.

Higrómetros eléctricos

Estos instrumentos miden el estado psicrométrico de la atmósfera registrando las variaciones en la resistencia (capacitancia o algún otro parámetro eléctrico) de un sensor con la sorción o desorción de agua. Están constituidos por electrodos metálicos, o de carbono, impregnados o cubiertos por una capa fina de una disolución de algún electrolito que se equilibra con el aire del entorno sorbiendo o desorbiendo agua. Los instrumentos que miden la conducción son temperatura dependiente y sufren por tanto fenómenos de histeresis y envejecimiento, pero son pequeños y de respuesta rápida. Las señales pueden amplificarse y se prestan bien al control remoto. Los sensores de capacitancia son más estables y más fiables.

Higrómetros de punto de rocío

Para medir el estado psicrométrico de la atmósfera con este tipo de

higrómetros se enfría el aire, de manera que su contenido en agua no sufra variación alguna, hasta alcanzar la saturación, registrándose la temperatura (punto de rocío) a la que comienza a apreciarse condensación sobre la superficie de un espejo. A partir de esta temperatura, es fácil calcular la presión de vapor o la humedad relativa del aire.

3. Calor específico

El calor específico (c) de cualquier sustancia es la cantidad de energía en Btu necesaria para producir un cambio de temperatura de 1°F a 1 lb de masa. Por ejemplo, el calor específico del latón es $0.089 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$. Esto indica que se debe suministrar 0.089 Btu a 1 lb de latón para aumentar su temperatura en 1°F . Inversamente, 0.089 Btu deberán extraerle para reducir en 1°F la temperatura del latón. De acuerdo con la definición del Btu, el calor específico del agua, está fijado en un Btu por libra por grado Fahrenheit ($1 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$).

Aun cuando el valor del calor específico para cualquier sustancia varía con el rango de temperatura, para casi todos los líquidos y sólidos el cambio es pequeño por lo que se puede suponer que el calor específico es constante para la mayor parte de los cálculos de rutina. Sin embargo, el calor específico de una sustancia cambia significativamente con un cambio en fase. Por ejemplo, el calor específico del agua es $1 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$, mientras que el calor específico del hielo es $0.5 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$.

El calor específico de cualquier gas tiene valores muy diferentes dependiendo de las condiciones de temperatura a las cuales está sujeto el gas.

Cálculo de la cantidad de calor

De acuerdo a la definición de calor específico, es evidente que la cantidad de energía suministrada, o extraída, a una masa conocida de material para producir un cambio específico en su temperatura, puede obtenerse a partir de la siguiente relación:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

donde:

- Q = Cantidad de energía térmica en unidades térmicas británicas
- m = Masa en libras
- c = Calor específico en Btu por libra por grados Fahrenheit (Btu/lb°F)
- T₁ = Temperatura inicial en grados Rankine o en grados Fahrenheit
- T₂ = Temperatura final en grados Rankine o en grados Fahrenheit, consistente con T₁

Obsérvese que la razón de flujo de masa puede ser sustituida en la ecuación por la cantidad de masa (m), en cuyo caso Q será la razón de flujo de energía térmica en lugar de la cantidad de energía térmica.

4. Calor sensible y calor latente

La energía térmica transferida a, o proveniente de, una sustancia puede provocar un cambio en la fase de la sustancia así como también un cambio en su temperatura. Por conveniencia, la energía térmica se divide en dos tipos o categorías, dependiendo de si la sustancia absorba o ceda energía térmica. A la energía térmica que cause o produzca un cambio en la temperatura de la sustancia se le llama calor sensible, mientras que a la energía térmica que cause o produzca un cambio en la fase de la sustancia se le llama calor latente.

Al producirse un aumento en la temperatura, casi todos los materiales experimentan dos cambios en su estado de agregación. Primero, éstos pasan de la fase sólida a la fase líquida, y después, al seguir aumentando la temperatura del líquido hasta un valor tal que no pueda existir como líquido, el líquido pasara a ser vapor. Cuando ocurre un cambio entre las fases sólida y líquida, en cualquier dirección, al calor latente involucrado se le conoce como calor latente de fusión. Cuando ocurre un cambio entre las fases de líquido y vapor, en cualquier dirección, al calor latente involucrado se le llama calor latente de vaporización.

Es importante enfatizar que el cambio de fase ocurre en cualquier dirección a la temperatura de fusión; que es, la temperatura a la cual el sólido pasa a líquido y que es la misma a la cual el líquido estando congelado pasa a

ser sólido. Por lo tanto, la cantidad de energía necesaria para producir el cambio será la misma en cualquiera de los dos casos y puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot h_{if}$$

donde: Q = Cantidad de calor latente en Btu
 m = Masa en libras
 h_{if} = Calor latente de fusión en Btu por libra

Las equivalencias de las unidades inglesas y métricas para masa y energía son:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ lb} = 0.4536 \text{ Kg} & 1 \text{ Kg} = 2.205 \text{ lb} \\ 1 \text{ Btu} = 0.2520 \text{ Kcal} & 1 \text{ KCal} = 3.968 \text{ Btu} \end{array}$$

5. Sistema típico de compresión-vapor

El sistema típico de compresión-vapor, es el sistema básico de las máquinas de refrigeración. Las partes principales del sistema son:
 (ver diagrama No.E.5.1)

- a. Un evaporador cuya función es proporcionar una superficie para transferencia de calor a través del cual puede pasar calor del espacio o producto refrigerado hacia el refrigerante vaporizante.
- b. Un tubo de succión, en el cual se transporta el vapor de baja presión desde el evaporador hasta la entrada en la succión del compresor.

- c. Un compresor de vapor, cuya función es eliminar el vapor del evaporador, elevar la temperatura y presión del vapor hasta un punto tal que el vapor pueda ser condensado a través de un medio condensante normalmente disponible.
- d. Un "gas caliente" o tubo de descarga el cual entrega el vapor de presión-alta y temperatura alta desde la descarga del compresor hasta el condensador.
- e. Un condensador, cuyo propósito es proporcionar una superficie de transferencia de calor a través de la cual pasará calor del vapor refrigerante caliente hacia el medio condensante.
- f. Un tanque receptor, el cual proporciona almacenamiento al líquido condensado de tal modo que el suministro constante de líquido está disponible a las necesidades del evaporador.
- g. Una tubería del líquido, la cual conduce el refrigerante líquido desde el depósito hasta el control de flujo del refrigerante.
- h. Un control del flujo refrigerante, cuya función es medir la cantidad apropiada de refrigerante usada en el evaporador y reducir la presión del líquido que llega al evaporador de tal modo que la vaporización del líquido en el evaporador se efectúa a la temperatura deseada.

Tabla No.E.2.1.

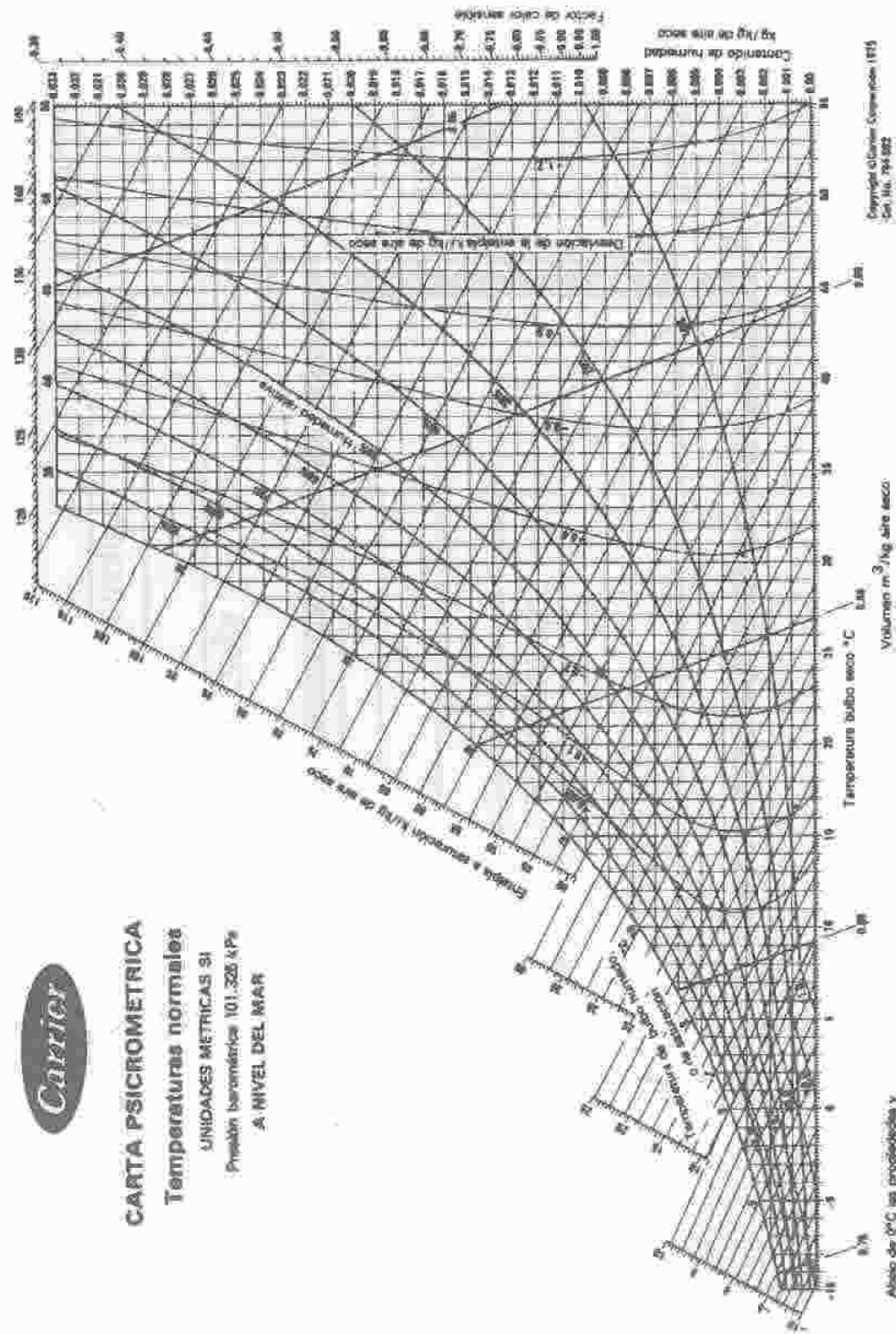


Diagrama No.E.5.1.

Sistema típico compresión-vapor

