

## Table of Contents

1 Teoría básica para frigoristas.....	2
1.1 Temperatura y calor.....	2
1.1.1 Escala de Celsius.....	2
1.1.2 Escala Fahrenheit.....	2
1.1.3 Escala absoluta.....	3
1.2 Presión.....	4
1.2.1 Presión absoluta, manométrica y presión de vacío.....	5
1.3 Ejercicios temperatura y presión.....	6
1.4 Energía y potencia.....	7
1.4.1 Trabajo y calor.....	7
1.4.2 Potencia.....	9
1.4.2.1 Potencia térmica.....	9
1.4.3 Rendimiento o eficiencia energética.....	10
1.5 Ejercicios energía y potencia.....	11
1.6 Calor.....	12
1.6.1 Calor específico.....	12
1.6.2 Cambio de estado. Calor sensible y latente.....	13
1.6.3 Transmisión del calor.....	15
1.6.4 Ejemplo de transmisión del calor a través de la pared de una cámara frigorífica.....	19
1.6.5 Saturación, subenfriado y sobrecalentado.....	20
1.7 Ejercicios calor.....	25
1.8 Leyes de los gases.....	27
1.8.1 Compresión de un gas a temperatura constante (Ley de Boyle).....	27
1.8.2 Expansión de un gas a presión constante (Ley de Gay-Lussac).....	28
1.8.3 Mezcla de gases (Ley de Dalton).....	29
1.8.4 Diagrama entálpico (Mollier).....	30
1.9 Ejercicios gases y diagrama p h.....	38
1.10 Caudal y velocidad.....	40
1.10.1 Conservación del caudal volumétrico.....	41
1.11 Soluciones.....	44

# 1 Teoría básica para frigoristas

## 1.1 Temperatura y calor

La temperatura indica el nivel de calor que tiene un cuerpo. El calor es una forma de energía relacionada con el movimiento de las moléculas de una sustancia.

A medida que se aporta calor a una sustancia, el movimiento molecular aumenta. La temperatura también se incrementa, a menos que se produzca un cambio de estado físico.

### 1.1.1 Escala de Celsius

La escala Celsius se basa en el punto de congelación y ebullición del agua a presión normal (1013 mbar).

Para graduar un termómetro en grados celsius, se toma como referencia para el valor inicial (0 °C) la temperatura de congelación del agua.

La temperatura de ebullición del agua se define como 100 °C.

### 1.1.2 Escala Farenheit

Igual que la escala Celsius, se basa en los puntos de congelación y ebullición del agua, pero dividiendo este rango en 180 grados y definiendo el punto de congelación como 32 ° F y el de ebullición como 32 °F + 180 °F = 212 °F.

Por tanto, 1 °C equivale a 1,8 °F

Conversión de °C a °F

$$(T\text{ °C} \times 1,8) + 32\text{ °F} = T\text{ °F}$$

$$50\text{ °C} \rightarrow (50 \times 1,8) + 32\text{ °F} = 122\text{ °F}$$

Conversión de °F a °C

$$((T\text{ °F} - 32\text{ °F}) / 1,8) = T\text{ °C}$$

$$(122\text{ °F} - 32\text{ °F}) / 1,8 = 50\text{ °C}$$

### 1.1.3 Escala absoluta

En el sistema internacional de unidades (SI), la escala de temperatura utilizada es grados Kelvin (K). Su cero corresponde a un estado en que la energía de movimiento (cinética) de las moléculas es cero. Teóricamente la temperatura en la que el movimiento molecular se detiene es 0 K y equivale a -273,15 °C. El punto de congelación del agua (o fusión del hielo), corresponde a 273,15 K y el de ebullición a 373,15 K.

Conversión entre K y °C

$$T \text{ K} = T \text{ °C} + 273,15 \text{ K} \quad \text{y} \quad T \text{ °C} = T \text{ K} - 273,15 \text{ °C}$$

## 1.2 Presión

La presión  $p$  se define como la fuerza  $F$  que actúa sobre la superficie  $A$ .

$$p = \frac{F}{A}$$

La unidad en el SI es el pascal  $1 Pa = 1 \frac{N}{m^2}$

Otra unidad de presión frecuentemente utilizada es el bar, que equivale a la presión que ejerce una columna de agua (c.a.) de 10 m de altura.

$$1 \text{ bar} = \frac{10\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{m^2} = 98\,100 \frac{N}{m^2} \text{ aprox. } 100\,000 \frac{N}{m^2}$$

100 000 Pa equivalen aproximadamente a 1 bar, por tanto, 1 Pa equivaldría a la presión de 0,1 mm c.a.

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 10 \text{ mm c.a.} = 1 \text{ cm c.a.}$$

Como la unidad de presión Pa daría valores muy grandes en las instalaciones frigoríficas, resulta más cómodo utilizar como unidad de presión el bar.

En la medición de la presión atmosférica se suele utilizar el mbar. Se ha definido la presión normal como 1013 mbar, por ser una presión atmosférica muy frecuente a nivel de mar. La presión normal sirve como una presión de referencia en cálculos termodinámicos.

### 1.2.1 Presión absoluta, manométrica y presión de vacío

La presión en cualquier sistema de unidades se puede expresar como presión absoluta  $p_{abs}$  o como presión relativa o manométrica  $p_{man}$ . Esta denominación no afecta a la unidad, sino al cero de la escala. La presión absoluta se mide respecto al cero absoluto (vacío total) y la presión relativa con relación a la presión atmosférica local  $p_{atm}$ . La presión atmosférica normal se suele aproximar con 1 bar.

La presión de vacío es una presión inferior a la atmosférica local, y se mide con el vacuómetro, indicando presiones negativas.

$$p_{abs} = p_{man} + p_{atm}$$

## 1.3 Ejercicios temperatura y presión

### *1\_2 Ejercicio 1.3-1*

Busca información sobre diferentes tipos de termómetros y explica sus principios de funcionamiento.

### *1\_2 Ejercicio 1.3-2*

¿A qué temperatura corresponden 30 ° C en °F y en K?

### *1\_2 Ejercicio 1.3-3*

¿A qué presión corresponde 1 m c.a. en bar y en Pa?

### *1\_2 Ejercicio 1.3-4*

Un manómetro marca una presión de 5,3 bar.

¿Cuál es la presión absoluta?

## 1.4 Energía y potencia

### 1.4.1 Trabajo y calor

Mediante el trabajo o el calor, se transmite energía entre cuerpos.

Por ejemplo, para subir un compresor de 50 kg de masa desde la calle a la azotea de un edificio de 10 m de altura, se realiza un trabajo mecánico que causa un aumento de la energía potencial del compresor.

El trabajo  $W$  (work) sobre un objeto está definido como fuerza  $F$  por la distancia  $d$  recorrida por el objeto.

$$W = F \cdot d$$

En el ejemplo, sobre el compresor actúa la fuerza de la gravedad, que conociendo la masa  $m$  se calcula:

$$F = m \cdot g$$

constante de aceleración terrestre  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

$$F = 50 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 490,5 \text{ N}$$

Esta es la fuerza necesaria para levantar el compresor. El trabajo se calcula multiplicando esta fuerza por la altura a la que se eleva el compresor.

$$W = 490,5 \text{ N} \cdot 10 \text{ m} = 4905 \text{ Nm}$$

Normalmente el trabajo no se indica en Nm, sino en julios (joule)  $J$ .

Como  $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$ , el trabajo necesario para subir el compresor a la azotea es de 4905  $J$ .

El calor es la energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura. La dirección de la transferencia del calor es siempre del cuerpo de mayor temperatura al cuerpo de menor temperatura, de caliente hacia frío. Decimos que se alcanza un equilibrio térmico cuando las temperaturas de los cuerpos se han igualado.

Como ejemplo podemos observar un cubito de hielo en una vaso de agua. El agua del vaso que rodea el cubito es el cuerpo caliente, el cubito el cuerpo frío. Si no aportamos energía desde el exterior, no podemos evitar que el cubito aumente su temperatura hasta fundirse y desaparecer. La temperatura del agua del cubito y del agua contenida en el vaso, al final del proceso, se han igualado. El agua del cubito ha aumentado su temperatura, mientras que la temperatura del agua del vaso ha bajado.

El calor se identifica con el símbolo **Q**. En el antiguo sistema métrico de unidades se usaba el término caloría **cal** para cuantificar el calor. La caloría está definida como la cantidad de calor necesaria para elevar 1 K la temperatura de 1 g de agua.

En el SI, la unidad en la que se mide el calor es el julio **J**.

Para elevar la temperatura de 1 g de agua 1 K, se necesitan 4,19 **J**.

La relación entre caloría y julio es:

$$1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$$

El calor específico  $c_p$  (a presión constante) de una sustancia es la energía que se necesita para elevar la temperatura de 1 kg de la sustancia 1 K.

En el caso del agua en estado líquido, para elevar 1 kg de agua 1 K, necesitamos 4,19 kJ.

Por tanto el calor específico del agua es de  $c_{p \text{ H}_2\text{O}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

El calor específico indica la energía que se necesita para elevar la temperatura 1 K de 1 kg de la sustancia.

#### **+Energía interior a nivel molecular - Temperatura+**

Marcombo - Materia y moléculas, pág. 17

Marcombo - Energía, pág. 18

Marcombo – Calor y frío, pág. 19

Marcombo – Calor y temperatura, pág. 21

Marcombo – Calor y temperatura, pág. 22 – cálculo de la temperatura media de la mezcla de líquidos

Marcombo – Energía interna, pág. 28



### 1.4.2 Potencia

La potencia **P** está relacionada con el trabajo. La potencia indica la capacidad de hacer un trabajo **W** en un determinado tiempo **t**.

$$P = \frac{W}{t}$$

trabajo W en J

tiempo t en s

La unidad de la potencia es el watio **W**. Esto puede inducir a confusión con el trabajo, pues el símbolo para ambos es la W, pero hay que recordar que el trabajo es una magnitud y el watio la unidad de la potencia.

Por ejemplo, un compresor de 50 kg se puede subir a la azotea de un edificio en una hora, o en 10 minutos. Para subirlo en 10 minutos, se necesitará 6 veces más potencia que para subirlo en una hora.

El cálculo sería:

$$P_{1h} = \frac{4905 J}{3600 s} = 1,36 W$$

$$P_{10min} = \frac{4905 J}{600 s} = 8,18 W$$

El caballo de vapor **CV** y el caballo de fuerza **HP**, son unidades de potencia antiguas, pero que a veces todavía aparecen, sobre todo en documentación antigua.

$$1 CV = 735,5 W$$

$$1 HP = 745,7 W$$

#### 1.4.2.1 Potencia térmica

La potencia térmica indica la velocidad con la que el calor pasa de un cuerpo a otro. Se define como el calor referido a una unidad de tiempo.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$$

Por ejemplo, un depósito de agua de 50 kg se enfria de 50 a 40 °C en 10 minutos. La potencia térmica para realizar este enfriamiento es de :

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{4,19 \frac{kJ}{kg K} \cdot 50 kg \cdot 10 K}{600 s} = 3,49 kW = 3490 W$$

Antiguamente se utilizaba la kilocaloría, o frigoría para indicar la potencia térmica. 1 kcal = 4,19 kJ

### 1.4.3 Rendimiento o eficiencia energética

Las máquinas no pueden transformar íntegramente la energía que recibe en trabajo útil, ya que una parte de la energía se pierde, por ejemplo en forma de calor. Se distingue entre potencia consumida

$P_c$  y potencia útil o producida  $P_u$ . El rendimiento  $\eta$  indica la relación entre la potencia útil y la consumida.

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia consumida}}$$

La potencia perdida es  $P_p = P_c - P_u$

## 1.5 Ejercicios energía y potencia

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-1***

Calcula el trabajo necesario para subir un vehículo de 1000 kg una altura de 100 m.

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-2***

Calcula la energía necesaria para calentar los 150 l de agua de una bañera. El agua llega con una temperatura de 10 °C y se calienta a 37 °C.

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-3***

Calcula la temperatura en °C de la mezcla de 15 l de agua a 10 °C con 30 l de agua a 30 °C.

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-4***

Calcula la potencia de un ciclista de 100 kg (peso del ciclista más bici) que sube 100 m en 10 min.

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-5***

Calcula la potencia necesaria para calentar 10 l de agua de 20 °C a 100 °C en 10 minutos.

Indica la potencia en kW y en  $\frac{kcal}{h}$ .

### ***1\_2 Ejercicio 1.5-6***

Calcula el rendimiento de un calentador de agua de 100 W, que tarda en calentar 2 l de agua de 10 °C a 100 °C en 3 h.

## 1.6 Calor

### 1.6.1 Calor específico

El calor específico  $c_p$  (a presión normal constante) de una sustancia es la cantidad de calor que hay que suministrar a 1kg de dicha sustancia para elevar su temperatura 1 K.

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} \quad \text{la unitat es} \quad \frac{J}{kg \cdot K}$$

$T_1$  temperatura antes de aportar calor

$T_2$  temperatura después de aportar calor

Ejemplos de calor específico para distintas sustancias

$$C_{p \text{ aire}} = 1 \frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (\text{a } 25^\circ C)$$

$$C_{p \text{ agua}} = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Material	Calor específico J/(kg·K°)
Aceite oliva	2000
Acero	460
Acero Inoxidable	510
Aire	1010
Agua	4186
Aluminio	880
Cobre	390
Estaño	230
Granito	800
Hierro	450
Madera	1760
Mercurio	138
Oro	130
Plata	235
Platino	130
Plomo	130
Sodio	1300

Fuente: <http://www.valvias.com/prontuario-propiedades-materiales-calor-especifico.php>

### 1.6.2 Cambio de estado. Calor sensible y latente.

En la naturaleza, las sustancias se encuentran en tres estados (fases) diferentes, sólido, líquido y gaseoso. La presión y la temperatura determinan el estado de una sustancia. Variando presión o temperatura, se producen cambios de estado.

El paso de sólido a líquido se llama fusión, inversamente, de líquido a sólido se congela. Aumentando la temperatura de un líquido hasta el punto de ebullición, el líquido comienza a hervir, pasando al estado gaseoso (ebullición, vaporización). El proceso inverso es la condensación, del estado gaseoso la sustancia pasa al estado líquido.

También existe una transformación de sólido directamente al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido. Esto se llama sublimación.

Cuando el calor aportado o eliminado a una sustancia provoca un cambio de temperatura, se habla de calor sensible. Esto sucede al calentar una sustancia sólida, líquida o gaseosa, sin que se produzca un cambio de estado.

Durante un cambio de estado, la temperatura se mantiene constante, a pesar de estar produciéndose una aportación o eliminación de calor.

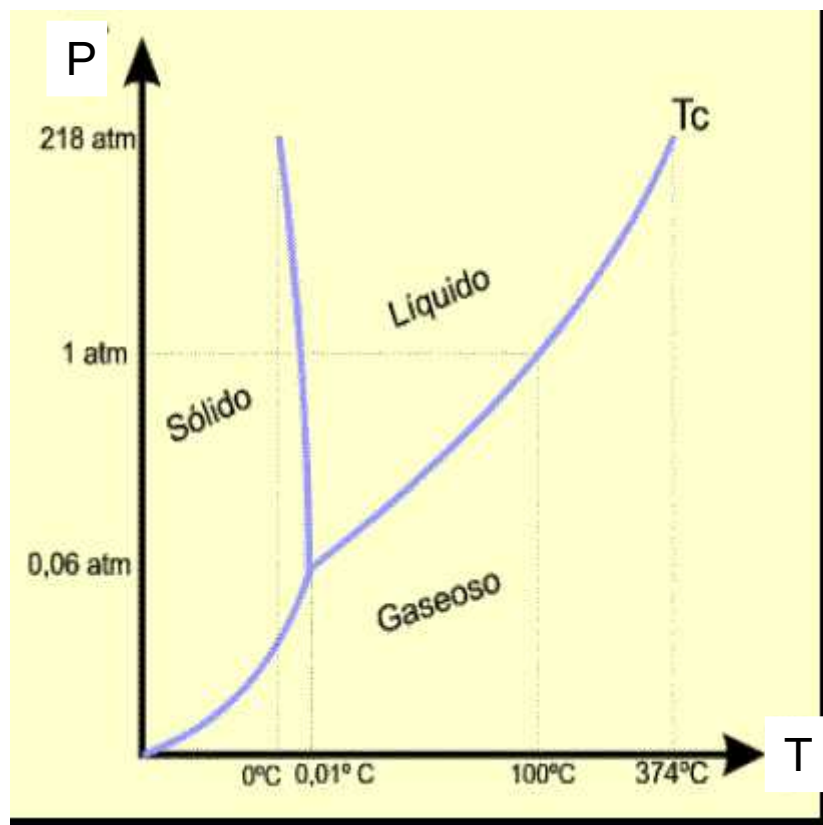


Diagrama de fases del agua

Para que ocurra un cambio de estado, tiene que cambiar el contenido de energía de una sustancia.

Para pasar del estado sólido al líquido, fusión, hay que aportar calor, o reducir la presión. A la inversa, para congelar una sustancia del estado líquido al sólido, hay que eliminar calor o aumentar la presión.

Para pasar del estado líquido al gaseoso, ebullición (vaporización), hay que aportar calor, o reducir la presión. A la inversa, para condensar una sustancia del estado gaseoso al líquido, hay que eliminar calor o aumentar la presión.

Los cambios de estado se producen a temperatura constante. Por ejemplo, el agua se congela a 0°C y vaporiza a 100 °C a presión normal.

El calor latente de fusión (congelación) es la cantidad de calor que hay que aportar (eliminar) para que 1 kg de una sustancia se funda (congele).

El calor latente de vaporización (condensación) es la cantidad de calor que hay que aportar (eliminar) para que 1 kg de una sustancia pase del estado líquido al gaseoso (condense).

En el caso del agua, el calor latente de fusión (congelación) es

$$Q_{fus} = 334 \frac{kJ}{kg}$$

El calor latente de fusión varía muy poco con la presión.

En el caso de la vaporización, el calor latente del agua es de

$Q_{vap} = 2264 \frac{kJ}{kg}$  a presión normal. Al aumentar la presión aumenta la temperatura de ebullición (saturación) del líquido y disminuye el calor latente de vaporización.

Información adicional:

Marcombo – Efecto del calor sobre el estado físico, pág. 30

Marcombo – Estados de un cuerpo, pág. 31

### 1.6.3 Transmisión del calor

Las diferencias de temperatura causan flujos de calor. Se diferencia entre la transmisión del calor por convección, conducción y radiación.

La **transmisión por convección** se produce en gases y líquidos, por el movimiento del gas o líquido en forma de corrientes. La convección natural son corrientes causadas por la diferencia de temperatura de la sustancia, que causa un cambio en su densidad. Tanto gases como líquidos reducen su densidad al aumentar su temperatura. Si se calienta un volumen de aire, este tiene tendencia a subir, por ser menos denso que el aire que lo rodea. Este efecto se aprovecha en los globos de aire caliente. También es la causa del tiro de una chimenea.

Para entender cómo influye la velocidad del fluido en la transmisión de calor entre el fluido y la superficie del cuerpo a enfriar, supongamos una persona, que se encuentra en el exterior, a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiente.

Si no hay viento, el aire a su alrededor se ira calentando, formando una zona de aire (zona de transición), en la que la temperatura baja desde la temperatura de la superficie de la ropa, por ejemplo  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta la temperatura ambiente  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El grosor de esta zona podría ser de unos pocos centímetros.

Si se levanta viento, la temperatura de la superficie de la ropa baja y el grosor de la zona de transición de temperatura también se reduce. El flujo de calor  $\dot{Q}$  del cuerpo al ambiente aumenta.



Paulino Posada



Cuando se utiliza un ventilador para aumentar el flujo de aire y calor en un intercambiador (evaporador, condensador), se habla de convección forzada.

$$\dot{Q}_{convec} = \alpha \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$$

A superficie de transmisión en  $m^2$

$\alpha = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  coeficiente de transmisión aproximado para la transmisión de calor del aire  
(velocidad del aire < 5 m/s) a una pared lisa

$T_2$  Temperatura del aire alejado de la pared

$T_1$  Temperatura de la pared en contacto con el aire

El coeficiente  $\alpha$  es complicado de obtener. Depende de muy diversas condiciones, por ello para los cálculos se utilizan valores que intentan ofrecer resultados aproximados a las condiciones reales.

La **transmisión por conducción** es la que se produce a través de una sustancia en estado sólido.

$$\dot{Q}_{condu} = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{x}$$

$\lambda$  conductividad térmica en  $\frac{W}{m \cdot K}$  depende del material

$T_2$  Temperatura en superficie exterior de la pared

$T_1$  Temperatura en superficie interior de la pared

A superficie de transmisión en  $m^2$

x grosor de la pared en m



Material	Densidad, kg / m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, W / (m · deg)	Capacidad calorífica, J / (kg deg)
ABS (plástico ABS)	1030...1060	0.13...0.22	1300...2300
Hormigón de agloporita y hormigón sobre escorias combustibles (calderas)	1000...1800	0.29...0.7	840
Acrílico (vidrio acrílico, metacrilato de polimetilo, plexiglás) GOST 17622-72	1100...1200	0.21	—
Alfol	20...40	0.118...0.135	—
Aluminio (GOST 22233-83)	2600	221	897
Amianto fibroso	470	0.16	1050
Fibrocemento	1500...1900	1.76	1500
Lámina de fibrocemento	1600	0.4	1500
Basalto	2600...3000	3.5	850
Baquelita	1250	0.23	—
Balsa	110...140	0.043...0.052	—
Abedul	510...770	0.15	1250

Ejemplos de conductividad térmica para diversos materiales

La **transmisión por radiación** se produce sin necesidad de una sustancia transmisora. Por ejemplo, el sol transmite energía a la tierra por radiación. Esta radiación se propaga a través del vacío en el espacio entre el sol y la tierra.

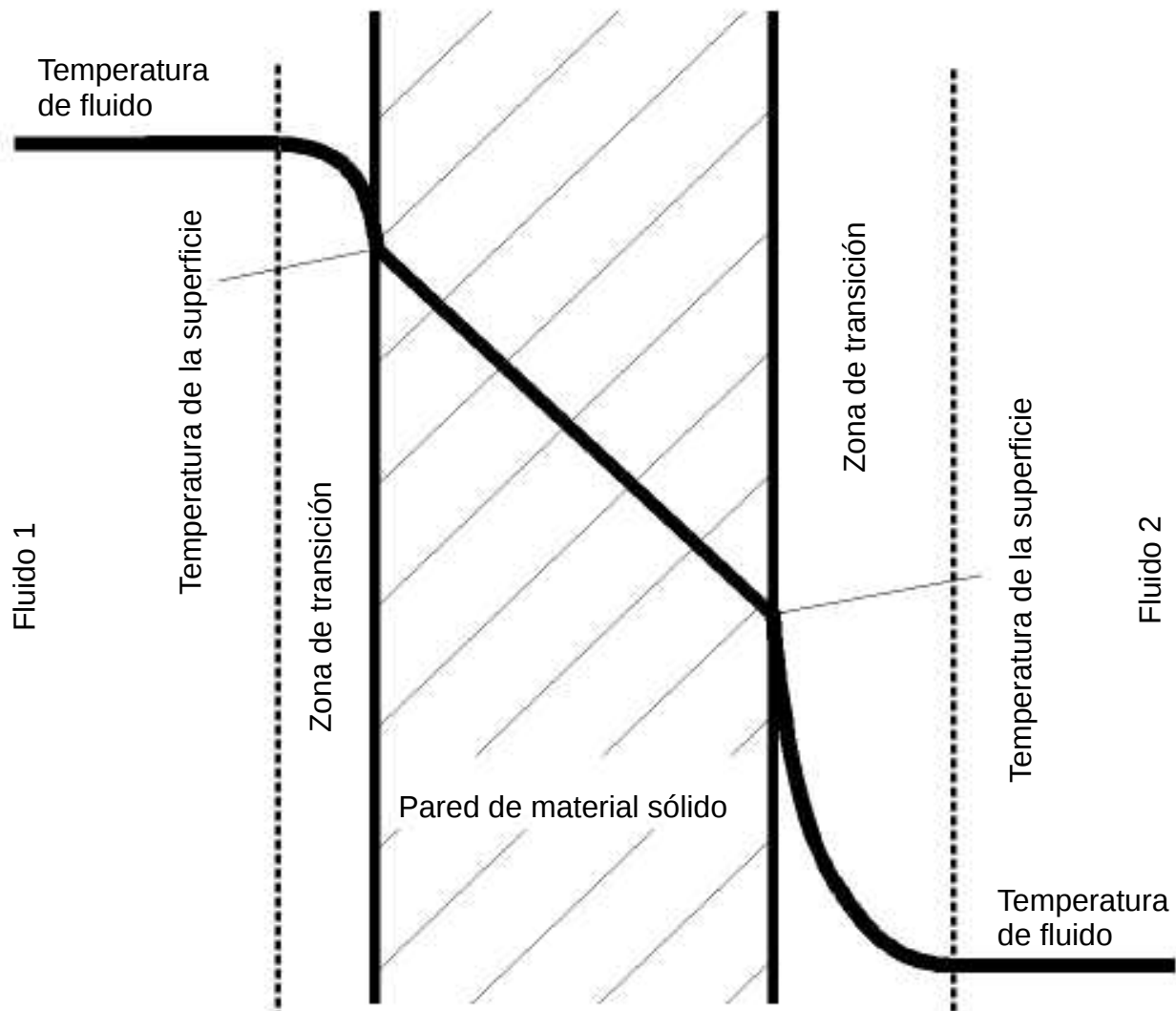
$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$\varepsilon$  grado de emisión sin unidad,  $0 < \varepsilon < 1$

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \text{ constante}$$

T temperatura absoluta en K

A superficie de transmisión en  $m^2$



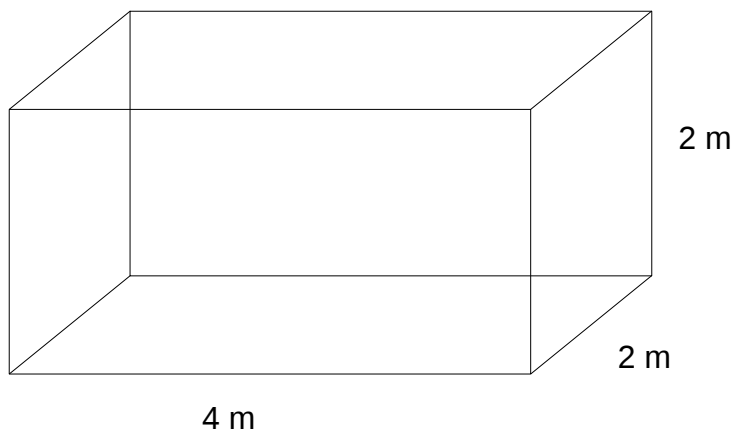
### 1.6.4 Ejemplo de transmisión del calor a través de la pared de una cámara frigorífica

Supongamos una cámara frigorífica con paredes de polietileno de alta densidad (conductividad térmica  $\lambda = 0,5 \frac{W}{m \cdot K}$ ), de 100 mm de espesor.

La temperatura del aire en el interior es de 7,5 °C y en el exterior de 29,5 °C.

El flujo de calor desde el suelo se desprecia.

Clacula el flujo de calor que se produce a través de las paredes y el techo



Conducción a través del polietileno

$$\dot{Q}_{condu} = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_{pex} - T_{pin})}{\chi}$$

Conociendo el flujo de calor, se pueden calcular las temperaturas del aire interior y exterior:

Transmisión de calor por convección del aire exterior a pared exterior

$$\dot{Q}_{convec} = \alpha \cdot A \cdot (T_{aex} - T_{pex})$$

Transmisión de calor por convección del aire interior a pared interior

$$\dot{Q}_{convec} = \alpha \cdot A \cdot (T_{pin} - T_{ain})$$

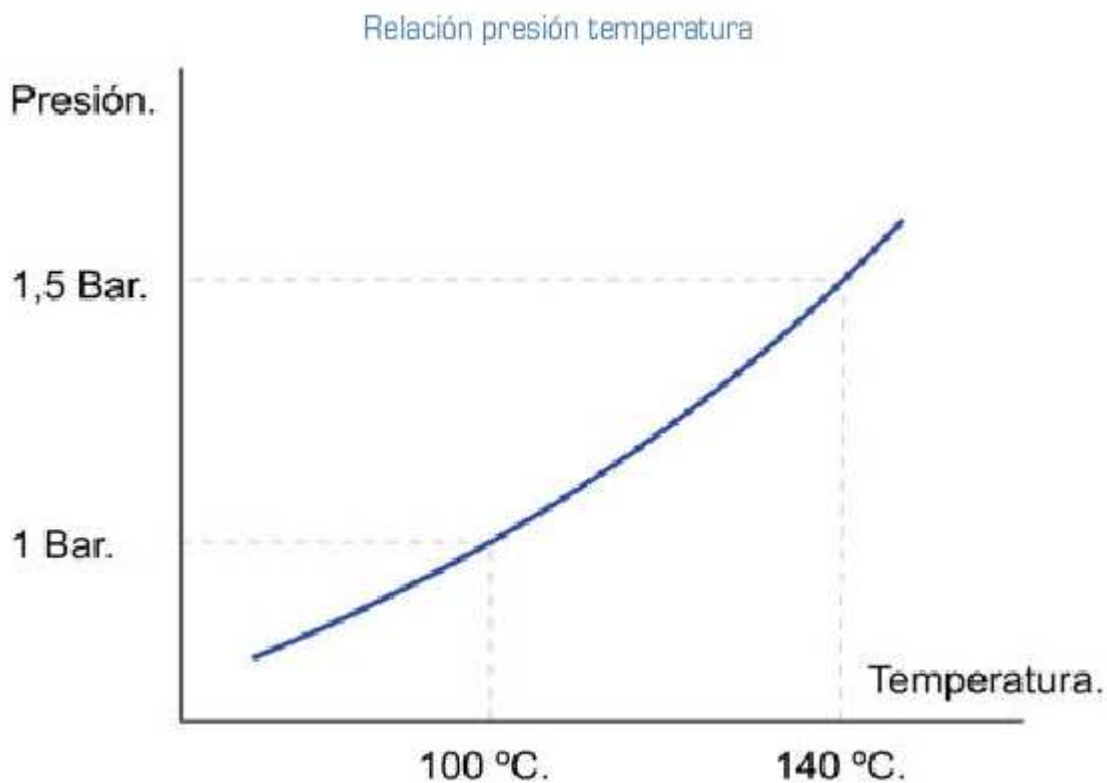
### 1.6.5 Saturación, subenfriado y sobrecalentado

A las condiciones de presión y temperatura a las cuales hierve un determinado líquido se les llama estado saturado, el punto de ebullición está determinado por la temperatura de saturación y presión de saturación. Un líquido a la temperatura de saturación se le llama líquido saturado y un vapor a la temperatura de saturación se le llama vapor saturado.

Un líquido a una temperatura por debajo de su temperatura de saturación se le llama subenfriado.

Un vapor a una temperatura por encima de su temperatura de saturación se le llama sobrecalentado o recalentado.

La energía utilizada para aumentar la temperatura del vapor por encima de la temperatura de saturación se llama energía de sobrecalentamiento o recalentamiento.



Variación del punto de ebullición del agua

### Estados saturado, subenfriado y sobrecalentado

A las condiciones de presión y temperatura a las cuales hierve un determinado líquido se les llama estado saturado, y al punto de ebullición se le conoce como temperatura de saturación y presión de saturación. Un líquido a la temperatura de saturación se le llama líquido saturado y un vapor a la temperatura de saturación se le llama vapor saturado.

Un líquido a cualquier temperatura por debajo de su temperatura de saturación correspondiente es un líquido subenfriado. Dicho de otra forma, si después de la condensación, el líquido resultante es enfriado de tal manera que su temperatura esté por debajo de la temperatura de saturación, se dice que el líquido está subenfriado.

Un vapor a cualquier temperatura por encima de su temperatura de saturación correspondiente es un vapor sobrecalentado. Una vez que un líquido haya sido vaporizado, la temperatura del vapor resultante podrá ser incrementada mediante la adición de energía. La energía suministrada para sobrecalentar el vapor se conoce como sobrecalentamiento.

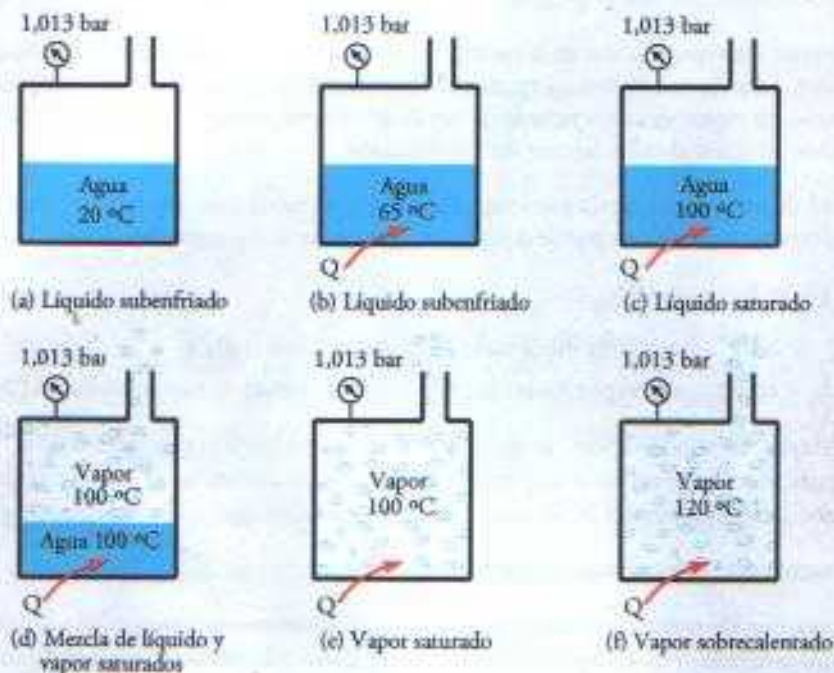
### Estudio del fenómeno de vaporización y condensación

Se produce vaporización en una sustancia cuando esta cambia de estado líquido a estado vapor o gaseoso. Para comprender mejor el significado de lo anterior, realicemos un experimento en el que se muestra el cambio de estado del agua a la presión atmosférica.

La figura (a) muestra un recipiente de agua a temperatura ambiente. El recipiente está abierto y se encuentra al nivel del mar, por tanto, el agua está sujeta a una presión atmosférica



de 1,013 bar. A medida que se agrega calor ( $Q$ ) al agua (b), su temperatura aumenta de forma continuada. Llega un momento (a 100 °C) en que la temperatura deja de subir (c), aunque sigue agregándose más calor. A partir de este momento, el agua líquida se transforma gradualmente en vapor de agua (d) y la temperatura sigue sin aumentar. A este proceso se le llama vaporización o ebullición. Llega un momento (e) en el que toda el agua se ha vaporizado, manteniéndose todavía a 100 °C. Si a partir de este momento, se agrega más calor (f), la temperatura del vapor de agua comienza a aumentar de nuevo.



Esta serie de procesos descritos para la vaporización pueden llevarse a cabo en orden inverso. Si eliminamos calor del vapor (f) disminuye su temperatura. Si seguimos enfriando (e), la temperatura deja de descender, y el vapor de agua se transforma en agua líquida (d). A este proceso se le llama condensación o licuefacción. Cuando todo el vapor se ha condensado (c), la disminución de calor provoca un descenso en la temperatura del líquido.

La vaporización de un líquido se logra de diferentes modos:

- Aportando calor al líquido.
- Disminuyendo la presión del líquido.
- Combinando estos dos métodos.

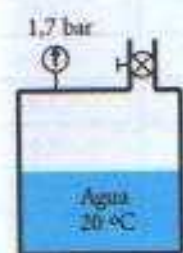
La condensación de un vapor se logra de diferentes modos:

- Extrayendo calor del vapor.
- Aumentando la presión del vapor.
- Combinando estos dos métodos.

### Efecto de la presión sobre la temperatura de saturación

En el experimento anterior, la presión atmosférica era de 1,013 bar. Ahora llevaremos a cabo el mismo experimento pero esta vez con una presión más elevada, de 1,7 bar.

Cuando el agua alcanza los 100 °C (c) y se agrega más calor, esta no hierve como en el caso anterior, pero la temperatura continúa aumentando. Sin embargo, cuando la temperatura alcanza los 115 °C, comienza el proceso de vaporización y la temperatura permanece constante hasta que el líquido se evapora por completo. Esto demuestra que la temperatura a la cual hierve el agua cambia con la presión. Cuanto mayor es la presión sobre una sustancia, mayor es la temperatura de vaporización, y viceversa.



(a) Líquido subenfriado



(b) Líquido subenfriado



(c) Líquido subenfriado



(d) Líquido saturado



(e) Vapor saturado



(f) Vapor sobrecalentado



Un ejemplo práctico es cuando se cocina comida dentro de un recipiente cerrado que pueda presurizarse (olla a presión). Dejando que la presión suba 1 bar por encima de la presión atmosférica (2 bar o 200 kPa), puede elevarse el punto de ebullición a 120 °C.

Si queremos que una sustancia entre en ebullición a baja temperatura se debe reducir su presión hasta que coincida con la temperatura a la cual se está en el punto de líquido saturado. Por ejemplo, en un lugar a 2.240 m por encima del nivel del mar, la presión atmosférica es de unos 0,70 bar o 525 mm Hg. A esa presión, el agua se vaporiza a unos 90 °C. Disminuyendo la presión hasta 6 mm Hg (0,8 kPa), el agua se vaporizará a 4 °C.

En la tabla siguiente se da la relación presión/temperatura, que relaciona la presión de saturación y la temperatura de saturación del agua:



TEMPERATURA DEL AGUA		PRESION ABSOLUTA		
°F	°C	kPa	in Hg	mm Hg
10	-12,2	0,21	0,063	1,6
20	-6,7	0,34	0,103	2,6
30	-1,1	0,56	0,165	4,2
32	0	0,61	0,180	4,6
34	1,1	0,66	0,195	5,0
38	3,3	0,77	0,229	5,8
40	4,4	0,84	0,248	6,3
42	5,6	0,90	0,268	6,8
44	6,7	0,98	0,289	7,3
46	7,8	1,05	0,312	7,9
48	8,9	1,14	0,336	8,5
50	10,0	1,23	0,362	9,2
60	15,6	1,76	0,522	13,3
70	21,1	2,50	0,739	18,8
80	26,7	3,49	1,032	26,2
90	32,2	4,81	1,422	36,1
100	37,8	6,55	1,933	49,1
110	43,3	8,79	2,597	66,0
120	48,9	11,67	3,448	87,6
130	54,4	15,32	4,527	115,0
140	60,0	19,91	5,881	149,4
150	65,6	25,62	7,573	192,4
160	71,1	32,67	9,656	245,3
170	76,7	41,30	12,203	310,0
180	82,2	51,76	15,295	388,5
190	87,8	64,35	19,017	483,0
200	93,3	79,42	23,468	596,1
210	98,9	97,31	28,754	730,4
212	100	101,26	29,921	760



## 1.7 Ejercicios calor

### 1\_2 Ejercicio 1.7-1

Calcula la energía necesaria para calentar 0,5 kg de aceite de oliva de 30 °C a 120 °C.

### 1\_2 Ejercicio 1.7-2

Calcula la energía necesaria para enfriar 0,5 kg de agua a 15 °C a una temperatura de -5 °C

(p = 1013 mbar).

### 1\_2 Ejercicio 1.7-3

Calcula la energía necesaria para calentar 0,5 kg de agua a 80 °C a una temperatura de 120 °C

(p = 1013 mbar).

### 1\_2 Ejercicio 1.7-4

Calcula el flujo de calor entre aire y una pared lisa, con un movimiento de aire en paralelo a la

pared de menos de  $5 \frac{m}{s}$ .

La temperatura del aire alejado de la pared es de 50 °C, la temperatura de la superficie de la pared es de 20 °C. La superficie de la pared es de  $0,5 m^2$ .

¿Cual es la dirección del calor?

¿De que tipo de transmisión de calor se trata?

**1\_2 Ejercicio 1.7-5**

Calcula el flujo de calor a través de una pared de madera de abedul de  $0,5\text{ m}^2$ . La temperatura en la superficie exterior de la pared es de  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , la de la superficie interior es de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

El espesor de la pared es de 1 cm.

¿Cual es la dirección del calor?

¿De que tipo de transmisión de calor se trata?

**1\_2 Ejercicio 1.7-6**

Calcula el flujo de calor causado por un cuerpo negro ( $\varepsilon=1$ ) de  $0,5\text{ m}^2$  a una temperatura de  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $100\text{ }^\circ\text{C}$  y  $200\text{ }^\circ\text{C}$ .

**1\_2 Ejercicio 1.7-7**

Calcula el flujo de calor por  $\text{m}^2$  en la pared de una vivienda, de 20 cm de espesor, suponiendo que la pared es lisa y la velocidad del aire menor a 5 m/s. La conductividad térmica de la pared es de

$\lambda=0,2\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ . La temperatura de la superficie de la pared exterior es de  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , la del interior de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Indica las temperaturas del aire en el interior y exterior.

Fuentes:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Konvektion\\_\(W%C3%A4rme%C3%BCbertragung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Konvektion_(W%C3%A4rme%C3%BCbertragung))

[https://www.schweizer-fn.de/stoff/wuebergang\\_gase/wuebergang\\_gase.php](https://www.schweizer-fn.de/stoff/wuebergang_gase/wuebergang_gase.php)

<https://mefics.org/es/coeficiente-global-de-transferencia-de-calor/>

<https://me-lrt.de/strahlung-warmeleitung-konvektion>

<http://www.erica.es/aislamiento-termico/>

## 1.8 Leyes de los gases

### 1.8.1 Compresión de un gas a temperatura constante (Ley de Boyle)

Si se comprime un gas contenido en un recipiente, aumentan la presión y la temperatura del gas. Si se espera a que el gas se enfrie hasta volver a la temperatura ambiente, es decir, ceda al ambiente la energía térmica equivalente a la energía mecánica que le fue aportada durante la compresión, se establece la siguiente relación entre presión y volumen:

$$p \cdot V = \text{constante}$$

Siendo  $p$  la presión absoluta.

El volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión a temperatura constante.

$$V = \frac{\text{constante}}{p}$$

De ello se deduce

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Siendo  $p_1$  y  $V_1$  presión y volumen iniciales

y  $p_2$  y  $V_2$  presión y volumen finales a la temperatura absoluta  $T$ .

### 1.8.2 Expansión de un gas a presión constante (Ley de Gay-Lussac)

Si se calienta un gas contenido en un recipiente, manteniendo constante la presión, el volumen del gas aumenta de forma proporcional a la temperatura absoluta.

El volumen de un gas es proporcional a la temperatura a presión constante.

$$V = \text{constante} \cdot T$$

De ello se deduce

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Siendo  $V_1$  y  $T_1$  presión y volumen iniciales

y  $V_2$  y  $T_2$  presión y volumen finales a la presión absoluta  $p$ .

### 1.8.3 Mezcla de gases (Ley de Dalton)

A inicios del siglo XIX, John Dalton, químico británico, descubrió que la atmósfera está compuesta por muchos gases distintos. Encontró que cada uno de estos gases creaba su propia presión y que la presión total era igual a la suma de las presiones parciales. La Ley de Dalton establece que la presión total de una mezcla de gases confinada en un recipiente es la suma de las presiones de cada uno de los gases de la mezcla.

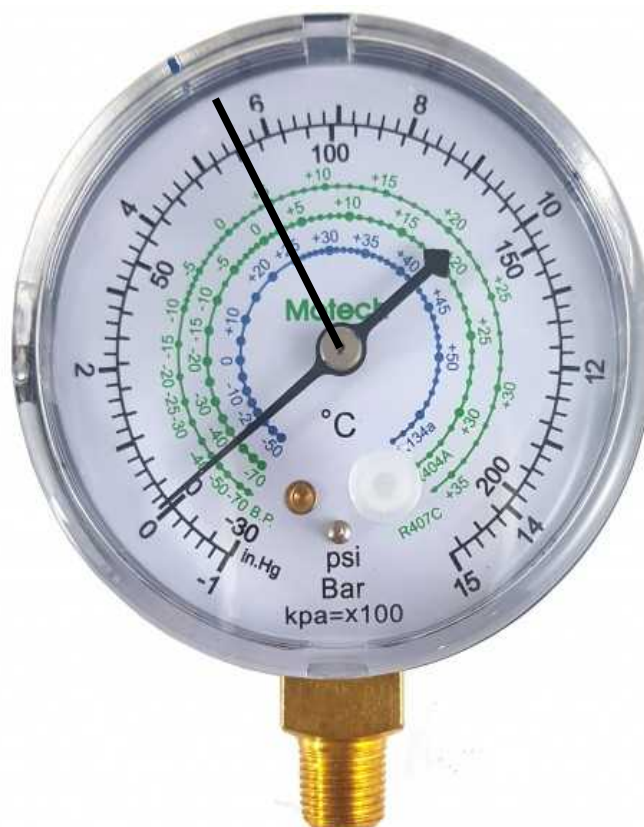
$$p_{total} = p_1 + p_2 + \dots + p_i$$

Un aplicación práctica de esta ley en una instalación frigorífica es la siguiente:

Si la lectura de presión del manómetro indica un valor superior al correspondiente a la temperatura ambiente (del refrigerante utilizado en la instalación), estando el compresor parado, se deduce que hay otros de gases (diferentes al refrigerante) en la instalación.

Ejemplo:

¿Qué presión corresponde al refrigerante R-134a a una temperatura ambiente de 25 °C ?



### 1.8.4 Diagrama entálpico (Mollier)

La entalpía está definida como el flujo de energía térmica efectuado en un proceso a presión constante, cuando el único trabajo es de presión-volumen.

$$H = p \cdot V + m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Para cada fluido refrigerante existe un diagrama p h específico.

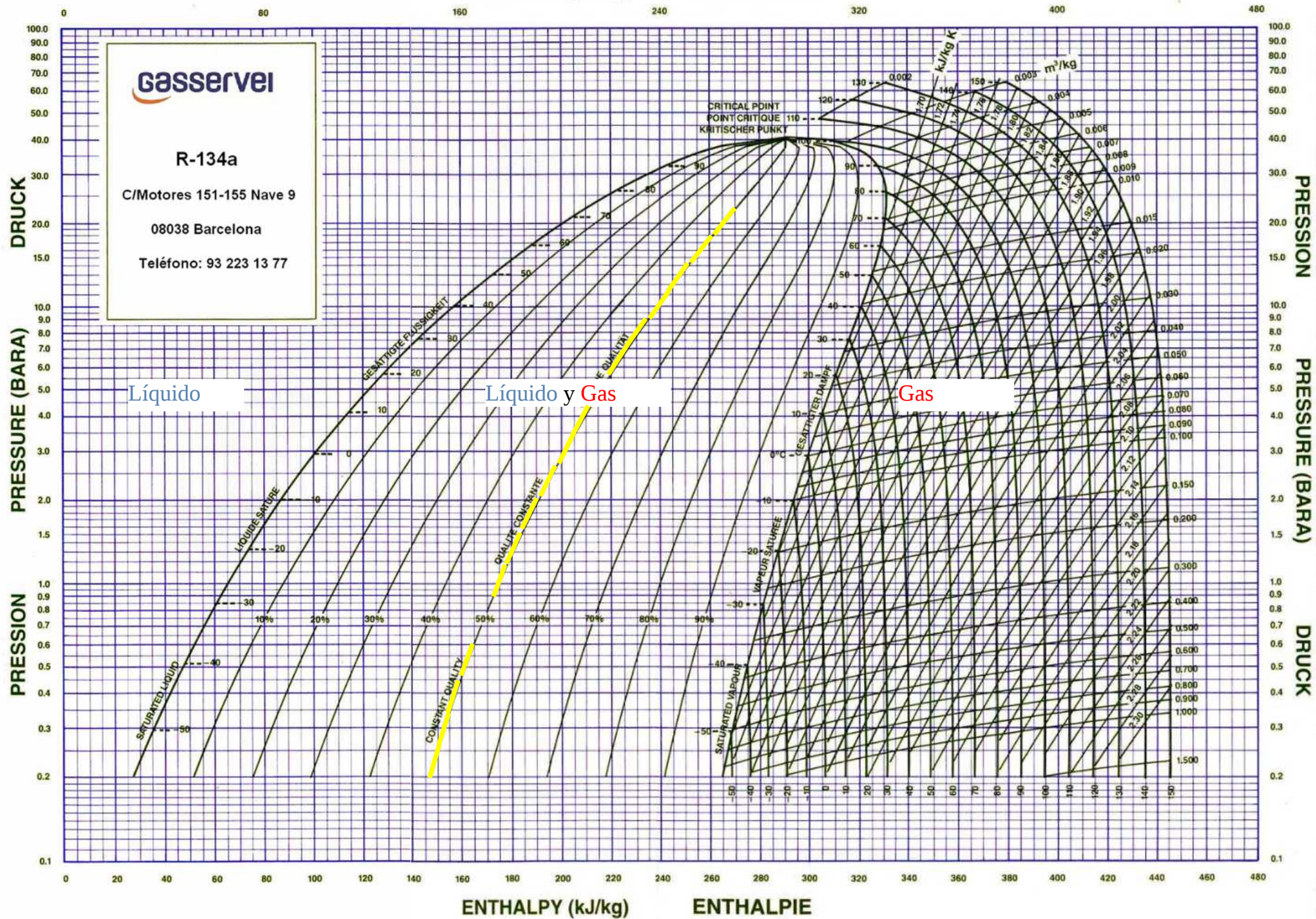
Como ejemplo se toma el de R-134a.

En el diagrama p h, el eje horizontal indica el valor de la entalpía específica (entalpía / kg) del fluido refrigerante y el vertical la presión. Se diferencian 3 zonas, la zona de líquido, a la izquierda, la zona de mezcla de líquido y gas en el centro, bajo la campana, y la zona de gas a la derecha. Bajo la campana, las líneas de calidad, de recorrido aproximadamente vertical, siguiendo la curva de la campana, indican el porcentaje de vapor.

A modo de ejemplo, se ha marcado de amarillo la línea de calidad del 50 %.



## ENTHALPIE





En la siguiente imagen se ve marcada una línea de temperatura constante a 0 °C.

Las líneas de temperatura son verticales en zona de líquido, porque al ser incompresibles los líquidos, no pueden absorber o ceder energía mecánica por compresión o expansión.

En la zona de líquido → Temperatura constante = Entalpía constante

Bajo la campana, se produce el cambio de fase y por tanto, a presión constante, también se mantiene constante la temperatura. A una línea de presión constante le corresponde una temperatura constante.

En las instalaciones frigoríficas, los procesos de evaporación y condensación, se producen a presión constante.



ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

**gasservei**

**R-134a**

C/Motores 151-155 Nave 9

08038 Barcelona

Teléfono: 93 223 13 77

DRUCK

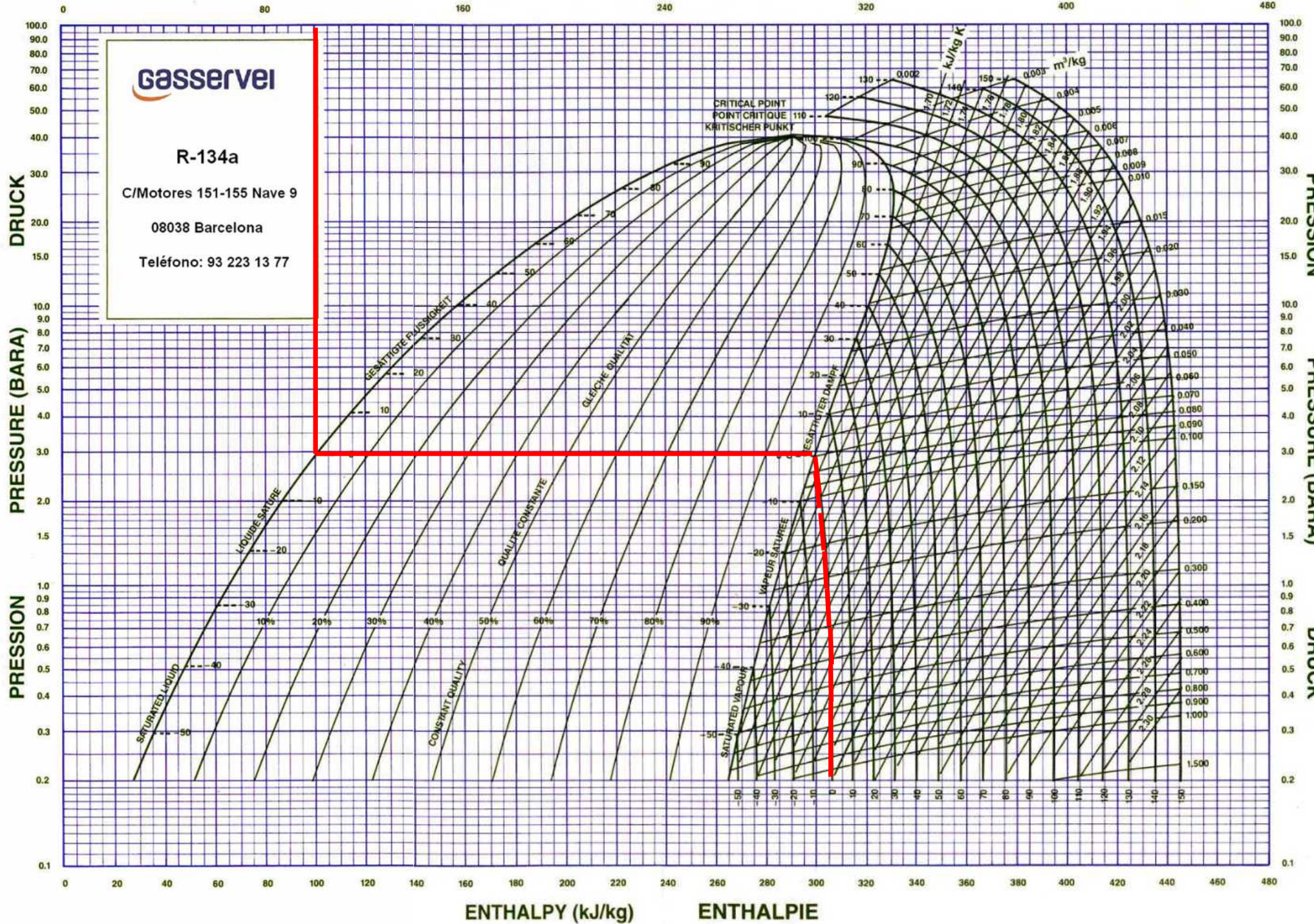
PRESSURE (BARA)

PRESSURE

PRESSION

PRESSURE (BARA)

DRUCK





Una línea de presión constante, es una horizontal, independientemente de la zona en que se encuentre. En el siguiente ejemplo está marcada la presión de 3 bar.



ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

**gasservei**

**R-134a**

C/Motores 151-155 Nave 9

08038 Barcelona

Teléfono: 93 223 13 77

DRUCK

PRESSURE (BARA)

PRESSURE

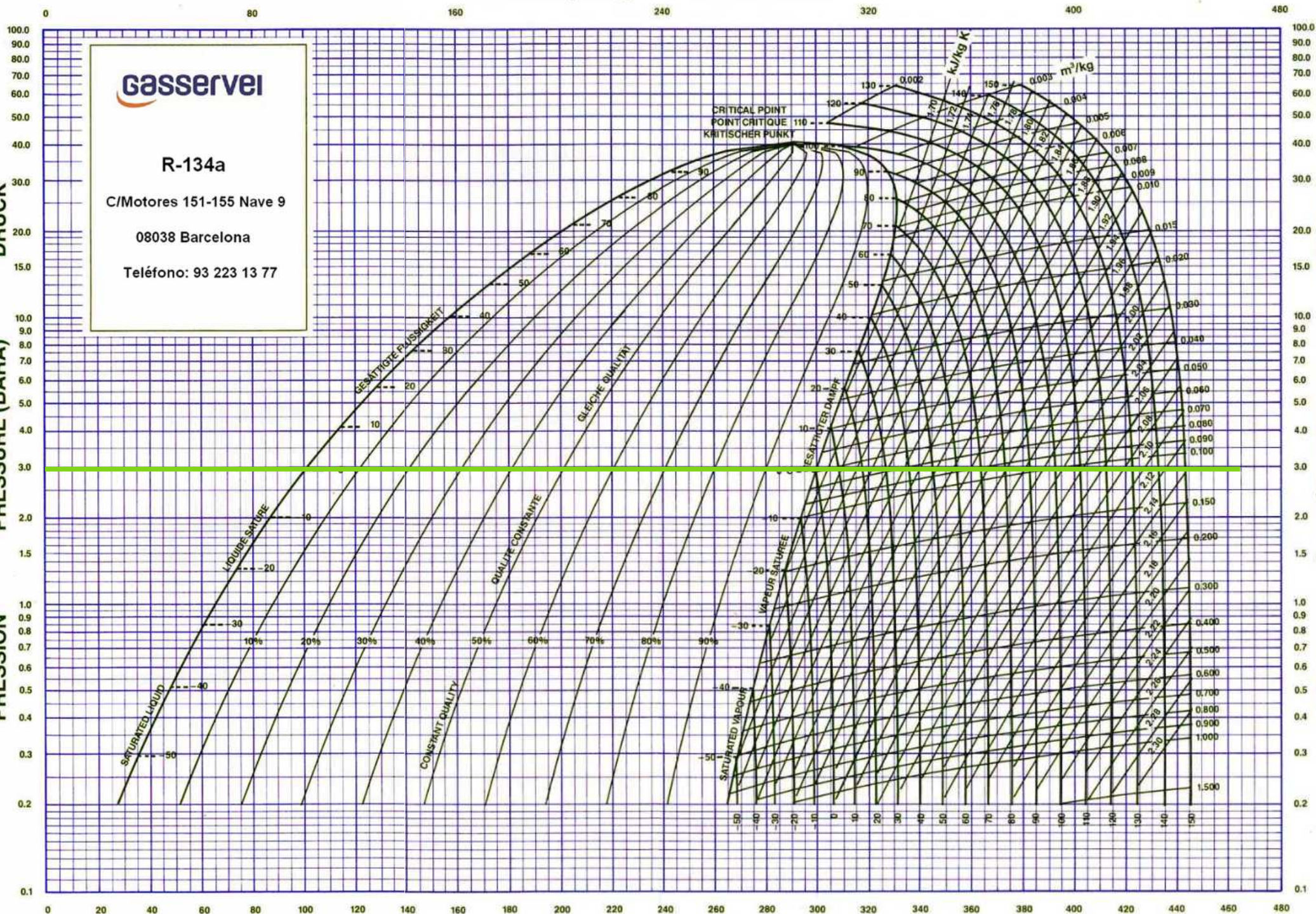
PRESSION

PRESSURE (BARA)

DRUCK

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE





Sobre una línea de entropía constante (iséntropa) se representa una compresión, en la que en el compresor no se producen pérdidas por rozamiento, ni por transmisión de calor. Se trata de una compresión ideal, que en la realidad no existe.

En los procesos de compresión reales, la entropía siempre aumenta.

En el siguiente ejemplo está marcada una compresión de 3 a 12 bar, con una entropía constante de

$$1,8 \frac{kJ}{kg \cdot K} .$$



ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

**gasservei**

**R-134a**

C/Motores 151-155 Nave 9

08038 Barcelona

Teléfono: 93 223 13 77

DRUCK

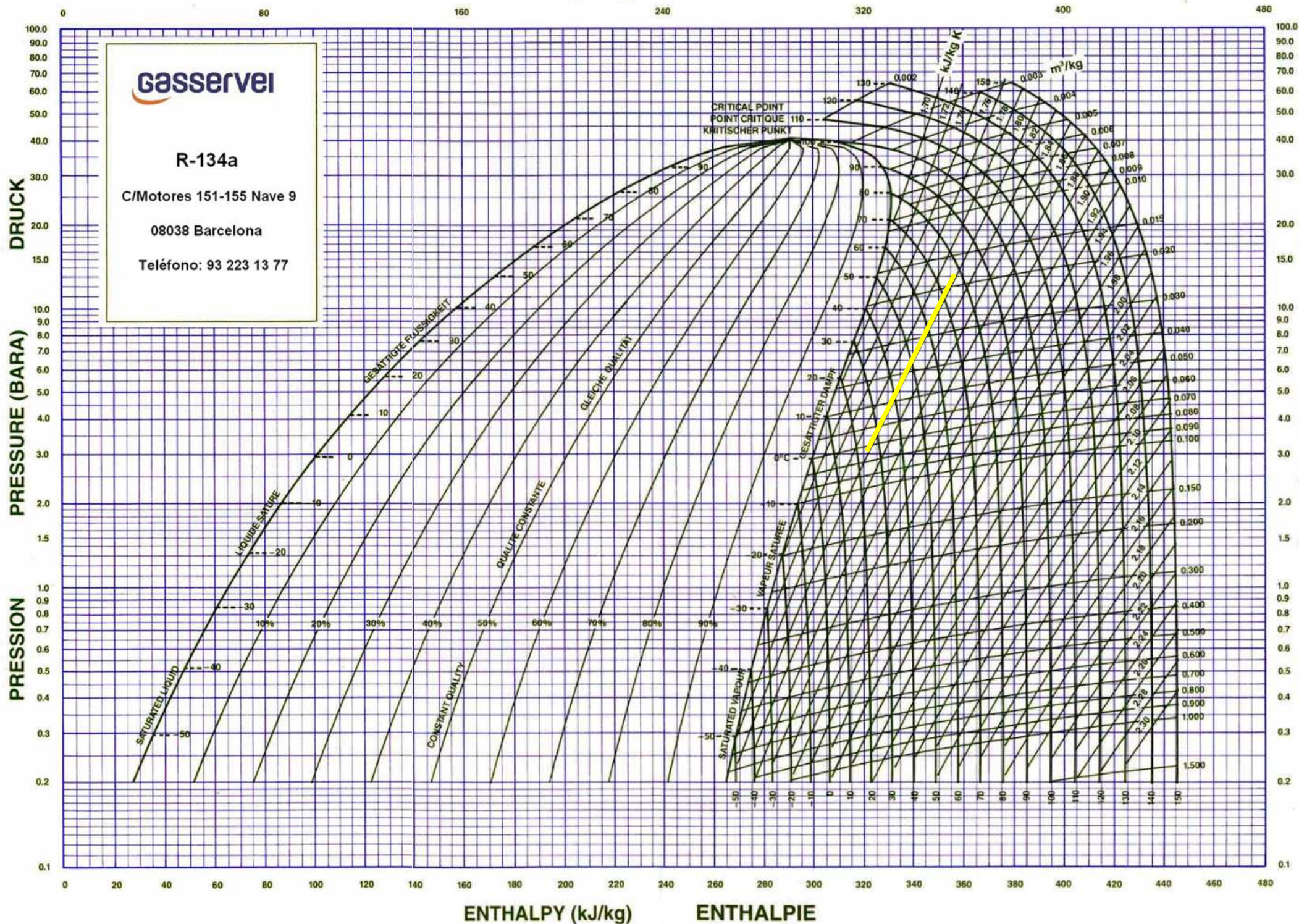
PRESSURE (BARA)

PRESSURE

PRESSION

PRESSURE (BARA)

DRUCK





## 1.9 Ejercicios gases y diagrama p h

### 1\_2 Ejercicio 1.9-1

A temperatura constante, la presión absoluta de un metro cúbico de gas pasa de 1 bar a 2 bar.

¿Cómo cambia su volumen?

### 1\_2 Ejercicio 1.9-2

A presión constante, el volumen de un gas pasa de un metro cúbico a dos metros cúbicos.

¿Cómo cambia su temperatura?

### 1\_2 Ejercicio 1.9-3

La composición de la atmósfera es aproximadamente la siguiente;

$$N_2 = 78 \%$$

$$O_2 = 21 \%$$

$$Ar = 0,9 \%$$

Calcula las presiones parciales de los tres gases a nivel de mar.

### 1\_2 Ejercicio 1.9-4

En una instalación frigorífica con refrigerante R-134a se han medido las siguientes presiones

$$p_1 = 2 \text{ bar y } p_2 = 20 \text{ bar .}$$

Indica las temperaturas de condensación y evaporación.

**1\_2 Ejercicio 1.9-5**

Marca en el diagrama p h correspondiente a R-134a, el punto en el que un 80% del fluido es gas , a una temperatura de 10 °C .



ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

**Gasservei**

**R-134a**

C/Motores 151-155 Nave 9

08038 Barcelona

Teléfono: 93 223 13 77

DRUCK

PRESSURE (BARA)

PRESSURE

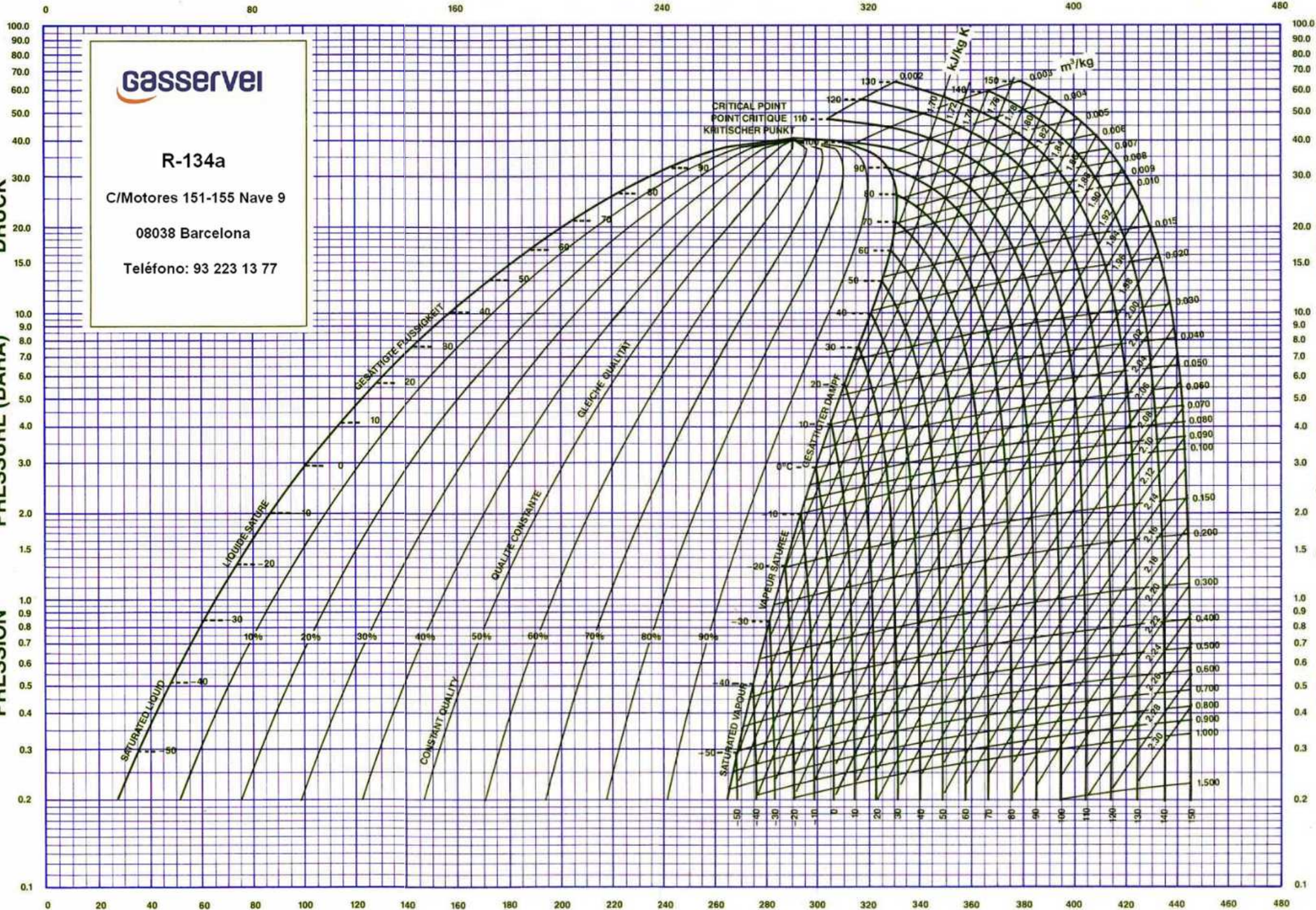
PRESSION

PRESSURE (BARA)

DRUCK

ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE





## 1.10 Caudal y velocidad

El caudal  $\dot{V}$  que circula por una tubería depende de la velocidad del fluido y de la sección de la tubería.

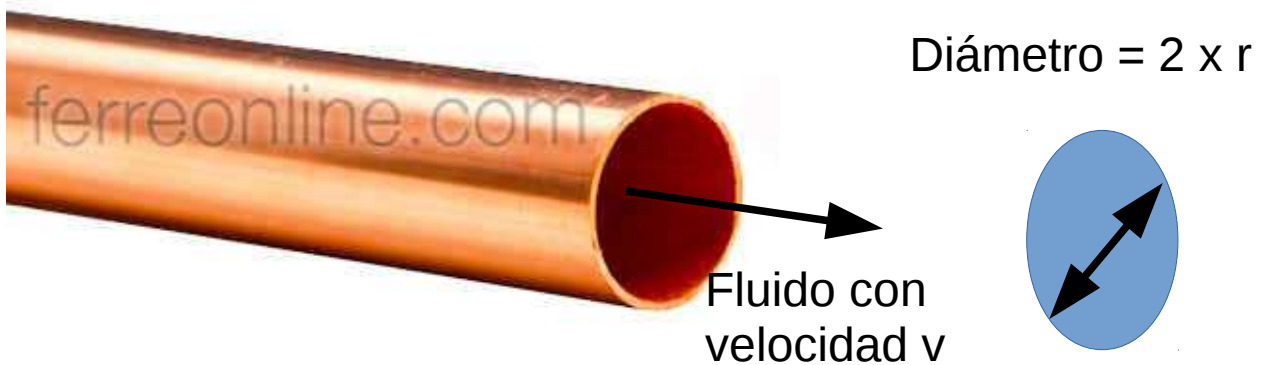
$$\dot{V} = v \cdot A$$

$v$  velocidad del fluido

$A$  área de la sección de la tubería

El área de la sección de una tubería se calcula con

$$A_{tub} = 3,14 \cdot r^2 \text{ siendo } r \text{ el radio de la tubería}$$



### 1.10.1 Conservación del caudal volumétrico

Para un fluido incompresible, esto es de densidad constante, en caso de una variación de sección de la tubería, siendo el caudal volumétrico (másico) constante, se deduce:

$$\dot{V} = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = \text{constante}$$

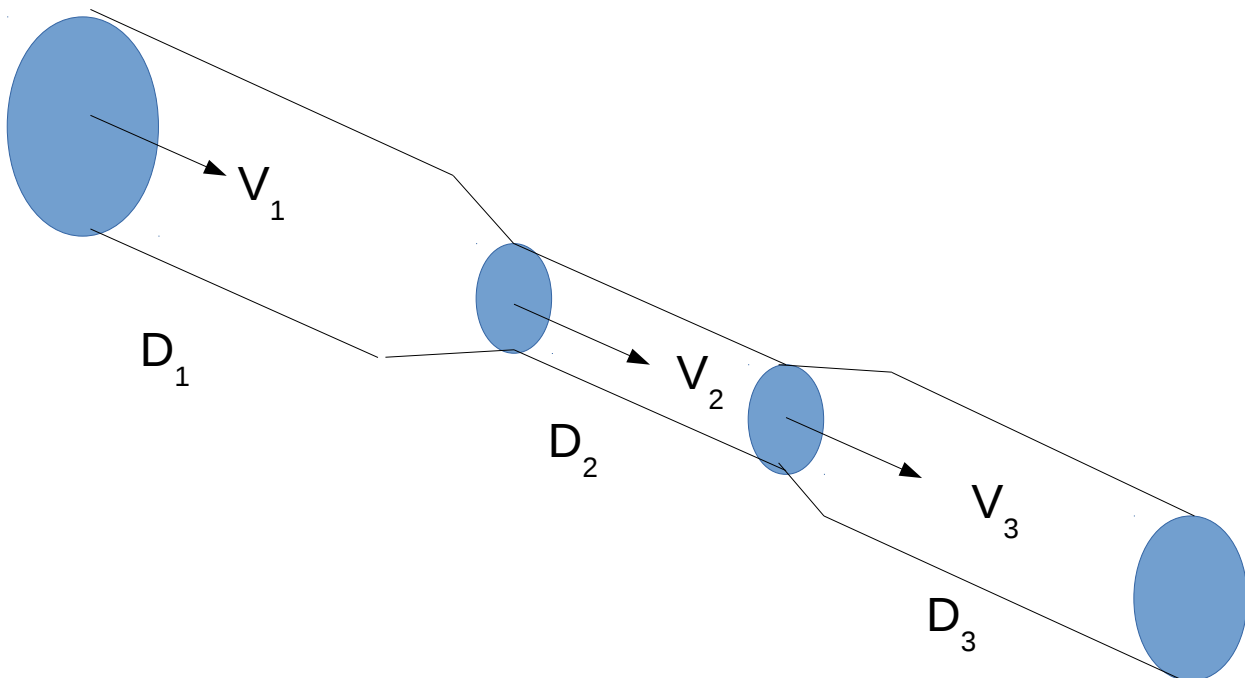
$$\dot{m} = \rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 = \text{constante}$$

$$\rho \text{ densidad en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Una instalación frigorífica es un circuito cerrado. Por tanto, el caudal másico es igual en cualquier parte del circuito.

Para el supuesto de que la tubería de aspiración reduzca su diámetro de 1" a 5/8", para a continuación aumentar a 3/4", y el espesor de pared del tubo sea de 1 mm, calcula la velocidad del

refrigerante si el caudal másico es de  $\dot{m} = 0,005 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  y la densidad del refrigerante  $\rho = 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .



Diámetro nominal pulgadas	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Espesor mm	Sección Interior dm4	Volumen interior dm3/m	Superficie exterior m2/m	Peso Kg/m	Presión admisible	Presión admisible
								Recocido Bar	Rígido Bar
3/16	4,76	3,24	0,76	0,0008	0,008	0,015	0,085	160	
1/4	6,35	4,83	0,76	0,0018	0,018	0,020	0,119	116	143
1/4	6,35	4,75	0,80	0,0018	0,018	0,020	0,125	122	151
5/16	7,94	6,34	0,80	0,0032	0,032	0,025	0,161	96	118
5/16	7,93	6,31	0,81	0,0031	0,031	0,025	0,162	97	120
3/8	9,52	8,00	0,76	0,0050	0,050	0,030	0,187	74	92
3/8	9,52	7,92	0,80	0,0049	0,049	0,030	0,196	79	97
3/8	9,52	7,90	0,81	0,0049	0,049	0,030	0,198	80	98
1/2	12,70	11,18	0,76	0,0098	0,098	0,040	0,255	55	68
1/2	12,70	11,10	0,80	0,0097	0,097	0,040	0,268	58	72
1/2	12,70	11,08	0,81	0,0096	0,096	0,040	0,271	59	73
1/2	12,70	10,92	0,89	0,0094	0,094	0,040	0,296	65	80
1/2	12,70	10,70	1,00	0,0090	0,090	0,040	0,329	73	91
5/8	15,87	14,35	0,76	0,0162	0,162	0,050	0,323	43	54
5/8	15,87	14,27	0,80	0,0160	0,160	0,050	0,339	46	57
5/8	15,87	14,25	0,81	0,0159	0,159	0,050	0,343	46	57
5/8	15,87	14,09	0,89	0,0156	0,156	0,050	0,375	51	63
5/8	15,87	13,87	1,00	0,0151	0,151	0,050	0,418	58	72
5/8	15,87	13,85	1,01	0,0151	0,151	0,050	0,422	59	72
3/4	19,05	17,45	0,8	0,0239	0,0239	0,060	0,411	38	47
3/4	19,05	17,43	0,81	0,0239	0,239	0,060	0,415	38	47
3/4	19,05	17,27	0,89	0,0234	0,234	0,060	0,454	42	52
3/4	19,05	17,05	1,00	0,0228	0,228	0,060	0,508	48	59
3/4	19,05	16,91	1,07	0,0225	0,225	0,060	0,541	51	63
7/8	22,22	20,60	0,81	0,0333	0,333	0,070	0,488	33	41
7/8	22,22	20,44	0,89	0,0328	0,328	0,070	0,534	36	45
7/8	22,22	20,22	1,00	0,0321	0,321	0,070	0,597	41	50
7/8	22,22	19,94	1,14	0,0312	0,312	0,070	0,676	47	58
1	25,40	23,62	0,89	0,0438	0,438	0,080	0,613		39
1	25,40	23,40	1,00	0,0430	0,430	0,080	0,686		44

Diámetro nominal pulgadas	Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Espesor mm	Sección interior dm <sup>4</sup>	Volumen interior dm <sup>3</sup> /m	Superficie exterior m <sup>2</sup> /m	Peso Kg/m	Presión admisible	Presión admisible
								Recocido Bar	Rígido Bar
1 1/8	28,57	26,79	0,89	0,0564	0,564	0,090	0,693		34
1 1/8	28,57	26,57	1,00	0,0554	0,554	0,090	0,775		39
1 1/8	28,57	26,07	1,25	0,0534	0,534	0,090	0,960		49
1 1/8	28,57	26,03	1,27	0,0532	0,532	0,090	0,975		50
1 3/8	34,92	32,78	1,07	0,0844	0,844	0,110	1,018		34
1 3/8	34,92	32,42	1,25	0,0825	0,825	0,110	1,183		40
1 3/8	34,92	32,12	1,40	0,0810	0,810	0,110	1,319		45
1 5/8	41,27	38,77	1,25	0,1181	1,181	0,130	1,407		33
1 5/8	41,27	38,73	1,27	0,1178	1,178	0,130	1,428		34
1 5/8	41,27	38,27	1,50	0,1150	1,150	0,130	1,677		40
2 1/8	53,97	51,47	1,25	0,2081	2,081	0,170	1,853		25
2 1/8	53,97	51,03	1,47	0,2045	2,045	0,170	2,170		30
2 1/8	53,97	50,67	1,65	0,2016	2,016	0,170	2,427		34
2 1/8	53,97	50,37	1,80	0,1993	1,993	0,170	2,640		37
2 5/8	66,67	63,37	1,65	0,3154	3,154	0,209	3,017		27
2 5/8	66,67	62,67	2,00	0,3085	3,085	0,209	3,637		33
2 5/8	66,67	62,61	2,03	0,3079	3,079	0,209	3,690		34
3 1/8	79,38	76,08	1,65	0,4546	4,546	0,249	3,606		23
3 1/8	79,38	75,78	1,80	0,4510	4,510	0,249	3,926		25
3 1/8	79,38	75,72	1,83	0,4503	4,503	0,249	3,990		25
3 1/8	79,38	74,80	2,29	0,4394	4,394	0,249	4,964		32
3 1/8	79,38	74,38	2,50	0,4345	4,345	0,249	5,404		35
3 5/8	92,08	87,86	2,11	0,6063	6,063	0,289	5,338		25
3 5/8	92,08	87,08	2,50	0,5956	5,956	0,289	6,297		30
4 1/8	104,80	99,98	2,41	0,7851	7,851	0,329	6,938		25
4 1/8	104,80	99,80	2,50	0,7823	7,823	0,329	7,191		26

Tabla diámetros tubos frigoríficos según norma  
UNE-EN 12735-1

<https://frigoristatorpe.com/tuberias-frigorificas>

Se puede comenzar calculando el caudal volumétrico:

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot \rho = 0,005 \frac{\frac{kg}{s}}{0,05 \frac{kg}{m^3}} = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

Sabiendo que  $\dot{V} = v \cdot A = \text{constante}$  se deduce que

$$\dot{V} = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = v_3 \cdot A_3 = 10 \frac{m^3}{s}$$

Con

$$A_1 = 3,14 \cdot r_1^2 \quad y \quad r_1 = \frac{25,4 \, mm - 2 \, mm}{2} = 11,7 \, mm = 0,0117 \, m \quad \rightarrow \quad A_1 = 0,00043 \, m^2$$

$$A_2 = 3,14 \cdot r_2^2 \quad y \quad r_2 = \frac{15,87 \, mm - 2 \, mm}{2} = 6,9 \, mm = 0,0069 \, m \quad \rightarrow \quad A_2 = 0,00015 \, m^2$$

$$A_3 = 3,14 \cdot r_3^2 \quad y \quad r_3 = \frac{19,5 \, mm - 2 \, mm}{2} = 8,75 \, mm = 0,00875 \, m \quad \rightarrow \quad A_3 = 0,00024 \, m^2$$

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{A_1} = \frac{10 \frac{m^3}{s}}{0,00043 \, m^2} = 58,1 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{A_2} = \frac{0,025 \frac{m^3}{s}}{0,00015 \, m^2} = 166,7 \frac{m}{s}$$

$$v_3 = \frac{\dot{V}}{A_3} = \frac{0,025 \frac{m^3}{s}}{0,00024 \, m^2} = 104,2 \frac{m}{s}$$

Conclusión:

A menor sección de tubería, mayor velocidad del fluido.

## 1.11 Soluciones

### 1\_2 Ejercicio 1.3-1

Busca información sobre diferentes tipos de termómetros y explica sus principios de funcionamiento.

Respuesta de **chatGPT**

*Termómetro de mercurio: El termómetro de mercurio es uno de los tipos más comunes de termómetros tradicionales. Se basa en el principio de la dilatación térmica del mercurio. Cuando la temperatura aumenta, el mercurio en el tubo de vidrio del termómetro se expande y asciende en el tubo, indicando una lectura más alta. Cuando la temperatura disminuye, el mercurio se contrae y desciende, mostrando una lectura más baja. Sin embargo, debido a la toxicidad del mercurio, muchos países han dejado de utilizar termómetros de mercurio y han optado por alternativas más seguras.*

*Termómetro de alcohol: El termómetro de alcohol también se basa en la dilatación térmica, pero utiliza alcohol en lugar de mercurio. En este tipo de termómetro, el alcohol se expande y contrae con los cambios de temperatura, lo que hace que el nivel del líquido en el tubo de vidrio se mueva y muestre la temperatura.*

*Termómetro bimetalico: El termómetro bimetalico se construye con dos láminas metálicas de diferentes coeficientes de expansión térmica soldadas entre sí. Cuando se somete a cambios de temperatura, las láminas se doblan debido a la diferencia en su dilatación térmica. Este movimiento se amplifica mediante un sistema de palanca y engranaje, lo que hace que la aguja o el indicador muestre la temperatura actual.*

*Termómetro de resistencia (RTD): El termómetro de resistencia se basa en la relación entre la resistencia eléctrica de un material conductor y su temperatura. Los RTD más comunes están hechos de platino, y su resistencia aumenta linealmente con el aumento de la temperatura. Se utilizan circuitos eléctricos para medir la resistencia y, a través de una ecuación de calibración, se convierte en una lectura de temperatura precisa.*

*Termopar: El termopar es un tipo de sensor que se forma mediante la unión de dos metales diferentes. Cuando se aplica calor a uno de los extremos, se genera una diferencia de voltaje en el otro extremo debido al efecto Seebeck. Esta diferencia de voltaje está relacionada con la diferencia de temperatura, lo que permite medir la temperatura del punto caliente. Los termopares son muy utilizados en aplicaciones industriales debido a su durabilidad y rango de temperatura.*

**1\_2 Ejercicio 1.3-2**

¿A qué temperatura corresponden 30 °C en °F y en K?

*Conversión de °C a °F*

$$(T\text{ °C} \times 1,8) + 32\text{ °F} = T\text{ °F}$$

$$30\text{ °C} \rightarrow (30 \times 1,8) + 32\text{ °F} = 86\text{ °F}$$

*Conversión de °C a K*

$$T\text{ °C} + 273 = T\text{ K}$$

$$30\text{ °C} \rightarrow 30 + 273 = 303\text{ K}$$

**1\_2 Ejercicio 1.3-3**

¿A qué presión corresponde 1 m c.a. en bar y en Pa?

$$10\text{ m c.a.} = 1\text{ bar} \rightarrow 1\text{ m c.a.} = 0,1\text{ bar}$$

$$10\text{ m c.a.} = 1\text{ bar} = 100\,000\text{ Pa} \rightarrow 1\text{ m c.a.} = 0,1\text{ bar} = 10\,000\text{ Pa}$$

**1\_2 Ejercicio 1.3-4**

Un manómetro marca una presión de 5,3 bar.

¿Cuál es la presión absoluta?

$$p_{abs} = p_{man} + p_{atm} = 5,3\text{ bar} + 1\text{ bar} = 6,3\text{ bar}$$

**1\_2 Ejercicio 1.5-1**

Calcula el trabajo necesario para subir un vehículo de 1000 kg una altura de 100 m.

$$W = F \cdot d$$

$$F = m \cdot g$$

$$\text{constante de aceleración terrestre } g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 9810 \text{ N}$$

*Esta es la fuerza necesaria para levantar el vehículo. El trabajo se calcula multiplicando esta fuerza por la altura a la que se eleva el vehículo.*

$$W = 9810 \text{ N} \cdot 100 \text{ m} = 981000 \text{ Nm}$$

**Respuesta de *chatGPT***

*El trabajo necesario para levantar un objeto a una cierta altura se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:*

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia} \times \cos(\theta)$$

*Donde:*

- Fuerza es la fuerza vertical necesaria para vencer la gravedad, que en la Tierra es aproximadamente igual al peso del objeto.*
- Distancia es la altura a la que se levanta el objeto.*
- $\theta$  es el ángulo entre la dirección de la fuerza aplicada y la dirección del movimiento (en este caso, 0 grados ya que la fuerza se aplica verticalmente hacia arriba).*

*En este caso, el objeto pesa 1000 kg, y la altura es 100 m. La fuerza necesaria para levantarlo es igual a su peso multiplicado por la aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup> en la Tierra).*

$$\text{Fuerza} = \text{Peso} = \text{masa} \times \text{gravedad} \quad \text{Fuerza} = 1000 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ N}$$

$$\theta = 0^\circ (\cos(0^\circ) = 1)$$

*Entonces, el trabajo necesario sería:*

$$\text{Trabajo} = 9810 \text{ N} \times 100 \text{ m} \times \cos(0^\circ) = 981000 \text{ N} \cdot \text{m} = 981000 \text{ J (joules)}$$

*Por lo tanto, se requerirían 981000 joules de trabajo para subir un vehículo de 1000 kg a una altura de 100 metros*



**1\_2 Ejercicio 1.5-2**

Calcula la energía necesaria para calentar los 150 l de agua de una bañera. El agua llega con una temperatura de 10 °C y se calienta a 37 °C.

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} \quad \text{la unidad es} \quad \frac{J}{kg \cdot K}$$

$T_1$  temperatura antes de aportar calor

$T_2$  temperatura después de aportar calor

$$C_{p\text{ agua}} = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\rightarrow Q = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 150 kg \cdot 27 K = 16969,5 kJ$$

**Respuesta de chatGPT**

Para calcular la energía necesaria para calentar una cantidad de agua, puedes usar la fórmula de la cantidad de calor:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde:

- $Q$  es la cantidad de calor en julios (J).
- $m$  es la masa de agua en kilogramos (kg).
- $c$  es la capacidad calorífica específica del agua, que es aproximadamente 4.186 J/g°C o 4186 J/kg°C.
- $\Delta T$  es el cambio en la temperatura en grados Celsius (°C).

Primero, necesitamos convertir los 150 litros de agua a kilogramos. La densidad del agua es aproximadamente 1 kg/L, por lo que:

$$m = \text{densidad} \times \text{volumen} = 1 \text{ kg/L} \times 150 \text{ L} = 150 \text{ kg}$$

Ahora podemos calcular el cambio de temperatura:

$$\Delta T = \text{temperatura final} - \text{temperatura inicial} = 37^\circ \text{C} - 10^\circ \text{C} = 27^\circ \text{C}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$Q = 150 \, \text{kg} \times 4186 \, \text{J/kg}^\circ\text{C} \times 27 \, ^\circ\text{C} = 17,994,774 \, \text{J}$$

Por lo tanto, se necesitan aproximadamente 17,994,774 julios de energía para calentar los 150 litros de agua de la bañera de 10 °C a 37 °C. Si deseas expresar esto en kilojulios (kJ), simplemente divide el resultado por 1000:

$$17,994,774 \text{ J} = 17,994.774 \text{ kJ}$$

### 1\_2 Ejercicio 1.5-3

Calcula la temperatura en °C de la mezcla de 15 l de agua a 10 °C con 30 l de agua a 30 °C.

$$T_M = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2} = \frac{15 \text{ kg} \cdot 283 \text{ K} + 30 \text{ kg} \cdot 303 \text{ K}}{15 \text{ kg} + 30 \text{ kg}} = \frac{13335 \text{ kg} \cdot \text{K}}{45 \text{ kg}} = 396,3 \text{ K} = 23,3^\circ\text{C}$$

Respuesta de **chatGPT**

Para calcular la temperatura final de la mezcla, puedes utilizar el principio de conservación de la energía. La ecuación que se aplica en este caso es la siguiente:

$$m_1 \cdot C_1 \cdot \Delta T_1 + m_2 \cdot C_2 \cdot \Delta T_2 = (m_1 + m_2) \cdot C_f \cdot \Delta T_f$$

Donde:

- $m_1$  y  $m_2$  son las masas de los líquidos (en este caso, volúmenes de agua), que son 15 L y 30 L respectivamente.
- $C_1$  y  $C_2$  son las capacidades caloríficas del agua, que es aproximadamente 4.18 J/g°C.
- $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$  son los cambios de temperatura, es decir, la diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial de cada líquido.
- $C_f$  es la capacidad calorífica de la mezcla.
- $\Delta T_f$  es el cambio de temperatura de la mezcla.

Queremos encontrar  $\Delta T_f$ , que luego sumaremos a la temperatura inicial de una de las muestras para obtener la temperatura final de la mezcla.

Sustituyendo los valores conocidos:

$$15 \text{ L} \cdot 4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot (\Delta T_1) + 30 \text{ L} \cdot 4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot (\Delta T_2) = (15 \text{ L} + 30 \text{ L}) \cdot C_f \cdot (\Delta T_f)$$

Dado que  $C_f$  es también la capacidad calorífica del agua (4.18 J/g°C), podemos simplificar la ecuación:

$$15 \cdot 4.18 \cdot (\Delta T_1) + 30 \cdot 4.18 \cdot (\Delta T_2) = 45 \cdot 4.18 \cdot (\Delta T_f)$$

Ahora, despejando  $\Delta T_f$ :

$$\Delta T_f = 45 \cdot 4.1815 \cdot 4.18 \cdot (\Delta T_1) + 30 \cdot 4.18 \cdot (\Delta T_2)$$

Sustituyendo  $\Delta T_1 = \text{Temperatura final} - 10$  y  $\Delta T_2 = \text{Temperatura final} - 30$ :

$$\Delta T_f = 45 \cdot 4.1815 \cdot 4.18 \cdot (\text{Temperatura final} - 10) + 30 \cdot 4.18 \cdot (\text{Temperatura final} - 30)$$

Resolviendo esta ecuación, obtendrás el valor de  $\Delta T_f$ , que podrás sumar a la temperatura inicial de una de las muestras para encontrar la temperatura final de la mezcla.

### 1\_2 Ejercicio 1.5-4

Calcula la potencia de un ciclista de 100 kg (peso del ciclista más bici) que sube 100 m en 10 min.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{100 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 \text{ m}}{600 \text{ s}} = 163,5 \text{ W}$$

Respuesta de **chatGPT**

Para calcular la potencia del ciclista que sube una distancia determinada en un tiempo dado, podemos usar la siguiente fórmula:

Potencia = Trabajo / Tiempo

Donde el trabajo se calcula como el producto de la fuerza aplicada y la distancia recorrida:

Trabajo = Fuerza × Distancia

La fuerza aplicada se puede calcular utilizando la ecuación:

Fuerza = Masa × Aceleración

Dado que el ciclista está subiendo una pendiente, la aceleración será igual a la aceleración debido a la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) multiplicada por el seno del ángulo de la pendiente. Supondremos que el ángulo de la pendiente es pequeño, por lo que podemos aproximarlos a  $\sin(\theta) \approx \theta$ .

Dado que el tiempo es de 10 minutos, primero lo convertiremos a segundos ( $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ).

Vamos a realizar los cálculos:

Masa del ciclista y la bicicleta (m): 100 kg Distancia (d): 100 m Tiempo (t): 10 min = 600 s (segundos) Aceleración debida a la gravedad (g):  $9.81 \text{ m/s}^2$  Ángulo de la pendiente ( $\theta$ ):  $\sin(\theta) \approx \theta$

Fuerza =  $m \times (g \times \theta)$  Fuerza =  $100 \text{ kg} \times (9.81 \text{ m/s}^2 \times \theta)$

Trabajo = Fuerza × Distancia Trabajo =  $100 \text{ kg} \times (9.81 \text{ m/s}^2 \times \theta) \times 100 \text{ m}$

$$Potencia = \frac{Trabajo}{Tiempo} = \frac{600s \cdot 100kg \times (9.81m/s^2 \times \theta) \times 100m}{600s}$$

Dado que estamos asumiendo un ángulo pequeño ( $\theta$ ) y no se proporciona el valor del ángulo, no puedo dar un valor numérico exacto para la potencia en este caso. Pero con estos cálculos, puedes sustituir el valor del ángulo de la pendiente para obtener la potencia en vatios (W).

### Ejercicio 1.5-5

Calcula la potencia necesaria para calentar 10 l de agua de 20 °C a 100 °C en 10 minutos.

Indica la potencia en kW y en  $\frac{kcal}{h}$ .

$$W = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 10 kg \cdot 80 K = 3352 kJ \quad \text{con} \quad 1 kcal = 4,19 kJ \quad \rightarrow \quad \frac{3352 kJ}{4,19 \frac{kJ}{kcal}} = 800 kcal$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3352 kJ}{600 s} = 5,6 kW = \frac{800 kcal}{\frac{600 s}{3600 \frac{s}{h}}} = 4800 \frac{kcal}{h}$$

### Respuesta de **chatGPT**

Para calcular la potencia necesaria en kW y en kilocalorías por hora, primero calculemos la energía requerida para calentar el agua de 20 °C a 100 °C, y luego convertiremos esa energía a las unidades solicitadas.

1. Energía requerida (Q):  $Q = mc\Delta T$

Donde:

- $m$  es la masa del agua (10 kg, ya que 1 litro de agua equivale a 1 kg).
- $c$  es la capacidad calorífica del agua (4186 J/kg°C).
- $\Delta T$  es el cambio de temperatura deseado (100 °C - 20 °C = 80 °C).

$$Q = 10kg \times 4186J/kg^\circ C \times 80^\circ C = 3356800J$$

2. Convertir energía a kilocalorías (1 kcal = 4186 J):  $Q_{kcal} = \frac{4186J}{kcal} \cdot 3356800J \approx 800.67kcal$

3. Convertir minutos a horas:  $t_h = \frac{60min}{h} \cdot 10min = 61h$

4. Calcular la potencia en kW:  $P_{kW} = \frac{Q}{t_h} = \frac{3356800J}{61h}$

$$P_{kW} \approx 20140800W \approx 20.14kW$$

5. Convertir potencia a kilocalorías por hora ( $1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ W}$ ):  $P_{kcal/h} = P_{kW} \times 1.163$

$$P_{kcal/h} \approx 23401.42 \text{ kcal/h}$$

Por lo tanto, la potencia necesaria para calentar 10 litros de agua de  $20^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  en 10 minutos es aproximadamente 20.14 kW o 23401.42 kilocalorías por hora.

### 1\_2 Ejercicio 1.5-6

Calcula el rendimiento de un calentador de agua de 100 W, que tarda en calentar 2 l de agua de  $10^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  en 3 h.

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia consumida}}$$

$$\text{potencia útil} = \frac{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 90 \text{ K}}{3 \cdot 3600 \text{ s}} = 69,8 \text{ W}$$

$$\text{potencia consumida} = 100 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia consumida}} = \frac{69,8 \text{ W}}{100 \text{ W}} = 0,7 \rightarrow 70 \%$$

### Respuesta de **chatGPT**

El rendimiento de un dispositivo se calcula como la relación entre la energía útil producida por el dispositivo y la energía total que consume. En este caso, estás buscando calcular el rendimiento de un calentador de agua de 100 W que calienta 2 litros de agua desde  $10^\circ\text{C}$  hasta  $100^\circ\text{C}$  en 3 horas.

Para calcular el rendimiento, primero necesitamos determinar la energía útil producida por el calentador y la energía total que consume durante el proceso.

1. *Calcula la energía necesaria para calentar el agua: La energía requerida para calentar una masa de agua se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:*

*Energía = masa \* calor específico \* cambio de temperatura*

*Donde:*

- *Masa = 2 kg (convertimos 2 litros de agua a kilogramos considerando que 1 litro de agua tiene una masa aproximada de 1 kg)*
- *Calor específico del agua = 4186 J/kg·°C (aproximadamente)*
- *Cambio de temperatura = 100 °C - 10 °C = 90 °C*

*Energía necesaria = 2 kg \* 4186 J/kg·°C \* 90 °C = 755,880 J*

2. *Calcula la energía consumida por el calentador: El calentador tiene una potencia de 100 W y funciona durante 3 horas.*

*Energía consumida = potencia \* tiempo*  
*Energía consumida = 100 W \* 3 h \* 3600 s/h = 360,000 J*

3. *Calcula el rendimiento: El rendimiento se calcula dividiendo la energía útil producida por el calentador entre la energía total consumida:*

*Rendimiento = (Energía útil / Energía consumida) \* 100*

*Rendimiento = (755,880 J / 360,000 J) \* 100 ≈ 210.52%*

*El resultado es un rendimiento del aproximadamente 210.52%. Sin embargo, este valor no tiene sentido físico ya que es mayor que 100%. Esto podría deberse a un error en los datos proporcionados o en los cálculos realizados. Te sugiero revisar nuevamente los valores o la forma en que se proporcionaron para asegurarte de obtener un rendimiento válido.*

**1\_2 Ejercicio 1.7-1**

Calcula la energía necesaria para calentar 0,5 kg de aceite de oliva de 30 °C a 120 °C.

$$Q = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 90 \text{ K} = 90 \text{ kJ}$$

Respuesta de **chatGPT**

$$Q = m * c * \Delta T$$

Donde:

- *Q es la energía en julios (J)*
- *m es la masa en kilogramos (kg) del aceite*
- *c es la capacidad calorífica específica en julios por kilogramo por grado Celsius (J/kg°C) del aceite*
- *ΔT es el cambio en temperatura en grados Celsius (°C)*

*Primero, necesitas encontrar la capacidad calorífica específica del aceite de oliva. En general, la capacidad calorífica específica del aceite de cocina puede aproximarse a alrededor de 2,0 J/g°C.*

*Convertimos la capacidad calorífica específica a J/kg°C:  $c = 2.0 \text{ J/g}^\circ\text{C} * (1 \text{ g} / 1000 \text{ g}) = 0.002 \text{ J/g}^\circ\text{C}$   $c = 0.002 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$*

*Ahora puedes calcular la energía requerida para calentar el aceite de 30 °C a 120 °C:*

$$m = 0.5 \text{ kg} \quad \Delta T = 120^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}$$

$$Q = m * c * \Delta T \quad Q = 0.5 \text{ kg} * 0.002 \text{ J/kg}^\circ\text{C} * 90^\circ\text{C} \quad Q = 0.09 \text{ J}$$

*Por lo tanto, la energía necesaria para calentar 0,5 kg de aceite de oliva de 30 °C a 120 °C es aproximadamente 0.09 Julios.*

**1\_2 Ejercicio 1.7-2**

Calcula la energía necesaria para enfriar 0,5 kg de agua a 15 °C a una temperatura de -5 °C (p = 1013 mbar).

$$Q = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 20 \text{ K} = 41,9 \text{ kJ}$$

Respuesta de **chatGPT**

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

Donde:

- *m* es la masa del material (en kg).
- *c* es el calor específico del material (en J/kg·°C).
- *T1* es la temperatura inicial (en °C).
- *T2* es la temperatura final (en °C).

En este caso, estás tratando con agua, que tiene un calor específico promedio de aproximadamente 4186 J/kg·°C. Los valores son:

- $m = 0.5 \text{ kg}$
- $c = 4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- $T_1 = 15^\circ\text{C}$
- $T_2 = -5^\circ\text{C}$

Sustituyendo estos valores en la ecuación:

$$Q = 0.5 \text{ kg} \cdot 4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (-5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q = 0.5 \text{ kg} \cdot 4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (-20^\circ\text{C})$$

$$Q = -41860 \text{ J}$$

Recuerda que la energía debe tener un valor positivo, ya que estamos buscando la cantidad de energía necesaria para enfriar el agua. Por lo tanto, puedes considerar el valor absoluto de esta cantidad:

$$Q = 41860 \text{ J}$$

Entonces, se requieren 41860 Julios de energía para enfriar 0.5 kg de agua de 15°C a -5°C.



**1\_2 Ejercicio 1.7-3**

Calcula la energía necesaria para calentar 0,5 kg de agua a 80 °C a una temperatura de 120 °C

(p = 1013 mbar).

$$Q = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 40 \text{ K} = 83,8 \text{ kJ}$$

Respuesta de **chatGPT**

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde:

- *Q es la energía en julios (J) requerida para calentar el agua.*
- *m es la masa en kilogramos (kg) del agua.*
- *c es la capacidad calorífica específica del agua, que es aproximadamente 4186J/(kg·°C).*
- *ΔT es el cambio en temperatura en grados Celsius (°C), que es la diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial.*

Dado que conocemos los siguientes valores:

- *m=0.5kg (masa del agua)*
- *c=4186J/(kg·°C) (capacidad calorífica específica del agua)*
- *ΔT=120°C–80°C=40°C (cambio de temperatura)*

Podemos sustituir estos valores en la fórmula:

$$Q = 0.5 \text{ kg} \cdot 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)} \cdot 40 \text{ °C}$$

$$Q = 83720 \text{ J}$$

Por lo tanto, se necesitan 83720J de energía para calentar 0,5 kg de agua de 80 °C a 120 °C.

**1\_2 Ejercicio 1.7-4**

Calcula el flujo de calor entre aire y una pared lisa, con un movimiento de aire en paralelo a la pared de menos de  $5 \frac{m}{s}$ .

La temperatura del aire alejado de la pared es de 50 °C, la temperatura de la superficie de la pared es de 20 °C. La superficie de la pared es de  $0,5 m^2$ .

¿Cual es la dirección del calor?

*Del aire (caliente) hacia la pared (fría)*

¿De que tipo de transmisión de calor se trata?

*Transmisión de calor por convección.*

$$\dot{Q}_{convec} = \alpha \cdot A \cdot (T_2 - T_1) = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 0,5 m^2 \cdot 30 K = 300 W$$

A superficie de transmisión en  $m^2$

$\alpha = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  coeficiente de transmisión aproximado para la transmisión de calor del aire  
(velocidad del aire < 5 m/s) a una pared lisa

$T_2$  Temperatura del aire alejado de la pared

$T_1$  Temperatura de la pared en contacto con el aire

**Respuesta de chatGPT**

*Para calcular el flujo de calor entre el aire y una pared lisa, puedes utilizar la Ley de Convección de Newton. Dado que el aire se mueve en paralelo a la pared, esto representa un flujo de calor por convección forzada. La fórmula general para el flujo de calor por convección es:*

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

Donde:

- Q es el flujo de calor (Watt).
- h es el coeficiente de transferencia de calor por convección (Watt / m<sup>2</sup>·K).
- A es el área de transferencia de calor entre el aire y la pared (m<sup>2</sup>).

- $T_s$  es la temperatura de la superficie de la pared ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_{\infty}$  es la temperatura del fluido alejado de la pared ( $^{\circ}\text{C}$ ), que es la temperatura del aire en este caso.

Sin embargo, en tu descripción faltan algunos valores numéricos importantes como el coeficiente de transferencia de calor ( $h$ ) y el área de transferencia ( $A$ ). Además, la expresión "menos de" no especifica un valor concreto para el movimiento del aire en paralelo a la pared.

La dirección del calor siempre es desde una temperatura más alta hacia una temperatura más baja. En este caso, el calor se transfiere desde la superficie de la pared (a  $20^{\circ}\text{C}$ ) hacia el aire alejado de la pared (a  $50^{\circ}\text{C}$ ).

En cuanto al tipo de transmisión de calor, este escenario corresponde a una convección forzada. La convección forzada ocurre cuando un fluido (en este caso, el aire) es forzado a moverse sobre una superficie sólida (la pared) debido a algún tipo de flujo o movimiento externo, como el movimiento del aire en paralelo a la pared.

**1\_2 Ejercicio 1.7-5**

Calcula el flujo de calor a través de una pared de madera de abedul de  $0,5\text{ m}^2$ . La temperatura en la superficie exterior de la pared es de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la de la superficie interior es de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El espesor de la pared es de 1 cm.

¿Cual es la dirección del calor?

*De la superficie exterior (caliente) a la interior (fría).*

¿De que tipo de transmisión de calor se trata?

*Transmisión de calor por conducción.*

$$\lambda_{\text{abelul}} = 0,15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\dot{Q}_{\text{condu}} = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{x} = \frac{0,15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ K}}{0,01 \text{ m}} = 225 \text{ W}$$

$\lambda$  conductividad térmica en  $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$  depende del material

$T_2$  Temperatura en superficie exterior de la pared

$T_1$  Temperatura en superficie interior de la pared

$A$  superficie de transmisión en  $\text{m}^2$

$x$  grosor de la pared en m

Respuesta de **chatGPT**

Para calcular el flujo de calor a través de una pared, podemos utilizar la Ley de Conducción de Fourier:

$$Q = dk \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

- $Q$  es el flujo de calor (en vatios o julios por segundo).
- $k$  es la conductividad térmica del material de la pared (en vatios por metro por kelvin).

- $A$  es el área de la pared a través de la cual se transmite el calor (en metros cuadrados).
- $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre las superficies caliente y fría (en kelvins).
- $d$  es el espesor de la pared (en metros).

En este caso, la diferencia de temperatura es  $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y el espesor de la pared es  $d=0.01\text{m}$ .

La conductividad térmica del abedul puede variar, pero para este cálculo, vamos a utilizar un valor promedio de  $k=0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (aproximado).

El área a través de la cual se transmite el calor depende de las dimensiones de la pared en cuestión, pero vamos a suponer un área de  $A=1\text{m}^2$  para simplificar.

Sustituyendo estos valores en la ecuación, obtenemos:

$$Q=0.01\text{m}\cdot 0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\cdot 1\text{m}^2\cdot 30\text{K}=45\text{W}$$

Por lo tanto, el flujo de calor a través de la pared es de 45 vatios. El calor se transmite desde la superficie caliente (exterior) a la superficie fría (interior).

En cuanto al tipo de transmisión de calor, este proceso se trata de conducción térmica. En la conducción térmica, el calor se transmite a través de un material debido a la transferencia de energía cinética de las partículas más energéticas a las menos energéticas, sin que haya movimiento macroscópico del material en sí.

**1\_2 Ejercicio 1.7-6**

Calcula el flujo de calor causado por un cuerpo negro ( $\varepsilon=1$ ) de  $0,5\text{ m}^2$  a una temperatura de  $0^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$  y  $200^\circ\text{C}$ .

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$\varepsilon$  grado de emisión sin unidad,  $0 < \varepsilon < 1$

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \text{ constante}$$

T temperatura absoluta en K

A superficie de transmisión en  $\text{m}^2$

$$T = 273 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 = 1 \cdot 0,000000057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 273 \text{ K} = 158,3 \text{ W}$$

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 = 1 \cdot 0,000000057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 373 \text{ K} = 551,7 \text{ W}$$

$$T = 473 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 = 1 \cdot 0,000000057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 473 \text{ K} = 1426,6 \text{ W}$$

**Respuesta de chatGPT**

El flujo de calor radiante emitido por un cuerpo negro se puede calcular utilizando la Ley de Stefan-Boltzmann. Esta ley establece que la energía radiante emitida por unidad de área superficial (llamada densidad de flujo radiante o potencia radiante) es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo. La fórmula es la siguiente:

$$F = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Donde:

- $F$  es la densidad de flujo radiante ( $\text{W/m}^2$ ),
- $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ ),
- $A$  es el área superficial del cuerpo negro ( $\text{m}^2$ ),
- $T$  es la temperatura absoluta en Kelvin (K).

Para calcular el flujo de calor para las temperaturas dadas ( $0^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$  y  $200^\circ\text{C}$ ), primero debemos convertir estas temperaturas a Kelvin utilizando la relación  $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ . Luego, podemos usar la fórmula anterior para calcular el flujo de calor radiante en cada caso.

1.  $0^\circ\text{C}$ :  $T = 0 + 273.15 = 273.15\text{K}$   $F = \sigma \cdot A \cdot (273.15)^4$
2.  $100^\circ\text{C}$ :  $T = 100 + 273.15 = 373.15\text{K}$   $F = \sigma \cdot A \cdot (373.15)^4$
3.  $200^\circ\text{C}$ :  $T = 200 + 273.15 = 473.15\text{K}$   $F = \sigma \cdot A \cdot (473.15)^4$

Recuerda que el área superficial del cuerpo negro ( $A$ ) debe ser conocido para realizar los cálculos. Si tienes ese valor, puedes sustituirlo en las fórmulas para obtener el flujo de calor radiante en cada caso.

**1\_2 Ejercicio 1.7-7**

Calcula el flujo de calor por m<sup>2</sup> en la pared de una vivienda, de 20 cm de espesor, suponiendo que la pared es lisa y la velocidad del aire menor a 5 m/s. La conductividad térmica de la pared es de

$$\lambda = 0,2 \frac{W}{m \cdot K} . \text{ La temperatura de la superficie de la pared exterior es de } 0^{\circ}C , \text{ la del interior de } 20^{\circ}C .$$

Indica las temperaturas del aire en el interior y exterior.

1. *Flujo de calor: aire interior a superficie de pared interior por convección*

$$\frac{\dot{Q}_{convec - interior}}{A} = \alpha \cdot (T_{aire - interior} - T_{pared - interior}) = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (T_{aire - interior} - 20^{\circ}C)$$

$$\alpha = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{coeficiente de transmisión aproximado para la transmisión de calor del aire} \\ \text{(velocidad del aire } < 5 \text{ m/s) a una pared lisa}$$

$$\rightarrow T_{aire interior} = \frac{20 \frac{W}{m^2}}{20 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + 20^{\circ}C = 21^{\circ}C$$

2. *Flujo de calor: aire interior a superficie de pared interior por convección*

$$\frac{\dot{Q}_{conduccion}}{A} = \frac{\lambda \cdot (T_{pared - interior} - T_{pared - exterior})}{x} = \frac{0,2 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 20 K}{0,2 m} = 20 \frac{W}{m^2}$$

3. *Flujo de calor: superficie de pared exterior a aire interior por convección*

$$\frac{\dot{Q}_{convec - exterior}}{A} = \alpha \cdot (T_{pared - exterior} - T_{aire - exterior}) = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (0^{\circ}C - T_{aire - exterior})$$

$$\alpha = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{coeficiente de transmisión aproximado para la transmisión de calor del aire} \\ \text{(velocidad del aire } < 5 \text{ m/s) a una pared lisa}$$



$$\rightarrow T_{\text{aire}_{\text{exterior}}} = 0^{\circ}\text{C} - \frac{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = -1^{\circ}\text{C}$$

### Respuesta de **chatGPT**

Para calcular el flujo de calor a través de una pared, puedes usar la Ley de Conducción de Fourier. La ecuación para el flujo de calor a través de un material es:

$$Q = dk \cdot A \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Donde:

- $Q$  es el flujo de calor (en  $\text{W}/\text{m}^2$ ).
- $k$  es la conductividad térmica del material de la pared (en  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ).
- $A$  es el área de la superficie (en  $\text{m}^2$ ).
- $T_{\text{int}}$  es la temperatura en el interior de la pared (en  $\text{K}$ ).
- $T_{\text{ext}}$  es la temperatura en el exterior de la pared (en  $\text{K}$ ).
- $d$  es el espesor de la pared (en metros).

Dado que la conductividad térmica ( $k$ ) no fue proporcionada en la pregunta, no puedo completar el cálculo con valores numéricos. Sin embargo, una vez que tengas la conductividad térmica del material de la pared, puedes usar la fórmula anterior para calcular el flujo de calor.

Además, en la pregunta se menciona que la velocidad del aire es menor a 5 m/s, pero no parece ser relevante para el cálculo del flujo de calor a través de la pared.

En cuanto a las temperaturas del aire en el interior y exterior, se menciona que la temperatura de la superficie de la pared exterior es de  $0^{\circ}\text{C}$  y la del interior es de  $20^{\circ}\text{C}$ . Estas temperaturas en grados Celsius deben convertirse a Kelvin restando 273.15:

- $T_{\text{int}} = 20 + 273.15 = 293.15\text{K}$
- $T_{\text{ext}} = 0 + 273.15 = 273.15\text{K}$

Una vez que tengas la conductividad térmica del material de la pared, podrás completar el cálculo del flujo de calor utilizando la fórmula proporcionada.

**1\_2 Ejercicio 1.9-1**

A temperatura constante, la presión absoluta de un metro cúbico de gas pasa de 1 bar a 2 bar.

¿Cómo cambia su volumen?

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \rightarrow V_2 = \frac{p_1}{p_2} \cdot V_1 = \frac{1000 \text{ mbar}}{2000 \text{ mbar}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 0,5 \text{ m}^3$$

**Respuesta de chatGPT**

*Si la temperatura se mantiene constante, el cambio en la presión de un gas sigue la ley de Boyle-Mariotte, también conocida como la ley de Boyle. Esta ley establece que, a una temperatura constante, el producto de la presión y el volumen de una cantidad fija de gas es constante.*

*Matemáticamente, la ley de Boyle se expresa como:*

$$P1 * V1 = P2 * V2$$

*Donde:*

- *P1 y P2 son las presiones iniciales y finales respectivamente (en este caso, 1 bar y 2 bar).*
- *V1 y V2 son los volúmenes iniciales y finales respectivamente.*

*Dado que la presión inicial (P1) es 1 bar y la presión final (P2) es 2 bar, podemos reorganizar la ecuación para resolver el cambio en el volumen (V2 - V1):*

$$V2 - V1 = V1 * (P1 / P2)$$

*Sustituyendo los valores:*

$$V2 - V1 = V1 * (1 \text{ bar} / 2 \text{ bar}) \quad V2 - V1 = 0.5 * V1$$

*Esto significa que el volumen final (V2) será 1.5 veces el volumen inicial (V1):*

$$V2 = V1 + 0.5 * V1 \quad V2 = 1.5 * V1$$

*Por lo tanto, el volumen final será 1.5 veces el volumen inicial, en otras palabras, el volumen aumentará en un 50% cuando la presión pasa de 1 bar a 2 bar a temperatura constante.*

**1\_2 Ejercicio 1.9-2**

A presión constante, el volumen de un gas pasa de un metro cúbico a dos metros cúbicos.

¿Cómo cambia su temperatura?

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot T_1 = \frac{2 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot T_1 = 2 \cdot T_1$$

**Respuesta de chatGPT**

Si el cambio ocurre a presión constante, estamos hablando de un proceso isobárico, lo que significa que la presión se mantiene constante mientras el gas experimenta cambios en su volumen y temperatura. Para entender cómo cambia la temperatura en este proceso, podemos usar la Ley de Charles, que establece que, a presión constante, el volumen de una cantidad fija de gas es directamente proporcional a su temperatura en escala Kelvin.

La Ley de Charles se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

Donde:

- $V_1$  es el volumen inicial (1 metro cúbico)
- $T_1$  es la temperatura inicial en Kelvin
- $V_2$  es el volumen final (2 metros cúbicos)
- $T_2$  es la temperatura final en Kelvin

Si resolvemos la ecuación para la temperatura final ( $T_2$ ), obtendremos:

$$T_2 = T_1 * (V_2 / V_1)$$

Dado que el volumen inicial ( $V_1$ ) es 1 metro cúbico y el volumen final ( $V_2$ ) es 2 metros cúbicos, la ecuación se simplifica a:

$$T_2 = T_1 * 2$$

Esto significa que la temperatura final ( $T_2$ ) será el doble de la temperatura inicial ( $T_1$ ).

En resumen, si el volumen de un gas se duplica a presión constante, la temperatura también se duplicará. Si conocemos la temperatura inicial, podemos calcular la temperatura final utilizando esta relación.

**1\_2 Ejercicio 1.9-3**

La composición de la atmósfera es aproximadamente la siguiente;

$$N_2 = 78$$

$$O_2 = 21$$

$$Ar = 0,9$$

Calcula las presiones parciales de los tres gases a nivel de mar.

$$p_{total} = p_1 + p_2 + \dots + p_i \rightarrow 1000 \text{ mbar} = p_N + p_O + p_{Ar}$$

$$\rightarrow p_N = 780 \text{ mbar} , \quad p_O = 210 \text{ mbar} , \quad p_{Ar} = 9 \text{ mbar}$$

**Respuesta de *chatGPT***

Para calcular las presiones parciales de los gases en la atmósfera a nivel del mar, podemos usar la ley de Dalton. La presión parcial de un gas es la presión que ejercería si ocupara todo el volumen por sí mismo a la misma temperatura. La presión total en la atmósfera a nivel del mar es de aproximadamente 101325 Pa (o 1 atm).

Dada la composición de la atmósfera que proporcionaste:

- N<sub>2</sub> (nitrógeno): 78% = 0.78
- O<sub>2</sub> (oxígeno): 21% = 0.21
- Ar (argón): 0.9% = 0.009

La presión parcial de un gas se calcula multiplicando la fracción molar del gas por la presión total. Entonces, para cada gas:

1.  $P_{N_2} = 0.78 \times 101325 \text{ Pa}$
2.  $P_{O_2} = 0.21 \times 101325 \text{ Pa}$
3.  $P_{Ar} = 0.009 \times 101325 \text{ Pa}$

Calculando estos valores:

1.  $P_{N_2} = 79137 \text{ Pa}$
2.  $P_{O_2} = 21227 \text{ Pa}$
3.  $P_{Ar} = 912 \text{ Pa}$

Así que, las presiones parciales de los tres gases en la atmósfera a nivel del mar son aproximadamente:

- $N_2 = 79137 \text{ Pa}$
- $O_2 = 21227 \text{ Pa}$
- $Ar = 912 \text{ Pa}$

**1\_2 Ejercicio 1.9-4**

En una instalación frigorífica con refrigerante R-134a se han medido las siguientes presiones

$$p_1=2 \text{ bar y } p_2=20 \text{ bar .}$$

Indica las temperaturas de condensación y evaporación.

*Respuesta de chatGPT*

Evaporación a presión relativa  $p_1=2 \rightarrow 0,8 \text{ °C}$  (diagrama p h, manómetro, app)

Condensación a presión relativa  $p_2=20 \rightarrow 70 \text{ °C}$  (diagrama p h, manómetro, app)

*Para determinar las temperaturas de condensación y evaporación en una instalación frigorífica que utiliza el refrigerante R-134a, puedes utilizar el diagrama de refrigeración (también conocido como diagrama de Mollier) o tablas de propiedades termodinámicas para el R-134a. Dado que no tengo acceso a tablas o gráficos en tiempo real, te proporcionaré una aproximación utilizando valores típicos.*

*El R-134a es un refrigerante comúnmente utilizado en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. A una presión de 2 bar (presión de succión o evaporación), la temperatura de evaporación típica para el R-134a es aproximadamente -25 °C.*

*A una presión de 20 bar (presión de descarga o condensación), la temperatura de condensación típica para el R-134a es aproximadamente 50 °C.*

*Recuerda que estos valores son aproximados y pueden variar según las condiciones específicas de la instalación y las propiedades del refrigerante. Siempre es recomendable consultar las tablas de propiedades del refrigerante o utilizar herramientas de cálculo específicas para obtener valores más precisos.*

**1\_2 Ejercicio 1.9-5**

Marca en el diagrama p h correspondiente a R-134a, el punto en el que un 80% del fluido es gas , a una temperatura de 10 °C .



ENTHALPY (kJ/kg)

ENTHALPIE

**Gasservei**

**R-134a**

C/Motores 151-155 Nave 9

08038 Barcelona

Teléfono: 93 223 13 77

DRUCK

PRESSURE (BARA)

PRESSURE

PRESSION

PRESSURE (BARA)

DRUCK

